

Til  
**Miljøstyrelsen**

Dokumenttype  
**Manual**

Dato  
**Maj 2021**

# **Manual til anvendelsen af Skrift 31**

## MANUAL TIL ANVENDELSEN AF SKRIFT 31

Revision

Dato **3. maj 2021**

Udarbejdet af **Steffen Davidsen, Maria Facchin Asmussen**

Kontrolleret af **Sonia Sørensen, Trine Stausgaard Munk, Thomas Kruse**

Godkendt af **Charlotte Frambøl**

Beskrivelse **på baggrund af Skrift 31, som blev udgivet af Spildevandskomiteen i september 2017**

Note

Opdatering fra version 1.0: Tabel 2 og Tabel 4 er blevet opdaterede, idet der var angivet forkerte gentagelsesperioder for T1 og T2. Resultater for EAD og efterfølgende beregninger er uændrede, da fejlen lå i afrapporteringen og ikke beregningerne.

Ref.

Dokument ID 1100029875-1772391620-29

Version 1.1

Rambøll

Hannemanns Allé 53  
DK-2300 København S  
T +45 5161 1000  
F +45 5161 1001  
[www.ramboll.dk](http://www.ramboll.dk)

## INDHOLD

<b>1.</b>	<b>INTRODUKTION</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>BAGGRUND</b>	<b>5</b>
2.1	Metoderne i Skrift 31	5
2.2	Forudsætninger for brug af Skrift 31	7
2.3	Foreslået proces for anvendelsen af Skrift 31	8
2.4	Teori	9
2.4.1	Risiko	9
2.4.2	EAD	10
2.4.3	Merværdier	14
2.4.4	Pengestrøm	15
2.4.5	Nutidsværdi	15
<b>3.</b>	<b>INDLEDENDE ANALYSER</b>	<b>17</b>
3.1	Beskrivelse af principper	17
3.1.1	Princip 1: Kommunen som helhed	17
3.1.2	Princip 2: Arealanvendelse i kommunen	18
3.1.3	Princip 3: Deloplandsniveau	18
3.2	Vurdering af princip	18
3.2.1	Karakteristik af området	18
3.2.2	Politiske ønsker	19
3.2.3	Acceptabel risiko	19
3.2.4	Udviklingsplaner, lokalplaner og infrastrukturprojekter	19
3.2.5	Miljømæssige forhold	20
3.2.6	Kritisk infrastruktur	20
3.2.7	Kulturelle værdier	20
3.3	Fastlæggelse af princip og funktionskrav	20
<b>4.</b>	<b>HYDRAULIK</b>	<b>22</b>
4.1	Modeltype	22
4.2	Proces for hydrauliske beregninger	23
<b>5.</b>	<b>ANLÆG</b>	<b>25</b>
5.1	Udvikling af tiltag	25
5.2	Proces for tiltagsberegninger	26
<b>6.</b>	<b>RISIKOKORTLÆGNING</b>	<b>27</b>
6.1	Enhedspriser for skader	27
6.2	Proces for EAD-beregninger	28
<b>7.</b>	<b>OPTIMERING</b>	<b>30</b>
<b>8.</b>	<b>REFLEKSION</b>	<b>32</b>
8.1	Følsomhedsanalyser	32

## BILAG

### Bilag 1. Eksempler

1.A Regneeksempel

1.B Studie: Aarhus vand

## Sammendrag

I efteråret 2017 udgav Spildevandskomiteen Skrift 31, der beskriver metoderne til fastlæggelse af det samfundsøkonomisk optimale serviceniveau for regnvand på terræn. Regnvand på terræn er i denne forbindelse defineret som regn- og spildevand, der opstøver til terræn som følge af kraftig regn, og henviser dermed ikke til vand på terræn som følge af oversvømmelser fra kyst eller vandløb. Formålet ved at anvende metoderne i Skrift 31 er at hjælpe kommuner med at undgå potentielle over- eller underinvesteringer i klimatilpasning og dermed optimere i det budget, der er afsat til klimatilpasning.

For at fastlægge det samfundsøkonomisk optimale serviceniveau for regnvand på terræn anvendes en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse, der kvantitativt inddrager sparede skadesomkostninger og andre samfundsøkonomiske gevinster ved klimatilpasning samt investerings- og driftsomkostninger til forskellige klimatilpasningstiltag. En samfundsøkonomisk optimeringsanalyse har til formål at klarlægge, hvilken løsning eller plan, der er bedst for samfundet som helhed. I denne analyse er der således ikke fokus på, hvem der skal betale investeringerne og de løbende driftsudgifter, samt hvem gevinsterne ved en klimatilpasning tilfalder.

Resultatet af analysen er en nettogevinstkurve, der udover at vise det samfundsøkonomiske optimale serviceniveau også viser spændet, hvor gevinster er større end udgifter til investeringer, og klimatilpasning derfor er fordelagtigt for samfundet. Ved at udregne nettogevinstkurven er beslutningstagere ikke bundet af et enkelt optimum, der, til trods for at være det optimale, ikke giver noget råderum.

Det anbefales, at der er et tæt samarbejde mellem kommunens forvaltning og forsyningen og evt. rådgivere, således at alle parter er opmærksomme på gensidige prioriteter, krav og problemstillinger i forbindelse med den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse. Processen vil være afhængig af løbende politisk eller forvaltningsmæssig stillingtagen, hvorfor det nære samarbejde og den integrerede proces på tværs af aktører er afgørende for en succesfuld gennemførelse af metoderne i Skrift 31.

Det er vigtigt at pointere, at Skrift 31 kun bør implementeres, såfremt der stadig opleves uacceptable oversvømmelsesrisici i kommunen efter implementeringen af Skrift 27. Ifald der opleves (eller forventes) uacceptable oversvømmelsesrisici efter implementeringen af Skrift 27, og det derfor ønskes at højne serviceniveauet, skal kommune og spildevandsselskab være afklaret med, at øvelsen forudsætter, at der findes og skabes løsninger til håndtering af regnvandet på og i terrænet.

## Begrebsliste

I følgende liste er betydningen af en række anvendte ord og begreber defineret.

Diskonteringsrente	Renten som fremtidige omkostninger og besparelser forrentes med, i udregningen af nutidsværdien. Fastsættes efter Finansministeriets anbefalinger.
EAD	De forventede årlige omkostninger til skader (fra engelsk: Expected Annual Damages) forbundet med oversvømmelser fra regnvand på terræn. Udregnes som arealet under skadeskurven som funktion af sandsynligheden.
Enhedspriser	Omkostninger eller gevinster defineret i kr./enhed, som anvendes til at beregne risiko og merværdi. Enhedspriser dækker eksempelvis omkostninger ved at oversvømme et aktiv eller den økonomiske gevinst ved at forbedre vandkvaliteten.
Funktionskrav	Et fastsat krav til dimensioneringspraksis, f.eks. fastsat som 10 cm regnvand på terræn ved en 20-års hændelse.
Merværdi	Indirekte immaterielle værdier, der skabes som følge af klimatilpasningsprojekter.
Nutidsværdi (NV)	Værdien i dag af en fremtidig pengestrøm (f.eks. investeringer eller gevinster).
Pengestrøm	En opgørelse over indbetalinger og udbetalinger over en bestemt tidsperiode.
Princip	Refererer til de tre principper for fastlæggelse af serviceniveauet i Skrift 31. Princippet afgør området, hvorpå den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse udføres.
Risiko	Udtryk for kombinationen af sandsynligheden for og konsekvensen af en oversvømmelse. Kan udtrykkes som EAD.
Risikokort	Den samlede risiko over en række gentagelsesperioder vist geografisk, hvor hver pixel har en værdi, f.eks. svarende til EAD for den givne celle.
Risikoscreening	Risikoen vist geografisk ved en enkeltstående regnhændelse med en given gentagelsesperiode, dvs. produktet mellem skader og sandsynligheden for en enkelt gentagelsesperiode.
Serviceniveau for regnvand på terræn	Den gentagelsesperiode borgere kan forvente, at forsyningsselskaber og kommuner har sikret til. Der vil dermed ikke ligge skadevoldende regnvand på terræn ved regnhændelser lig eller mindre end dette niveau. Regnvand på terræn er i denne forbindelse defineret som regn- og spildevand, der opstøver til terræn som følge af kraftig regn, og henviser dermed ikke til vand på terræn som følge af oversvømmelser fra kyst eller vandløb.
Skadesfunktion	Omkostning ved at oversvømme et aktiv som funktion af vanddybden.

Skadeskurve

Skader ved oversvømmelse som funktion af sandsynligheden.

Værdikort

Kort, der viser den geografiske information af aktiver og omkostningen ved at oversvømme denne.

## 1. INTRODUKTION

Denne manual skal hjælpe kommuner og spildevandsselskaber, der ønsker at beregne et samfundsøkonomisk optimalt serviceniveau for regnvand på terræn jf. Spildevandskomiteens Skrift 31. Skrift 31 beskriver én metode, som ligger til grunde for denne vejledning, men det er vigtigt at pointere, at metoden for fastlæggelse af serviceniveau for regnvand på terræn kan afhænge af mange parametre såsom ønsket detaljeringsgrad, tilgængelige ressourcer og/eller politiske ønsker. Denne manual giver ét eksempel på, hvordan det samfundsøkonomisk optimale serviceniveau for regnvand på terræn kan beregnes, men udelukker ikke andre tilgange. Manualen kan anvendes som en kagebog, hvor trinene følges skridt-for-skridt eller som et opslagsværk, hvori der kan findes hjælp til forståelsen af begreber. Derudover introduceres en række emner, der kan vurderes og tages stilling til i processen.

I kapitel 2 Baggrund kan man læse om Skrift 31 og få et kort overblik over den anvendte metode. Kapitlet giver også et forslag til, hvordan et projekt under Skrift 31 kan forløbe, og afslutningsvis beskrives begreberne risiko, forventede årlige skadesomkostninger og nutidsværdi, som er essentielle for anvendelsen af Skrift 31. Disse begreber uddybes særligt, da det erfaringsmæssigt er disse begreber, der volder de største forståelsesmæssige og beregningsmæssige udfordringer. Derfor anbefales det ikke at springe dette afsnit over, idet definitionerne har direkte betydning for metoden.

Kapitel 3 beskriver de indledende analyser til en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse. Kapitlet gennemgår de tre forskellige principper for fastsættelse af serviceniveau for regnvand på terræn;

- serviceniveauet omfatter hele kommunen,
- serviceniveau differentieres efter arealanvendelse eller
- serviceniveau differentieres på deloplandsniveau.

Kapitel 3 indeholder også eksempler på en række emner, der kan anvendes i vurderingen af principperne med henblik på at finde det mest hensigtsmæssige princip for analysen.

Kapitel 4 til 7 gennemgår de nødvendige input til beregningerne af det samfundsøkonomisk optimale serviceniveau samt metoden for en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse jf. Skrift 31. Afslutningsvis giver kapitel 8 en refleksion af metoden.

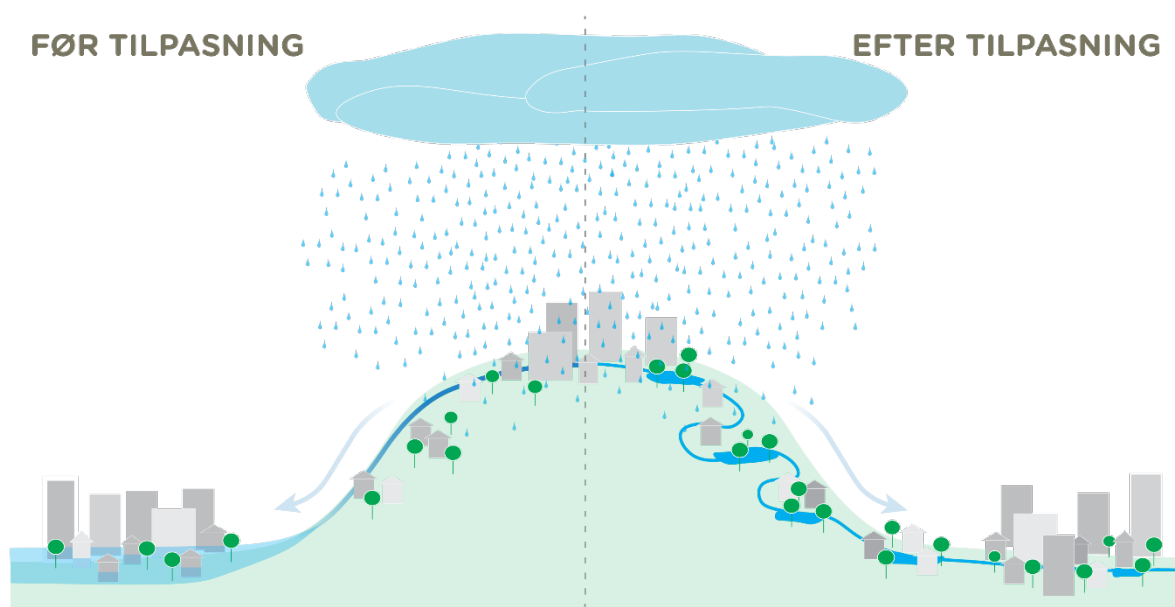
I bilaget gennemgås et regneeksempel, som er foretaget på et generisk byområde, samt en metodebeskrivelse anvendt i Aarhus Kommune.

## 2. BAGGRUND

### 2.1 Metoderne i Skrift 31

Skrift 31 "Metoder til bestemmelse af serviceniveau for regnvand på terræn" blev udgivet af Spildevandskomiteen i september 2017. Skriftet fastholder anbefalingerne i Skrift 27 omkring opstuvning i ledningssystemerne og vejledninger herfra er en forudsætning for metodens anvendelse, men supplerer med metoder til fastlæggelse af serviceniveau for regnvand på terræn. Regnvand på terræn er i denne forbindelse defineret som regn- og spildevand, der opstøver til terræn som følge af kraftig regn og henviser dermed ikke til vand på terræn som følge af oversvømmelser fra kyst eller vandløb.

I Skrift 31 henviser "serviceniveau" til den service, borgere kan forvente, at spildevandsselskaber og kommuner sikrer overfladen til, når der ligger regnvand på terræn. I denne manual vil begrebet serviceniveau fremadrettet henviser til serviceniveauet for regnvand på terræn, med mindre andet er angivet. Ligeledes vil begrebet forsyning blive anvendt og henviser udelukkende til spildevandsselskaber, med mindre andet er angivet.



**Figur 1** Ved at klimatilpasse kan der ydes et serviceniveau for regnvand på terræn. Regnvand på terrænet kan stadig forekomme, men der bør ikke forekomme så store oversvømmelser at risikoen er uacceptabel efter klimatilpasningen.

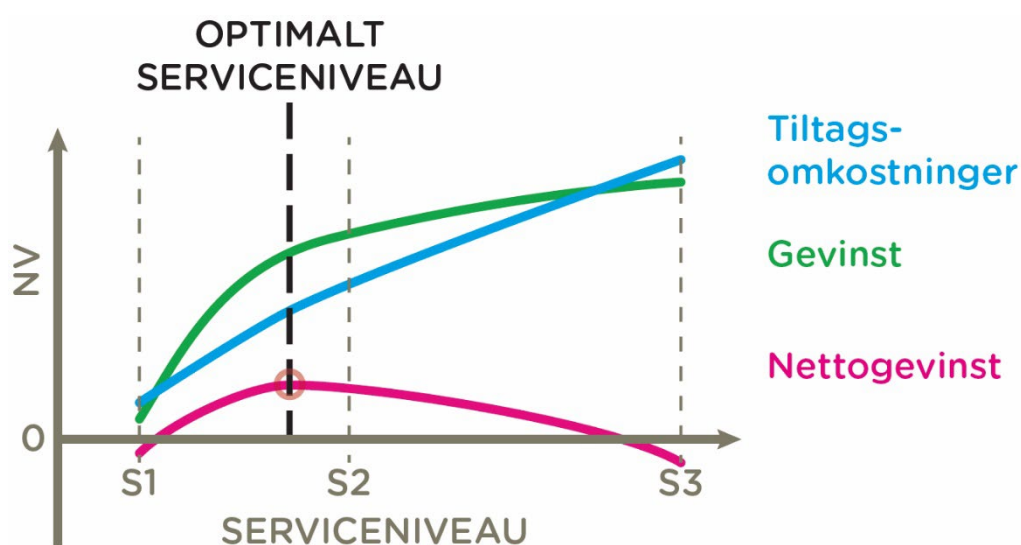
Formålet ved at anvende metoderne i Skrift 31 er at hjælpe kommuner med at undgå potentielle over- eller underinvesteringer i klimatilpasning og dermed optimere i det budget, der er afsat til klimatilpasning. Fastsættelsen af serviceniveauet for regnvand på terræn danner grundlaget for at dimensionere spildevandsselskabets anlæg i forhold til klimasikring, hvilket er en vigtig faktor i forhold til den økonomiske regulering af selskaberne. Derudover giver metoden et veldokumenteret datagrundlag for en informeret beslutningsproces for kommunen. Det endelige serviceniveau vil være meget afhængig af områdets karakter, prioriteter, etc. Det er derfor ikke fordelagtigt at fastlægge ét overordnet serviceniveau for hele landet, da det vil føre til over- og/eller underinvesteringer i kommunerne. Skrift 31 er derfor henvendt til kommunale forvaltninger fremfor statslige forvaltninger.

For at fastlægge det optimale serviceniveau for regnvand på terræn anvendes en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse, der kvantitativt inddrager skader og andre omkostninger som konsekvens af oversvømmelser samt investerings- og driftsomkostninger ved at klimatilpasse til forskellige serviceniveauer. En samfundsøkonomisk optimeringsanalyse har til formål at klarlægge, hvilken løsning eller plan, der er bedst for samfundet som helhed. I denne analyse er der således



ikke fokus på, hvem ser skal betale investeringerne og de løbende driftsudgifter samt hvem gevinsterne ved en klimatilpasning tilfalder.

For at metoderne i Skrift 31 er meningsfulde, anbefales det, at der som minimum sammenlignes tre forskellige serviceniveauer (S1, S2 og S3, se Figur 2). For hvert serviceniveau udregnes omkostninger ved klimatilpasningstiltagene over tid (herunder anlæg, drift og reinvestering) samt gevinsten ved tiltagene over tid (herunder sparede skadesomkostninger og evt. merværdier). Det samfundsøkonomisk optimale niveau findes herefter ved at sammenholde udgifter til tiltag med gevinster i fremtiden. Ved at trække disse resultater fra hinanden for hvert serviceniveau fås nettogevinsten ved klimatilpasning. Det samfundsøkonomisk optimale serviceniveau for regnvand på terræn findes grafisk i nettogevinstens toppunkt, som vist på Figur 2.



