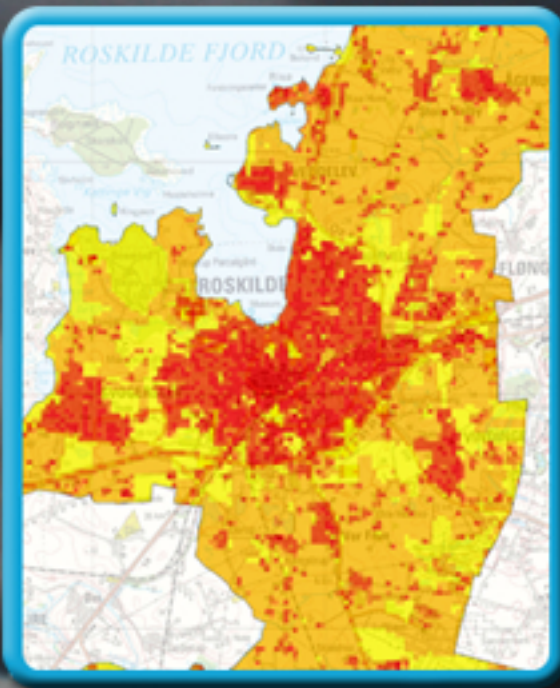
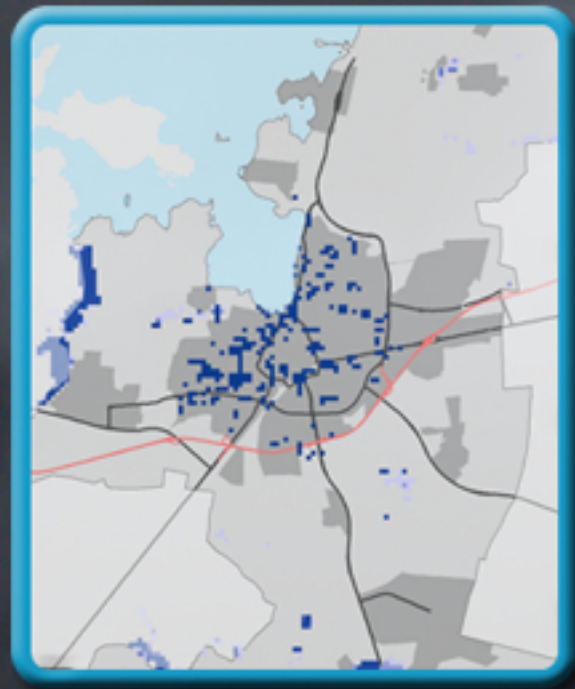


# Samfundsmæssige konsekvenser ved oversvømmelser

- udvikling af model til kortlægning



# Samfundsmæssige konsekvenser ved oversvømmelser

- udvikling af model til kortlægning

Speciale

Land Management

Landinspektøruddannelsen ved Aalborg Universitet København

Søren Amdi Jensen

Morten Klindt

Vejledere:

Jan Kloster Staunstrup

Esben Munk Sørensen



---

# Forord

---

Dette projekt er udarbejdet som afsluttende afhandling af landinspektøruddannelsens 10. semester på overbygningen Arealforvaltning og Planlægning ved institut for Samfundsudvikling og Planlægning på Aalborg Universitet København i perioden 30. januar – 7. juni 2012.

Projektets tema udspringer af sommeren 2011's kraftige skybrud samt kravet om udarbejdelse af kommunale klimatilpasningsplaner. Projektarbejdet havde til formål at udvikle en generisk model på baggrund af landsdækkende registre og databaser. Der blev taget udgangspunkt i Roskilde Kommune som caseområde, til at kortlægge sårbarheden ved skybrud, med henblik på en mere helhedsorienteret og bæredygtig planlægning.

Rapporten henvender sig til læsere med interesserer for kommunale planlægning og mere specifikt arbejdet med kommunale klimatilpasningsplaner.

Projektgruppen ønsker at takke Orbicon, som har indvilget i et projektsamarbejde og gjort forskellige geodata tilgængelige til projektet. En særlig tak skal rettes til Hanne Wiemann Nielsen, Hauge W. Larsen, Michael Juul Lønborg og Søren Gabriel for møderne og de gode diskussioner. Ligeledes ønsker projektgruppen også at takke Daniel Grube Pedersen fra Naturstyrelsen og Mette Rothschild fra Forsikring og Pension, der tog sig tid til et interview.

Under projektet har projektgruppen modtaget vejledning fra Jan Kloster Staunstrup og Esben Munk Sørensen, der har bidraget med mange gode inputs og inspiration til projektet.



---

# Synopsis

---

Dette projekt omhandler kortlægning af risikobilledet ved oversvømmelser som følge af ekstremregn. Det samlede risikobillede, fremkommer ved sammenstilling af konsekvenserne ved - og sandsynligheden for en oversvømmelse. Risikobilledet skal anvendes af landets kommuner som et redskab til at foretage prioriteringer i forbindelse med udarbejdelsen af klimatilpasningsplaner, samt anvendes til at prioritere indsatser mod konsekvenserne ved oversvømmelser i allerede eksisterende fysiske miljøer.

Projektet fokuserer på udarbejdelse af en model, der kortlægger konsekvenserne eller sårbarheden ved en oversvømmelse. Konkret kortlægges områder med store værdier, der skal beskyttes mod vha. modellen. Den primære metode for projektet er en multikriterie geografisk analyse, der anvender forskellige geodata fra landdækkende registre og databaser.

# Indhold

Læsevejledning .....	9
1 Problemidentificering .....	11
1.1 Indledning .....	12
1.1.1 Forudsigelse af risiko .....	12
1.1.2 Kortlægning af sårbarhed .....	14
1.1.3 GISbaseret multikriterie model .....	14
1.1.4 Projektbegrænsninger .....	15
1.1.5 Problemformulering .....	15
2 Problemanalyse .....	17
2.1 Forundersøgelser .....	18
2.1.1 Klimaændringer .....	18
2.1.2 Klimatilpasning .....	20
2.1.3 Lovgivning vedrørende klimatilpasning og oversvømmelse fra ekstremregn .....	22
2.2 Caseområde .....	26
2.3 Oversvømmelsesmodel - sandsynlighed .....	28
2.4 Metode .....	29
2.4.1 Projektets videnskabelige tilgang .....	30
2.4.2 Forundersøgelser .....	31
2.4.3 Projektsamarbejde .....	31
2.4.4 Litteraturstudie .....	32
2.4.5 Interviews .....	33
2.4.6 Kravspecifikation .....	34
2.4.7 Problemløsningens metoder .....	34
2.5 Kravspecifikation .....	38
3 Problemløsning .....	41
3.1 Analyseramme .....	42
3.1.1 Geografiske informationssystemer .....	42
3.1.2 Spatial Decision Support Systems og Multikriterieanalyser .....	44
3.1.3 Multikriterieanalyser .....	46
3.1.4 Kortlægningens skala .....	51
3.2 Fremgangsmåde .....	52
3.2.1 Sårbarhed og skader .....	54
3.3 Data .....	56

## INDHOLD

3.3.1	Udvælgelse af objekttyper til model .....	56
3.3.2	Valg af temaer .....	58
3.3.3	Udarbejdelse af geografiske temaer .....	61
3.4	Analyse.....	63
3.4.1	Inddeling i celler .....	63
3.4.2	Fremstilling af sårbarhedskort .....	63
3.5	Vægtning.....	75
3.5.1	Beslutningsværdier.....	75
3.5.2	Beregninger af vægte.....	76
3.5.3	Aggregeret sårbarhed.....	78
3.6	Risikokortlægning .....	81
3.6.1	Oversvømmelsesmodel.....	81
3.6.2	Risiko = Sandsynlighed x Konsekvens .....	83
4	Konklusion .....	85
4.1	Opsamling .....	86
4.2	Vurdering .....	87
4.3	Perspektivering .....	91
4.3.1	Videreudvikling af modellen .....	91
4.3.2	Yderligere anvendelsesmuligheder .....	94
5	Litteraturliste.....	95
5.1	Litteratur .....	96
5.2	Hjemmesider .....	99
5.3	Lovgivning .....	100
5.4	Interviews .....	100
6	Appendiks .....	101
6.1	Appendiks I -Litteraturstudie .....	102
6.1.1	Indeksring af undersøgt litteratur .....	103
6.1.2	Output fra litteraturstudie .....	104
6.2	Appendiks II - fremstilling af temaer .....	106
6.3	Appendiks III - værdisætning.....	111

Bilag I - Udbudsmateriale

Bilag II - CD





# Læsevejledning

## Rapportens opbygning

Rapporten er ligesom projektet opbygget i tre overordnede hoveddele – en problemidentificering, en problemanalyse samt en problemløsning. Projektets problemformulering er at finde i afsnit 2.1.5 *Problemformulering*. Rapportens nærmere opbygning og struktur samt sammenhørighed med projektstrukturen er uddybet i afsnit 2.4 *Metode*. Projektets anvendte metoder er desuden beskrevet i kapitlet. Ud over selve rapportens hovedindhold er en række appendiks og bilag vedlagt. Appendiks skal ses som en del af rapporten, som dog ikke behøver at blive læst i sammenhæng med resten af rapporten. Bilag indeholder forskellig dokumentation for dele af projektet.

## Henvisninger til afsnit, figurer, bilag og appendiks

Der vil undervejs i rapporten blive foretaget krydshenvisninger til andetsteds i rapporten. Dette gøres for at undgå gentagelser samt for at benytte pointer og konklusioner fra andre dele af rapporten. Sådanne henvisninger vil være angivet med nummer og overskrift på det henviste afsnit, samt være markeret med *kursiv*. Figurer nummereres forløbende. Yderligere vil der undervejs være henvisninger til relevante appendiks og bilag, hvor disse kan have betydning for det pågældende kapitel eller afsnit.

## Forkortelser

I rapporten anvendes en række forkortelser som er præsenteret herunder:

BBR: Bygnings- og boligregistret

CHR: Centralt husdyrbrugsRegister

DST: Danmarks Statistik

FOT: Fællesoffentligt geografisk administrationsgrundlag

GIS: Geografiske Informations System

KMS: Kort og Matrikelstyrelsen

LAR: Lokal afledning af regnvand

MC SDSS: Multicriteria Spatial decision support system

NS: Naturstyrelsen

SDSS: Spatial decision support system

SVUR: Statens Salgs-og Vurderingsregister

## Kildehenvisninger

I rapporten er henvisninger til benyttede kilder angivet i parenteser. Fyldende detaljer om kilderne kan findes bagerst i denne rapport i 5 *Litteraturliste*. Henvisninger hertil vil være angivet således: (Forfatter, årstal, evt. sidetal).



## 2 Problemidentificering

## 2.1 Indledning

I sommeren 2011 skete det så igen, da et skybrud ramte hovedstadsområdet med 100-150 mm regn på halvanden time. Konsekvenserne var massive oversvømmelser; veje blev forvandlet til floder, kloakvand fyldte kældre, den kollektive trafik blev påvirket og der var enorme skader på private og offentlige ejendomme (Vejen, 2011). De samlede omkostninger som følge af skybruddet er endnu ikke opgjort, men de nyeste estimater ligger i omegnen af 3-4 mia. kr. for denne ene hændelse (Jensen, 2011), (Munksgaard, 2011).

Specielt i byerne er der store problemer ved sådanne ekstreme vejrhændelser, da regnvandet grundet den høje grad af befæstede arealer ikke kan nedsvive naturligt og derfor overfylder kloakkerne.

Klimaændringer og i høj grad klimatilpasning er, grundet hændelser som den ovenfor beskrevne, kommet højt på den politiske dagsorden både på globalt, nationalt og kommunalt plan. Dette sker for at initiere konkrete tiltag, så lignende hændelser i fremtiden ikke vil få så store konsekvenser og at den fremtidige fysiske planlægning kan tage højde for disse udfordringer.

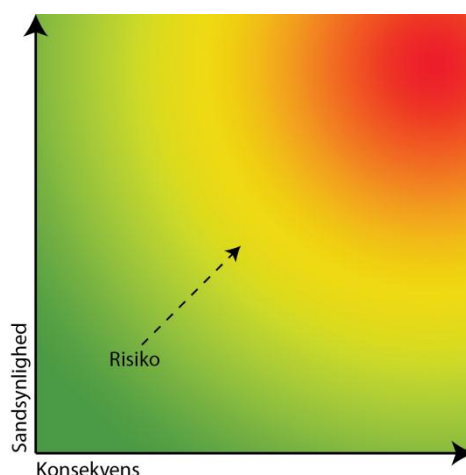
EU beskriver klimaændringerne som en af de største udfordringer for menneskeheden i de kommende år og at der må handles øjeblikkeligt for at mindske konsekvenserne (EU, 2007). På nationalt niveau er klimatilpasning indskrevet i regeringsgrundlaget og der er bl.a. oprettet en taskforce for klimatilpasning. Derudover skal EU's oversvømmelsesdirektiv implementeres og kommunerne skal inden for de næste to år udarbejde klimatilpasningsplaner (Statsministeriet, 2011).

Bl.a. for at undgå hændelser som den i 2011 skal EU's oversvømmelsesdirektiv implementeres i Danmark, hvilket stiller en række krav til den nationale og kommunale planlægning- hvor risikoen ved oversvømmelser og potentielle negative følger ved en oversvømmelse bl.a. skal kortlægges nationalt. Kommunalt bliver kravene fra oversvømmelsesdirektivet en del af indholdet i den egentlige klimatilpasningsstrategi, som skal udarbejdes inden udgangen af 2013 (Statsministeriet, 2011). På længere sigt skal risikokortlægningen anvendes til at udarbejde risikostyringsplaner, som skal have særlig vægt på forebyggelse, sikring og beredskab. Kommunerne skal overveje og prioritere eksempelvis oversvømmelsesomfang, overløb samt samfundsmæssige omkostninger og gevinster ved konkrete tiltag (DANVA, 2007).

### 2.1.1 Forudsigelse af risiko

Når en ekstrem regnhændelse indtræffer, vil konsekvenserne for nogle by- og landområder være større end andre. Det værre sig i form af et økonomisk tab, negative sociale konsekvenser, tab af naturområder, kultur og i værste fald tab af menneskeliv som følge af oversvømmelser. EU og Beredskabsstyrelsen beskriver risikoen ved eksempelvis en ekstrem regnhændelse, som en afvejning af sandsynligheden for hændelsen og en vurdering af konsekvenserne ved en sådan hændelse (Beredskabsstyrelsen, 2004).

## INDLEDNING



Figur 1: Risikobilledet ved eksempelvis en ekstrem regnhændelse. På baggrund af (Beredsskabstyrelsen, 2004).

Kort sagt kan risikobilledet beskrives som: Risiko = Sandsynlighed x Konsekvenser og kan ses udtrykt ved risikobilledet i figur 1.

### Kortlægning og prioritering af indsatser mod klimaændringer

Figur 2 viser et eksempel på, hvordan Roskilde Kommune arbejder med den fremtidige klimatilpasning i forhold til oversvømmelser: Roskilde Kommune er ved at kortlægge af risikoen ved oversvømmelser, som udgangspunkt for udarbejdelse af indsatsplaner. Processen for projektet i Roskilde Kommune beskrives i figur 2 herunder.