**Figur 2** Det optimale serviceniveau for regnvand på terræn findes ved at sammenholde omkostninger til klimatilpasningstiltag med gevinster ved klimatilpasning. Når nettogevinsten er positiv er det samfundsøkonomisk fordelagtigt at klimatilpasse, og det optimale serviceniveau findes i nettogevinstkurvens toppunkt.

Tiltagsomkostningerne vil stige med højere gentagelsesperiode, da det er dyrere at sikre et område til en 100-års hændelse, end til eksempelvis en 20-års hændelse, da det kræver flere og større tiltag.

Gevinst udtrykkes ved de sparede skadesomkostninger og evt. merværdier. Skadesomkostninger udregnes ved risikokortlægning og beregninger for forventede årlige omkostninger, EAD (fra engelsk: Expected Annual Damages). Sparede skadesomkostninger udregnes ved at trække skadesomkostningerne ved hvert serviceniveau fra skadesomkostningerne ved en statussituation. Status betegner her en situation, hvor der ikke klimatilpasses.

Merværdier kan tilregnes i gevinster for en mere holistisk analyse, såfremt der foreligger anvendelige enhedspriser. Gevinst vil som regel stige mere markant ved små serviceniveauer, da der ofte opleves store besparinger ved at klimatilpasse til hændelser med en høj sandsynlighed (og dermed et lavt serviceniveau). På samme vis vil merværdier stige mere markant ved lavere serviceniveauer, end ved de højere. Dette kan eksempelvis forklares ved, at mange merværdier beregnes som direkte eller indirekte konsekvens af anlæggelsen eller forbedringen af eksisterende grønne områder. Ved højere serviceniveauer skabes der ikke nødvendigvis flere grønne områder, hvorfor merværdierne forbundet hertil vil stagnere.

Figur 2 afviger fra den foreslåede graf i Skrift 31, som sammenholder omkostninger til tiltag med skadesomkostninger og derved finder det optimale niveau, hvor de totale omkostninger er lavest (se Figur 3).

Fordelen ved at illustrere nettogevinstkurven fremfor en kurve for totale omkostninger er, at nettogevinstkurven udover det optimale serviceniveau også viser det fulde spektrum af, hvornår

klimatilpasning er samfundsøkonomisk fordelagtigt, dvs. det spænd, hvor gevinster er større end investeringer, og nettogevinstkurven dermed positiv. Beslutningstagere er således ikke bundet af et enkelt serviceniveau, men får fleksibilitet til at overveje muligheden for, at investere i klimatilpasning til over eller under optimum.

Metoden, hvortil man kommer frem til det samfundsøkonomiske optimale serviceniveau for regnvand på terræn og nettogevinstkurven som vist på Figur 2, er beskrevet i Kapitel 3 til 7.

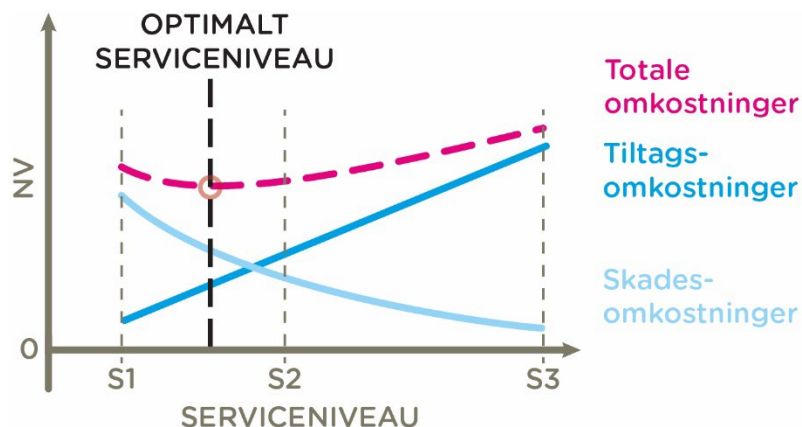
## 2.2 Forudsætninger for brug af Skrift 31

Inden en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse kan igangsættes, bør det overvejes hvorvidt der er behov for at højne serviceniveauet fastsat i overensstemmelse med Skrift 27. Løsninger baseret på anbefalingerne i Skrift 27 er henvendt til generel klimatilpasning ud fra en forventning om 30 % mere regn i fremtiden. Det er vigtigt at fremhæve, at metoderne i Skrift 31 forudsætter, at kravene fra Skrift 27 er overholdt, dvs. at der som minimum ikke tillades regnvand på terræn oftere end en 5-års og 10-års hændelse for hhv. separerede og fælleskloakerede afløbssystemer.

Anvendelsen af Skrift 31 vil være målrettet løsninger for regnhændelser større end dem beskrevet i Skrift 27. Anbefalingerne i Skrift 31 bør kun implementeres, såfremt der stadig opleves uacceptable store oversvømmelsesrisici i kommunen efter implementeringen af Skrift 27. Dersom udvidelsen til Skrift 27 endnu ikke er opfyldt, kan der udføres hydrauliske beregninger på det planlagt afløbssystem for at undersøge behovet for et øget serviceniveau. Hvis der ikke er uacceptable oversvømmelsesrisici, er der ikke nogen lovgivende krav, som giver incitament til at følge anbefalingerne i Skrift 31.

Ifald der stadig opleves (eller forventes) uacceptable oversvømmelsesrisici efter implementeringen af anbefalingerne i Skrift 27, og det derfor ønskes at højne serviceniveauet, skal kommunen og forsyningen være afklaret med, at den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse forudsætter, at der findes og skabes løsninger til håndtering af regnvandet på og i terrænet. Traditionelle rør-løsninger vil være urentable for høje serviceniveauer, og løsninger vil derfor kræve kreativitet og fleksibilitet i byrummet og landskabet for, at øvelsen er meningsfuld.

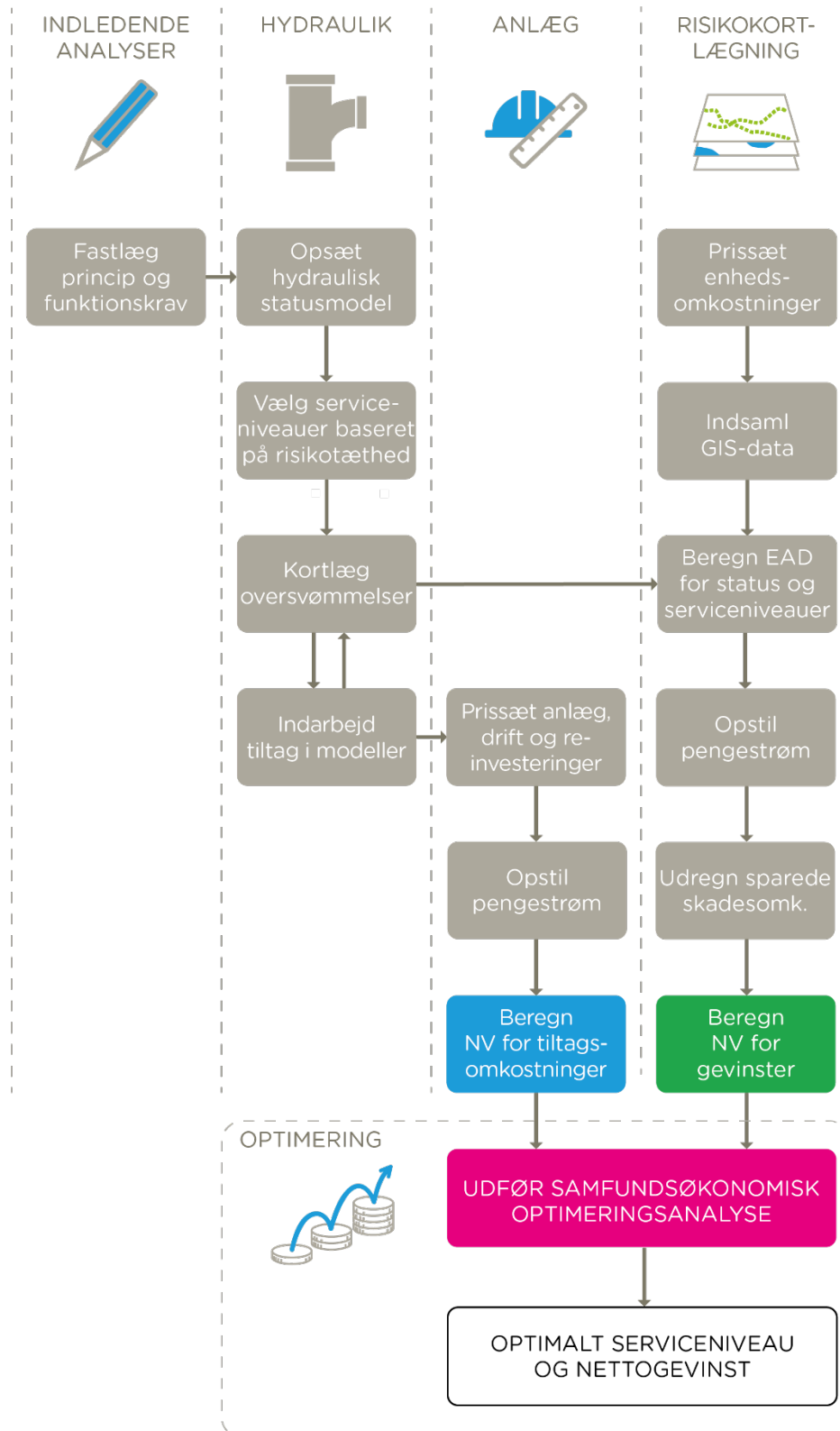
Såfremt kommuner oplever uacceptable oversvømmelsesrisici og er beredte på at implementere overfladeløsninger for at løse oversvømmelsesproblematikken, kan analysen beskrevet i Skrift 31 påbegyndes.



Figur 3 I Skrift 31 findes det optimale serviceniveau ved at udregne de totale skadesomkostninger.

### 2.3 Foreslået proces for anvendelsen af Skrift 31

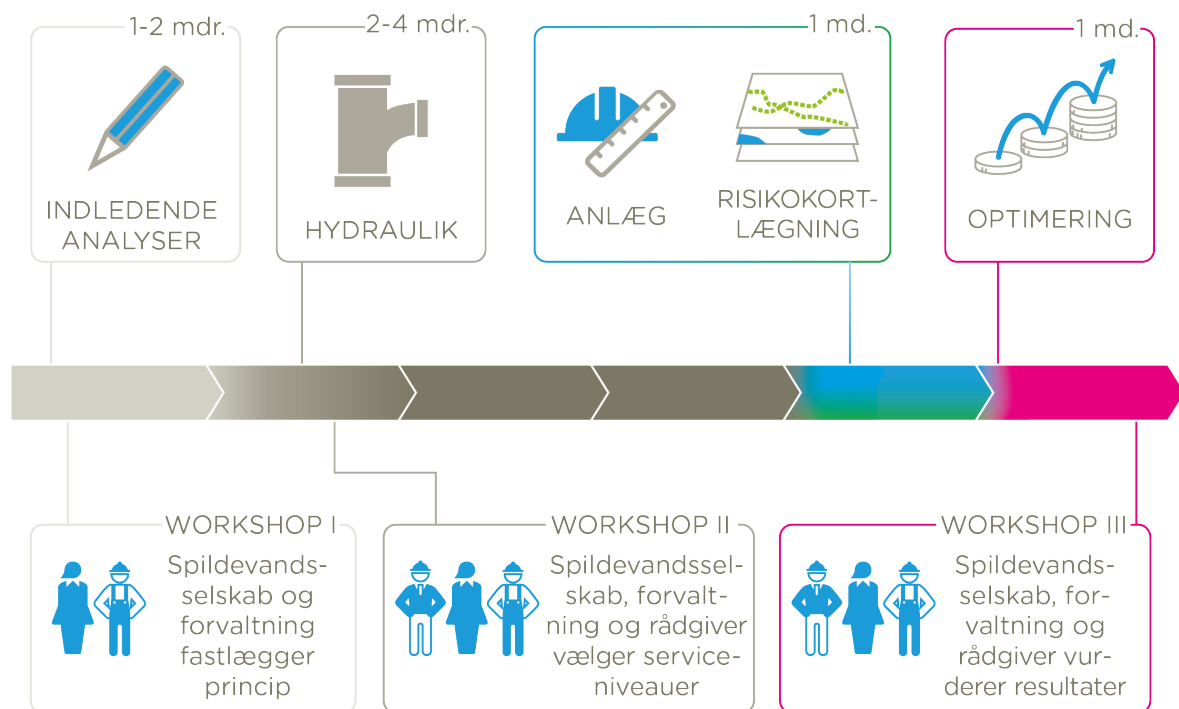
Skrift 31 kan bygges op om følgende byggesten: Indledende analyser, Hydraulik, Anlæg, Risiko-kortlægning og Optimering. Figur 4 præsenterer en typisk arbejdsproces, og hvordan de forskellige emner leverer input og/eller output til de andre og slutteligt samles i en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse for at finde det optimale serviceniveau.



**Figur 4** Overordnet arbejdsgang ved en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse af serviceniveauet for regnvand på terræn.

Det anbefales, at kommunens forvaltning og forsyningen giver input til hinanden og evt. rådgiveren i de indledende analyser; særligt "Fastlæg princip" og "Vælg serviceniveau", hvor der hhv. vælges blandt de tre principper for fastsættelse af funktionskravet, og hvilke serviceniveauer, analysen skal baseres på, da begge er meget afhængige af politiske ønsker og vurderinger. Efter de indledende analyser bliver processen mere teknisk, men også mindre præget af ønsker og vurderinger. Øvelsen sker som en iterativ proces, hvorfor der kan være behov for at revurdere de opstillede serviceniveauer og dermed involvere forvaltningen og forsyningen til at opstille nye serviceniveauer i samarbejde med en rådgiver, der kan komme med input og erfaringer fra tidligere iterationer. Afslutningsvis når det optimale serviceniveau er fastlagt, inddrages forvaltningen og forsyningen for at vurdere resultatet, følsomheden heraf, og hvilke betydninger resultatet har for den fremtidige klimatilpasning i området.

Et forløb involverende forvaltning, forsyning og evt. rådgivere kunne se ud som foreslået i Figur 5, hvor der er indlagt tre workshops, hvor de involverede parter mødes og træffer beslutninger. Tidsplanen er et eksempel, eftersom forløbets varighed vil være afhængig af bl.a. projektområdets størrelse, særlige forbehold samt afsatte ressourcer. Fordelingen af aktiviteterne antages dog at være retvisende, således at der skal afsættes mere tid til hydraulik end anlæg og risikokortlægning, som kan afvikles samtidig, da anlæg ikke leverer input til risikokortlægning eller omvendt.



Figur 5 Forslag til procesforløb for de forskellige aktiviteter.

## 2.4 Teori

Nedenfor beskrives begreber, som ofte anvendes i klimatilpasningen, og hvis betydning er essentiel for den succesfulde udførelse af den samfundsøkonomiske optimering.

### 2.4.1 Risiko

Risiko kan illustreres og tolkes på mange forskellige måder, men defineres som resultatet af sandsynligheden for en konkret fare samt områdets sårbarhed og graden af eksponering. Sandsynlighed angiver, hvor ofte hændelsen (her: oversvømmelse) sker, mens sårbarhed hentyder til, hvor følsomt et område eller en værdi er. F.eks. vil et gammelt træhus, alt andet lige, være mere

sårbart end en helt ny murstensbygning i samme lokation. Graden af eksponering henviser til udbredelsen eller dybden af oversvømmelserne.

Risiko kan bl.a. udtrykkes ved et enkelt tal såsom den samlede forventede årlige omkostning til skader forårsaget af oversvømmelser (EAD). Det kan dog også illustreres visuelt via et risikokort, der illustrerer den geografiske fordeling af forventede årlige omkostninger i oplandet. Dermed kan områder med særlig høj risiko nemmere identificeres.

Risikokortlægningen er et essentielt input, når der skal identificeres projektområder til klimatilpasning. Kortet giver et overblik over, hvilke områder der er særligt udsatte for oversvømmelser og samtidig er værdifulde for samfundet. Det er derfor et effektivt værktøj til at målrette klimatilpasningen til områder, hvor omkostninger relaterede til oversvømmelser kan reduceres mest. Risikokortlægning kan forekomme i meget forskellige detaljegrader. Ofte formidles risikoen i et større område, eksempelvis 100x100 m, men risikokortlægning kan også udføres på langt mindre skala eller mere målrettet.

Mange kommuner har inden udgangen af 2013 udført en risikokortlægning jf. aftalen mellem daværende regering og Kommunernes Landsforening, der pålagde kommuner at udarbejde en klimatilpasningsplan. Det er værd at notere forskellen mellem de tidligere af staten udleverede ejendomsværdikort, der er baseret på ejendomspriser (og derfor ikke egner sig til risikoanalysen) samt inputtet til risikokortlægningen, hvor værdierne i stedet skal være baseret på omkostninger og skader relateret til oversvømmelser.

Såfremt man anskuer skaderne ved kun en enkelt oversvømmelse (én sandsynlighed), kan det betragtes som en risikoscreening, men ikke et decideret risikokort.

#### 2.4.2 EAD

EAD er et udtryk for risiko og beskriver den gennemsnitlige omkostning af oversvømmelser for samfundet per år og giver dermed et estimat for, hvor meget samfundet potentielt kan spare i skadesomkostninger ved at sikre mod oversvømmelser til en uendelig høj gentagelsesperiode. Hvis EAD er meget høj for et område i statusscenariet, er der givetvis et højere incitament til at udføre klimatilpasning end ved lavere resultater for EAD. EAD skal derudover beregnes for forskellige serviceniveauer som foreslået i Skrift 31 og beskrevet i Kapitel 2.1 og Kapitel 3.3 i denne manual ved at beregne og sammenholde EAD og investeringer for forskellige serviceniveauer, kan det samfundsøkonomisk optimale serviceniveau for regnvand på terræn findes.

Beregningen af EAD foretages i praksis ved, at man for en række sandsynligheder (gentagelsesperioder) udregner skadernes udbredelse i oplandet og dernæst integrerer op over både oplandets areal og alle sandsynligheder. Til beregningen af EAD og risikokortlægningen anvendes hydrauliske resultater samt værdikort, der angiver de økonomiske konsekvenser af en oversvømmelse. Enhedspriser til værdikort vil blive nærmere beskrevet i Afsnit 6.1. Omkostninger til klimatilpasningstiltag er ikke en del af EAD-beregningen, der udelukkende beskriver skades- og samfundsøkonomiske omkostninger.