Figur 2: Arbejdsprocessen i forbindelse med planlægning af håndteringen af ekstremregn - som er en del af Roskilde Kommunes klimatilpasningsstrategi. Arbejdsprocessen indeholder fire delprocesser: A - sandsynligheden for oversvømmelser som følge af ekstremregn, B - konsekvensen ved oversvømmelserne, C - et samlet billede af risikoen ved oversvømmelser og D - planlægningen og prioritering af indsatser mod oversvømmelser (Orbicon, 2012b).

I Roskilde Kommune kortlægges sandsynligheden for oversvømmelser (Delopgave A i ovenstående figur) på baggrund af en oversvømmelsesmodellering. Delopgave B i figur 2 udarbejdes som en model til at kortlægge konsekvenserne ved oversvømmelser. Ved kombination af delopgave A og B produceres et kort der udtrykker risikoen (Delopgave C i ovenstående figur). Når risikoen er kortlagt, skal kommunen herefter bruge det samlede risikobillede til at prioritere og igangsætte forskellige initiativer, der skal mindske skader ved fremtidige hændelser (Delopgave D i figur 2). På denne baggrund skal klimatilpasningen give den største samfundsmæssige gevinst - enten i form af værdier der bliver beskyttet for fremtiden, eller ny værdi der skabes. Indsatserne kan eksempelvis være renovering, ny dimensionering eller opdeling i tostrengede kloaksystemer, således at kloakkerne kan håndtere de fremtidige

regnmængder, eller indsatserne kan være Lokal Afledning af Regnvand (LAR)projekter, omlodning af regnvand så det oversvømmer mindre sårbare arealer eller oprettelse af nye permanente naturområder, hvor vandet kan nedsive. Ovenstående procesplan anvendes i dette projekt som inspiration for udarbejdelsen af en sårbarhedskortlægning.

## 2.1.2 Kortlægning af sårbarhed

Konsekvenserne kan repræsenteres ved en kortlægning af sårbarheden overfor oversvømmelser, som et element i at forudsige risikobilledet (COWI, 2010).

Formålet med dette projekt er at skabe en model, der kan differentiere og rangere forskellige geografiske områder i forhold til deres sårbarhed, således at konkrete klimatilpasningstiltag kan prioriteres med henblik på maksimering af det samfundsmæssige udbytte af tiltagene.

Konkret udarbejdes en model, som kortlægger sårbarheden ved oversvømmelser som følge af ekstremregn (svarende til delopgave B i figur 2). Modellen kan anvendes som et beslutningsværktøj, ved at den underbygger de politiske prioriteringer og beslutninger, som er nødvendige at foretage i kommunerne i forbindelse med klimaændringer og klimatilpasninger.

### Definition

#### Sårbarhed:

De samlede samfundsmæssige konsekvenser, der vil opstå ved en oversvømmelse.

Dette projekt bidrager ikke til den direkte løsning af problemerne med klimaændringer. I stedet bidrager projektet til håndteringen og mindskning af konsekvenserne ved klimaforandringerne. Sårbarhedskortlægningen bedrager til afværgelse af konsekvenserne ved at kortlægge sårbarheden, således at indsatserne kan prioriteres i de områder, hvor konsekvenserne af oversvømmelser sandsynligvis vil være størst.

Modellen skal give konkrete udpegninger af områder, hvor der vil være særligt store konsekvenser ved oversvømmelser. Dermed ønskes sårbarheden kortlagt ud fra en række forskellige parametre, der som udgangspunkt skal tage højde for både menneskelige, økonomiske, sociale og miljømæssige konsekvenser ved oversvømmelserne. Ved at kortlægge konsekvenser, vil kortlægningen kunne skabe et grundlag for en mere helhedsorienteret prioritering af klimatilpasningstiltag.

## 2.1.3 GISbaseret multikriterie model

Målet med projektet er en GIS-baseret multikriterieanalyse, der udpeger områder med størst sårbarhed, inden for et afgrænset område. Modellen skal anvendes sammen med en hydrologisk oversvømmelsesmodel, og dermed give en udpegning af risikoområder.

Konkret skal outputtet af modellen være et kort der værdisætter områder i by og land, således at modellen kan fungere som 'spatial decision support system' (SDSS) på kommunalt niveau. Kortlægningen udarbejdes på baggrund

af en GIS-baseret multikriterieanalyse, som kortlægger en række værdier og vægter disse indbyrdes.

Modellen udarbejdes med fokus på anvendelse af landsdækkende registre og databaser, således at modellen får en udformning, der gør, at den kan anvendes af kommuner over hele landet. De data, der anvendes som input, afgrænses af hensyn til tilgængeligheden og fagligheden for projektet til at omfatte topografiske-, ejendoms- og plandata herunder befolkningsdata.

### 2.1.4 Projektbegrænsninger

Modellen udarbejdes på et niveau, hvor indholdet i modellen ikke er fuldstændigt og eksemplarisk, men modellens overordnede resultat angiver sårbarheden i et caseområde. Det vil sige, at modellen som udarbejdes, vil kunne suppleres og gøres mere præcis, da der i projektet er foretaget en række fravalg. For eksempel er det valgt at arbejde med et i forvejen defineret datagrundlag.

### 2.1.5 Problemformulering

Med udgangspunkt i klimaændringer og behovet for klimatilpasning, opstilles en problemformulering, der danner baggrund for udarbejdelsen af det videre projekt. Problemformuleringen specificerer kort og præcist formål samt mål med projektet på baggrund af ovenstående beskrivelser. Målet med selve projektarbejdet er at løse følgende problemstilling, og dermed besvare følgende problemformulering.

*For at kunne tilrettelægge og prioritere kommunale indsatser mod konsekvenserne ved oversvømmelser som følge af ekstremregn, kræves overblik over konsekvenserne.*

*Hvordan udarbejdes en GIS-baseret model, der lokaliserer samfundsmæssige værdier, som er i fare ved oversvømmelser, ved anvendelsen af geografiske analyser, baseret på landsdækkende ejendoms-, plan- og topografiske data - således at modellen kan anvendes til prioriteringer i den fremtidige kommunale klimatilpasning?*





# 3 Problemanalyse

---

## 3.1 Forundersøgelser

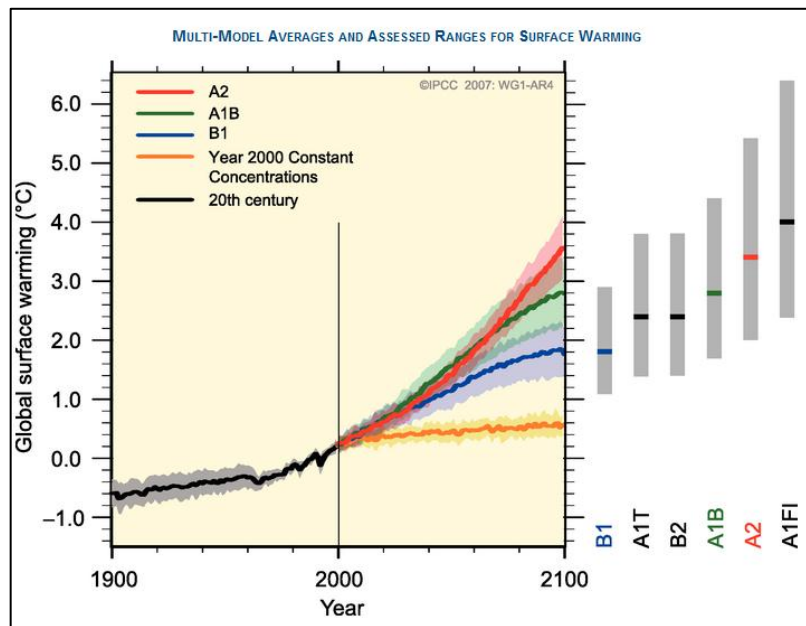
På baggrund af den opstillede problemformulering udarbejdes en række undersøgelser, som underbygger problemstillingen, skaber nødvendig basisviden for problemstilling samt uddyber behovet og anvendeligheden for en kortlægning af sårbarheden. Forundersøgelserne i dette afsnit tager udgangspunkt i klimaændringer, og beskriver herpå behovet for klimatilpasning. Yderligere gennemgår undersøgelserne den relevante lovgivning.

### 3.1.1 Klimaændringer

Klimaet har aldrig været en stabil størrelse, det har altid været under forandring, og i fremtiden vil det fortsat ændre sig. Det vides nu, at en del af de klimaændringer verden er vidne til i øjeblikket, hænger sammen med menneskelige handlinger. Siden industrialiseringen, hvor de fossile brændstoffer for alvor gjorde deres indtog, er den menneskeskabte udledning af CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser steget og har været bidragsyder til klimaændringerne (Kaas, 2005), (Sander, 2003). Selvom udledningen af drivhusgasser til atmosfæren i fremtiden blev holdt på samme niveau som i år 2000 antages det, at der ville ske en 0,1 grads ændringen i temperaturen pr. årti. Da dette ikke er tilfældet må klimaændringerne forventes at blive væsentligt større (IPCC, 2007).

#### Scenarier

De klimaændringer, der kommer til at påvirke Danmark er beregnet på baggrund af Intergovernmental Panel on Climate Change's (IPCC) fjerde evaluering samt modelleringer af klimaændringerne. De beregnede scenarier bygger på forskellige forudsigelser vedrørende den menneskabte udledning af CO<sub>2</sub>, som baseres på en mere generel samfundsudvikling. De forskellige klimaændrings-scenarier ses i figur 3.



Figur 3: IPCC's klimascenarier som baseres på den teknologiske og økonomiske udvikling. A2 og B2 er de scenarier der arbejdes med officielt i Danmark (IPCC, 2007).

I Dansk kontekst arbejder regeringen på strategisk niveau med scenarierne A2 og B2 som er karakteriseret ved:

A2: Lav global økonomisk integration og lav teknologisk udvikling i forhold til teknologier der kan begrænse drivhusgasudslip. Samtidigt forudsættes en fortsat høj befolkningstilvækst.

B2: Moderat tilvækst i verdensbefolkning og i økonomien. Som A2 scenariet forudsættes lav global økonomisk integration, dette resulterer i som det også fremgår af figur 3 i et lavere udslip end A2. (IPCC, 2007)

Udover A2 og B2 anvendes scenariet EUC2, som er baseret på den fælles EU strategi og som tager udgangspunkt i at temperaturen ikke skal stige mere end 2°C i forhold til før industrielt niveau (Naturstyrelsen, 2011). DMI har på baggrund af de officielle modeller fra IPCC regnet på hvilke konsekvenser klimaændringerne vil få for Danmark i fremtiden:

## FORUNDERSØGELSER

Klimaændringer frem til 2100	A1B	A2	B2	EUC2
Årsmiddeltemperatur	+2,2	+3,1	+2,2	+1,4
Årsnedbør	+22%	+9%	+8%	0%
Vinternedbør	+20%	+43%	+18%	+1%
Sommernedbør	+16%	-15%	-7%	-3%
Maksimum Døgnnedbør	-----	+21%	+20%	+22%

Tabel 1: De forventede klimaændringer i Danmark beregnet i forhold til perioden 1961-90. A1B scenariet er anvendeligt til mere kortsigtede forudsigelser, og er beregnet på baggrund af en anden klimamodel end de øvrige scenarier. (Naturstyrelsen, 2011) Kun udvalgte kategorier fremgår i forhold til original tabel.

Regnhændelser i år 2010	Forventet hyppighed i 2100
2års hændelse	1,1 års mellemrum
5års hændelse	2,5 års mellemrum
10års hændelse	3,5 års mellemrum
50års hændelse	15 års mellemrum
100års hændelse	20 års mellemrum
1000års hændelse	117 års mellemrum

Tabel 2: Udvikling i hyppigheden af regnhændelser baseret på EU's regionale klimamodeller. Udsnit af original tabel (Arnbjerg-Nielsen, Halsnæs, Mikkelsen, & Zhou, 2011).

Som det fremgår af figur 3 og tabel 1 er der stor forskel på de scenarier, der bruges til at beskrive fremtiden og ikke mindst stor forskel på de modeller, der anvendes til at regne på konsekvenserne for det fremtidige klima. Derfor er de præcise konsekvenser for klimaet behæftet med en vis usikkerhed – dog får vi med stor sandsynlighed bl.a. mere regn. Om vinteren vil der komme mere nedbør og om sommeren mindre, dog med kraftigere hændelser bl.a. i form af skybrud, som vil forekomme oftere i fremtiden (Arnbjerg-Nielsen, Halsnæs, Mikkelsen, & Zhou, 2011). Oversvømmelser som følge af kraftige skybrud og regnhændelser, som den beskrevet i indledningen, vil derfor med stor sandsynlighed opstå oftere og oftere (se tabel 2), hvilket er med til at skabe et større behov for klimatilpasning.

### Klimaændringer medfører behov for tilpasning

Fremtidens klima vil kræve, at der i landets kommuner, foretages en række prioriteringer og klimatilpasninger af områder, hvor der med stor sandsynlighed vil forekomme eksempelvis opstuvning af vand ved skybrud, overbelastede kloaker og ødelagte kældre, for at undgå skader og samfundsmæssige tab. Som det fremgår, er de nøjagtige konsekvenser af klimaændringerne ukendte, da modelberegninger og klimascenarierne er behæftede med usikkerheder og bygger på antagelser. Sikkert er det dog, at vi vil opleve ændrede nedbørsmønstre med flere kraftige hændelser. Men præcist hvor store konsekvenser det får for fremtidens vejrhændelser vides ikke - dette afhænger også i høj grad af den fremtidige udledning af drivhusgasser. Klimaændringerne kan altså ikke undgås og derfor må der foretages klimatilpasninger med henblik på at minimere menneskelige, økonomiske og miljømæssige tab i fremtiden.

### 3.1.2 Klimatilpasning

Klimaændringerne kan som nævnt tidligere ikke undgås eller afværges og der hersker en generel erkendelse af at løsningen på klimaproblemet er at klima-

tilpasse vores nuværende samfund både i land og by (Wit & Webb, 2010). Tilpasning er defineret som: Strategier og tiltag til at nedbringe sårbarheden af naturlige og menneskeskabte systemer i forhold til faktiske eller forventede klimaændringer (IPCC, 2007).

Specielt de urbane miljøer har en høj koncentration af samfundsmæssig værdi på små arealer (IPCC, 2012). En stor del af arealerne i byerne er befæstede arealer, hvilket gør dem impermeable, dvs. at der ikke er nogen naturlig ned-sivningsmuligheder for regn. Dette skaber en øget sandsynlighed for oversvømmelser i byerne end det åbne land. Der er et væld af forskellige konkrete løsninger og tiltag, der kan være med til eksempelvis at lette presset på kloaknettet, således oversvømmelser af kældre undgås. Det kan være ved at regnvand afledes eller nedsives lokalt eller ved at rekreative områder kan oversvømmes midlertidigt eller måske direkte er designet til at opbevare regnvand gennem en kortere periode. De konkrete design og løsninger er talrige, men klimatilpasninger kan overordnet beskrives efter tre overordnede strategier:

### Beskytte

Denne strategi bygger på at beskytte det eksisterende fysiske miljø ved at øge modstandsdygtigheden af de allerede eksisterende elementer (IPCC, 2007). Det kunne eksempelvis være diger, højere sokkelkoter eller installation af højvandslukker hos den private grundejer.

### Imødekomme

Strategien bygger på at det eksisterende fysiske miljø klimatilpasses ved at gøre det mere fleksibelt. Det kunne være ved huse der flyder ved oversvømmelse, anvendelse af rekreative områder til opbevaring af vand, dimensionering af kloaker til de øgede nedbørsmængder, LAR (IPCC, 2007).

### Tilbagetrækning

Strategien går ud på at eksisterende fysiske strukturer omarranges. Eksempelvis kan boliger i et lavtliggende område, hvor der med sikkerhed vil forekomme oversvømmelser år efter år, flyttes til en mere egnet beliggenhed, hvorefter området f.eks. kan overgå til vådområde. Andre eksempler på tilbagetrækning kunne være tilvejebringelse af nye vådområder, gensnoning af åer og vandløb. Under tilbagetrækning hører øget opmærksomhed omkring problemet og øget beredskabsplanlægning - herunder kortlægning af risikoen og advarselssystemer (IPCC, 2007).

Ved anvendelsen af alle tre strategier er det vigtigt at være opmærksom på, at konkrete projekter ikke har utilsigtede konsekvenser, og derved i stedet for at blive klimatilpasning bliver klima-u tilpasning. Den foretrukne form for kli-



Figur 4: Bæredygtighed illustreret ved en tre-sektor-tilgang (Hopwood, Giddings, & O'Brien, 2002) (Lombardi, Porter, Barber, & Rogers, 2011).

matilpasning vil være bæredygtig tilpasning, der varetager både økonomi-, miljø- og samfundsinteresser (se figur 4). I forbindelse med eksempelvis ekstreme regnhændelser vil det være vigtigt, at løsningerne fokuserer på at være bæredygtige på lang sigt, således at nytten optimeres for miljøet, lokale borgere og de fremtidige generationer (Hopwood, Giddings, & O'Brien, 2002) (Lombardi, Porter, Barber, & Rogers, 2011).

### 3.1.3 Lovgivning vedrørende klimatilpasning og oversvømmelse fra ekstremregn

På baggrund af behovet for klimatilpasning, findes der i lovgivningen en række bestemmelser, der regulerer planlægningen for klimatilpasning og stiller krav til indholdet i denne. For at undersøge om der i lovgivningen stilles krav, som er relevante i forbindelse med kortlægning af risiko og sårbarhed ved oversvømmelser, er relevant lovgivning gennemgået. Dette afsnit beskriver derfor relevante bestemmelser fra EU- og den nationale lovgivning.

#### EU's Oversvømmelsesdirektiv

EU's oversvømmelsesdirektiv (Direktiv 2007/60/EF, 2007) skal ifølge regeringsgrundlaget (Statsministeriet, 2011) implementeres i dansk kontekst. EU-direktivet omhandler national kortlægning af risikobilledet ved oversvømmelser samt planlægning af indsatser imod oversvømmelserne.

Direktivet resulterer i en række nye krav til den danske risikokortlægning på nationalt og kommunalt niveau (Pedersen, 2012). I forbindelse med oversvømmelse fra kystterritoriet samt fra søer og vandløb er direktivet implementeret i to bekendtgørelser (BEK nr 121, 2010) og (LOV nr 1505, 2009). På nationalt niveau er der altså krav til, at der skal foretages en kortlægning af sårbarheden, i forholdt til oversvømmelser fra havet, søer og vandløb, - dette skal ske for de enkelte vandrammedistrikter.

Det er op til en fortolkning af direktivet hvorvidt oversvømmelse fra spildevandssystemer er medtaget. Ifølge Dansk Hydrologisk Institut (DHI) (DHI, 2007) kan spildevandssystemer udelades i risikokortlægningen såfremt regeringen måtte ønske det. Der er i direktivet fokus på oversvømmelse i byer, da dette i direktivets indledning er nævnt som et af formålene med selve direktivet. Dette kan tolkes som om at oversvømmelse fra regnvands- og fællessystemer er medtaget i direktivet, dog er det ikke obligatorisk at kortlægge for sådanne hændelser (DHI, 2007).

EU's Oversvømmelsesdirektiv opstiller bl.a. forskellige krav til kortlægningen af sandsynlig og konsekvenser:

### Foreløbig vurdering af oversvømmelsesrisiko

*"Vurderingen skal som minimum omfatte topografiske kort, der beskriver arealanvendelsen, en beskrivelse af tidligere oversvømmelser, oversvømmelsernes omfang og strømningsveje samt en vurdering af de skader, der er sket, og hvor der kan forventes omfattende skader som følge af lignende hændelser i fremtiden. Klimaændringers indvirkning på forekomsten af oversvømmelser skal så vidt muligt tages i betragtning."*  
(Direktiv 2007/60/EF, 2007)

### Kort over faren for oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse

*"Kort over faren for oversvømmelse skal dække de geografiske områder, der vil kunne blive oversvømmet efter tre scenarier; a) ringe sandsynlighed for oversvømmelse eller ekstreme hændelser, b) middelstor sandsynlighed for oversvømmelse, c) stor sandsynlighed for oversvømmelse, hvor det er relevant"*  
(Direktiv 2007/60/EF, 2007)

### Risikostyringsplaner for oversvømmelser

*"På baggrund af kort over faren for oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse, skal der udarbejdes risikostyringsplaner for oversvømmelser. Risikostyringsplanerne skal have særlig vægt på forebyggelse, sikring og beredskab og tage relevante aspekter i betragtning som omkostninger og fordele, oversvømmelsesomfang, afløbsveje og arealer, der kan virke som overløb ved oversvømmelser"*  
*mm"*  
(Direktiv 2007/60/EF, 2007)

### Kommunale klimatilpasningsplaner

Som nævnt tidligere skal alle kommuner inden for de næste to år tilvejebringe en klimatilpasningsplan. Hvad en sådan plan konkret skal indeholde er endnu ikke defineret, derfor er der bl.a. oprettet et taskforce for klimatilpasning som skal bistå kommunerne i planlægningen af klimatilpasningsplaner (Statsministeriet, 2011)

I dette forår og i løbet af sommeren (2012) afholder Kommunernes Landsforening (KL) i samarbejde med Naturstyrelsen (NS) flere workshops som skal ruste kommunerne til at lave en helhedsorienteret indsats i forbindelse med deres klimatilpasning, således at der kan opnås synergieffekter inden for de mange ansvarsområder som kommunerne varetager. Der afholdes bl.a. workshops indenfor kortlægning, LAR, Blå-Grøn struktur og beredskabsplaner. (Naturstyrelsen & KL, 2012)



## FORUNDERSØGELSER

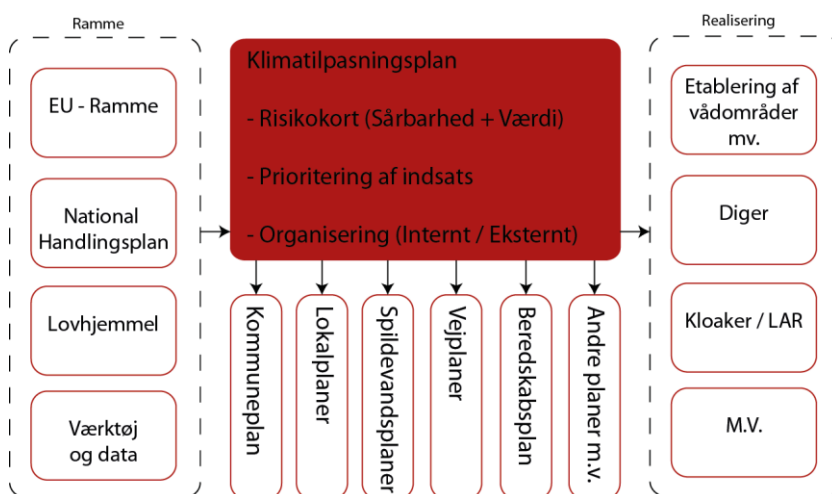
Fra KL's side er der udarbejdet en projektbeskrivelse, som bl.a. udlægger følgende, som nogle af fokusområderne for de kommende arrangementer for kommunerne:

- "Hvilke indsatser er relevante ift. henholdsvis byerne, det åbne land og kysterne, og hvordan sikrer man den nødvendige sammenhæng?"
- "Hvordan udarbejder kommunen en risikokortlægning?"
- "Hvordan opnås synergier mellem handlingsplanen og kommunens andre fokusområder, for eksempel erhvervsudvikling, bosætning, byudvikling og naturbeskyttelse mv.?"

(Naturstyrelsen & KL, 2012)

Dette er nogle af de ting som KL ønsker at de nye klimatilpasningsplaner skal planlægge for. Det er dog en stor udfordring i forhold til lovgivningen, hvordan evt. klimatilpasningstiltag skal finansieres og hvem der skal udføre dem. Der er dog allerede vedtaget en række tiltag bl.a. andet er planloven blevet udvidet således at klimatilpasning kan anvendes som en planmæssig begrundelse i lokalplanlægningen (Task Force for Klimatilpasning, 2012).

Figur 5 illustrerer hvordan klimatilpasningsplanerne skal implementeres på kommunalt plan og giver eksempler på konkrete handlinger der kan udføres i kommunerne.



Figur 5: Den kommunale klimatilpasningsplan ses realiseret i den kontekst og med de virkemidler som figuren illustrer (Rafn, 2012)

Yderligere arbejdes der fra folketingets side med to klimafinansieringspakker, der skal give plads i kommunernes økonomi til at udføre de konkrete klimatilpasningsprojekter. Klimafinansieringspakke 1+2 skal vedtages i løbet af 2012 og første halvår af 2013 (Rafn, 2012). Udover finansieringspakkerne har Naturstyrelsen fået til opgave at udarbejde en landsdækkende kortlægning over risikoen ved oversvømmelser, som de stiller til rådighed for kommunerne, med henblik på anvendelse i deres klimatilpasningsplaner. Denne landsdækkende kortlægning udarbejdes for at minimere arbejdspresset på kommunerne i forbindelse med kravet om udarbejdelse af klimatilpasningspla-

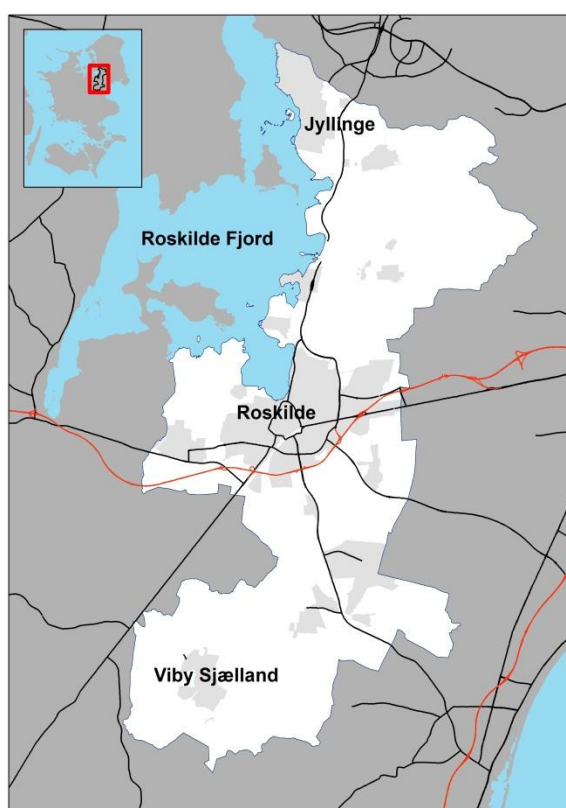
nerne, og dermed minimere krav fra kommunerne om finansieringsmæssig bistand (Pedersen, 2012). Kortlægningen skal være med til at hjælpe kommunerne med at prioritere deres klimatilpasninger, således at den samfundsmæssige gevinst maksimeres.

### **Opsamling**

På baggrund af de gennemgåede emner i problemanalysen er der indsamlet viden om konsekvenserne af klimaændringerne samt den lovgivning og de udfordringer, der er opstået som følge heraf. Det kan konkluderes at klimaændringerne er uundgåelige på trods af en vis usikkerhed vedrørende de helt konkrete konsekvenser. Med stor sikkerhed kan det dog siges, at der i Danmark vil komme flere kraftige og ekstreme regnhændelser, og dermed flere oversvømmelser. Selvom de præcise konsekvenser er ukendte, er det erkendt at der vil være brug for klimatilpasninger for at gøre vores samfund mere modstandsdygtig mod fremtidens klima. Klimaændringer vil fortsat ændre sig over tid, så det vil være vigtigt, at der foretages grundige langsigtede prioriteringer, således at klimatilpasningstiltag kan udføres der, hvor de gør mest nytte for samfundet som helhed. Yderligere er det vigtigt at konkrete tiltag foretages med henblik på en bæredygtig udvikling, hvor man vurderer konsekvenserne for økonomi, samfund og miljø (se figur 4). For at sikre en indsats mod klimaændringerne er der på nationalt niveau er opstået et lovkrav om, at kommunerne inden 2013 skal have tilvejebragt en klimatilpasningsplan som bl.a. indeholder en sandsynligheds-, konsekvens- og risikokortlægning.

## 3.2 Caseområde

Forud for udarbejdelse af modellen som kortlægger sårbarheden, udvælges et caseområde, som ramme for kortlægningen. I forlængelse af samarbejdet med Orbicon, vælges Roskilde Kommune som caseområde. Roskilde Kommune anvendes for at eksemplificere kortlægning og modellen i den skala, den tænkes anvendt. Selve løsningen er dog ikke målrettet mod caseområdet, men derimod målrettet mod en mere generelt anvendelig løsning. Caseområdet Roskilde Kommune anvendes derfor til test af det endelige produkt, for at sikre at det endelige produkt er praktisk anvendeligt.



Figur 6: Kort over caseområdet Roskilde Kommune. Kommunen består af de større byer Viby S., Jyllinge og Roskilde. Yderligere findes en række mindre byer, og en stor andel af landbrugsarealer.

En casebaseret tilgang til udvælgelsen af temaer og data, der skal indgå i modellen, har en række fordele og ulemper – en casebaseret tilgang giver et meget konkret og virkelighedsnært billede af værditab i det givne caseområde, derimod opnås ikke noget svar på om caseområdet er repræsentativt for øvrige områder. Dette må forsøges besvaret gennem de andre metoder der anvendes til udvælgelsen af temaer og data.

Selvom der er taget udgangspunkt i et caseområde er målet at udarbejde en generisk model på baggrund af landsdækkende registerdata, som skal kunne

## CASEOMRÅDE

anvendes af alle landets kommuner i forbindelse med kortlægningen til deres fremtidige risikostyrings og klimatilpasningsplaner således at der kan iværksættes konkrete projekter.

## 3.3 Oversvømmelsesmodel - sandsynlighed

Som beskrevet i indledningen, skal kortlægningen af konsekvenserne eller sårbarheden anvendes sammen med en kortlægning af sandsynligheden for oversvømmelser. Sandsynligheden for oversvømmelser kan kortlægges gennem en oversvømmelsesmodel, der beregner hvor vandet vil opstuves på terræn, ved forskellige regnhændelser. Yderligere kan kortlægningen af sandsynligheden inddrage forskellige data fra tidligere virkelige regnhændelser.