Som beskrevet ovenfor, kan EAD leverer et samlet tal for de forventede årlige skadesomkostninger på baggrund af skadesberegningerne. Fra Skrift 31 kan EAD for et område ( $A$ ) udtrykkes matematisk ved skaderne/konsekvensen ( $D$ ) og sandsynligheden ( $p$ ):



**Figur 6** Risiko er et produkt af konsekvensen af en oversvømmelse over et antal sandsynligheder for oversvømmelse. Risikokortlægningen baseres på værdikort samt flere hydrauliske oversvømmelseskort.

$$EAD = \int_A \int_p D(p) dp dA$$

Dvs. konsekvensen integreret over et antal forskellige sandsynligheder for oversvømmelse integreret over det respektive område giver EAD. Sandsynligheden ( $p$ ) er angivet som den inverse af gentagelsesperioden ( $T$ ), dvs.:

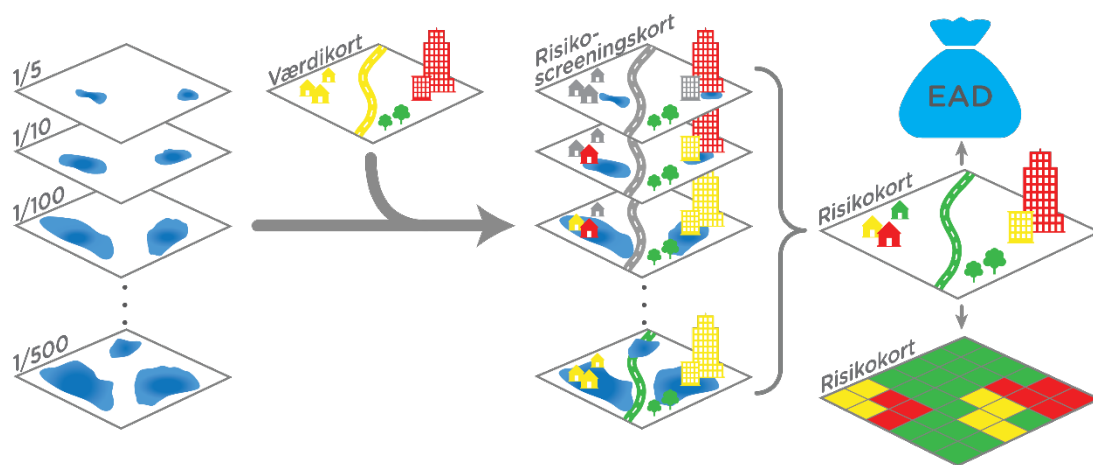
$$p = \frac{1}{T}$$

Eksempelvis er der 20 % risiko for en 5-års hændelse ( $\frac{1}{5} = 0,2$ ). I stedet for at løse dobbeltintegralet for skaden over et areal, kan den følgende tilnærmede funktion anvendes:

$$EAD = \sum \frac{D(p_n) + D(p_{n+1})}{2} \cdot (p_n - p_{n+1})$$

Løsningen interpolerer mellem beregningspunkterne i form af gentagelsesperioderne og summerer arealet under skadeskurven ved sandsynligheden for, at skaden sker.

Princippet er illustreret i Figur 7, hvor oversvømmelseskort til forskellige gentagelsesperioder sammenholdes med et værdikort og giver en række risikoscreeningskort med højest sandsynlighed øverst og lavest sandsynlighed nederst. Ud fra risikoscreeningen kan der dannes et risikokort. Summeres de årlige skadesomkostninger fra risikokortet, fås EAD for oplandet.

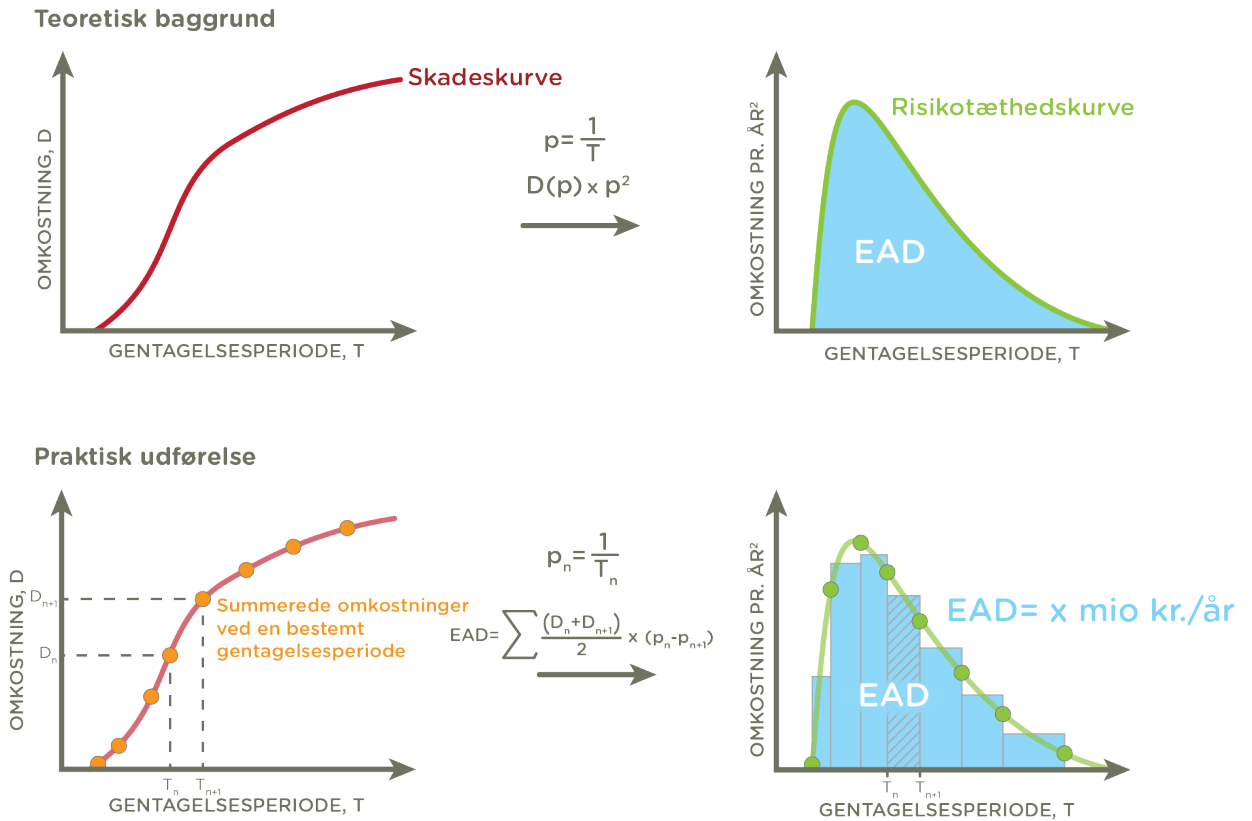


**Figur 7** En grafisk visualisering af princippet for udregning af EAD og udarbejdelsen af risikokort. På trods af store skader ved høje gentagelsesperioder, bidrager disse ikke særligt til EAD pga. den lave sandsynlighed for at hændelsen indtræffer.

EAD vil typisk beregnes for oplandet som helhed, hvor de summerede skader for hver gentagelsesperiode danner en skadeskurve med skader som funktion af gentagelsesperioden som illustreret på Figur 8. Herefter dannes en risikotæthedskurve, der giver en indikation af, hvilke gentagelsesperioder, der bidrager mest til den samlede EAD. Risikotætheden til en gentagelsesperiode fås ved følgende udregning som beskrevet i Skrift 31:

$$\text{Risikotæthed} = D(p) \cdot p^2 = \frac{D(T)}{T^2}$$

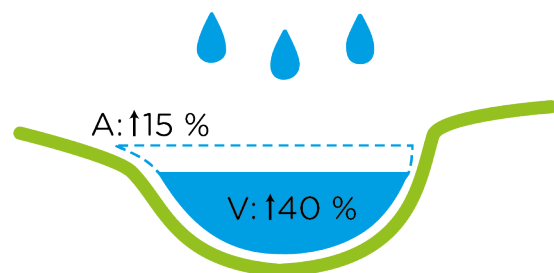
EAD er arealet under den fremkomne risikotæthedskurve.



**Figur 8** Illustration af konceptet bag beregningen af EAD som beskrevet i Skift 31, samt hvordan beregningen udføres i praksis. I praksis interpoleres arealet under risikotæthedskurven i blokke mellem de gentagelsesperioder, der foreligger resultater for. Summen af disse blokke giver EAD.

Det bedste estimat af EAD fås ved at beregne skader for en lang række gentagelsesperioder/sandsynligheder og opstille en funktion for skadeskurven, der senere kan integreres. Det kræver dog u hensigtsmæssigt store ressourcer at udføre hydrauliske beregninger for samtlige gentagelsesperioder, hvorfor der udvælges et langt færre antal gentagelsesperioder, som der efterfølgende interpoleres imellem. Der bør regnes på minimum tre forskellige gentagelsesperioder, da skadeskurven ikke udvikler sig lineært og typisk har karakteristisk af en logaritmisk kurve med hurtigt stigende skade i begyndelsen, hvorefter kurven forventes at flade ud, som gentagelsesperioden stiger.

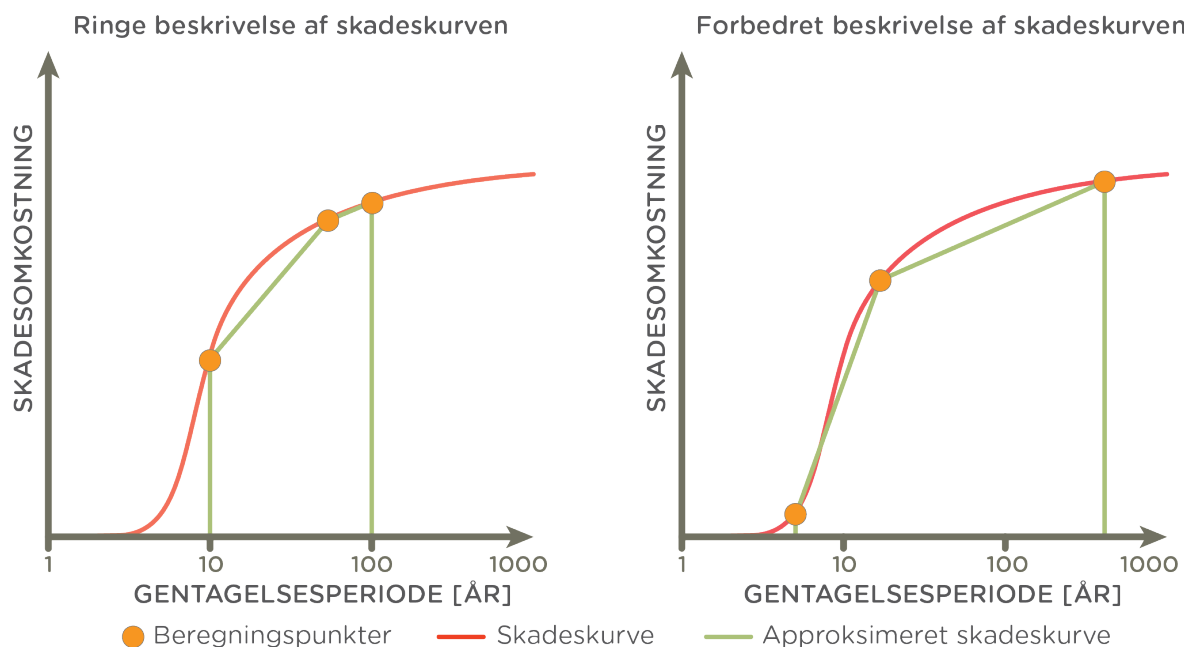
Skadeskurven vil flade ud, da udbredelsen af vandet oftest ikke vil stige lineært med højere volumen, da vand samles i lavninger grundet hældninger i terrænet (se Figur 9). Derudover er mængden af skader, der kan opstå i et opland, begrænset, hvorfor skaderne aldrig bliver uendeligt høje. Karakteristikken af skadeskurven afhænger i høj grad af oplandet, og der findes ikke generelle tal for, hvornår skader begynder, eller ved hvilken gentagelsesperiode skadeskurven flader ud.



**Figur 9** Når regnvand samles i lavninger, vil arealet af udbredelsen ikke stige lineært med volumen af vand, hvorfor en skadeskurve forventes at flade ud ved høje gentagelsesperioder. Eksempelvis kan volumen stige med 40% mens oversvømmelsens udbredelse kun stiger 15% pga. lavningens udformning.

For at få den bedste beskrivelse af en skadeskurve, bør det overvejes, hvilke gentagelsesperioder, der testes for. I Figur 10 ses to eksempler på skadeskurver. I figuren til venstre er der udvalgt to gentagelsesperioder, som ligger meget tæt på hinanden, som derfor giver en dårlig

repræsentation af skadeskurven i modsætning til figuren til højre. Hvis der f.eks. ligger enkelte anlæg eller aktiver som hospitaler eller anden vital infrastruktur i oplandet, som giver anledning til spring i skadeskurven, når disse oversvømmes, kan det overvejes, om der skal tilføjes en ekstra gentagelsesperiode for at opnå en mere retvisende beskrivelse af kurven.



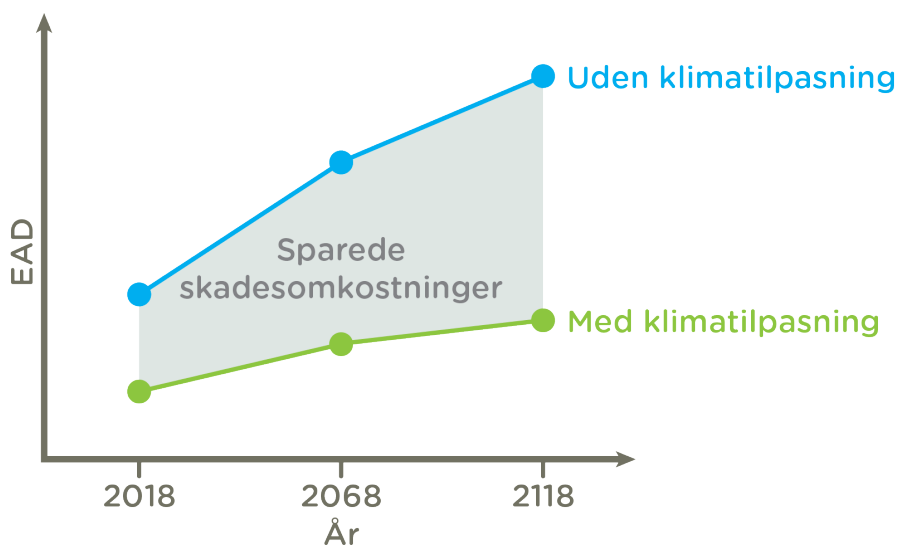
**Figur 10** Det er vigtigt at vælge et sæt gentagelsesperioder, der beskriver skadeskurven bedst muligt for oplandet. Tre forskellige gentagelsesperioder kan resultere både i en ringe og en fornuftig beskrivelse af skadeskurven afhængig af, hvilke gentagelsesperioder, der anvendes. Ligeledes giver et højere antal gentagelsesperioder ikke nødvendigvis en god beskrivelse af skadeskurven.

Processen med at finde gentagelsesperioder til beskrivelse af skadeskurven er en krævende iterativ proces og kan resultere i et højt antal hydrauliske beregninger. Det kan derfor ofte betale sig at lave en række antagelser og en analyse af risikotæthedskurven, der sammen kan begrænse antallet af hydrauliske beregninger. Ved at generere en risikotæthedskurve og inspicere denne visuelt kan der bedre udvælges repræsentative gentagelsesperioder til udvælgelsen af serviceniveauer. Beregningen af risikotætheden bør foretages på en model, hvor rørsystemet opfylder kravene fra Skrift 27. Derved tilskrives skaderne de gentagelsesperioder, som metoderne i Skrift 31 skal løse.

Til beregning af de forskellige serviceniveauer kan det normalt antages, at den første gentagelsesperiode, der inkluderes, er serviceniveauet, man sikrer til (eller hændelse lige over, såfremt man sikrer oplandet fuldstændigt, og der ikke er skader). På samme vis kan det sidste punkt oftest antages at være mellem en 100 og 200-års hændelse, hvor risikotætheden typisk er tilpas lav, til at resultatet er negligerbar i forhold til EAD.

Udover at teste forskellige gentagelsesperioder, anbefales det, at der regnes for minimum tre forskellige punkter i tiden inden for projektets forventede levetid. F.eks. kan et serviceniveau blive testet for en given regn i dag, i 2068 og i 2118. Regnens intensitet vil være den samme i de tre år, men pga. ændringer i klimatiske forhold vil sandsynligheden stige for den givne regn. Det betyder også at den udregnede EAD ændres mellem de tre punkter i tiden og betyder reelt, at EAD vil stige med tiden som vist på Figur 11. Stigningen i EAD er imidlertid væsentlig mindre når der udføres klimatilpasning af et område, hvorfor de årlige sparede skadesomkostninger stiger med tiden.





**Figur 11** EAD beregnes for f.eks. tre punkter i tiden, hvor EAD typisk stiger pga. klimaændringer. EAD vil dog normalt stige væsentlig mindre hvis oplandet klimatilpasses, hvorved der opnås en større besparelse på skadesomkostninger i fremtiden. Sparede skadesomkostninger vurderes i forbindelse med en vurdering af nettogevinsten ved klimatilpasning, men er ikke en del af den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse af serviceniveauet.

#### 2.4.3 Merværdier

Merværdier dækker over de gevinster, der opstår i samfundet ved klimatilpasning f.eks. forbedret bymiljø, øgede ejendomsværdier, flere rekreative områder, øget trafikikkerhed og undgåede personskader. I Skrift 31 lægges der op til, at merværdier kan inkluderes, såfremt det er muligt at prissætte dem, men de kan også udelades.

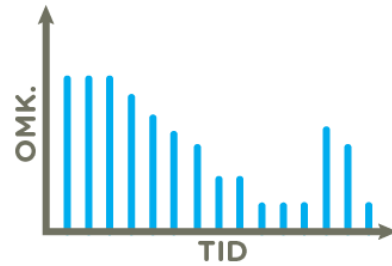
Merværdier og metoden for at inkludere disse er i øjeblikket et centralt emne, der kortlægges og vurderes i flere projekter og i forskningen. Kvantificeringen af merværdierne er forbundet med høje usikkerheder og variation, hvorfor der ofte er en skeptisk tilgang til at inkludere merværdier i den samlede samfundsøkonomiske optimeringsanalyse. Det er imidlertid en kendsgerning, at merværdier kan skabes (og vil opstå) med få ekstra midler, såfremt et projekt for håndtering af regnvand på terræn allerede er besluttet. Derfor vil inkluderingen af merværdier give et mere retvisende helhedsbillede af de samlede effekter af et klimatilpasningsprojekt.

Merværdier kan ligesom EAD kortlægges i en GIS-analyse. I dette forløb er det vigtigt at definere, hvornår merværdier har en effekt, ligesom det for skader bør defineres, hvornår en værdi er oversvømmet. Såfremt der anlægges en park til at håndtere regnvand i et område, der tidligere har været præget af oversvømmelser, vil dette f.eks. føre til højere ejendomsværdier samt øget tryghed for borgerne. Skellet hvorimellem disse to indtræffer vil dog ikke nødvendigvis være det samme, idet ejendomspriserne muligvis kun vil stige for borgere med udsyn til parken, mens tryghed vil øges for hele området, hvor oversvømmelserne mindskes. Der findes endnu ingen klare definitioner for merværdier, men som øvelsen modnes, forventes vidensniveauet for merværdier at stige, og det vil derfor være fordelagtigt altid at søge den nyeste viden inden for merværdier.

#### 2.4.4 Pengestrøm

En pengestrøm opstiller tiltag og gevinster for hvert år i projektperioden. Dette gøres for, at kunne tilbagediskontere fremtidige tiltag og gevinster og beregne nutidsværdien.

Figur 12 viser et eksempel på en pengestrøm, hvor der i starten implementeres mange nye tiltag. Efter et par år implementeres der stadig nye tiltag, men ikke lige så mange som i starten og efter yderligere nogle år, er der kun en fast drift. I de sidste par år (i figuren) er der behov for reinvesteringer, hvorfor omkostningerne stiger endnu engang for en kortere periode. Tabel 1 viser et eksempel på en pengestrøm.



**Figur 12** Eksempel på en pengestrøm over omkostninger til tiltag (anlægs- og driftsomkostninger inklusiv reinvesteringer).

**Tabel 1** Eksempel på en pengestrøm, hvor der regnes på tre forskellige serviceniveauer. For klimatilpasningsprojekter regnes der som nævnt tidligere typisk med en tidshorizont på 100 år, og pengestrømmen skal derfor være udfyldt 100 år frem fra planlægningsfasen.

Tiltag (mio. kr.)	2020	2021	2022	2023	2024	2025
<b>Investering, drift og reinv.</b>						
S1	-100	-100	-100	-100	-100	-80
S2	-150	-150	-150	-150	-150	-110
S3	-180	-180	-180	-180	-180	-120

#### 2.4.5 Nutidsværdi

Klimatilpasningsprojekter er som mange andre infrastrukturprojekter kendetegnet ved at have store initiale omkostninger i forbindelse med investeringen i projektet, mens de gevinsterne af sparede skadesomkostninger og evt. merværdier er spredt over en fremtidig periode.

Pengestrømme, der er tidsmæssigt adskilt, kan ikke umiddelbart lægges sammen. Derfor tilbagediskonteres fremtidige omkostninger og gevinster, hvorved værdien af disse i dag kan opgøres. Diskonteringen anvendes til at opgøre fremtidige omkostninger og gevinster i nutidskroner og er dermed bestemmende for, hvordan fremtiden vægtes i forhold til nutiden. Finansministeriet (2017) har udgivet en vejledning, hvori de anbefaler en faldende realdiskonteringsrente for projekter i Danmark fra 4 % for år 0-35, 3 % for år 36-70 og 2 % for år 71 og over.

Nutidsværdier (NV) beregnes for at kunne sammenligne serviceniveauernes omkostninger på et fælles grundlag, dvs. de samlede værdier ved et givent år (f.eks. anlægsåret).

NV for omkostningskategori  $i$  beregnes ved følgende formel:

$$NV_i = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Hvor  $CF_t$  er pengestrømmen af f.eks. sparede skadesomkostninger i år  $t$ , og  $r$  er diskonteringsrenten. Som det ses af formlen, afhænger nutidsværdien udover størrelsen af periodens pengestrøm også af den diskonteringsrente( $r$ ), der vælges.

Ved beregning af nettonutidsværdi (NNV) sammenholdes omkostninger til tiltag med gevinsterne ved klimatilpasning:

$$NNV_{projekt} = NV_{gevinster} - NV_{vedligehold og drift} - CF_{anlægsomkostninger}$$

hvor  $CF_{anlægsomkostninger}$  er den initiale investeringssum.



### 3. INDLEDENDE ANALYSER

I dette afsnit gennemgås planlægningsprocessen, hvor analysen defineres og afgrænses i henhold til metoderne i Skrift 31. Ud fra vurderinger og overvejelser om en række parametre, vælges et princip for fastlæggelsen af serviceniveauet for regnvand på terræn, hvorefter der fastsættes nogle indledende funktionskrav og serviceniveauer. I det princippet angiver den geografiske afgrænsning for serviceniveauet, angiver det også området, hvorpå den samfundsøkonomiske analyse skal udføres. Fra Skrift 31 defineres funktionskrav som en kombination af en veldefineret kritisk kote og en mindste gentagelsesperiode for opstuvning til dette niveau.

#### 3.1 Beskrivelse af principper



Skrift 31 beskæftiger sig med tre forskellige principper for fastlæggelse af serviceniveau for regnvand på terræn.

De tre principper er i Skrift 31 formuleret som følger:

- |   |  |
|---|--|
|   | <p>1. Funktionskrav fastsættes for kommunen som helhed som en maksimal skadesvoldene vanddybde på terræn, der kun må overskrides med en generel fastsat gentagelsesperiode.</p>  |
|  | <p>2. Funktionskrav fastsættes differentieret på arealanvendelsen i kommunen, som maksimale vanddybder på terræn, der kun må overskrides med fastsatte gentagelsesperioder.</p>  |
|  | <p>3. Funktionskrav fastsættes i hvert delområde for sig i kommunen som skadesvoldene vanddybder på terræn, der kun må overskrides med en lokalt fastsat gentagelsesperiode.</p> |

I det følgende beskrives hvert princip med eksempler på funktionskrav opstillet i Afsnit 3.3.

##### 3.1.1 Princip 1: Kommunen som helhed

Princip 1 anvender et fælles serviceniveau for hele kommunen. Dette princip er mest hensigtsmæssigt at anvende såfremt oplandet i kommunen er homogent, og vidensniveauet er lavt for de enkelte deloplande i kommunen. Princippet kan også anvendes i forbindelse med indledende screening af serviceniveauet, hvorefter der senere kan suppleres med f.eks. serviceniveauer på nogle deloplande. Ved at vælge et generelt serviceniveau i kommunen vil risikoen variere mellem deloplande afhængig af områdets værdi, mens serviceniveauet er det samme for alle borgere.

Fordelen ved at fastlægge et serviceniveau på kommunalt niveau er, at selve analysen kun skal foretages én gang. Metoden kan ligeledes være fordelagtig, hvis vidensniveauet for kommunens geografiske struktur er relativt lavt. Ved at anvende dette princip er der dog en høj risiko for at investeringer foretages i områder, hvor værdien af projektet i realiteten er lav. Omvendt kan der også ske en underinvestering i andre områder af kommunen. Det generelle serviceniveau

forventes imidlertid at blive forbedret, og i alle tilfælde kan der laves undtagelser for særligt kritiske områder, såfremt det er nødvendigt.

### 3.1.2 Princip 2: Arealanvendelse i kommunen

Det andet princip differentierer mellem arealanvendelser som f.eks. boligområder, industri, parker, veje og kritisk infrastruktur herunder hospitaler og lufthavne. Denne metode giver en langt mere nuanceret vurdering af risikoen og ved hjælp af de forskellige serviceniveauer kan indsatsen målrettes arealer med høj risiko. Denne metode kræver et langt højere vidensniveau om området, før risikoen forbundet med hver arealtype kan vurderes.

Fordelen ved at fastlægge serviceniveau efter arealanvendelsen er, at der kan tages højde for særlig kritisk infrastruktur. Ulempen er, at denne metode kan være mere omfangsrig og ressourcetrævende end princip 1, afhængig af hvor mange forskellige arealer, der defineres.

### 3.1.3 Princip 3: Deloplandsniveau

I Princip 3 fastsættes serviceniveauet på deloplandsniveau. Ved et delopland forstås f.eks. et opland, der er opdelt ud fra afløbssystemets vandskel. En høj detaljegrad i afløbssystemets deloplande kan gøre det fordelagtigt at sammenlægge to eller flere deloplande i en analyse, såfremt disse er relativt homogene, men som udgangspunkt fastlægges der et serviceniveau per delopland, og metoden kræver generelt et højt vidensniveau for oplandet.

Fordelen ved at fastlægge serviceniveau på deloplandsniveau i kommunen er, at metoden kan tage højde for særlige områder og lokalplaner i kommunen, som af given årsag ønskes prioriteret. Anlægs mæssigt kan det også være fordelagtigt, at en eventuel ændring af serviceniveauet kan ske område for område. Ulempen ved dette princip er, ligesom princip 2, at analysearbejdet kan være meget omfangsrigt og ressourcetrævende.

## 3.2 Vurdering af princip

Valget af hvilket princip, der skal anvendes til fastsættelse af et serviceniveau for regnvand på terræn, bør foretages i et samarbejde mellem kommune og forsyning, således at begge parter er opmærksomme på gensidige prioriteter, krav og problemstillinger. Før der vælges et princip for fastlæggelsen af serviceniveau for regnvand på terræn er det nødvendigt at evaluere, hvilket af de tre principper, der er mest hensigtsmæssigt i forhold til de tekniske og politiske ønsker, der kan være stillet på forhånd. Såfremt der allerede foreligger krav fra kommunen, forsyningen eller gældende lovgivning, der direkte eller indirekte fastsætter et serviceniveau, kan den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse være unødvendig.

Som kommune og forsyning kan det være fordelagtigt at have for øje, om der er andre problemer, der ønskes indtænkt i klimatilpasningstiltagene. En strategi-, investerings- og/eller projektplan med planlagte projekter i forsyningsområdet kan anvendes som et udgangspunkt til at vurdere, hvor der med en yderligere investering kan klimatilpasses. Ligeledes kan kommunen også bidrage med input til forsyningen om områder, hvor risikoen for oversvømmelser er højere end, hvad der betragtes som acceptabelt. Efter at have identificeret nogle interesseområder, vurderes, om alle de tre principper er praktisk anvendelige til at løse problemerne i interesseområderne. Såfremt alle tre principper stadig er anvendelige, er der en række parametre, der kan danne baggrund for valg af princip. I de følgende afsnit er listet en række eksempler på parametre, som kan bruges til at vurdere de tre principper. Mens enkelte parametre kan tale for eller imod en eller flere af principperne, er det vigtigt at pointere, at alle parametrene bør overvejes af beslutningstagerne i en samlet vurdering, som sandsynligvis ikke vil pege entydigt mod ét princip. Vurderingen af parametrene kan imidlertid danne grundlag for en velovervejet beslutning.

### 3.2.1 Karakteristik af området

Nogle kommuner har særlige forhold eller en karakteristisk, der er nødvendig at tage hensyn til i klimatilpasningen. Hvis terrænet f.eks. er meget ujævnt, således at større vandmængder fra

højtliggende områder altid vil løbe til lavtliggende, udsatte områder, bør dette inddrages i beslutningsprocessen. Fordelingen af kommunens erhverv kan også have betydning. Er der f.eks. mange små erhvervsvirksomheder fordelt udover kommunen, eller findes der større industrielle kvarterer, som ligger samlet?

Størstedelen af landets kommuner dækker både by og landområder, og et serviceniveau fastsat på kommuneniveau (Princip 1) vil i så fald medvirke til samme serviceniveau på markområder som i byer, hvilket sjældent er hensigtsmæssigt i et investeringsperspektiv. I nogle tilfælde, er kommunernes fordeling af arealtyper mere homogen, hvorved et fælles serviceniveau for kommunen bedre kan berettiges.

En heterogen kommune med karakteristiske områder egner sig ikke godt til at fastsætte et generelt serviceniveau på kommunal skala. Dette vil give en stor og uensartet variation af risikoen mellem delområderne. Heterogene områder taler mere for princippet om arealanvendelse eller om deloplande.

### 3.2.2 Politiske ønsker

Der kan foreligge politiske ønsker om, at borgere i et område skal have et bestemt serviceniveau. Dette kan f.eks. ske, hvis kommunen sammenligner sig med en (nabo)kommune, som har fastlagt et serviceniveau, og man derfor ønsker at yde samme service til egne borgere. Eller der kan foreligge et ønske om, at borgerne skal opleve ensartet sikring for pengene versus mest sikring for pengene. Ofte kan politikere også have ønsker til sikringen af vigtig infrastruktur som f.eks. hospitaler, elforsyning, institutioner o. lign. Afhængig af hvad ønskerne er fra politisk side, kan det være afgørende for hvilket princip, der er det optimale.

### 3.2.3 Acceptabel risiko

Udover politiske ønsker bør der også være en generel overvejelse blandt involverede parter om begrebet acceptabel risiko. Er det f.eks. acceptabelt, at borgere bosat nær et hospital oplever et bedre serviceniveau end andetsteds? Eller er det hensigtsmæssigt, at borgere oplever forskellige serviceniveauer alene pga. placeringen af deres hus? Omvendt, vil det være acceptabelt, at hospitaler eller institutioner oversvømmes lidt oftere, så længe der ydes samme service til hele kommunen? Der kan også gøres overvejelser omkring, hvor stort et ansvar borgerne selv har. Hvis en tilflytter vælger at bygge et hus i et historisk oversvømmet område, skal borgeren så opleve samme serviceniveau som eksisterende byggeri i kommunen, eller er sikring borgerens eget ansvar? Den acceptable risiko er en subjektiv vurdering og varierer normalt mellem eksempelvis kommunen, virksomheden og borgeren, hvis hus bliver oversvømmet. Risikoen for oversvømmelse efter den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse stemmer derfor ikke nødvendigvis overens med borgernes, kommunens eller forsyningens vurdering af, hvad der er en acceptabel risiko.

### 3.2.4 Udviklingsplaner, lokalplaner og infrastrukturprojekter

Fremtidige planer og projekter for kommunen kan også have betydning for hvilket princip, der er det mest fordelagtige. Hvis der for kommunen foreligger kommuneplaner, udviklingsplaner, lokalplaner eller større infrastrukturprojekter, der skal tages hensyn til, bør dette overvejes i beslutningsprocessen. Større infrastrukturprojekter kan tale for et serviceniveau fordelt på deloplande, således at der ydes samme service omkring hele projektet. Princippet om arealanvendelse kan også i et vist omfang tage højde for diverse lokalplaner afhængig af omfanget af disse planer, mens et serviceniveau på kommunalt niveau ofte vil overse eller i hvert fald have svært ved at inddrage planerne. Såfremt klimasikring også indtænkes i planlagte projekter fra starten, kan der ofte opnås en højere sikring for færre penge, og det er dermed muligt at opnå et højere serviceniveau sammenlignet med tilpasning af eksisterende anlæg.

### 3.2.5 Miljømæssige forhold

I oplandet kan der være beskyttede naturområder, sårbare recipienter eller kraftige forureningskilder, der kan have betydning i valget af princip. Hvis det f.eks. ikke ønskes, at regnvand strømmer på terræn til en sårbar recipient, kan det være nødvendigt at fastsætte et serviceniveau på baggrund af arealanvendelsen eller delområde, da disse i højere grad kan tage højde for sådanne lokale krav.

### 3.2.6 Kritisk infrastruktur

Kritisk infrastruktur dækker over systemer, der er vitale for at opretholde de samfundsmæssige funktioner, herunder f.eks. kraftværker og transformerstationer, hospitaler, jernbaner og metro, lufthavne og vanddistributionssystemer. Som nævnt i Afsnit 3.2.2 kan der være politiske ønsker at tage højde for. Det kan også være, at forsyningsselskabet eller borgerne ønsker sikring af særlig infrastruktur. Såfremt kritisk infrastruktur skal prioriteres, vil et serviceniveau fastlagt på arealanvendelse eller deloplandsniveau være mere fordelagtigt end på kommunalt niveau.

### 3.2.7 Kulturelle værdier


Kulturelle og historiske værdier forekommer ofte i byerne i form af monumenter, domkirker, slotte samt andre historiske bygninger og bevaringsværdige ejendomme. De historiske værdier er ofte svære at prissætte, men en generel antagelse er, at værdien er meget høj, hvorfor det typisk ønskes at sikre de historiske værdier fuldstændigt mod oversvømmelser. Ligesom med kritisk infrastruktur vil et serviceniveau fastlagt på arealanvendelse eller deloplandsniveau være mere fordelagtigt for historiske værdier end på kommunalt niveau.

## 3.3 Fastlæggelse af princip og funktionskrav

Ovennævnte punkter er essentielle at vurdere forud for at vælge et princip for fastlæggelsen af serviceniveau for regnvand på terræn i en kommune. Som beskrevet tidligere (Afsnit 2.3) kan der f.eks. afholdes en workshop, hvor forvaltning, forsyning og evt. rådgivere mødes for at tale om særlige ønsker og/eller forbehold ud fra ovenstående parametre, således at der tages højde for disse, og beslutningen om princip træffes på et oplyst grundlag blandt de involverede parter.

I forbindelse med vedtagelsen af det mest hensigtsmæssige princip for kommunen, formuleres også nogle indledende funktionskrav ud fra hvilke, serviceniveauet optimeres. De indledende funktionskrav anvendes til at afgrænse omfanget af den samfundsøkonomiske optimering, mens de endelige funktionskrav og serviceniveau findes ved resultatet fra den samfundsøkonomiske optimering. Eksempler på funktionskrav inden for Princip 1 kan være:

---




Der tillades maksimalt 10 cm vanddybde på terræn hvert 100. år i kommunen

---

Eksempler på funktionskrav inden for Princip 2 kan være:

---



Der tillades ikke vand oftere end hvert 100. år omkring hospitaler og kulturarv

Der tillades maksimalt 10 cm vanddybde på terræn hvert 100. i boligområder

Der tillades maksimalt 25 cm vanddybde på terræn hvert 100. år i parker og på veje

---

Eksempler inden for Princip 3 kan være:



Der tillades maksimalt 10 cm vanddybde på terræn hvert 100. år i delopland A



Der tillades maksimalt 5 cm vanddybde på terræn hvert 100. år i delopland B

Funktionskrav kan dermed både variere ift. vanddybden og gentagelsesperioden. Dette gør øvelsen meget omfattende, idet der kræves talrige forskellige modeller og serviceniveauer for at optimere vanddybden samtidig med gentagelsesperioden. Det anbefales derfor, at funktionskravene tager udgangspunkt i en erfaringsbaseret eller politisk besluttet vanddybde, der kan variere på forskellige arealtyper. Med mål for de accepterede vanddybder på terræn, formuleres der funktionskrav til minimum tre gentagelsesperioder (se Afsnit 4.2 for udvælgelse af gentagelsesperioder). Funktionskravene til hver gentagelsesperiode udgør et indledende serviceniveau, der skal overholdes.