Beregningen af oversvømmelsesmodellen bygger typisk på forskellige scenarier, hvor det beregnes, hvilke områder, der oversvømmes ved forskellige regnhændelser. Eksempelvis ved en 1års-, 5års-, 10års- og 100års hændelsen. Resultatet bliver dermed et kort med angivelse af områder, hvor sandsynligheden for en oversvømmelse indenfor et år, angives til hhv. 100 %, 20 %, 10 % og 1 %. Yderligere kan modellen, afhængigt af dens kompleksitet, eksempelvis indeholde oplysninger om vanddybder og varigheden af oversvømmelserne i forskellige områder.

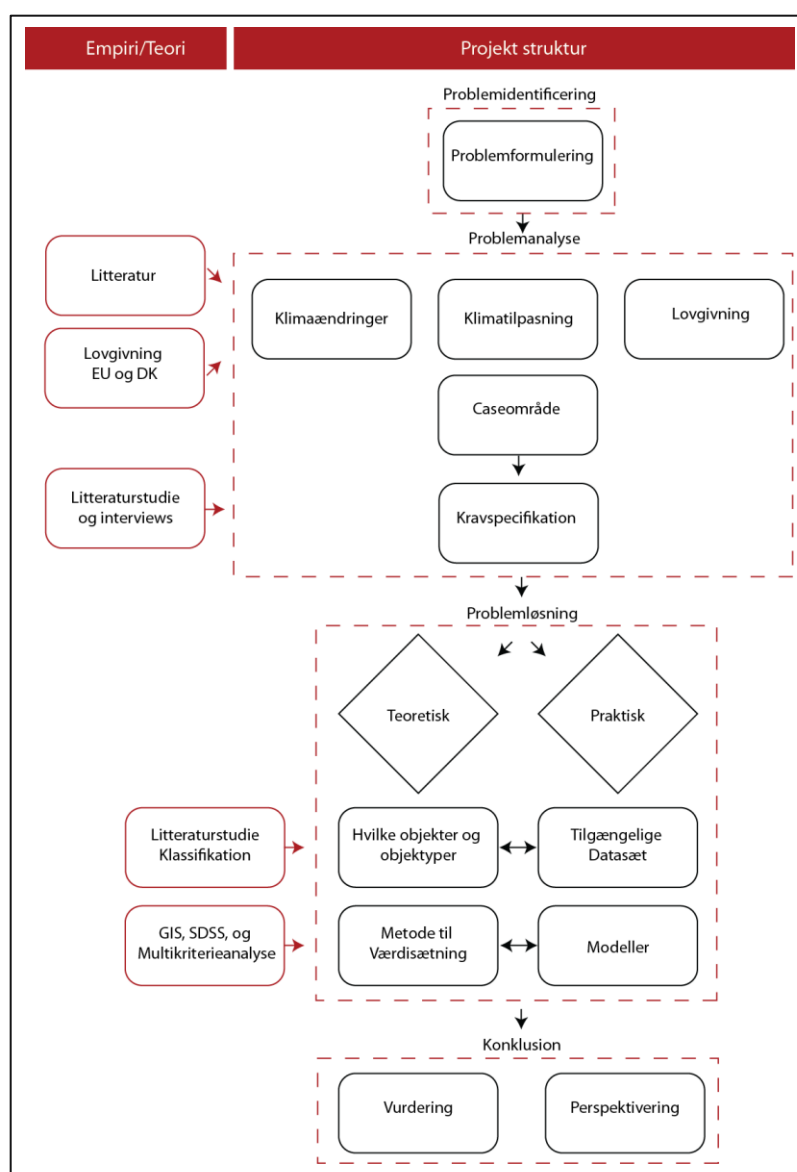
Oversvømmelsesmodeller kan beregnes på mange måder, og inddrages flere eller færre parametre. En af de simpleste metoder er beregninger af lavninger- hvor der, på baggrund af en terrænmåde, foretages udpegninger af hvilke lavninger vandet vil samle sig i ved en regnhændelse, under forudsætning af at jorden er impermeabel. Yderligere kan der inddrages modificerede terrænmodeller, eller inddrages oplysninger om vandløb, grundvand, og forskellige scenarier for klimaændringer og -fremskrivninger (DANVA, 2011).

Af forskellige modeller til beregning af oversvømmelser kan bl.a. nævnes de forskellige MIKE modeller, som foretager beregninger på forskellige vandsystemer, og dermed kan anvendes til beregninger, som forudsiger oversvømmelser (DHI, 2011).

I dette projekt foretages ingen beregninger af sandsynligheden for oversvømmelser, da det ligger udenfor problemformuleringens sigte. I stedet inddrages en oversvømmelsesmodel beregnet af Orbicon, som til sidst i projektet anvendes til at eksemplificere anvendelsen og kombinationen af konsekvenskortlægningen, og sandsynlighedskortlægningen, til et samlet risikobilde.

## 3.4 Metode

Følgende afsnit har til formål at præsentere projektets overordnede struktur samt den anvendte teori og empiri. Afsnittet beskriver det problemorienterede projektarbejde samt metoden, der overordnet omhandler anvendelsen af teori og empiri til løsning af projektets problemstilling. I *figur 7* fremgår det empiriske input til de forskellige delelementer af projektet. Yderligere beskrives metoder, der anvendes i det teoretiske og praktisk-metodiske arbejde med at løse de enkelte delelementer i problemløsningsdelen, og dels til detaljestruktureringen af projektets enkelte faser.



Figur 7: Opbygning af projektmetoden. Figuren viser projektstrukturen, samt input til de enkelte projektfaser, i form af teori og empiri.

Som ovenstående figur illustrerer, bygges projektet op omkring en række forskellige faser (de stiplede kasser). Første fase er identificeringen af problemstillingen, som præsenteres i projektets problemformulering. Næste fase er problemanalysen, som har til formål at underbygge problemformuleringen og dennes aktualitet. Herefter følger selve problemløsningen og til sidst en konklusion der vurderer på den udarbejdede løsning.

### 3.4.1 Projektets videnskabelige tilgang.

Projektet tager som beskrevet gennem problemformuleringen og problemanalysen udgangspunkt i problematikken omkring klimaændringer og klimatilpasning samt processen med at udvikle en model der kan anvendes i en planlægnings og politisk kontekst. Til at udarbejde modellen anvendes GIS som det centrale værktøj. Anvendelsen af GIS som værktøj samt fokuset på at optimere prioriteringen af klimatilpasningerne og finde en praktisk løsning, resulterer i at projektet er et teknologistudie der bygger på videnskabelige metoder og teorier. Nogle af styrkerne ved GIS i denne sammenhæng beskrives af følgende citater:

*"With a single collection of tools, GIS is able to bridge the gap between curiosity-driven science and practical problem solving"*  
(Longley, Maguire, Goodchild, & Rhind, 2011, s. 10)

*"GIS solves the ancient problem of combining scientific knowledge with specific information and gives practical value to both"*  
(Longley, Maguire, Goodchild, & Rhind, 2011, s. 14)

Da projektets fokusområde er planlægning, herunder beslutningsprocesser samt kvantitativ og kvalitativ værdisætning af temaer og kriterier, hører projektet under flere videnskabelige retninger, nemlig den samfundsvidenskabelige og naturvidenskabelige retning.

Samfundsvidenskaben beskæftiger sig med at beskrive hvordan mennesket lever i et samfund, herunder hører bl.a. jura, politik og økonomi. På den ene side handler samfundsvidenskab om at forstå mennesket på samme måde som den humanistisk videnskab, men samfundsvidenskaben anvender også dele af naturvidenskabelig metode, herunder bl.a. matematik og statistik. I samfundsvidenskab findes der ikke ét rigtigt svar - der vil ofte være flere muligheder, hvad enten der er tale om teorier eller modeller (Vestergård, 2010).

Dette projekt anvender geografiske informationer og opstillingen en model, derfor hører projektet mere under den naturvidenskabelige retning, da geografiske informationer behandles ved hjælp bl.a. matematiske funktioner (Vestergård, 2010).

Der findes forskellige metoder, som kan anvendes til at skabe viden om et givent emne eller problemstilling. Man kan enten anvende deduktiv eller induktiv metode. Generelt for naturvidenskaben arbejdes der med at forklare fænomener gennem observationer eller eksperimenter; indsamling af data, registrering og måling af omverdenen.

### Deduktiv eller hypotetisk-deduktiv metode

Den deduktive metode bevæger sig fra noget generelt til noget konkret. Der tages udgangspunkt i en noget teori som afprøves i praksis. Såfremt forsøgsresultaterne bekræfter teorien vil denne være verificeret, men ikke nødvendigvis sand (Nielsen, 2008) (CP, 2007).

### Induktiv eller empirisk-induktiv metode

Den induktive metode er en metode hvorved man kan erhverve sig viden om verden. På grundlag af en række enkle observationer eller påstande (empiriske) udledes der generelle teorier eller modeller. Det kan siges at man går fra noget konkret til noget abstrakt. Der vil ved denne metode være en usikkerhed i koblingen mellem de enkle empiriske påstande og generelle teorier eller modeller (CP, 2007) (Nielsen, 2008).

I projektet kan den videnskabelige metode eller proces opdeles i en deduktiv og en induktiv del. Den deduktive metode ligger til grund for problemformuleringen, da problemformuleringen bygger på en generel problemstilling, der forsøges løst på baggrund af en konkret løsning for et caseområde (Rienecker & Jørgensen, 2002). Den deduktive fase er illustreret i *figur 7* som problemidentificeringen.

Den praktiske problemløsningsdel (se *figur 7*) som identificerer objekter, skadestyper og anvender metoder til vægtning etc., er styret af den induktive metode. Der arbejdes med afsæt i empirien fra litteraturstudiet samt tilgængelige landsdækkende registre og databaser med henblik på at udvikle en model for Roskilde Kommune, som skal kunne generaliseres således, at den kan anvendes til sårbarhedskortlægning over hele landet på kommunalt niveau.

## 3.4.2 Forundersøgelser

Som et led i problemanalysen (se *figur 7*) udarbejdes en række undersøgelser, som er med til at underbygge projektets relevans og i sætter det ind i en kontekst. Forundersøgelserne tager udgangspunkt i problemformuleringen. Undersøgelserne indeholder en præsentation af klimaændringer, klimatilpasning og gældende lovgivning. Disse forundersøgelser og er præsenteret i opgavens indledende del.

## 3.4.3 Projektsamarbejde

I forbindelse med udarbejdelse af projektet har der været etableret et samarbejde med virksomheden Orbicon i Roskilde, som er et rådgivende ingeniørfirma indenfor miljø og energi.

Orbicon har bidraget med input til projektet i form af en aktuel case, for kortlægning af sårbarhed i Roskilde Kommune. Konkret bidrager samarbejdet med en række tværfaglige inputs til projektet. Der er under projektperioden afholdt en række møder (se afsnit 2.4.5 *Interviews*) med et hold medarbejdere fra Orbicon med forskellige baggrunde:

- Søren Gabriel, Civilingeniør : Procesledelse, prioritering af indsatser
- Hauge W. Larsen, akademiingeniør: Værdi og risikokortlægning.



## METODE

- Hanne Wiemann Nielsen, arkitekt og byplanlægger: Fysisk planlægning, arealanvendelse.
- Michael Juul Lønborg, civilingeniør og Ph.D: Modellering i det åbne land og værdikortlægning.

Yderligere har Orbicon bidraget med data for Roskilde kommune, som er anvendt i forbindelse med sårbarhedskortlægningen. De har desuden leveret data i forbindelse med modellering af sandsynligheden for oversvømmelse, herunder en bluespot-analyse, en MIKESHE og en MIKEURBAN modelberegning for hele Roskilde Kommune.

### 3.4.4 Litteraturstudie

Foruden de i forudgående forundersøgelser er en række yderligere kilder undersøgt. Disse undersøgelser præsenteres gennem et litteraturstudie i *Appendiks I*. Litteraturstudiet er udført med henblik på indsamling af informationer til alle dele af projektet. Indholdet og outputtet heraf er beskrevet i *Appendiks I*. I rapporten henvises til litteraturstudiet som en metode, der giver input i form af teori og empiri til flere af projektets delfaser.

Litteraturstudiet undersøger informationer fra forskellige artikler og rapporter. For at konkretisere formålet og målet med informationsøgningen, er der opstillet seks parametre eller emner, som der søges litteratur indenfor (se figur 8). Disse parametre anvendes også til at indeksere litteraturen efter, og angiver dermed hvilken litteratur, der kan give input til problemløsningen i form af empiri og teorier.

	Application of a model to the evaluation of flood damage (Luino, et al., 2009)	Betydning af Klimaændringer for Region Hovedstaden (COWI, 2010)
Objekttyper	X	X
Skadestyper	X	X
Værdisætning	X	X
Kriterier		
Vægtning		
Design	X	X

Figur 8: Eksempel på indeksering af litteratur. Den fulde indeksering ses i *Appendiks I*.

Der foretages en bred informationsindsamling omkring anvendte objekttyper, som senere skal sammenholdes med tilgængelige danske registerdata og udvælgelseskriterier for at definere input til modellen. Herunder undersøges der også om der skulle være objekttyper som er betinget af dansk eller europæisk lovgivning.

Det undersøges hvilke typer af skader, der kan anvendes til at simulere samfundsmæssigt værditab, i denne sammenhæng tænkes der på direkte/indirekte eller håndgribelige/uhåndgribelige skader, hvordan der i litteraturen og øvrige projekter sættes en værdi på objekter og temaer. Er det beregnet på baggrund af en et reelt monetært tab, rent kvantitativt på en ordnet

skala, eller er forskellige typer af skader opgjort på forskellige ordnede skalaer.

Hvilke kriterier anvendes til at simulere de samfundsmæssige værdier således at alle aspekter af beslutningsproblemet bliver dækket. Eksempelvist økonomi, samfund og miljø, jf. modellen for bæredygtig tilpasning (se figur 4). I forhold til kriterier er det endvidere undersøgt hvordan disse vægtes i anvendelsen af modellen. Slutteligt er der undersøgt hvilke datamodeller der bliver anvendt for at kunne beregne de ønskede outputs, valg af skala og visualisering således at kortlægningen kan anvendes til strategisk og konkret planlægning. Det konkrete output (parametrene), og indekseringen af de gennemgåede artikler og rapporter ses i *Appendiks I*.

Litteraturstudiet er udarbejdet på baggrund af en litteratursøgning gennem søgemaskinerne: Google, Google Scholar, databaserne: Cambridge Scientific Abstracts, DADS og Scopus. Der er kun medtaget artikler nyere end år 2000 og søgningen har været bygget op omkring søgeordene: GIS, multicriteria / multikriterier, risk assesment / risikostyring, flood / innundation / oversvømmelse, damage/skader og precipitation / nedbør. Der har i søgningen været fokus på at finde publikationer af forskellig art, således at der både er publikationer fra myndigheder, videnskabelige artikler, konkrete projekter og rapporter af forskellig art.

Der er gennem litteraturstudiet undersøgt et stort antal publikationer. Ved gennemgangen er en række publikationer blevet udvalgt til anvendelse i outputtet fra litteraturstudiet. De udvalgte artikler som indgår i studiet er ligeledes præsenteret i *Appendiks I*.