Ved formulering af funktionskrav er det vigtigt at fastlægge, om funktionskravene skal gælde til matrikelskel eller bygningssockel, da det har stor betydning for de hydrauliske modelleringer og serviceniveauernes formulering. På tidspunktet for manualens udførelse foreligger der ikke nogen lovgivning om, hvorvidt regnvand på matrikler skal håndteres af forsyningen eller af matrikel-ejerne.

Når et hensigtsmæssigt princip er valgt, og indledende funktionskrav og serviceniveauer herefter er fastlagt, kan der indsamles input til en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse. Kapitel 4, 5 og 6 beskriver de nødvendige input.



## 4. HYDRAULIK

I forbindelse med udførelsen af en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse til fastsættelse af serviceniveau, kræves en række hydrauliske input. Som minimum kræves følgende input:



- Eksisterende og planlagt kloaksystem (med eventuelle terrænmodifikationer)
- Oversvømmelseskort til status for tre forskellige punkter i tiden, f.eks. i 2018, 2068 og 2118
- Oversvømmelseskort ved forskellige gentagelsesperioder til minimum tre forskellige serviceniveauer testet forskellige tidspunkter i tiden.

Hydrauliske beregninger anvendes til at give det bedst mulige estimat på vandets bevægelser og påvirkninger i et område. Der opstilles en detaljeret model over oplandet for det eksisterende system, således at de forskellige serviceniveauer med klimatilpasningstiltag kan implementeres og testes i modellen. Det er nødvendigt at opstille en model for hvert serviceniveau, der testes for.

### 4.1 Modeltype

Når der er tale om input til skadesberegninger, bør den hydrauliske model ifølge Skrift 31 som minimum være en kombineret afløbs- og overflademodel (1D-1D). I en 1D-1D afløbsmodel vises risikozonerne, og der gives en indikation på opstuvningsmængder og -niveau. En 1D-1D model giver til gengæld ikke strømningshastigheder og bevægelsesveje på terræn. I stedet kan en kombineret hydrodynamisk afløbs- og 2D overflademodel anvendes (1D-2D). Denne modeltype medtager strømningshastigheder og bevægelsesveje på overfladen og giver derudover et bedre estimat af vanddybden på terræn end 1D-1D modellen. Den mest detaljerede mulighed er en simulering af det samlede system i en kombination af 1D-, 2D- og 3D-modeller. Variationer af disse kan ydermere inkludere f.eks. grundvandszonen, vandløb og havet. Dette vil give det samlede overblik over afstrømningsforholdene i byerne, men er meget komplekst at evaluere pga. blandt andet de kombinerede sandsynligheder og usikkerheder.

Det er vigtigt at få kortlagt formålet med den hydrauliske modellering, når typen af model vælges, da der kan være mange ressourcer at spare fra én type model til en anden. Såfremt formålet er detaljerede beredskabsplaner, vil en 1D-2D model som minimum være påkrævet. Hvis præcision er mindre vigtig, kan en 1D-1D model være tilstrækkelig i eksempelvis en indledende beregning. Såfremt beregningstimer er en begrænsende faktor, kan der være mange timer at spare under modelopsætning og beregningstid, hvis man vælger en 1D-1D model.

Figur 13 viser, styrker og svagheder af modeltyperne vurderet i fire forskellige kategorier; opsætning vurderes på kompleksitet og tid, beregningstimer vurderes på tid, præcision af resultater vurderes på usikkerheder, og anvendelsesmuligheder vurderes på anvendeligheden af resultaterne.

	1D-1D	1D-2D	1D-2D-3D
Opsætning af model	●	●	●
Beregningstimer	●	●	●
Præcision af resultater	●	●	●
Anvendelsesmuligheder	●	●	●

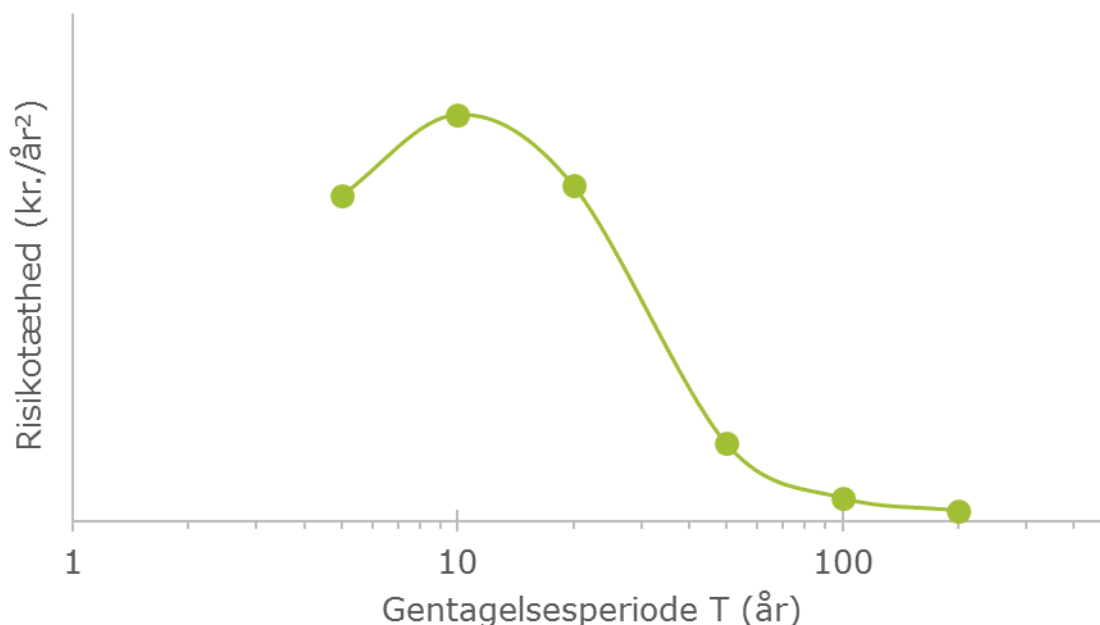
**Figur 13** Styrker og svagheder ved forskellige modeltyper, hvor rød, gul og grøn farvelægning indikerer om modeltypen er hhv. svag, middel eller stærk på de enkelte parametre.

Afhængig af projektets økonomi og geografiske størrelse, vælges oftest mellem 1D-1D og 1D-2D modeller grundet den brede erfaring med opsætning og tolkning af begge typer modeller. 1D-2D-3D koblede anvendes sjældent i praksis, men separate 3D fluiddynamiske modeller (CFD-modeller) anvendes i nogle tilfælde til at verificere resultater af komplekse overløbsbygværker eller lavninger i 1D-1D eller 1D-2D modellerne.

#### 4.2 Proces for hydrauliske beregninger

Når den foretrukne type hydrauliske model er valgt, opstilles (eller importeres) en model for det eksisterende system. For at fastlægge de gentagelsesperioder, der bidrager mest til den samlede risiko og dermed formulere indledende funktionskrav, kan det være fordelagtigt at lave nogle indledende beregninger på en statusmodel, evt. hvor modellen er opdateret til at følge dimensioneringskravene fra Skrift 27, og generere en risikotæthedskurve for oplandet.

Figur 14 viser et eksempel for risikotætheden i et område, hvor der er testet for en 5-, 10-, 20-, 50- og 100-års regn og derefter interpoleret imellem punkterne. Grafen viser, at skaderne omkring en 10-års regn i dette opland bidrager mest til de forventede årlige omkostninger. Ud fra risikotæthedskurven alene kan der ikke fastsættes et serviceniveau, siden det optimale serviceniveau i høj grad afhænger af de nødvendige investerings- og driftsomkostninger. Ud fra en visuel inspektion af kurven vurderes i stedet kvalitativt, at det optimale serviceniveau formentlig findes mellem en 20-60 års hændelse, og serviceniveauerne til den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse kan tage udgangspunkt i disse to, og en eller flere gentagelsesperioder imellem. Trods risikotæthedskurvens manglende entydighed, er det en af de få værktøjer, som kan give et input til valg af gentagelsesperioder for de opstillede serviceniveauer.



**Figur 14** Eksempel på en risikotæthedskurve. I dette eksempel bidrager skader, der sker, ved en 10-års regn mest til de forventede årlige omkostninger.

Baseret på risikotæthedskurven udvælges der minimum tre forskellige gentagelsesperioder, der repræsenterer de serviceniveauer, som ønskes testet inden for de valgte funktionskrav. Da man oftest planlægger til fremtidige forhold, bør disse gentagelsesperioder fremskrives til årstallet, der planlægges til ved brug af klimafaktorer fra Spildevandskomiteens Skrift 29 og Skrift 30. En 10-, 30- og 50-års regn i dag vil f.eks. svare til ca. en 5-, 11- og 19-års regn i år 2118, og ud fra ovenstående eksempel kan man derfor vælge at lave modeller, der sikrer til minimum tre serviceniveauer i 2118 (S1, S2 og S3).

Herfra bliver processen omkring de hydrauliske beregninger iterativ, indtil hver af de tre hydrauliske modeller netop opfylder det respektive serviceniveau. De valgte, fremskrevne

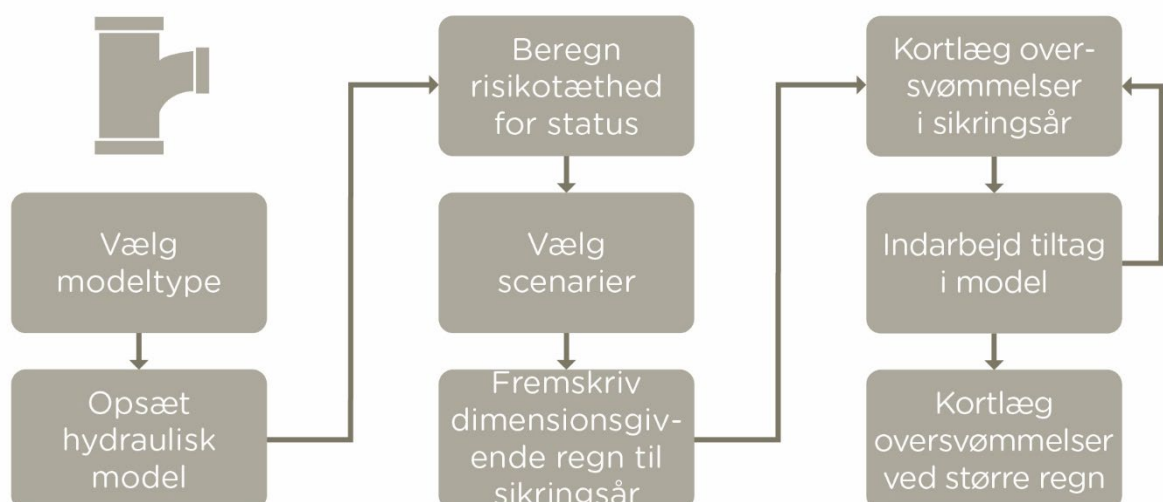
gentagelsesperioder testes i det eksisterende system, således at oversvømmede områder kan udpeges. Herefter implementeres tilpasningstiltag, der afhjælper oversvømmelserne i områder med høj risiko, hvorefter modellen køres igen (se Afsnit 5.1 for udvikling af tiltag). Nye tilpasningstiltag vil typisk inkludere løsninger både over og under terræn. Sikring til en højere gentagelsesperiode vil generelt kræve flere eller mere omfattende tiltag. Denne proces gentages indtil, der ikke længere ligger skadevoldende regnvand på terræn ved den dimensionsgivende regn for serviceniveauet. Det er vigtigt at have for øje, at tiltagene er bygbare og overholder eventuelle politiske ønsker og/eller lovgivning.

Når de hydrauliske modeller opfylder serviceniveauerne, skal der køres beregninger for regn større end det dimensionsgivende niveau, da disse skal bruges til at estimere forventede årlige skader. Eksempelvis kan man sikre området til en 19-års hændelse i 2118, og man indarbejder derfor tiltag i den eksisterende model, således at der ikke ligger skadevoldende regnvand på terræn ved en 19-års regn. Herefter tester man modellerne for eksempelvis en 20-års regn, en 30-års regn og en 50-års regn i år 2118.

Det er vigtigt at pointere, at resultatet for årlige forventede omkostninger er meget sensitivt for værdier ved lave gentagelsesperioder. Skader, der fremkommer ved lavere gentagelsesperioder, har stor betydning for de forventede årlige omkostninger, da sandsynlighederne for skaderne er meget højere. En årlig skade på 5.000 kr. giver over en 100-årig tidshorizont totale skader for 500.000 kr., mens en skade til 100.000 kr., der kun sker hver 100. år, kun giver 100.000 kr. i totale skader. Det er derfor vigtigere at vælge gentagelsesperioder, der ligger tættere ved de lavere hændelser end ved de højere for at få en bedre beskrivelse af skadeskurven (se Afsnit 2.4.2).

For klimatilpasningsprojekter regnes der typisk med en levetid på 100 år, hvorfor det er nødvendigt at beregne udviklingen af EAD over tid pga. ændringer i regnintensiteter. Udover at modellere oversvømmelser for det fremtidige planlægningsår (f.eks. 2118), er det derfor fordelagtigt at modellere oversvømmelser for indeværende år samt et tredje punkt mellem indeværende år og 2118. Oversvømmelseskortene anvendes til udregningen af forventede årlige omkostninger som beskrevet i Kapitel 6.

Den hydrauliske proces kan ses i Figur 15.



**Figur 15** Processen for kortlægningen af oversvømmelser. Indarbejdningen af tiltag er en iterativ proces, hvor der efter hver ændring i modellen, kontrolleres for overholdelse af serviceniveauet.

## 5. ANLÆG

I forbindelse med den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse skal omkostningerne til tiltag estimeres. Udarbejdelsen af tiltag og prissætningen heraf beskrives nedenfor. Som input til optimeringsanalysen er følgende input nødvendige:

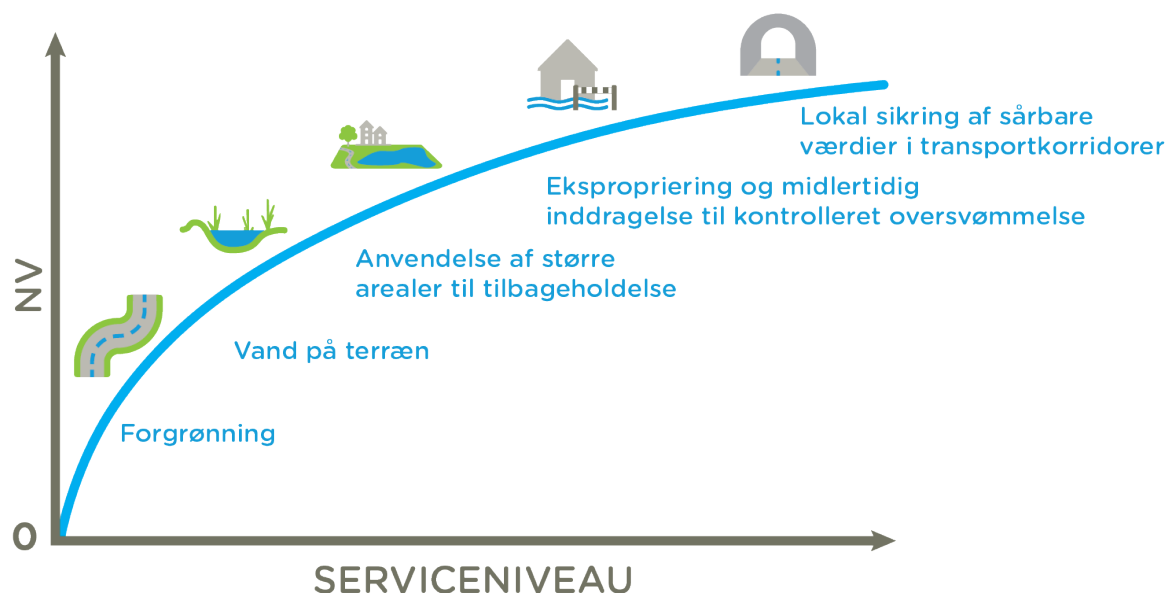


- Anlægspriser for nye tiltag
- Omkostninger til løbende drift af nye tiltag
- Reinvesteringer til nye tiltag

### 5.1 Udvikling af tiltag

I forbindelse med udviklingen af højere serviceniveauer skal der indarbejdes tiltag i statusscenariet, der højner servicen til det respektive niveau. Denne proces bør forløbe som et integreret planlægningsforløb mellem landskabsarkitekter, hydraulikere, byplanlæggere og andre interessenter, der sammen udtænker en plan for, hvorledes vand kan håndteres på og i terræn. Det foreslås, at hydraulikere som udgangspunkt undersøger det terrænmæssige volumenpotentiale, hvorefter landskabsarkitekter, byplanlæggere m.fl. kan designe nye planer for klimatilpasning i et løbende samarbejde med hydraulikerne.

Planer bør udarbejdes ud fra en gennemgang af terrænmæssige og politiske muligheder og udfordringer i oplandet. Jo højere ønsket serviceniveau des mere kreativitet og fleksibilitet kræves det i de anvendte greb. Greb forstås som de overordnede strategier for planlægningen, f.eks. at grønne områder og veje gerne må anvendes til tilbageholdelse af vand. Grebene har direkte indflydelse på (og kan være afgørende for) det endelige serviceniveau, idet højere serviceniveauer oftest kun kan opnås ved øget kreativitet og fleksibilitet. F.eks. kan forgrønning af områder og tilbageholdelse i parker kun sikre op til et vist niveau. Hvis der ønskes et højt serviceniveau kan der være situationer, hvor ekspropriering f.eks. vil være nødvendigt. Figur 16 viser forslag på, hvilke greb der kan anvendes, jo højere serviceniveau der ønskes, sammenholdt med tiltagsomkostningerne hertil. Omkostninger til forgrønning og vand på terræn er typisk ikke særlig høje i modsætning til omkostninger til ekspropriering eller lokal sikring af transportkorridorer som tunneler.



**Figur 16** Højere serviceniveau kræver mere fleksible og kreative greb, som bliver dyrere i tiltagsomkostninger jo mere omfangsrigt

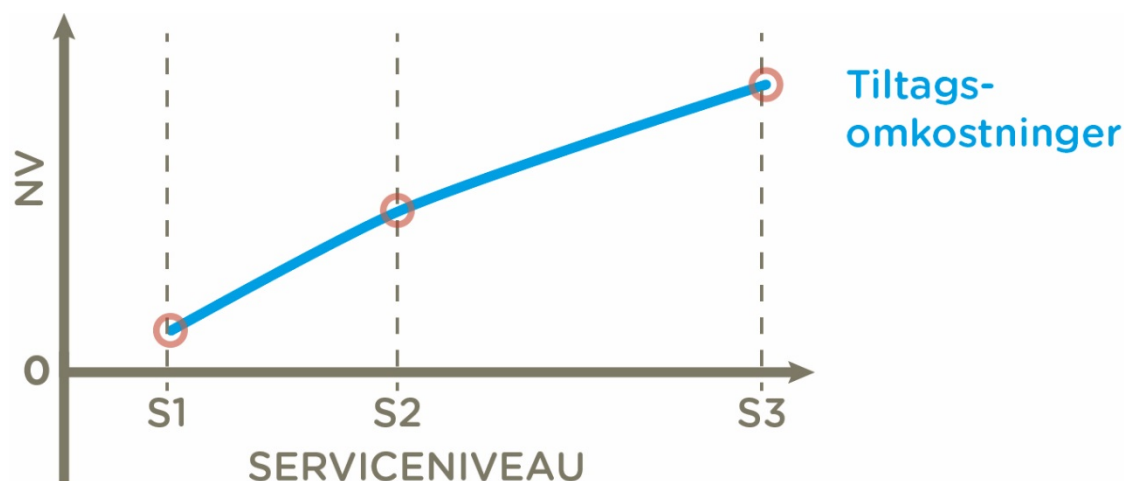
Når den kreative proces er godkendt af interessenter, og funktionskravene for de respektive serviceniveauer overholdes, kan omkostningerne til de implementerede tiltag udregnes.

## 5.2 Proces for tiltagsberegninger

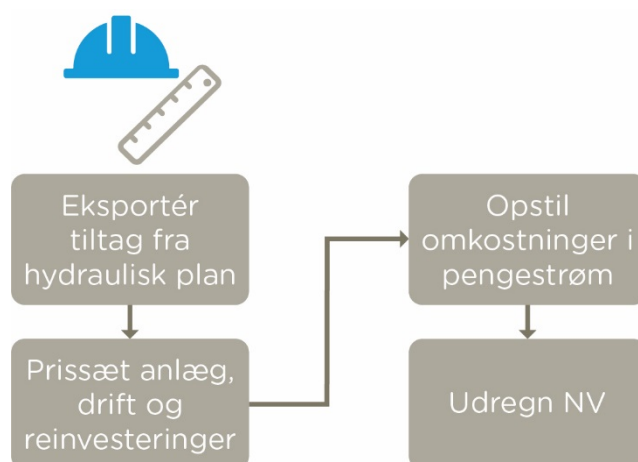
Tiltagsomkostninger estimeres typisk ved hjælp af prisestimer fra lignende projekter i sammenlignelige områder og/eller ved estimer fra entreprenører. Det er vigtigt at pointere at disse omkostninger *ikke* inkluderer almindelige tiltag, drift eller reinvesteringer af det eksisterende system. Tiltagsomkostninger bør kun inkludere omkostningerne, der ikke er dækket af dimensioneringspraksis fra Skrift 27.

Ved estimering bør det overvejes, hvornår og hvor ofte investeringerne og eventuelle reinvesteringer skal ske. Alle tiltagsomkostninger for hvert serviceniveau skal opstilles i en pengestrøm. Dvs. såfremt der testes for tre forskellige serviceniveauer (S1, S2 og S3), vil der være tre forskellige pengestrømme for tiltagsomkostninger (se Afsnit 2.4.4).

Resultatet af tre pengestrømme vil være tre forskellige NV'er. Disse tre beløb udgør de tre punkter på kurven, der skal udgøre en del af den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse (se Figur 17). Processen for at udregne NV til et serviceniveau ses i Figur 18.



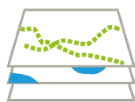
**Figur 17** Resultatet af at tilbagediskontere og udregne nutidsværdier for tiltagsomkostninger ved tre forskellige klimatilpasningsstrategier.



**Figur 18** Beskrivelse af processen for vurdering af tiltagsomkostninger, som udover anlæg dækker driftsomkostninger og reinvesteringer.

## 6. RISIKOKORTLÆGNING

Når oversvømmelseskortene ligger klar fra de hydrauliske beregninger (se Afsnit 4), kan der udføres en risikokortlægning, der leverer et nødvendigt input til den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse. Som minimum kræves følgende input til en risikokortlægning:



- Enhedspriser eller skadesfunktioner fra eksempelvis PLASK, erfaringstal fra kommunen og/eller forsikringsanalyser
- GIS-data af værdier, der ligger i området
- Oversvømmelseskort fra den hydrauliske modellering

Risikokortlægningen beskriver de forventede årlige omkostninger for oversvømmelseskader for et område. Risikoen kan udtrykkes rumligt i et risikokort eller som et samlet beløb, EAD (se Afsnit 2.4.1 og Afsnit 2.4.2).

### 6.1 Enhedspriser for skader

I forbindelse med risikomodellering af et område er det nødvendigt at have et værdikort, der angiver konsekvenserne af en oversvømmelse, dvs. skadesomkostningerne forbundet ved at eksempelvis et hus eller et stykke vej er oversvømmet. Skadesomkostninger dækker skaderne, der opstår under og som følge af oversvømmelser, f.eks. skader på bygninger, oprydning i huse og på veje, tab af inventar, forsinkelser for private og erhverv, etc. Se Skrift 31 for flere eksempler på skader, der kan inkluderes.

Opgørelse af skader i forbindelse med oversvømmelser er en omfattende opgave, der kræver store mængder data og er samtidigt forbundet med større usikkerheder, end det typisk forventes for hydrauliske beregninger og anlægspriser. Det er derfor vigtigt at afgrænse projektet på forhånd og fastlægge detaljeringsgraden, så niveauet også stemmer overens med detaljeringsgraden for de hydrauliske beregninger.

Forskellige kilder kan anvendes til at definere enhedsomkostningerne ved oversvømmelse. Som udgangspunkt anbefales værktøjet PLASK fra Klimatilpasning.dk. PLASK er et gratis værktøj, som Miljøstyrelsen stiller til rådighed for alle til at beregne den samfundsøkonomiske gevinst ved klimatilpasning. I PLASK findes en række kategorier inden for skadesomkostninger. Disse kategorier inkluderer skader på private bygninger, skader på erhverv (skader på bygninger, tab af løsøre samt tabt produktion), skader på veje samt skader på landbrug. Det er ikke nødvendigvis alle kategorierne, der er relevante for et projekt. Det er f.eks. ikke alle projekter, der vil inkludere landbrugsejendomme eller erhverv. Som regel vil der heller ikke ske egentlige skader på en vej, hvorfor "Genopførelse af vej" ofte kan udelades. Relevansen af hver kategori bør derfor overvejes, inden der benyttes ressourcer på at indhente GIS-data.

Udover PLASK bør der også anvendes priser fra f.eks. lokale data fra tidligere oversvømmelser eller tal fra forsikringsbranchen, såfremt disse foreligger. I tilfælde af, at der for området findes mere specifikke eller områdebestemte estimater, kan disse med fordel benyttes fremfor tallene i PLASK.

Udover kategorierne i PLASK, kan der også tilføjes flere kategorier, hvis det findes nødvendigt. F.eks. kan oversvømmelse af togskiner føre til underminering af og skader i banelegemets fundament. Der kan også være særlige risikoerhverv i området, hvor konsekvensen af oversvømmelse er betydeligt højere end alment erhverv. Inden risikokortlægningen påbegyndes, kan det derfor være meget fordelagtigt at interviewe eller samarbejde med medarbejdere i forsyningssekskabet eller kommunen, som har et særligt godt kendskab til området/områderne for at frasortere unødvendige kategorier samt inkludere særlige forbehold.

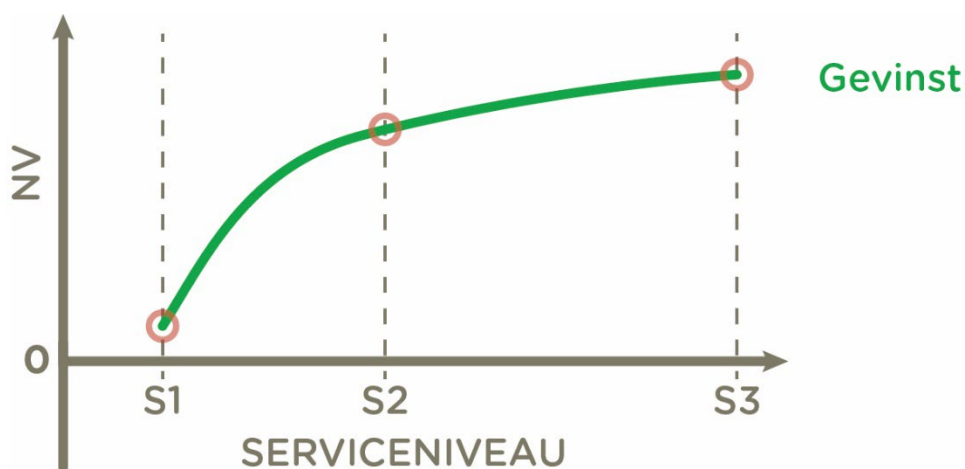
## 6.2 Proces for EAD-beregninger

Når alle enhedspriser er fastlagt, indhentes relevante GIS-data, og konsekvenserne af oversvømmelse kombineres med sandsynligheden for oversvømmelse fra hydrauliske resultater i en risikoanalyse. Risikomodeller kan udarbejdes i de fleste GIS-baserede værktøjer ved hjælp af enhedspriser og GIS-data. EAD beregnes som beskrevet i Afsnit 2.4.2.

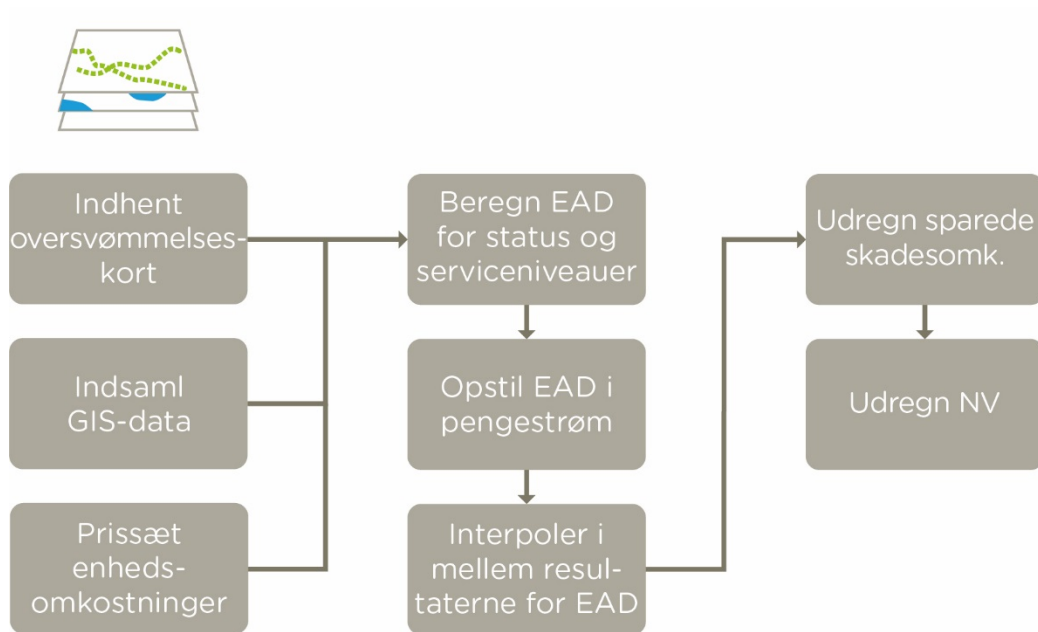
EAD skal ligesom tiltagsomkostningerne opstilles i en pengestrøm. Såfremt der testes for tre forskellige serviceniveauer (S1, S2 og S3), vil der være fire forskellige pengestrømme for EAD (status, S1, S2 og S3). Hvis der ligeledes regnes i tre forskellige tidspunkter i tiden vil der være i alt 12 forskellige EAD, da EAD stiger med tiden grundet ændringer i klimaet (se evt. Figur 11). For S1 vil der være én EAD i eksempelvis 2018, en lidt højere i 2068 og en endnu lidt højere i 2118. Det samme gælder for status, S2 og S3. For hvert serviceniveau indsættes disse tre EAD i en pengestrøm, hvorefter der interpoleres imellem værdierne. Derved fås fire pengestrømme, der viser skadesomkostningerne for status, S1, S2 og S3.

De sparede skadesomkostninger beregnes ved at trække pengestrømmen for status fra pengestrømmene fra serviceniveauerne. Herved findes der nu pengestrømme for de sparede skadesomkostninger ved implementering af S1, S2 eller S3. I pengestrømmene tilbagediskonteres de sparede skadesomkostninger til tre nutidsværdier (se Afsnit 2.4.5) afhængig af serviceniveau.

Disse tre beløb udgør de tre punkter på gevinstkurven, der anvendes i den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse (se Figur 18). Processen med at udregne NV for et serviceniveau ses i Figur 20.



**Figur 19** Resultatet af at tilbagediskontere og udregne nutidsværdier for de sparede skadesomkostninger (gevinster) ved tre forskellige klimatilpasningsstrategier.



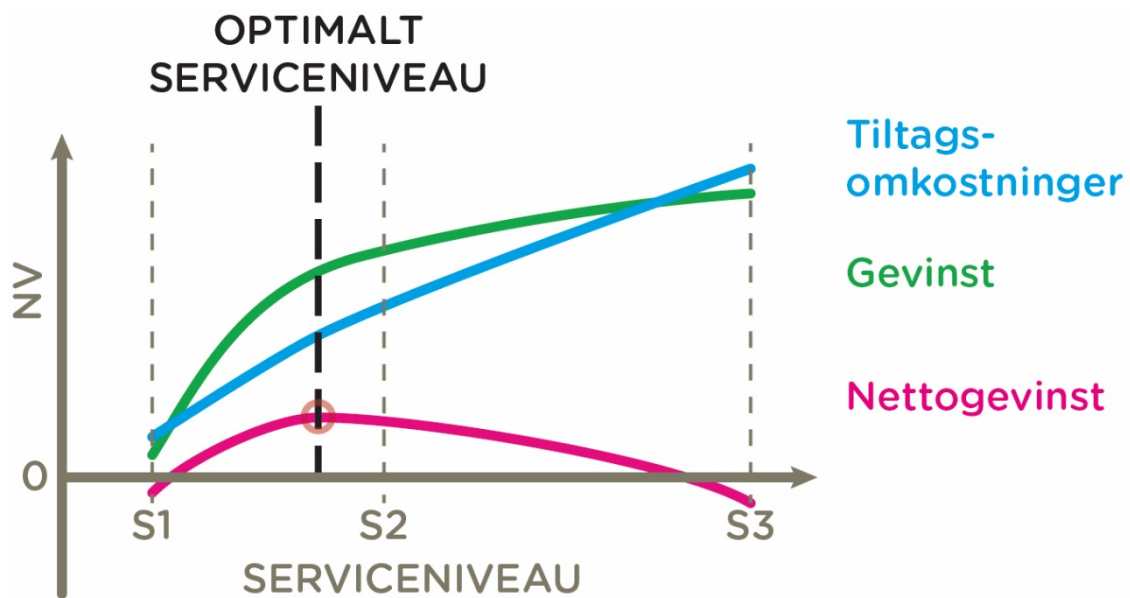
**Figur 20** Processen der gennemføres for udførelse af risikokortlægningen.



## 7. OPTIMERING



Resultaterne fra de hydrauliske beregninger, fastlæggelse af anlægs- og driftsomkostninger samt udregning af de sparede skadesomkostninger samles til slut i en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse. Nettogevinsten ved klimatilpasning udregnes ved at trække anlægs- og driftsomkostninger fra gevinster, og der interpoleres mellem de tre punkterne for de tre serviceniveauer. Det optimale serviceniveau for regnvand på terræn findes hvor nettogevinstkurven har sit maksimum som på Figur 21.

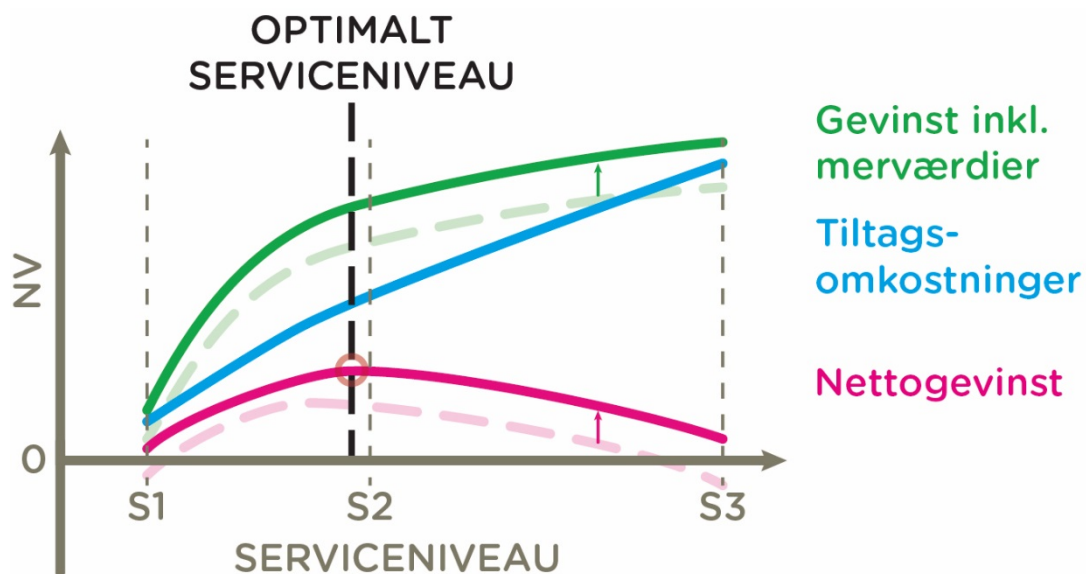


**Figur 21** Det optimale serviceniveau for regnvand på terræn findes, hvor nettogevinsten ved klimatilpasning er størst.