### 3.4.5 Interviews

Som supplering til litteraturstudiet er en række interview i forbindelse med projektet foretaget. Til interviewene er forskellige respondenter udvalgt med fokus på udveksling af erfaringer i forbindelse med kortlægningen af oversvømmelses risiko. Interviewene er udført med baggrund i problemformuleringen, og for at få input til indholdet i modellen. Alle interviewene er udført som kvalitative fokusinterview, med nøglepersoner indenfor risikokortlægning og skadesopgørelser. Yderligere har interviewene givet input til anvendelsesmulighederne for projektets produkt, og dermed kravspecifikationen.

#### **Daniel Grube Pedersen - Naturstyrelsen** (Pedersen, 2012)

Der er foretaget et interview med geograf Daniel Grube Pedersen, som bl.a. står for hjemmesiden klimatilpasning.dk. Interviewet er foretaget med henblik på erfaringsudvikling i forbindelse med kortlægning af oversvømmelsesrisiko. I denne forbindelse er Naturstyrelsen i gang med at udvikle et redskab til kommunerne, der skal anvendes som hjælp til kommunerne i forbindelse med udarbejdelse af de kommunale klimatilpasningsplaner. Indholdet i modellen, i form af data og analyser har været hovedemnet i det kvalitative fokusinterview.

#### **Søren Gabriel, Michael Lønborg Juul, Hauge Larsen og Hanne Nielsen - Orbicon** (Orbicon, 2012a)

I forbindelse med projektsamarbejdet med Orbicon, er der afholdt en række

møder, hvor projektideer har været præsenteret og udvekslet. Møderne er gennem rapporten, angivet som et interview, med ovennævnte personer. Informationer fra møderne henvises der derfor til i rapporten som stammende fra dette interview. Interviewet består dermed af følgende møder:

- 10. feb. 2012 – indledende møde om samarbejde og projektindhold
- 28. feb. 2012 – indledende projektideer og krav til produkt
- 15. mar. 2012 – præsentation og udveksling af foreløbig sårbarhedskortlægning
- 11. apr. 2012 – opfølgning på status, samt præsentation af udkast til værdisætning

På baggrund af Orbicons tætte samarbejde med Roskilde Kommune, i forbindelse med udarbejdelsen af konsekvenskortlægningen, har Orbicon kunne levere en række input til dette projekt som reelt, repræsenterer kommunale synspunkter fra Roskilde Kommune.

### **Mette Rothschild – Forsikring og Pension (Rothschild, 2012)**

Interviewet er udført som et kvalitativt telefoninterview, med fokus på opgørelse af skader i forbindelse med skybrud, og ekstremregn. Forsikring og Pension er forsikringsbranchens brancheorganisation, som opsamler og udarbejder statistikker på baggrund af udbetalte erstatninger. Interviewet har bidraget med forklaringer i forbindelse med levering af skadesopgørelser.

Respondenterne repræsenterer et bredt udsnit af aktørerne i forbindelse med kortlægningen af sårbarhed. I forbindelse med udarbejdelsen af en konsekvenskortlægning til anvendelse i kommunerne, vil der være aktører som rekvirent, producent og en bruger af modellen og kortlægningen.

Naturstyrelsen, repræsenterer distributøren, og dermed rekvirenten af modellen. Orbicon inddrages som respondent da, de repræsenterer producenten af en kortlægning tilsvarende sårbarhedskortlægningen i dette projekt. Yderligere repræsenterer og leverer Orbicon en række kommunale input, i form af brugeren Roskilde Kommunes ydelsesbeskrivelser, og informationer fra løbende projektmøder med kommunen. Forsikring og Pension repræsenterer en mulig dataleverandør, og leverer statistiske input vedrørende de faktuelle skader ved oversvømmelser.

### **3.4.6 Kravspecifikation**

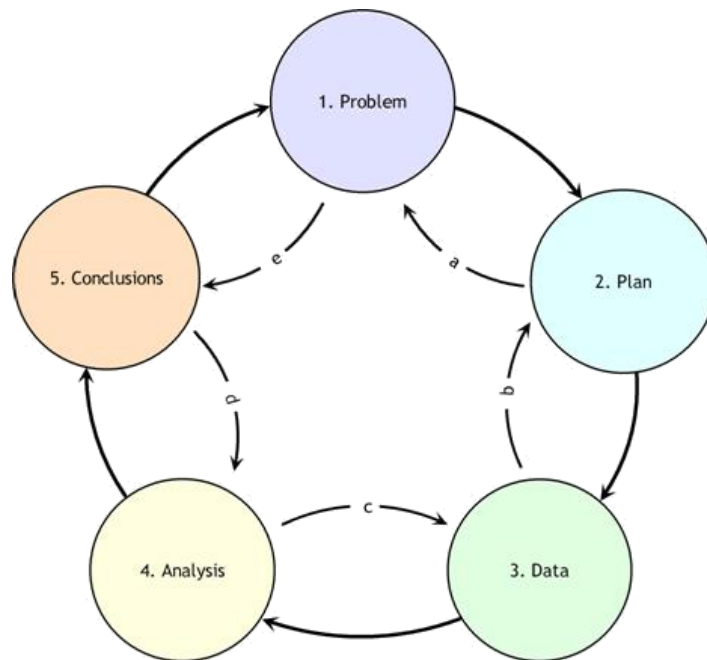
For at give et konkret output fra problemanalysen opstilles en række krav til modeludviklingen, i form en kravspecifikation. Kravspecifikationen udarbejdes med udgangspunkt i en definition af projektidentiteten, på baggrund af Lars Brodersens Kommunikation med Kort (Brodersen, 2002).

### **3.4.7 Problemløsningens metoder**

For at løse den opstillede problemformulering udarbejdes der en GIS en multikriterieanalyse, som gennem anvendelsen af ejendoms-, plan- og topografiske data, resulterer i en kortlægning, der skal anvendes til at støtte beslutningsprocesserne vedrørende konkrete kortsigtede og langsigtede planlæg-

ningsopgaver i forbindelse klimatilpasningsplan og konkrete klimatilpasningstiltag.

Multikriterieanalyse er valgt som metode, da det er en metode der kan indeholde og sammenstille både kvantitative monetære størrelser og kvalitative inputs (Merz, Thieken, & Kreibich, 2011). Analysen og dermed projektets løsningsdel, struktureres gennem nedenstående figur som bygger på en metode til strukturering af geografiske rumlige analyser.



Figur 9: Processen i udarbejdelsen af GIS-modellen som er resultatet af problemløsningen. Pilene a, b, c, d og e, viser af udarbejdelsen ikke altid er en direkte proces, fra problem til konklusion. (Smith, Goodchild, & Longley, 2011)

**1. Problem**

Projektets problemformulering og kravspecifikation udgør Problem, i ovenstående figur – som findes i projektets problemidentificering.

**2. Plan**

Plan præsenterer planen for problemløsningen.

**3. Data**

Selve løsningen indledes med en proces kaldet Data. Processen Data fokuserer på hvilke input der er nødvendige i analysen – både udvælgelsen og indsamlingen af data.

**4. Analysis**

Efterfølgende kommer processen vedrørende selve analysen og sluteligt Konklusionen. Processen Analyse, den egentlige analyse og har til formål at vurdere sårbarheden, prioritere og vægte de data/værdier som er indsamlet, og yderligere lokalisere dem geografisk.

**5. Conclusions**

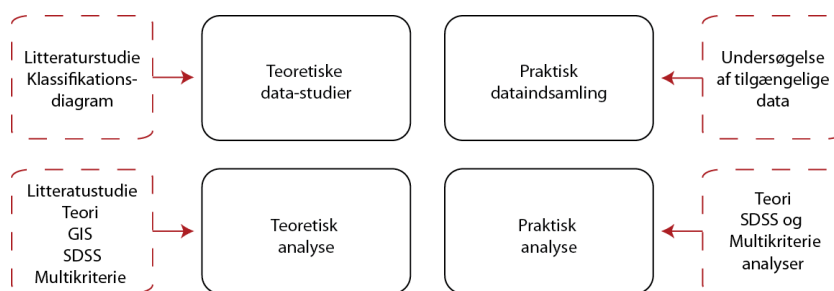
Konklusionen er den afsluttende vurdering af analysens resultat.

I figur 9 illustrerer pilen fra Konklusionen til Problem, viser at efter udarbejdelsen af analysen, må det vurderes om problemet er løst. Figuren illustrerer yderligere at udarbejdelsen af GIS-analyser indeholder iterative processer.

### En praktisk og en teoretisk del

Projektmetodisk opdeles indsamlingen af data og selve analysen i en praktisk og en teoretisk del. Hvor den teoretiske del har til formål at præsentere, hvordan modellen udarbejdes og hvad dens indhold skal være. Den praktiske del er selve indsamlingen af data samt udførelsen af analysen i et GIS.

Disse fire delfaser i projektet, den teoretiske- og praktiske dataindsamling samt den teoretiske- og praktiske analyse, har en række input som præsenteres herunder.



Figur 10: Figuren viser et udsnit af projektmetoden, og illustrerer hvordan udarbejdelsen af modellen opdeles i en teoretisk og en praktisk del.

Fokus i arbejdet med modellen er at udvælge og anvende tilgængelige landsdækkende registre samt databaser og derudover skabe en generisk model, som skal kunne anvendes af kommunerne. Idet en stor del af beslutningerne på kommunalt niveau i høj grad er påvirket af politiske og økonomiske begrænsninger vil der fra kommune til kommune være forskel på om det er eksempelvis økonomiske, menneskelige eller miljømæssige prioriteter der er i fokus. Derfor vil vægtingen af de enkelte temaer altid kunne diskuteres, hvorfor det ikke er her fokuset for projektet vil være. I det følgende præsenteres faserne Data, Analyse og konklusion uddybende.

### 3. Data

Projektfasen kaldet Data indeholder indsamlingen og klargøringen af de data, som er nødvendige som input i selve projektets analysedel. Målet med denne del af projektet er at udvælge, indsamle, gruppere og generalisere en række data i form af GIS-temaer der kan anvendes til kortlægningen og analysen af sårbarheds.

Planlægningen og indsamlingen foretages både på en praktisk og et teoretisk plan (se figur 10). På det teoretiske plan, undersøges det hvilke input der er relevante i forhold til analysen. Dette sker bl.a. gennem et litteraturstudie af risikoanalyser i forbindelse med klimaændringer eller ekstreme hændelser. Litteraturstudiet anvendes i første omgang til at udarbejde inputs til hvilke temaer og data der kunne være interessante i forhold til sårbarhedsanalysen. Gennem et klassifikationsdiagram ordnes data, således at de kan anvendes som input til modellen.

Ved at kombinere forskellige metoder i udvælgelsen opnås den styrke at nogle af metoderne går teoretisk til værks og dermed giver et overordnet billede af hvilke temaer der er relevante. Hvorimod andre metoder, starter på et mere konkret og praktisk plan, og dermed kan anvendes som test af de mere teoretiske udvælgelser.

På det praktiske plan indsamles datasæt svarende til de teoretiske. De data der skal anvendes skal stamme fra landsdækkende registre og databaser, og afgrænses af hensyn til tilgængeligheden og fagligheden for projektet til at omfatte topografiske-, ejendoms- og plandata herunder befolkningsdata. Der arbejdes med data som dækker Roskilde Kommune, der i projektet anvendes som caseområde.

#### **4. Analysis**

Projektets analysedel, har til formål at udvikle projektets endelige model. Dette gøres på baggrund af de inputs der stammer fra problemanalysen og inputs fra foregående afsnit. Yderligere inddrages empiri fra litteraturstudiet samt interviews.

Ligesom indsamlingen af data opdeles udarbejdelsen af selve analysen i en teoretisk og en praktisk del jf. *figur 10*. Den teoretiske del anvender også litteraturstudiet samt interviews som input. Her er tilgangen den samme som i undersøgelsen af data. Den teoretiske tilgang til analysedelen bliver input til den praktiske løsning, som anvender GIS som metode. Som inspiration til GIS-analysen anvendes input fra litteraturstudiet ligeledes.

#### **5. Conclusions**

På baggrund af den udarbejdede model konkluderes på mulighederne for at anvende modellen på landsdækkende niveau.

## 3.5 Kravspecifikation

For at kunne udvikle en model er det nødvendigt at opstille en række krav, som det er ønskeligt at modellen opfylder. Kravene opstilles i dette afsnit som en opsummering af problemidentificeringen og problemanalysen, og definerer hvad projektet leverer.

### Mål

Målet for dette projekt er fremstillingen af en model, der kortlægger sårbarheden ved oversvømmelser som følge af ekstremregn. Modellen skal kunne anvendes i den kommunale planlægning, til at udpege områder med høj sårbarhed ved oversvømmelser i forbindelse med de kommunale klimatilpasningsplaner. Modellen udarbejdes for det afgrænsede caseområde, Roskilde Kommune – men er tænkt som en generisk model, der skal kunne anvendes af alle landets kommuner og derfor udarbejdes den på grundlag af landsdækkende registre og databaser.

### Målgruppe

Modellen kan stilles til rådighed for kommunerne for at støtte dem og spare på de kommunale ressourcer i forbindelse med kortlægningen af sårbarhed ved oversvømmelser. Dermed er rekvisitent tiltænkt at være Naturstyrelsen, som stiller modellen til rådighed for kommunerne, der ses som brugeren (Pedersen, 2012).

### Krav til modellen

For at modellen kan anvendes af brugeren, må den leve op til en række krav, der definerer modellens indhold, hvordan den skal kunne anvendes og hvordan resultatet skal leveres.

Disse krav defineres med udgangspunkt i EU's oversvømmelsesdirektiv (Direktiv 2007/60/EF, 2007) samt på baggrund af Roskilde Kommunes udbudsmateriale vedrørende kortlægning af risikoen ved oversvømmelser (se *Bilag I*) samt litteraturstudiet, foruden indholdet i problemidentificeringen og problemanalysen.

### Krav til anvendelsesmuligheder

Modellen skal udarbejdes således, at den kan anvendes til at foretage kommunale prioriteringer og planlægge konkrete tiltag og indsatser mod oversvømmelser, på et veloplyst grundlag. Dermed skal modellen kunne tilpasses forskellige politiske dagsordner og holdninger.

### **Krav til modelindhold**

Kortlægningen af sårbarheden skal tage udgangspunkt i de følger, som oversvømmelser vil have på en række forskellige elementer. Indholdet eller inputtet i modellen og kortlægning angives som følgende elementer, der indikaterer for høj sårbarhed (*Bilag I*), (Direktiv 2007/60/EF, 2007).

- Aktiviteter
- Bygninger
- Infrastruktur
- Miljø
- Natur
- Risiko- og Listevirksomheder

### **Krav til modellens form og levering**

Modellen skal kunne give et output i form af digitale kort der kan trykkes, og GIS-lag der kan bruges sammen den øvrige kommunale planlægning (*Bilag I*).





# 4 Problemløsning

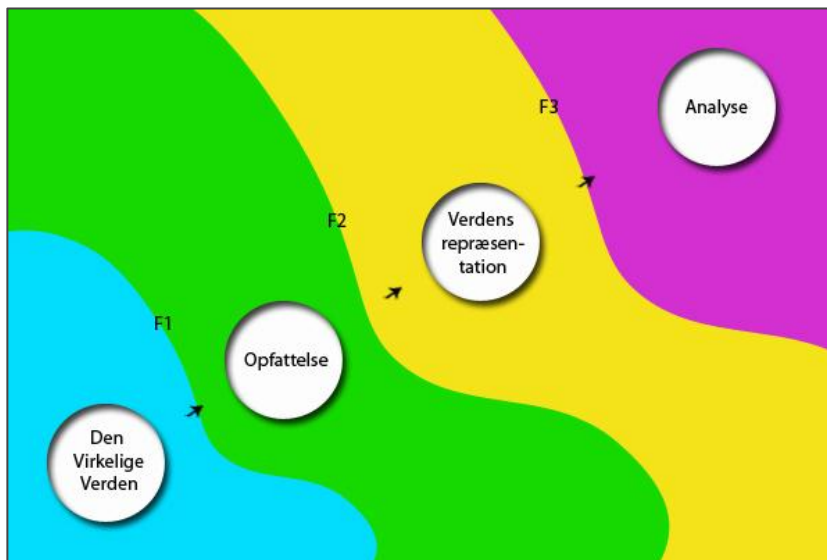
---

## 4.1 Analyseramme

Dette afsnit beskriver den teoretiske ramme for projektets problemløsningsdel. Afsnittet beskriver hvordan GIS kan anvendes til at simulere en afbildning af verden og hvordan en multikriterieanalyse kan anvendes som støtte i forbindelse med politiske beslutninger og prioriteringer gennem Spatial Decision Support Systems (SDSS). Analyserammens formål er at redegøre for hvorfor og hvordan GIS, multikriterieanalyse og SDSS kan anvendes som redskaber til at løse det opstillede problem, samtidigt med at løsningen lever op til kravene i kravspecifikationen (se afsnit 2.5 *Kravspecifikation*).

### 4.1.1 Geografiske informationssystemer

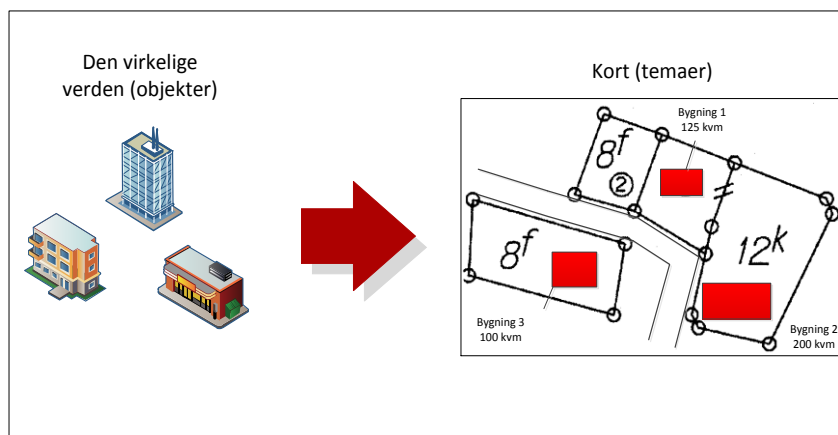
Verden er uendeligt kompleks og det er ikke muligt at lave en perfekt repræsentation af den (Longley, Maguire, Goodchild, & Rhind, 2011), (Ferrand, 2000). Men Geografiske informationssystemer (GIS) kan anvendes til at afbilde forskellige versioner af verden, hvor det er op til eksempelvis producenten eller planlæggeren, alt efter kontekst, at fastsætte elementerne og detaljeringniveauet, hvorved virkeligheden ønskes simuleret til en given situation eller analyse (Brodersen, 2008). I og med kompleksiteten af den virkelige verden er det ikke muligt at repræsentere den, uden at der vil opstå en hvis usikkerhed i repræsentationen. Der siges at være tre filtre (illustreret ved F1, F2 og F3 i figur 11) der påvirker forståelsen, repræsentationen og analyserne af den virkelige verden, disse skal ses som filtre, som udvikleren selv pålægger data (Longley, Maguire, Goodchild, & Rhind, 2011).



Figur 11: Processen i nedbrydning af den virkelige verden, således at den kan repræsenteres og analyseres i et GIS. F1, F2 og F3 illustrerer filtre, som man kan opfatte som en bevidst selektion af hvordan verden afbildes eller transformeres (Longley, Maguire, Goodchild, & Rhind, 2011), (Ferrand, 2000).

I denne rapport anvendes begrebet 'objekter' til at beskrive den virkelige verden, eksempelvis en bygning og 'temaer' til at beskrive geografiske repræsentation i GIS af den virkelige verden (se nedenstående figur 12).

<b>Definition</b>	
<b>Objekter:</b>	De elementer som findes ude i den virkelige verden
<b>Temaer:</b>	Den geografiske afbildning eller simulering af den virkelige verden.



Figur 12: Begrebet objekter beskriver den virkelige verden. Temaerne beskriver den geografisk afbilledning af virkeligheden i kort.

Som figur 11 illustrerer, kan GIS foruden at afbillede virkeligheden, også anvendes til at foretage rummelige analyser, og det er her en af styrkerne i anvendelsen af GIS ligger. Målet med rummelige analyser er at nedbryde verden i mindre komplekse dele, systematisere dem og skabe en metode til at gengive dem til et givent formål. Formålet kan også være at finde komplekse mønstre, der eksisterer i den virkelige verden, men som umiddelbart ikke er synlige. Dette gøres f.eks. ved hjælp af visualisering, kategorisering, matematiske og statistiske metoder (Brodersen, 2008), (Longley, Maguire, Goodchild, & Rhind, 2011). Der er inden for GIS to forskellige metoder, alt efter hvilken type af problem der skal løses. Den ene metode beskæftiger sig med be- eller afkræfte en hypotese (deduktiv-metode) og anvendes eksempelvis inden for Health-GIS, som eksempelvis en påvisning af at folk der bor tæt på fastfood restauranter mere overvægtige, end folk der bor længe væk - denne tilgang kaldes 'positive'. Den anden tilgang kaldes 'normativ' og går ud på at optimere forskellige løsninger på praktiske problemer. Det kan eksempelvis være løsning af den optimale rute, den bedste placering for detailhandel - hvor der kan ligge forskellige parametre til grund for selve analysen, eksempelvis største kundeopland, bedst tilgængelighed eller korteste rute. Det er den normative tilgang til den rummelig analyse, der kan anvendes som input til et 'Spatial Decision Support System' (Wegener, 2001), (Longley, Maguire, Goodchild, & Rhind, 2011).

Den normative tilgang anvendes i dette projekt i forbindelse kortlægning af sårbarheden ved ekstreme regnhændelser i Roskilde Kommune. Vha. GIS udarbejdes en model, som kortlægger sårbarheden med henblik på, at beslutningstagerne i en given kommune, skal kunne foretage strategiske og konkrete

te beslutninger omkring klimatilpasning i forhold til ekstreme vejrhændelser. Projekt modellen kan siges at være en økonomisk normativ model (Wegener, 2001), der har til hensigt at minimere de samfundsmæssige tab og maksimere udbyttet ved konkrete klimatilpasningsprojekter.

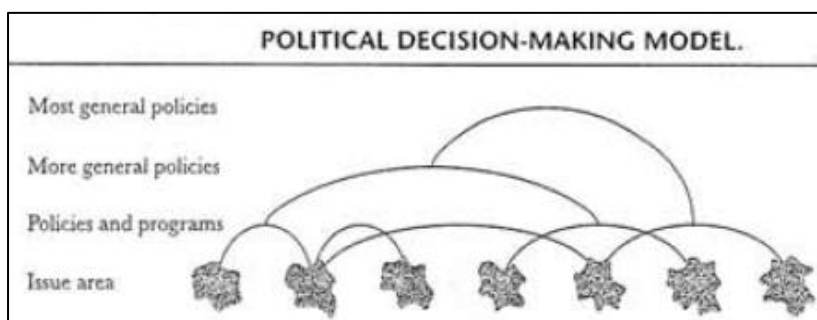
For at kunne kortlægge sårbarheden i henholdsvis by og land er det nødvendigt at arbejde med flere parametre for at kunne skabe en fornuftig afbildning af virkeligheden. Ved inddragelse af flere parametre i den rummelige analyse bliver der tale om en multikriterieanalyse. Styrkerne ved multikriterieanalysen, i forbindelse med eksempelvis sårbarhedskortlægning ved oversvømmelser, beskrives i nedenstående citat:

*" In this context multicriteria analysis (MCA) is an appropriate method of incorporating all relevant types of consequences without measuring them on one monetary scale. It provides an alternative to the complex monetary evaluation and internalisation of intangible consequences in a cost-benefit analysis. "*  
 (Meyer, Messner, Penning-Roswell, Green, Tunstall, & van der Veen, 2009, s. 1)

GIS som værktøj kan skabe en afbildning af den rummelige virkelighed, som kan danne baggrund for formulering af strategier og politikker (Lejano, 2008). GIS som beslutningsværktøj uddybes i følgende afsnit omkring anvendelse af GIS som grundlag for politiske beslutninger.

#### 4.1.2 Spatial Decision Support Systems og Multikriterieanalyser

De fysiske planlæggere i kommunerne skal som tidligere nævnt tilvejebringe en kommunal klimatilpasningsplan inden udgangen af 2013. Der skal i den forbindelse foretages en række prioriteringer og beslutninger om fremtidige investeringer i konkrete klimatilpasningsprojekter. En politisk beslutningsproces er kendetegnet ved at være ikke lineær og være påvirket af mange forskellige aktører, lovgivning, politikker på en række forskellige problemområder, som det fremgår af figur 13 (Bryson, 2004).



Figur 13: Den politiske beslutningsproces (Bryson, 2004).

Den kommunale beslutningsproces kan karakteriseres ved komplekse rummelige problemstillinger, der indeholder forskellige og skiftende præferencer hos beslutningstagerne samt borgerinddragelse (Ascough II, et al., 2002). Et SDSS kan bidrage til politiske beslutningsprocesser, ved at omsætte rummeli-

ge data, til relationer og mønstre. Ved at inkludere analytiske processer, som er unikke for rummelige og geografiske analyser, skabes et output i form af analoge og digitale kort og anden data, som kan anvendes til at støtte op i den videre proces.

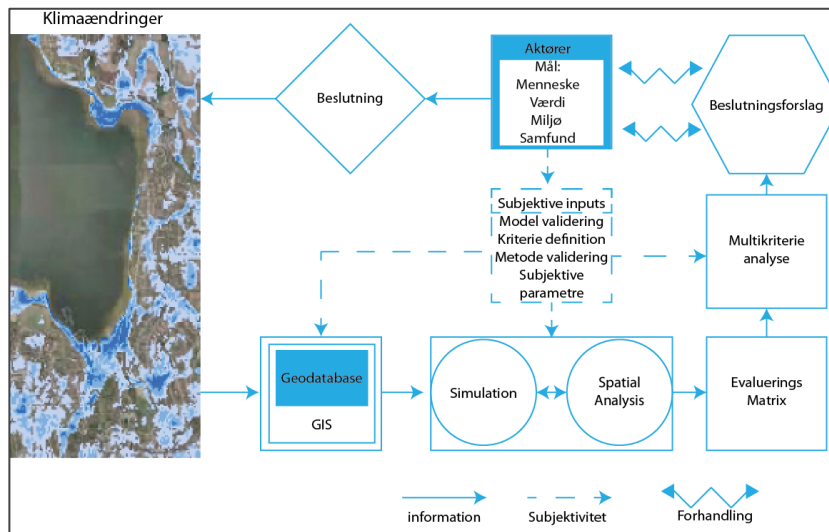
Ved at kombinere multikriterieanalyse med SDSS skabes et eksempel på et 'Multicriteria Spatial Decision Support System' (MC-SCDS) (Malczewski, 2006) (Ascough II, et al., 2002). Kombinationen resulterer i, at der vil være to delkomponenter i analysen, som dermed ikke kun er afhængig af den geografiske distribution af attributter og relationer - men også vurderinger af de kriterier som indgår i analysens beslutningsproces. De to delkomponenter, der er af afgørende betydning for MC-SDSS, er:

1. GIS komponenten og dens udformning (ex. Indsamling / tilgængelighed af data, manipulation og analyse muligheder).
2. 'Multi Criteria Decision Making' (MCDM) komponentnr (eksempelvis aggregering af rummelige data og omsætningen af beslutningstageres præferencer til diskrete værdier, som skal kunne udmøntes i forskellige beslutninger (Ascough II, et al., 2002).

Det er dog ved anvendelsen af MC-SDSS vigtigt at interessenterne/politikerne tager udgangspunkt i vægten af de forskellige kriterier i analysen, frem for at diskutere en række løsningsforslag, som er resultatet af forskellige vægtninger. Anvendelsen af MC-SDSS resulterer i en beslutningsproces, der kan beskrives som iterativ, integrativ og participativ (Densham, 1995) og som på mange måder passer godt i den politiske beslutningskontekst med mange forskellige præferencer, politiske forhandlinger samt borgerinddragelse og store private aktører.

Et eksempel på en beslutningsproces vedrørende klimatilpasning understøttet af et MC-SDSS ses illustreret i figur 14. Figuren tager udgangspunkt i problemstillingen omkring klimaændringer og klimatilpasning i Roskilde Kommune. Det konkrete problem forsøges simuleret ved hjælp af GIS og en Geodatabase med udvalgte komponenter. Første skridt i processen er, at der foretages en række rumlige analyser, som resulterer i en evalueringmatrix med de udvalgte kriterier, herefter foretages den egentlige multikriterieanalyse med inputs fra beslutningstagerne til værdier og vægte. Det ender med et konkret løsningsforslag, som herefter vurderes politisk. Herefter foregår en politisk forhandling, hvor de forskellige forslag findes tilfredsstillende eller utilfredsstillende. Ved en utilfredsstillende tilstand gives der nye inputs til analysen (illustreret ved de stiplede linjer). I processen kan der komme inputs til alle faser af systemet, det kan være lige fra anvendte rådata, til de rummelige analyser og selve multikriterieanalysen.

## ANALYSERAMME



Figur 14: Illustration af beslutningsprocessen vedrørende prioriteringer i forhold til klimaændringer og konkrete klimatilpasningsprojekter. Modellen er udarbejdet på baggrund af en konceptuel MC-SDSS model kaldet MAGISTER modellen (Joerin, Thériault, & Musy, 2001).

Konkret set betyder det, at beslutninger i forbindelse med klimatilpasningsplaner og kommunale indsatser kan lettes og støttes ved brugen af GIS, der danner et oplyst grundlag for beslutninger og prioriteringer. Dette kan ske ved at udarbejde en multikriterieanalyse, som kortlægger sårbarheden over for oversvømmelser og kombinere den med sandsynligheden for vand på terræn ved givne regnhændelser. Derved kan der gives et bud på hvor sårbarheden er størst og derfor hvor indsatserne skal prioriteres.

### 4.1.3 Multikriterieanalyser

Som citatet i *afsnit 3.1.1* beskriver, er multikriterieanalyser en metode, der kan indeholde både kvantitative og kvalitative kriterier, der kan sammenholdes og vægtes. Analysens indhold i form af kriterier må, til at starte med, repræsenteres geografisk ved en række data.