Nettogevinstkurven beskriver derudover, hvilke serviceniveauer der har en positiv samfundsøkonomisk effekt.

Såfremt at merværdier inkluderes, forventes det, at disse vil stige ved højere serviceniveau, da et højere serviceniveau bl.a. vil give færre personskader, flere blågrønne arealer, højere ejendomsværdier m.fl. Ligesom sparede skadesomkostninger forventes merværdier dog at stige mere markant ved lavere gentagelsesperioder end højere, da effekter af merværdier er mere mærkbar ved lavere gentagelsesperioder.

Ved at inddrage merværdier forventes det, at det optimale serviceniveau vil stige, idet der opnås flere fordele ved et klimatilpasningsprojekt. Desuden vil spændet, hvorimellem nettogevinsten er positiv, blive større, da nettogevinstkurven forskydes højere op (se Figur 22).



**Figur 22** Ved at inddrage merværdier ved klimatilpasning i en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse, vil det optimale serviceniveau typisk blive forskudt mod højre og dermed give et højere optimum. Desuden vil spændet, hvorefter nettogevinsten er positiv, blive større.

Det anbefales så vidt muligt, at inkludere merværdierne, der vindes ved klimatilpasning, for at opnå en holistisk samfundsøkonomisk analyse og som nævnt, bør den nyeste viden omkring merværdier altid opsøges.

## 8. REFLEKSION

### 8.1 Følsomhedsanalyser

Når man har udført den samfundsøkonomiske optimeringsanalyse, er det værd at reflektere over metoden og resultatet. Grundet de mange usikkerheder, anbefales det at udføre følsomhedsanalyser på nøgleparametre og deres indvirkning på det endelige resultat.

Som udgangspunkt vil der være en række usikkerheder, som man ikke kan inkludere. Det er f.eks. ikke muligt at planlægge efter fremtidens infrastruktur, da man ikke kan vide, hvordan et område ser ud i 2100. Der vil også være store usikkerheder inden for hydraulik. Disse usikkerheder vil dog være bundet i systematiske modelberegninger, og man kan derfor heller ikke teste resultatets følsomhed af disse.

Derudover vil der også være store usikkerheder forbundet med enhedspriserne for skadesomkostninger. Det forventes, at disse oftest vil være undervurderede af flere forskellige årsager. Generelt vil der ikke kunne tages højde for alle skaderamte værdier, og der vil ske en systematisk underestimering. Derudover er der også usikkerheder forbundet ved de enkelte kategorier. I forbindelse med forsikringsdata kan f.eks. en forsikrings selvrisko have en stor betydning. Derudover er det sjældent alt inventar i en virksomhed eller bolig, der er forsikret, hvilket vil føre til en undervurdering i enhedspriser. I forsikringsdata kan der heller ikke tages højde for affektionsværdien ved skaderamt inventar. På nuværende stadie er der ikke nogen endegyldige resultater for underestimering af enhedspriser, og man kan derfor ikke anbefale en fast faktor, hvormed enhedspriserne skal omregnes. Det anbefales, at teste følsomheden af enhedspriserne for skadesomkostninger ved at gange (og dividere) disse med f.eks. 150 % eller 200 % og undersøge, hvor stor betydning det har for det optimale serviceniveau.

Som tidligere nævnt, vil der også være store usikkerheder omkring kvantificeringen af merværdier. Der vil dels være usikkerhed omkring enhedspriserne for merværdier og dels omkring, hvornår effekten af en merværdi indtræffer. Ligesom for skadesomkostninger, anbefales det at teste følsomheden af merværdier, såfremt de er inkluderet, ved at gange (og dividere) disse med f.eks. 150 % eller 200 % og undersøge, hvor stor betydning det har for det optimale serviceniveau. Såfremt merværdier ikke inkluderes, kan det undersøges, hvor stor betydning, det har, hvis gevinstkurven øges med f.eks. 20 % eller 30 % som kompensation for effekten af merværdier.

Der kan også laves en følsomhedsanalyse på anlægspriserne (herunder drift og reinvesteringer). Anlægspriserne for traditionelle kloakeringsprojekter er et velbelyst emne, men da de fleste løsninger baseret på Skrift 31 vil være i terræn, forelægger der stadig store usikkerheder omkring priserne af disse løsninger. Følsomheden af disse kan testes afhængig af størrelsen af usikkerhederne.

## BILAG 1. EKSEMPLER

### 1.A REGNEEKSEMPEL

Nedenfor følger et regneeksempel, der er udarbejdet således at centrale elementer i beslutningsprocessen belyses. Der er udvalgt et generisk, mindre byområde på ca. 60 ha til udførelse af en samfundsøkonomisk optimeringsanalyse efter princip 3. Til udarbejdelse af dette eksempel benyttes en 1D-2D koblet hydraulisk model, GIS samt PLASK (Miljøstyrelsens samfundsøkonomiske beregningsværktøj) til at facilitere dialog og beslutningsprocesser.

For at undersøge, hvor udsat området er under oversvømmelse, udføres indledningsvist en risikokortlægning af statusscenariet. Oversvømmelsessimuleringer for en række gentagelsesperioder udføres, og konsekvenserne undersøges.

I indeværende eksempel er flere hændelser undersøgt nu og i fremtiden. Rent praktisk er et antal udvalgte regnintensiteter holdt konstant, hvorefter de respektive gentagelsesperioder er bestemt i relation til analyseåret, f.eks. svarer en 20-års hændelse til en 68-års hændelse i 2017 (se Skrift 29 og Skrift 30 om klimafaktorer). For ikke at skabe forvirring navngives de udvalgte regnhændelser T1, T2 osv. Tabel 2 viser en oversigt over de modellerede hændelser.

**Tabel 2** Analyserede hændelser, der anvendes for at kortlægge risici ved statusscenariet.

	Gentagelsesperiode, T (år)				
	T1	T2	T3	T4	T5
2017	1	3	68	220	515
2100	1,2	1,6	20	50	100

Oversvømmelsesudbredelsen for udvalgte hændelser er illustreret i Figur 23.



**Figur 23** Oversvømmelsesudbredelse ved statusscenariet til T1, T2 og T3.

Konsekvensen ved en oversvømmelse forbliver (teoretisk set) uændret, men idet sandsynligheden ændres med tiden, ændres risikoen ligeledes. Konsekvensen af en oversvømmelse udregnes ved brug af enhedspriserne, der ses i Tabel 3.

**Tabel 3** Enhedspriser anvendt til risikomodellering.

	Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
PRIVAT	Skade bolig med kælder	10 cm	530	kr./m <sup>2</sup> kælder	PLASK
	Skade bolig uden kælder	10 cm	1.153	kr./m <sup>2</sup> stue	PLASK
	Oprydning	10 cm	4.800	kr./bolig	Rambøll
ERHVERV	Skade bygning	10 cm	210.000	kr./erhverv	PLASK
	Tab af løsøre	10 cm	70.300	kr./erhverv	PLASK
	Tabt produktion (erhverv)	10 cm	8.300	kr./erhverv	PLASK
	Oprydning	10 cm	10.300	kr./erhverv	Rambøll
VEJNET	Oprydning	10 cm	3	kr./m <sup>2</sup>	PLASK
	Forsinkelse - kollektiv (<100 busser)	25 cm	12.300	Kr./vej med under 100 busser	Rambøll
	Forsinkelse - kollektiv (100-149 busser)	25 cm	20.600	Kr./vej med 100-149 busser	Rambøll
	Forsinkelse - kollektiv (150 busser <)	25 cm	28.800	Kr./vej med 150 busser og over	Rambøll

Konsekvensen/skadesomkostningerne opgøres ved en GIS-analyse. Figur 24 viser skadesomkostningerne ved T5 i statusscenariet.

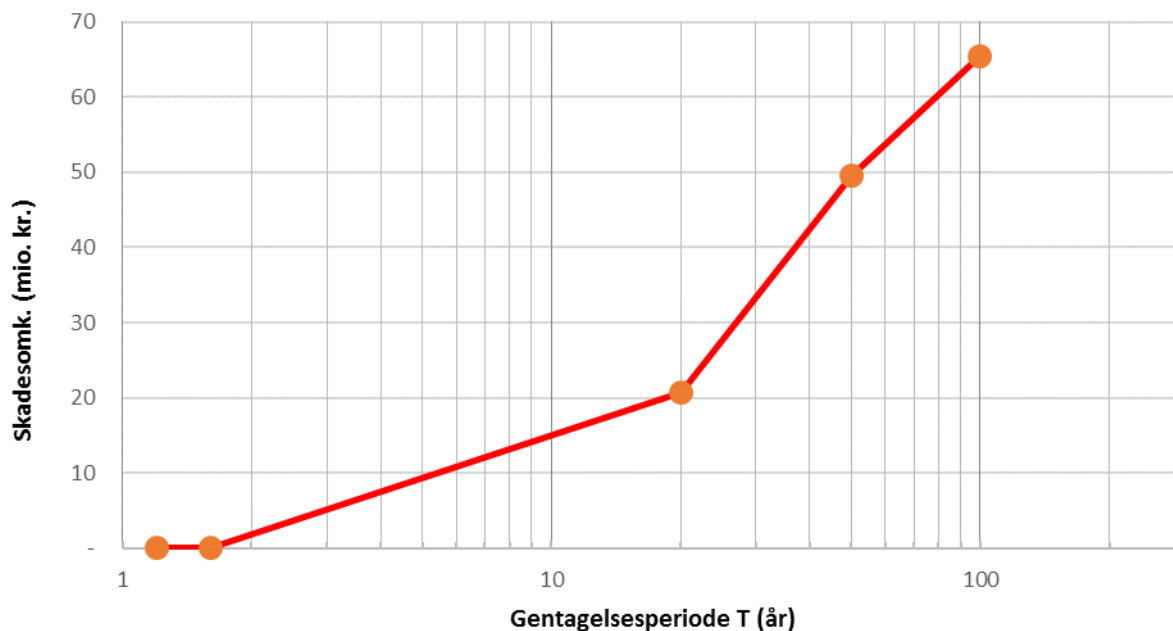
**Figur 24** Oversvømmelsesudbredelse ved T5 og tilhørende berørte værdier.

I indeværende eksempel beløber de forventede skadesomkostninger forbundet med oversvømmelse sig til resultaterne i Tabel 4. Skadesopgørelserne beregnes for flere årstal, således at en bedre beskrivelse af skadesudviklingen pågår.

**Tabel 4** Skadesopgørelse for statusscenariet.

Status	T1	T2	T3	T4	T5
	1,2	1,6	20	50	100
Skader i 2100 (mio. kr.)	0	0,0009	20,5	49,5	65,5

Som det ses i Tabel 4 (visualiseret på Figur 25), stiger skadesomkostningerne i takt med større hændelser.

**Figur 25** Skadesomkostningerne for statusscenariet som funktion af gentagelsesperioden.

For at få en større indsigt i hvilke hændelser der giver de største samfundsøkonomiske omkostninger, plottes risikotæthedskurven, se Figur 26. De forventede årlige skadesomkostninger (EAD) beregnes ved at integrerer arealet under risikotæthedskurven og beløber sig i ~8,2 mio. kr. årligt.

Risikotæthedskurven kan understøtte identificeringen af serviceniveauer, hvor de potentielt største sparede skadesomkostninger findes. For dette eksempel ses det på baggrund af Figur 26, at de største gevinster i form af sparede skadesomkostninger findes ved gentagelsesperioder mellem ca. 5-40 års hændelser.



**Figur 26** Beregnet risikotæthed for statusscenariet.

Herfra udvælges fire serviceniveauer, som testes og undersøges i forhold til de samlede samfundsøkonomiske omkostninger og gevinster. Udover risikotæthedskurven er det vigtigt at huske, at identificeringen af serviceniveauer også bør være et resultat af politisk inddragelse og ambitioner. I dette eksempel testes fire forskellige serviceniveauer:

- Tilpasning til Skrift 27 (S0)
- Tilpasning til en 20-års hændelse i 2100 (S1)
- Tilpasning til en 50-års hændelse i 2100 (S2)
- Tilpasning til en 100-års hændelse i 2100 (S3)

For de udvalgte serviceniveauer skal nye oversvømmelsesberegninger og dertilhørende risikokortlægning samt tiltagsomkostninger estimeres. De kobledede hydrauliske 1D-2D køres igen med tiltag, hvorved risikoen nedsættes baseret på det respektive serviceniveau. For S3 var det ikke muligt at sikre alle bygninger ved brug af større kollektive løsninger, hvorfor der blev indlagt lokal sikring af de pågældende bygninger i tiltagsomkostningerne for at opretholde serviceniveauet. Når serviceniveauet er opfyldt, modelleres større regn end serviceniveauet for at udregne de pågældende EAD. F.eks. modelleres S1 med en 50-års og en 100-års regn, da disse stadig vil give skader ved S1. Figur 27 viser en 100-årsregn på henholdsvis S1, S2 og S3 samt estimeringen af de tilhørende skadesomkostninger.



**Figur 27** Hydrauliske beregninger af masterplanerne S1, S2 og S3 og de tilhørende skadesomkostninger.

Tiltagsomkostningerne for de enkelte serviceniveauer estimeres derefter baseret på erfaringer og listepreiser. Omkostninger og investeringer for at opretholde det eksisterende system inkluderes ikke i analysen.

Med angivelse af de estimerede skadesomkostninger samt anlæg-, drift-, og reinvesteringssomkostninger bestemmes nettonutidsværdien af de forslåede tiltags- og skadesomkostninger. Igen kan beregningsværktøjet PLASK benyttes, da der foretages en økonomisk vurdering af tiltag i forhold til forventede omkostninger. Indtastningen af skadesomkostninger i PLASK kan enten angives som opgørelser af antal og areal eller totale skadesomkostninger tilhørende de enkelte gentagelsesperioder. Den forventede reduktion i skadesomkostningerne indtastes også i relation til de respektive tiltag. Analysen udføres igen for alle masterplaner, hvorfor de sparet skadesomkostningerne for de forskellige masterplaner kan bestemmes.

For at inddrage klimaændringerne i form af større intensitet beregnes skadesomkostningen for hvert år over en 100 års periode ved at fremskrive de oversvømmede værdier for hver gentagelsesperiode. Analyseperioden, årstal for investeringer samt diskonteringsrenten specificeres.

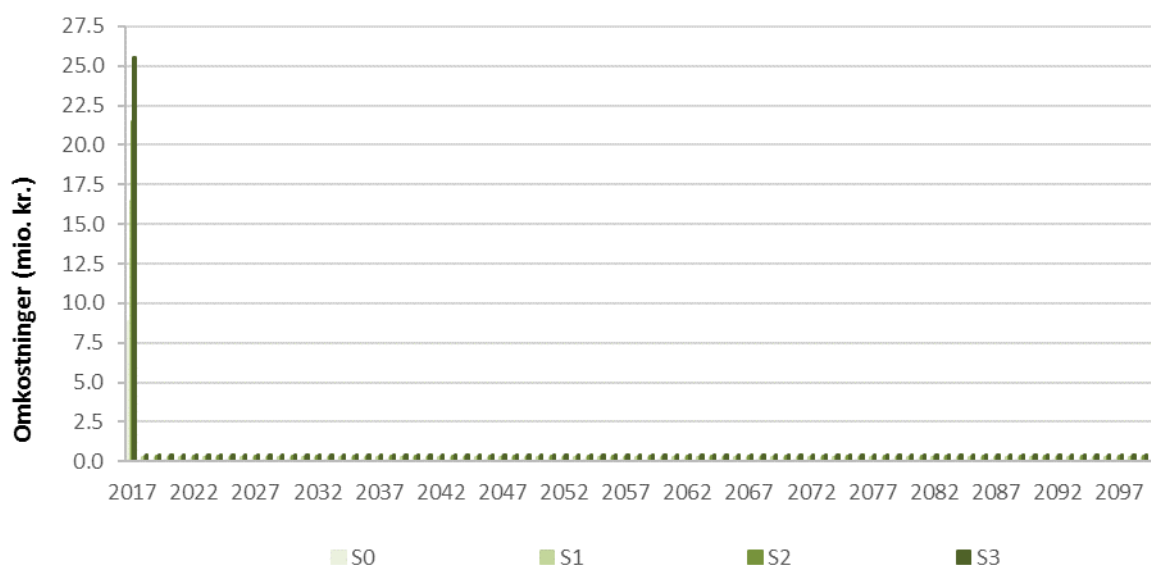
I indeværende eksempel falder initialinvesteringen i år 2017, hvorefter løbende drift og reinvesteringer forekommer, se Tabel 5.