For at kunne evaluere, måle og værdisætte forskellige data til et anvendeligt beslutningsgrundlag er det nødvendigt at anvende en række værktøjer, så data kan sorteres og rangeres således, at der kan udvælges løsninger på baggrund af forskellige beslutningsalternativer. Multikriterieanalyser kan anvende forskellige værktøjer til at foretage transformationer af data, hvilket resulterer i et output, i form af en score, der kan anvendes til ordne beslutningsalternativer fra bedst til værst. Generelt er der inden for multikriterieanalyser tre trin, som er fælles de fleste evalueringer:

1. **Data standardisering**  
Standardisering af data således, at de fremtræder på en fælles skala.
2. **Metode til vægtning**  
Tilvejebringelse af numeriske vægte på baggrund af beslutningstagerens præferencer.
3. **Aggregering af vægtede data**  
Aggregering af de standardiserede og vægtede data således, at der opnås en fælles værdi, eller en score der f.eks. angiver en celledi i forhold til et konkret planforslag eller prioritering.

Alle tre trin er nødvendige for multikriterieanalyse og gennemgås teoretisk herunder (Jankowski & Nyerges, 2010), (Malczewski J. , 1999).

#### Ad 1) Data standardisering

Inden for Multikriterieanalyser anvendes attributværdier til evaluering af forskellige beslutningsalternativer. Attributværdier har en præferenceorden - eksempelvis kan en høj attributværdi være bedre end en lav, eller hvis man arbejder med omkostninger, er en lav værdi at foretrække frem for en høj. Når man inden for multikriterieanalyser arbejder med en kendt præferenceorden siges attributterne at være evalueringskriterier eller bare kriterier (Jankowski & Nyerges, 2010).

Når der arbejdes med data opstår imidlertid et problem når vidt forskellige attributter skal aggregeres til en samlet funktionsværdi. Derfor arbejdes der med at standardisere data således, at de bliver lettere at anvende til beregninger (Jankowski & Nyerges, 2010).

Almindeligvis anvender man to forskellige typer af formler til at standardisere data:

**Lineære:** De lineære standardiseringer kan beregnes ved hjælp af følgende:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \quad (\text{Jankowski \& Nyerges, 2010})$$

Hvor  $x'_{ij}$  er den standardiserede score for det  $i$ 'te beslutningsalternativ og det  $j$ 'te kriterium.  $x_{ij}$  er rådata værdien og  $x_j^{max}$  er den maksimale score for det  $j$ 'te kriterium. Denne metode kaldes maximum score procedure eller ratio standardisering. Formlen skal kun anvendes i tilfælde hvor en rå-data værdi er at foretrække jo højere den er. Denne type af kriterier kaldes "benefit" kriterier.

Fordelen ved de lineære transformationer er, at forholdet mellem rå-data og standardiserede data forbliver det samme efter standardiseringen. De standardiserede scorer vil variere mellem 0-1. Ulemperne kan være at henholdsvis den laveste og højeste score aldrig vil blive 0 eller 1 og såfremt, der er negative værdier i standardiseringen, vil det ikke give mening at anvende en lineær metode.

Såfremt sammenhængen mellem værdi og kriterium er, at en lav rå-data værdi og en høj kriterium værdi er at foretrække, trækkes den standardiserede



score fra 1. En sådan type kriterium kaldes et kost kriterium og udtrykkes som:

$$x'_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \quad (\text{Jankowski \& Nyerges, 2010})$$

**Ulineære:** De ulineære metoder til standardisering er kendetegnet ved at scorerne vil variere fra præcist 0 til præcist 1, som er henholdsvis den laveste og den højeste score. Dette er også gældende for negative scorer. Ulempen er dog at scorerne ikke længere er lineært relaterede til rådata. Ved ulineær standardisering, standardiseres 'benefit' og 'kost' kriterier efter følgende:

$$benefit = x'_{ij} \frac{x_j - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}}, \quad (\text{Jankowski \& Nyerges, 2010})$$

$$kost = x'_{ij} \frac{x_j^{min} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (\text{Jankowski \& Nyerges, 2010})$$

Benefit kriteriet beregnes ved at dividere differencen mellem en given værdi og den mindste dataværdi i datasættet med differencen mellem den maksimale og laveste rå-data værdi. Kost beregnes ved at dividere differencen mellem den maksimale rå-data værdi og en given værdi fra rå-data med differencen mellem den maksimale og laveste rå-data værdi (Jankowski & Nyerges, 2010), (Meyer, Messner, Penning-Roswell, Green, Tunstall, & van der Veen, 2009).

## Ad 2) Metoder til vægtning

En stor del af multikriterieanalysen er at omsætte beslutningstagernes præferencer til noget anvendeligt i forhold til kriterierne. Et eksempel på denne omsætning af dette fremgår af den tidligere præsenterede MAGISTER model som ses i figur 14. De forskellige præferencer til kriterierne stammer ofte fra politikere, eksisterende magtstrukturer eller subjektive præferencer. En almindelig måde at operationalisere præferencerne på, er ved at omsætte dem til vægte. En vægt er en numerisk værdi, som tilskrives et evalueringskriterium, og derved angiver den relative vigtighed af kriteriet. Summen af alle vægte til en given beslutning skal være 100 %.

Når vægtningen af forskellige kriterier foretages, skal man tage højde for den indbyrdes variation, der kan være mellem kriterierne således at kriterier med størst variation ikke får en uforholds- eller uhensigtsmæssig stor indflydelse på resultatet. Rent praktisk løses dette problem ved at indekser alle kriterierne således at de alle indeholder det samme antal klasser.

Der er inden for vægtning tre almindelige procedurer (Rangering, Klassificering og Parvis sammenligning) for at transformere beslutningstagernes præferencer til numeriske vægte, der kan anvendes i multikriterieanalysen (Jankowski & Nyerges, 2010).

### Rangering (Ranking)

Rangering er den simpleste af de tre former for vægtning og bygger på, at beslutningstagerne udarbejder en orden, der gengiver vigtigheden af kriterierne. Eksempelvis 1 = det vigtigste kriterium, 2 = det næst vigtigste osv. Metoden kan også anvendes reciprok.

$$w_j = \frac{n-r_j+1}{\sum_{k=1}^n (n-r_k+1)} \text{ eller reciprok } w_j = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{r_k}} \quad (\text{Jankowski \& Nyerges, 2010})$$

$w_j$  er den normaliserede vægt for det  $j$ 'te kriterium,  $n$  er antallet af kriterier,  $r_j$  er rangeringen af det  $j$ 'te kriterium. Vægten for et kriterium beregnes ved at kriterieværdien adderes med 1 og trækkes fra antallet af kriterier. Dette deles med summen af alle kriterieværdierne adderet med 1 trukket fra antallet af kriterier.

Rangering er en simpleste vægtning at anvende, dog er der en række begrænsninger ved anvendelsen - metoden bliver svær at anvende, når antallet af kriterier bliver stort. En del af begrænsninger stammer fra at mennesket kun er i stand til at skelne mellem  $7 \pm 2$  elementer - altså maksimalt kan skelne mellem ni. Yderligere er det teoretiske/matematiske grundlag for metoden ikke specielt velfunderet (Jankowski & Nyerges, 2010), (Meyer, Messner, Penning-Roswell, Green, Tunstall, & van der Veen, 2009).

### Klassificering (Rating)

Denne form for vægtning bygger på at kriterierne alle tildeles en værdi mellem 0-100 alt efter deres vigtighed for beslutningen. Altså jo vigtigere kriterium jo større værdi. Såfremt man tildeler et kriterium 0 ignoreres det, tildeles et kriterium 100 ignoreres alle andre kriterier. Klassificeringen udregnes efter følgende formel, som vil resultere i en numerisk værdi mellem 0-1.

$$w_j = \frac{r_j}{100} \quad (\text{Jankowski \& Nyerges, 2010})$$

$w_j$  er den normaliserede vægt for det  $j$ 'te kriterium og  $r_j$  er den klassificering som det  $j$ 'te kriterium er blevet tildelt.

Klassificering har ligesom Rangering den svaghed, at den bliver mindre anvendeligt ved et stort antal kriterier og at metoden er svagt, teoretisk funderet (Jankowski & Nyerges, 2010) (Meyer, Messner, Penning-Roswell, Green, Tunstall, & van der Veen, 2009).

### Parvis sammenligning (Pairwise comparison)

Parvis sammenligning er bedre teoretisk funderet end Rangering og Klassificering, og vægtene bliver ikke direkte tilskrevet det enkelte kriterium. Metoden bygger på at der udregnes et sæt "best fit" på baggrund af matrix A (se nedenstående matrix).

$$A = \begin{matrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \cdots & 1 & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & a_{2n} & \cdots & 1 \end{matrix}$$

A er den reciprokke og kvadratiske matrix hvori kriterierne sammenlignes parvist. Værdierne ( $a_{ij}$ ) i matricen A er baseret på følgende skala fra 1-9, hvor det parvist for kriterierne gælder at:

C = kriterium

- 1 - C<sub>1</sub> og C<sub>2</sub> har Samme betydning
- 2 - C<sub>1</sub> en smule mere vigtig end C<sub>2</sub>
- 3 - C<sub>1</sub> svagt vigtigere end C<sub>2</sub>
- 4 - C<sub>1</sub> svagt til moderat vigtigere end C<sub>2</sub>
- 5 - C<sub>1</sub> moderat vigtigere end C<sub>2</sub>
- 6 - C<sub>1</sub> moderat til betydeligt vigtigere end C<sub>2</sub>
- 7 - C<sub>1</sub> betydeligt vigtigere end C<sub>2</sub>
- 8 - C<sub>1</sub> langt vigtigere end C<sub>2</sub>
- 9 - C<sub>1</sub> absolut vigtigere end C<sub>2</sub>

Ved at anvende skalaen, repræsenteres den relative betydning mellem to kriterier og ender ud i en matrix, hvor diagonalen er 1, da sammenligningen af C<sub>1</sub> og C<sub>1</sub> vil have samme betydning. Der foretages en række beregninger bestående af fem beregningstrin (se afsnit 3.5 *Vægtning*). Ved udførelse af disse beregninger vil man ende op med et sæt vægte for det ønskede antal kriterier (Jankowski & Nyerges, 2010). Vægtene vil kunne anvendes i en vægтет overlayanalyse.

#### Egenskaber for kriterier

For et sæt af kriterier til et MC-SDSS, skal der ifølge (Keeney & Raiffa, 1993) og (Malczewski J. , 1999) gælde følgende for kriterierne:

- **Komplette** - Kriterierne skal dække alle væsentlige aspekter af beslutningsproblemet.
- **Minimale** - Antallet af kriterier skal dog holdes på et minimum.
- **Operationelle** - Kriterierne skal give mening for beslutningstagerne der skal anvende dem.
- **Nedbrydelige** - Sættet af kriterier skal kunne deles til mindre dele.
- **Ikke overlappende** - En effekt af en beslutning skal ikke medregnes flere gange.

Yderligere skal der for hvert kriterium gælde at:

- **Målbare** - Det skal være muligt at indfange beslutningstagernes præferencer vedrørende kriterierne og den skal kunne gengives på en skala.
- **Omfattende** - Kriterierne skal indikere formålet og ikke kun dele af det.

Det er dog vigtigt, at det sæt af kriterier, der først defineres ikke nødvendigvis skal fastholdes - det kan tværtimod tilpasses gennem beslutningsprocessen.

#### Ad 3) Aggregering af vægtede data

Dette trin beskrives i afsnit 3.5.3 *Aggregeret sårbarhed*.

#### 4.1.4 Kortlægningens skala

I forbindelse med sårbarheds- og oversvømmelseskortlægning arbejdes der generelt med tre forskellige skalaer: Macro, Meso og Micro (Merz, Thieken, & Kreibich, 2011). Hvilken skala der skal anvendes til en given model vurderes på baggrund af: Hvad målet er med modellen, ønsket nøjagtighed, tilgængelige data og mængden af ressourcer, som kan anvendes ved udarbejdelse af modellen (Meyer, Messner, Penning-Roswell, Green, Tunstall, & van der Veen, 2009). De tre skalaer karakteriseres ved:

**Macro:** Kortlægningen er baseret på en stor skala. De rummelige enheder er basis for skadesberegningen, og vil typiske være administrative enheder, som kommune, region eller statsgrænser. Ved anvendelse af Macro skala vil der være et behov for at aggregere skader inden for den valgte enhed.

**Meso:** Kortlægningen er ligesom Macro-skala baseret på rummelig aggregeringer, her vil typiske enheder være eksempelvis boligområder, kvarterer eller bydele eller administrative enheder som sogne.

**Micro:** Kortlægningen baseres på de enkelte elementer, der vil være i fare ved oversvømmelse (bygninger, infrastruktur etc.). Kortlægningen vil ofte bygge på skadeskurver for de enkelte elementer, således at skaden for et element, ved en oversvømmelse eksempelvis stiger med vandstanden. Skalaen vil kræve et stort lokalkendskab og det vil være forbundet med store omkostninger at tilvejebringe de nødvendige informationer om objekternes sårbarhed.

## 4.2 Fremgangsmåde

Første skridt i udarbejdelsen af en model, der kan kortlægge sårbarheden ved en oversvømmelse, er at udvælge hvilke objekter, der skal indgå i modellen. Objekterne skal udvælg­es med udgangspunkt i et ønske om at gengive de virkelige skader ved en oversvømmelse, bedst muligt under hensyntagen til de begrænsninger kravspecifikationen opstiller. I den forbindelse anvendes de objekttyper, der er identificeret gennem udarbejdelse af et spørgsmålskatalog. Efterfølgende omsættes objekterne til temaer som repræsenterer objekttyperne og kan indgå i en rumlig analyse. Omsætningen af objekter til temaer svarer til filtrene F1 og F2 i figur 10, hvor den virkelige verden (objekterne) omsættes til en repræsentation af virkeligheden på et kort (temaerne). Repræsentationen af virkeligheden sker ved at tilgængelige registerdata omsættes til temaer, som via en værdisætning bliver til kriterier. Slutteligt vægtes kriterierne i den egentlige multikriterieanalyse, med henblik på at opfylde formålet med modellen, som er at den skal kunne anvendes til prioriteringer af indsatser i klimatilpasningen.

Projektets problemløsningsdel er, som beskrevet i Metodeafsnittet (afsnit 2.4.7 *Problemløsningens metoder*), bygget op omkring metoden af Smith, Goodchild og Longley (Smith, Goodchild, & Longley, 2011). Metoden anvendes til at strukturere analyser ved at inddele dem i fem faser: Problem, Plan, Data, Analyse og Konklusion.

Metoden er tilpasset dette projekt gennem nedenstående operationalisering (se figur 16). Operationaliseringen beskriver indholdet i metodens enkelte faser.