**Tabel 5** Pengestrømanalyse af tiltagsomkostninger og skadesomkostninger.

	2017 (mio. kr.)	2018 (mio. kr.)	2019 (mio. kr.)	2020 (mio. kr.)	...
<b>S0 tiltag</b>	8,867	0,096	0,096	0,096	
<b>S0 skadesomkostninger</b>	0,999	0,928	0,940	0,951	
<b>S1 tiltag</b>	16,441	0,255	0,255	0,255	
<b>S1 skadesomkostninger</b>	0,823	0,317	0,320	0,324	
<b>S2 tiltag</b>	21,481	0,331	0,331	0,331	
<b>S2 skadesomkostninger</b>	0,925	0,092	0,093	0,094	
<b>S3 tiltag</b>	25,511	0,395	0,395	0,395	
<b>S3 skadesomkostninger</b>	0,925	0,005	0,006	0,007	

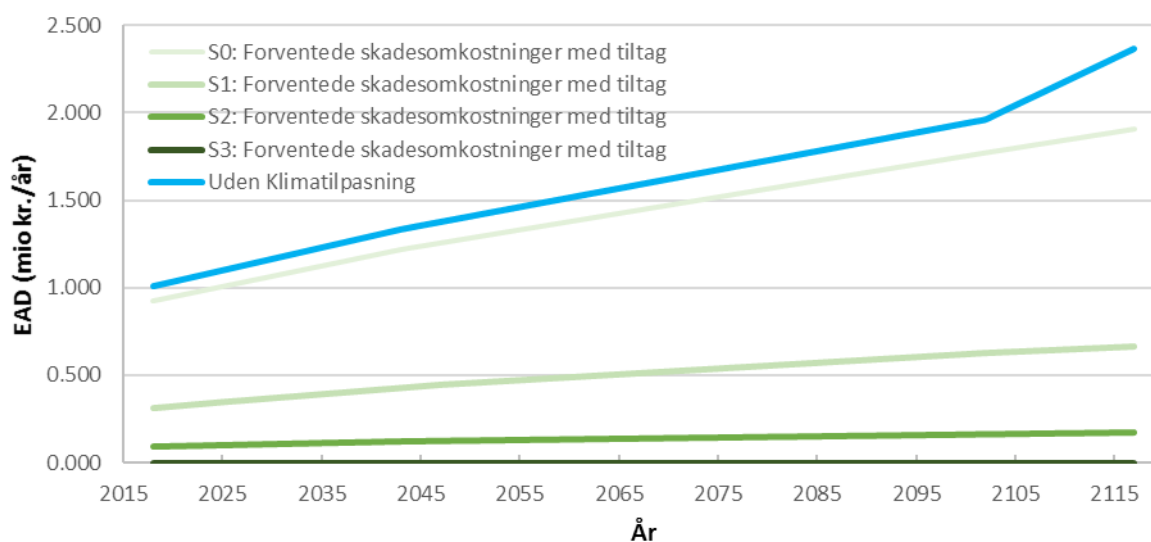
Figur 28 viser tiltagsomkostningerne over tid. Bemærk at implementering af tiltagsomkostninger i beregningsværktøjet PLASK, kun kan registreres udført i ét år, hvilket sjældent vil være tilfældet.





**Figur 28** Tiltagsomkostninger over tid. I dette eksempel er reinvesteringer inkluderet løbende, og der er derfor ikke nogen større udgifter efter initialinvesteringen.

De forventede skadesomkostninger over tid kan ligeledes plottes.



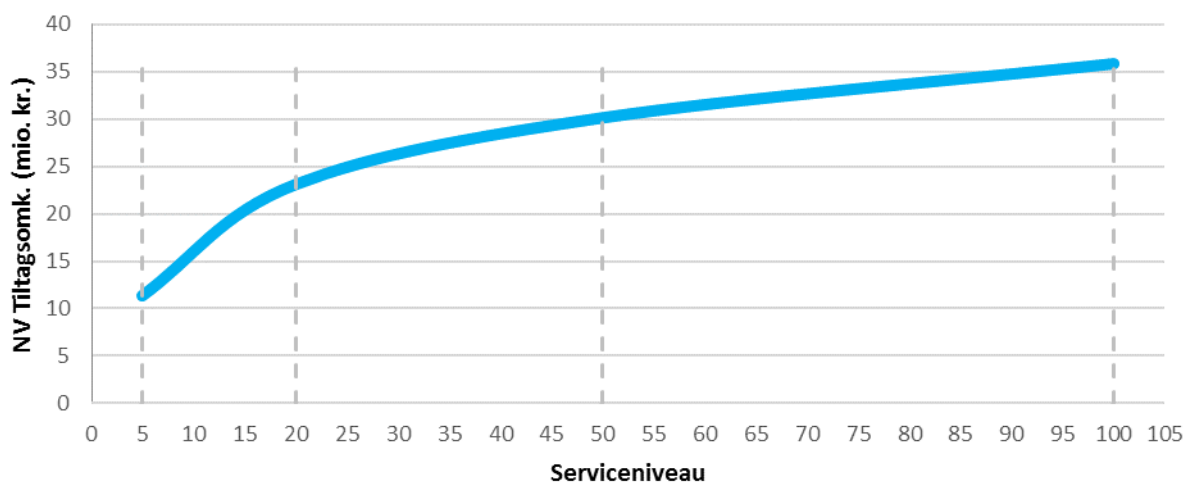
**Figur 29** Skadesomkostninger over tid for de fire forskellige scenarier.

Ud fra ovenstående analyse udregnes nutidsværdier af de forventede skadesomkostninger, tiltagsomkostninger og sparede skadesomkostninger, resultater ses i Tabel 6. Det bemærkes, at selvom der foretages investeringer vil skader kunne forekomme. Et lavere serviceniveau indebærer fortsat et relativt højt skadespotentiale. Skadespotentialet falder med stigende serviceniveau.

**Tabel 6** Nutidsopgørelser for de fire forskellige scenarier.

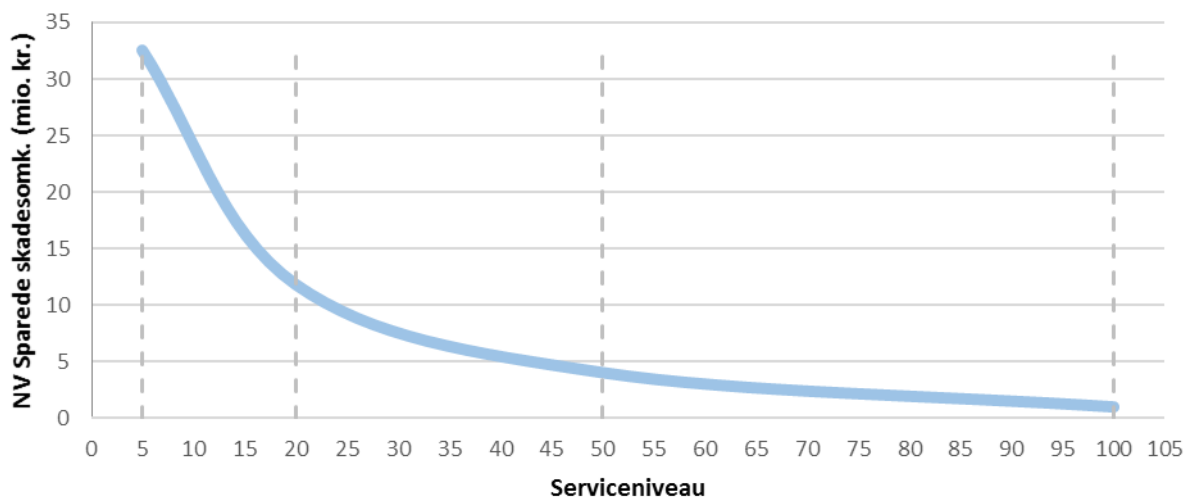
Nutidsværdi (mio. kr.)	Serviceniveau S0	Serviceniveau S1	Serviceniveau S2	Serviceniveau S3
Tiltag	11,397	23,128	30,152	35,842
Skadesomkostninger	32,576	13,979	3,975	0,925
Sparede skadesomkostninger	3,177	23,647	30,406	33,456

Nutidsberegningerne muliggør, at de forskellige serviceniveauer kan sammenholdes. Omkostninger for anlæg samt drift og reinvestering ses i Figur 30.



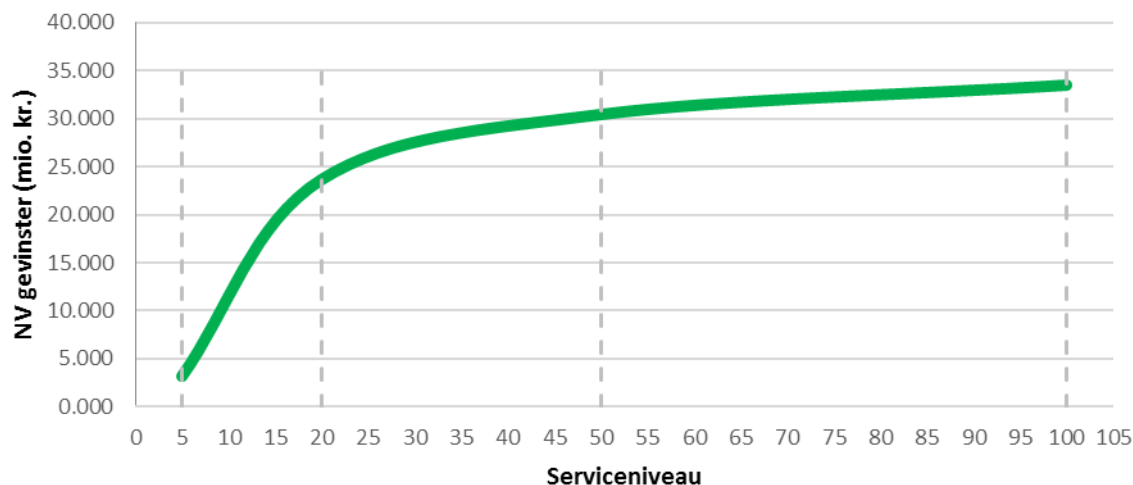
**Figur 30** Resultatet af at tilbagediskontere og udregne nutidsværdier for anlægs-, drift-, og reinvesteringsomkostningerne ved fire forskellige klimatilpasningsstrategier. Bemærk, at der er interpoleret og udjævnet mellem niveauerne.

De forventede skadesomkostningerne ved implementering af tiltag for de forskellige serviceniveauer ses i Figur 31.



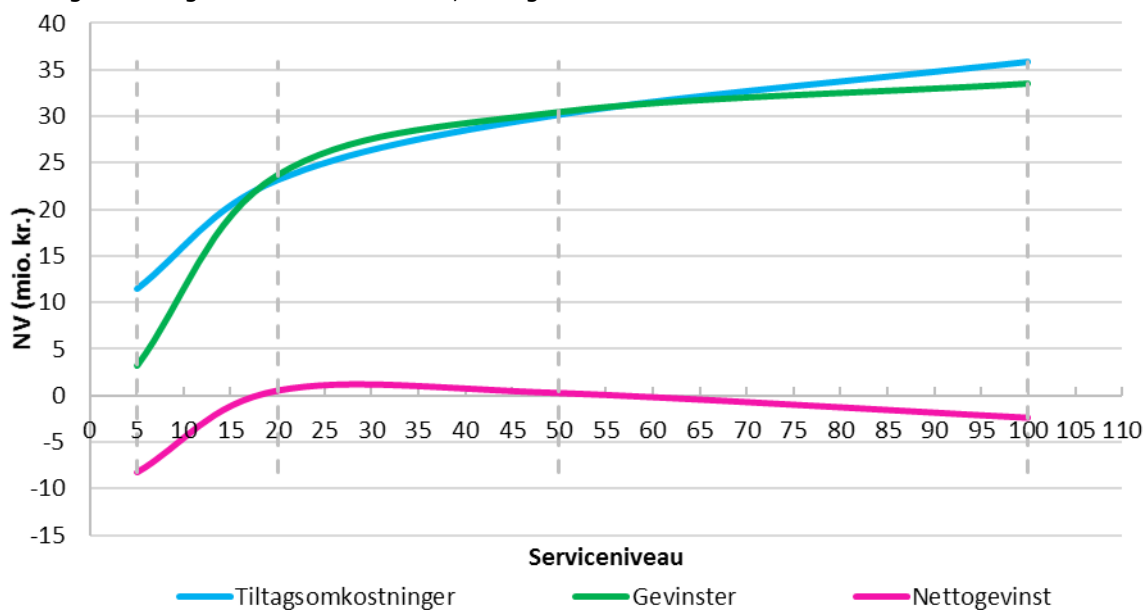
**Figur 31** Resultatet af at tilbagediskontere og udregne nutidsværdier for skadesomkostningerne ved de fire forskellige serviceniveauer. Bemærk, at der er interpoleret og udjævnet mellem niveauerne.

Sparede skadesomkostninger, angivet som gevinster, ses i Figur 32.



**Figur 32** Resultatet af at tilbagediskontere og udregne nutidsværdier for de sparende skadesomkostninger (gevinster) ved de fire forskellige serviceniveauer. Bemærk, at der er interpoleret og udjævnet mellem niveauerne.

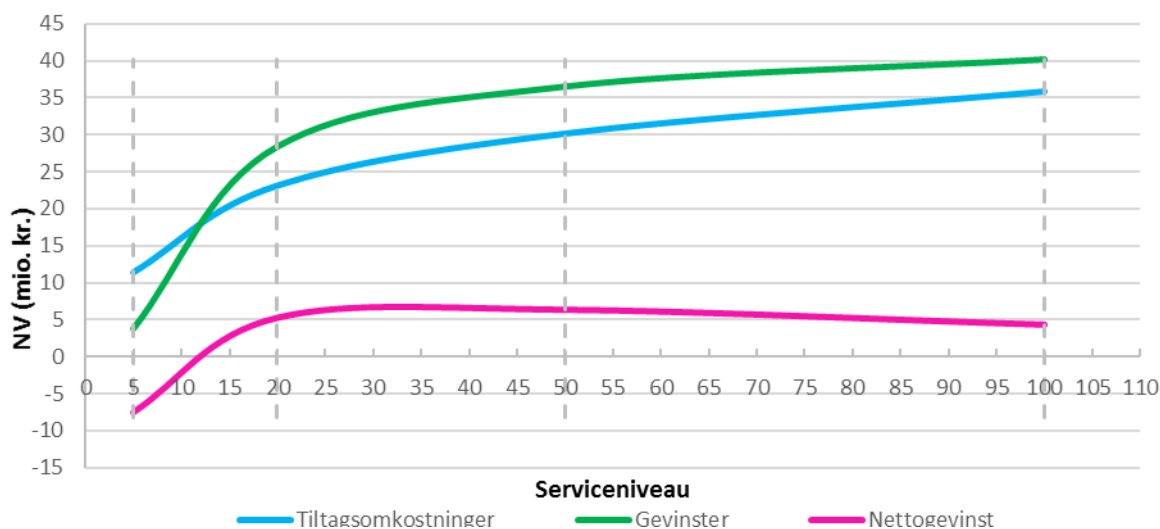
Ovenstående grafer kombineres i samme plot og tiltagsomkostninger trækkes fra gevinsterne for at udregne nettogevinsten for området, se Figur 33.



**Figur 33** Nettogevinstkurven ved klimatilpasning viser, at det samfundsøkonomiske optimale serviceniveau for området er en 30-års hændelse ca.

På baggrund af resultaterne præsenteret i Figur 33, ses det, at det samfundsøkonomiske optimale serviceniveau for området er en ~30-års hændelse, da det er i dette punkt, at nettogevinsten toppes. Derudover ses det, at et serviceniveau mellem 18 og 52 vil være en positiv gevinst for området. Baseret på ovenstående resultater vil beslutningstagere kunne træffe en velbelyst beslutning om det ønskede niveau for klimatilpasning i området.

Ovenstående resultat inkluderer ikke merværdier. Såfremt man antager, at merværdier vil udgøre ca. 20 % af de sparede skadesomkostninger, vil resultatet se ud som i Figur 34.



**Figur 34** Gevinsten ved klimatilpasning inkl. 20% merværdier.

På Figur 34 ses det at inkludering af merværdier på 20 % af de forventede estimerede gevinster ved klimatilpasning, øger spændet hvorimellem klimatilpasning giver en samfundsøkonomisk gevinst.

Beregningerne af den samfundsøkonomiske effekt over en længere årrække er forbundet med usikkerhed. Der bør derfor udføres en følsomhedsanalyse. Beregningsværktøjet PLASK, inkluderer for eksempel en vurdering af hvilke parametre, der har størst betydning for beregningen og dermed usikkerheden.

Eksempelvis kan de samfundsøkonomiske omkostninger og gevinster af den valgte løsning justeres med parameterændringer på  $\pm 25$  %. Det vurderes at det er skadeomkostninger og skaderektioner er de mest følsomme parametre, hvorfor en beskrivelse og kvantificering af disse er vigtigt. Det er også muligt at undersøge konsekvenserne af at udskyde implementeringen af tiltagene med 10 og 20 år. At vente med investeringerne angives ofte som et tab af gevinster.

## 1.B STUDIE: AARHUS VAND

Aarhus Vand har i tæt samarbejde med Aarhus Kommune lagt en strategi for, hvordan klimatilpasningstiltag skal vurderes og implementeres i forsyningens og kommunens område.

Metoden blev udviklet parallelt med udarbejdelsen af Skrift 31, hvorfor metoderne ikke er identiske. Det blev tidligt i processen besluttet, at metoden skulle udvikles således klimatilpasningen kunne bygges ovenpå de eksisterende planer om separatkloakering og andre større anlægsprojekter i forsyningsområdet. Metoden er derfor anderledes bygget op end metoderne i Skrift 31 idet området, der skal klimatilpasses allerede er defineret vha. planerne om separatkloakering eller større fornyelser.

For at klimatilpasningsprojekter ikke skal vokse sig uhensigtsmæssigt store, bliver projekterne ofte afgrænset ved hjælp af nogle politiske beslutninger i kommunen og forsyningen. For at afgrænse klimatilpasningsprojekterne har forsyningen og kommunen derfor fastsat, at der sikres tilskel, hvorefter det er grundejerens eget ansvar at håndtere vandet. Derudover udføres klimatilpasningen kun i det omfang, at løsningen giver en samfundsøkonomisk gevinst.

Arbejdsgangen for evaluering, af om der skal klimatilpasses, er som følger:

1. Sikr området til en 5-års hændelse vha. afløbssystemet i henhold til Skrift 27.
2. Beregn EAD på det nye system og identificer aktiver med høj risiko
3. Se på mulige løsninger i området og evaluer omkostningerne til etableringen af løsningerne
4. Beregn EAD på det klimatilpassede område.
5. Etabler løsninger, der er praktisk mulige og samfundsøkonomisk hensigtsmæssige.

Klimatilpasningen indgår som et tillæg til de eksisterende projekter, hvor EAD beregnes for det givne område efter f.eks. separatkloakering og der vurderes vha. inspektion af området, oversvømmelseskort og risikokort, om der kan laves tiltag i området, der kan begrænse skaderne. Tiltagene indsættes efterfølgende i en hydraulisk model og en ny EAD beregnes for området. Forskellen mellem EAD før og efter klimatilpasning sammenholdes med prisen på tiltagene, hvorefter det vurderes hvilke klimatilpasningstiltag, der skal implementeres i forbindelse med separatkloakeringen.

Metoden anvender en praktisk og direkte tilgang til klimatilpasningen, hvor løsningerne typisk findes i det lokale område og inden for det enkelte projektområde. I Skrift 31 lægges der op til at kigge på en større skala idet oplandet typisk betragtes som helhed eller i større deloplande. I metoden anvendt af Aarhus Vand, kan løsninger imidlertid stadig findes på tværs af individuelle separeringsprojekter idet forsyningen har overblikket over hvilke områder, der har en høj risiko for oversvømmelser samt, hvor i oplandet de lokale tilpasninger ikke er tilstrækkelige.