## FREMGANGSMÅDE

FASE	INDHOLD	AFSNIT
Problem	Problemformulering	1.1.5
	Kravspecifikation	2.5
Plan	Præsentation af multikriterieanalysens indhold samt fremgangsmåden.	3.2
	Sårbarhed og skader: Præsentation af sammenhæng mellem sårbarhedskriterierne: Menneske, Økonomi, Samfund samt Miljø og forskellige skadestyper.	3.2.1
Data	Valg af indhold: Udvælgelse af objekttyper som giver skader hvis de oversvømmes, og dermed angiver sårbarhed.	3.3.1
	Semantisk generalisering: Omsætning af objekttyper til temaer vha. registerdata.	3.3.2
Analyse	Omsætning til celleandele: Opgørelse af repræsentationen af temaerne i celler.	3.4.2
	Værdisætning	3.4.2
	Vægtning	3.5
Konklusion	Afsluttende konklusion. Opfylder analysens produkt problemformulering og kravspecifikation.	4

Figur 15: Operationalisering af metoden for opbygning af problemløsningen

### Modelbuilder

For at operationalisere og effektivisere arbejdsprocesserne, udarbejdes størstedelen del af de geografiske operationer vha. ModelBuilder i ArcGIS. I første omgang effektiviserer det arbejdet, da der er tale om ens processer, der skal gentages for mange temaer. Yderligere giver ModelBuilder mulighed for at foretage mange iterationer, hvis der ønskes ændre forskellige parametre eller ændre værdier på kriterierne (Esri, 2011). Modellerne fra Modelbuilder anvendes desuden til at præsentere de udførte processer i rapporten.

## 4.2.1 Sårbarhed og skader

### Sårbarhedskriterier

For at udarbejde en multikriterieanalyse, som kan anvendes til at kortlægge sårbarheden overfor oversvømmelser, må der til at starte med udvælges hvilke kriterier, der beskriver sårbarheden. På baggrund af definitionen af bæredygtighed (se figur 4), der beskriver hele samfundet på baggrund af tre kriterier, samt litteraturstudiet (se Appendiks I) udvælges kriterierne Menneske, Økonomi, Miljø og Samfund til at beskrive sårbarheden ved ekstreme regnhændelser. Dermed bliver målet med analysen at kortlægge den samlede sårbarhed ved at foretage en kortlægning af sårbarheden for hvert enkelt kriterium. Kriterierne kan efterfølgende vægtes politisk og indgå i den endelige sårbarhedskortlægning og beslutningsproces.

Inden selve analysen af kriterierne er det nødvendigt at bestemme hvilke typer af skader, der kan forekomme ved ekstreme regnhændelser. Dette skyldes at en opdeling af skader i forskellige typer, kan hjælpe til en vurdering af hvilke skader, der har indflydelse på hvilke af sårbarhedskriterierne.

### Skadestyper

Skader ved oversvømmelser kan klassificeres i to kategorier direkte og indirekte skader. Direkte skader er typisk de skader, som opstår på baggrund af direkte kontakt med vand ved en oversvømmelse, hvad enten det drejer sig om bygninger eller mennesker. De indirekte skader kan beskrives som afledte skader som forekommer tidsmæssigt eller rummeligt udenfor det geografiske område hvor regnhændelsen sker (DANVA, 2011), (Merz, Thieken, & Kreibich, 2011). Yderligere kan de direkte og indirekte skader opdeles i håndgribelige og uhåndgribelige. De håndgribelige skader kan typisk opgøres økonomisk mens de uhåndgribelige skader er svære at sætte en monetær værdi på (Jensen, Jørgensen, & Klagenberg, 2009). Ved at underinddele de direkte og indirekte skader opnås 4 kategorier af skader, som kan opstå ved oversvømmelse (Jensen, Jørgensen, & Klagenberg, 2009), (Merz, Thieken, & Kreibich, 2011):

**Direkte, håndgribelige.** Materielle skader på bygninger og indbo, ødelagt infrastruktur, erosion, tab af høstudbytte, forstyrrelse af drift, udbedrings og oprydningsomkostninger etc.

**Direkte, uhåndgribelige.** Tab af liv, psykiske effekter, skade på kulturarv og negative effekter for miljøet etc.

**Indirekte, håndgribelige.** Forstyrrelse af offentlige services uden for det berørte område, administrative omkostninger, arbejdsomkostninger, produktionsstab og trafikforstyrrelser etc. - der kan måles på en kvantitativ skala.

**Indirekte, uhåndgribelige.** Trauma, tab af tillid til myndigheder.


På baggrund af denne opdeling bliver beskrivelsen af skaderne mere omfattende og retvisende, end hvis der blot ses på de direkte konsekvenser for berørte objekter. Inddelingen kan dermed anvendes til at sikre, at alle typer af skader repræsenteres i modellen - og efterfølgende i forbindelse med vurdering af de skadernes virkning.

### Omsætningen af skader til sårbarhed

Omsætningen af skader til sårbarhed, vil være meget forskellig afhængig af skadestyperne og afhængigt af om skaderne indvirker på den menneskelige, økonomiske, miljømæssige eller samfundsmæssige sårbarhed. For at operationalisere denne omsætning samt for at muliggøre en sammenligning af de forskellige sårbarhedskriterier, anvendes følgende konsekvensmatrix. Matrixen værdisætter de forskellige skader ved hjælp af en sammenlignelig ordnet/rangeret skala indenfor de fire kriterier.

KONSEKVENSMATRIX					
MENNESKE	Nærmest ingen berørte personer	Enkelte berørte personer	Flere berørte personer	Betydelige antal berørte personer.	Store mængder berørte personer
ØKONOMI	< 10.000 kr.	10.000 - 100.000 kr.	100.000 - 1 mio. kr.	1 - 10 mio. kr.	> 10 mio. kr.
MILJØ	Ubetydelig påvirkning	Større påvirkning	Risiko for varige skader	Mindre varige skader	Større varige skader
SAMFUND	Ingen/mindre forstyrrelser	Kortere forstyrrelser	Betydelige forstyrrelser	Alvorlige forstyrrelser	Kritisk for opretholdelse af funktion.



SÅRBARHEDSINDEKS	1	2	3	4	5
------------------	---	---	---	---	---

Figur 16: Konsekvensmatrix til opgørelse af sårbarhed ved oversvømmelser. Udarbejdet med inspiration i Håndbog i Risikodimensionering (Beredsskabstyrelsen, 2004).

Konsekvensmatrixen anvendes til at opgøre sårbarheden for et objekt eller et område, ved en oversvømmelse. Opgørelsen sker på en ordnet skala, der angiver et sårbarhedsindeks mellem 1 og 5. Den menneskelige sårbarhed beskriver antallet af mennesker, der bliver berørt ved en oversvømmelse (skalaen omsættes, ved anvendes, til numeriske værdier) - desto flere mennesker, der bliver berørt, desto højere angives sårbarhedsindekset. På samme måde angives den økonomiske sårbarhed, ved at størrelsen på de direkte og indirekte skader gøres op i monetær værdi. Skaderne som gøres op indenfor menneske og økonomi, betegnes som håndgribelige, modsat skaderne indenfor miljø og samfund, som hovedsageligt er uhåndgribelige og derfor må beskrives kvalitativt for at kunne omsættes til den ordnede skala (Jensen, Jørgensen, & Klagenberg, 2009). Opgørelsen af sårbarhed indenfor miljø, sker ved en deskriptiv vurdering af skaderne for miljøet, som for eksempel forurening af vandmiljø eller udslip af kemikalier. Sårbarheden indenfor samfund, betegnes ved forstyrrelser af samfundets samlede funktioner, eksempelvis et nedsat udbud af offentlige service, og opgøres ligeledes på baggrund af en deskriptiv vurdering.



## 4.3 Data

### 4.3.1 Udvalgelse af objekttyper til model

På baggrund af de mulige skader, som opstår ved en oversvømmelse, må udvælges en række objekter, som kan kortlægges og som angiver skaderne. For at opnå et udvalg af objekter, som kan repræsentere de vigtigste skader ved oversvømmelser udarbejdes et spørgsmålskatalog. Kataloget udarbejdes på baggrund af teori af Lars Brodersen (Brodersen, 2002). Objekttyperne udvælges med udgangspunkt i litteraturstudiet i *Appendiks I*. Målet er en liste objekttyper, som omsættes til temaer ved hjælp af Landsdækkende registre og databaser (BBR, CHR, FOT, SVUR, DST, Matriklen og Miljø portalen), som skal være repræsentative for skaderne og gengive sårbarhed inden for de valgte evalueringskriterier: Menneske, Økonomi, Miljø og Samfund. Anvendelsen af spørgsmålskataloget identificerer de objekttyper, der findes relevante i forbindelse med kortlægningen i forhold til de krav, der er opstillet til modellen og kortlægningen af sårbarheden i kravspecifikationen i afsnit 2.5 *Kravspecifikation*. Spørgsmålskataloget og de objekttyper, der er nødvendige for at besvare spørgsmålene ses i *tabel 3*.

SPØRGSMÅLSKATALOG	MULIGE OBJEKTTYPER
Hvor opstår store direkte skader eller værditab ved oversvømmelser?	Bygninger, Infrastruktur, Øvrige arealer
Hvilke objekter skal medtages ifølge lovgivningen?	Liste- og risikovirksomheder, Antal indbyggere
Hvilke objekttyper anvendes hovedsageligt i tidligere projekter (største skader)?	Infrastruktur, Bebyggelse, Ejendomsværdi, Bygninger med offentlige funktioner Natur Befolkningstæthed Tekniske anlæg
Hvilke faktorer øger værditabet på objekterne indenfor de forskellige kategorier af værditab?	Kælder, Høj befolkningstæthed Husdyr
Hvor opstår store indirekte skader eller værditab?	Bygninger med offentligt funktion, Større veje, Jernbaner, Områder med høj befolknings-tæthed, Erhvervs bygninger
Hvilket områder har lav sårbarhed overfor oversvømmelser eller medfører lavest værditab?	Landbrugsarealer, Natur- og rekreative arealer (Orbicon, 2012a)

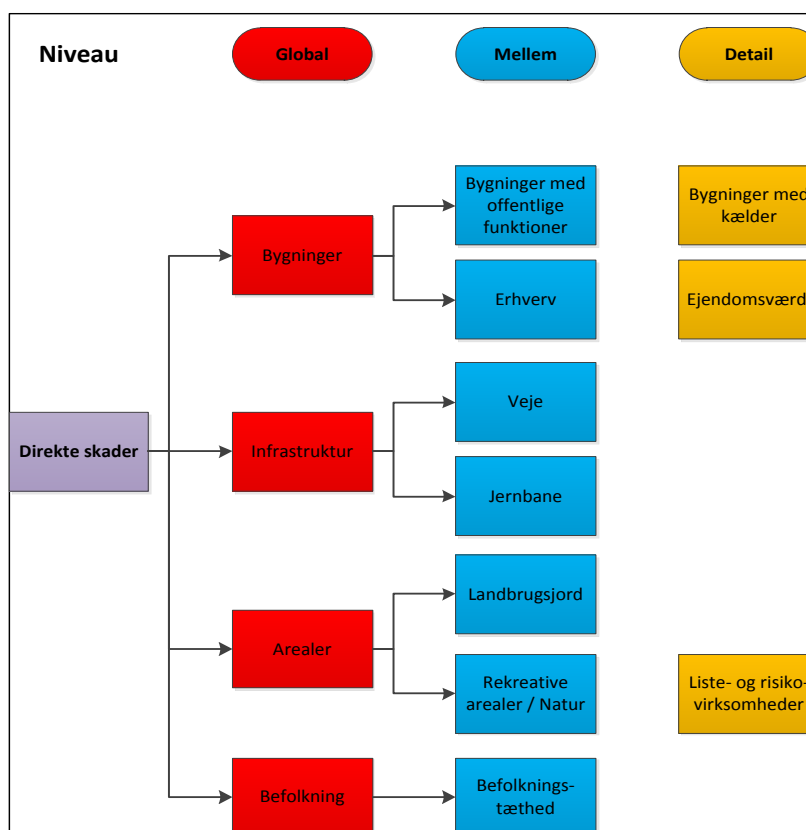
Tabel 3: Spørgsmålskatalog indeholdende spørgsmål og objekter til besvarelse af spørgsmålene. Objekterne til besvarelse af spørgsmålene er udvalgt på baggrund af kilderne i litteraturstudiet, hvor andet ikke er angivet. Betegnelsen bygninger dækker over en række helt specifikke bygningstyper som kan ses i litteraturstudiet.

For at besvare spørgsmålene i spørgsmålskataloget kunne en række øvrige objekttyper end de angivne også være valgt. Af hensyn til projektets landspektørfaglighed er yderligere vurderinger af hvilke objekttyper, som kunne være interessante udeladt, da det præsenterede objekttyper overordnet besvarer spørgsmålskataloget og dermed sikrerat modellen opfyldet de krav som er opstillet til den.

Næste skridt i dataindsamlingen, er at de udvalgte objekttyper skal omsættes til temaer, dette sker på baggrund af en række udvælgelseskriterier. Men først ordnes objekttyperne for at opnå et overblik.

### Udvalgte objekter

De udvalgte objekter fra spørgsmålskataloget er forskellige og befinder sig på forskellige niveauer og skala. For at give et overblik over udvælgelsen, er et klassifikationsskema (se figur 18), som ordner objekterne, udarbejdet. Skemaet grupperer og kategoriserer de data, der skal anvendes som input til analyserne. Klassifikation ved hjælp af diagrammet hjælper med til at generalisere objekttyperne fra spørgsmålskataloget, hvorved opgaven med at vurdere hvilke temaer og data, anvendes i de endelige analyser til at kortlægge objekterne, lettes. Yderligere hjælper metoden til at gruppere data, og klarlægge datas forskellige niveauer. Skemaet udarbejdes med udgangspunkt i teori omkring semantisk generalisering af Lars Brodersen (Brodersen, 2008).



Figur 17: Klassifikation der viser niveaupdelingen i de udvalgte objekttyper. Af figuren ses det en række af de gule objekttyper ikke knytter sig direkte til en overordnet objekttype, men i stedet må tilføjes som attribut til flere objekttyper.

Af figur 18 ses, at objekterne befinder sig på forskellige niveauer og dermed tilføjer forskellige detaljeringsgrader til modellen. I det efterfølgende arbejde udvikles en model indeholdende alle de viste objekttyper (se figur 18). Valget af disse objekttyper bygger på et ønske om, at modellen i henhold til kravspecifikationen, skal opnå et detaljeringsniveau, der tager højde for hensynet til at temaerne skal kunne fremstilles på baggrund af eksisterende databaser og registerdata, samt at ressourceforbruget i forbindelse med indsamling af data skal holdes på et acceptabelt niveau. Foruden de valgte objekttyper, tilføjes en række temaer på mellem-niveauet

### 4.3.2 Valg af temaer

#### Udvælgelseskriterier

Efter klassifikationen af objekttyperne opstilles tre udvælgelseskriterier for de temaer, der skal repræsentere objekttyperne i analysen. Udvælgelseskriterierne skal sikre, at temaerne kan anvendes landsdækkende og fremstilles på baggrund af landsdækkende registre og databaser. Udvælgelseskriterierne er opstillet direkte på baggrund af kravspecifikationen og på baggrund af evalueringskriterierne Menneske, Økonomi, Miljø og Samfund samt de krav der i 3.1 *Analyseramme* defineres for et sæt evalueringskriterier til multikriterieanalyse.

1. Første kriterium er, at de temaer, som medtages i modellen, skal kunne repræsenteres ved data, som har eller kan tilføjes en geografisk reference og som er tilgængeligt på et landdækkende niveau og derved kan knyttes til de udvalgte objekttyper. Data skal være tilgængelige gennem landsdækkende registre. Modellen kan suppleres med lokale temaer eller informationer, som den enkelte kommune måtte ligge inde med. Yderligere skal data være tilgængelige for kommunerne – og anskaffelsen må ikke være forbundet med uforholdsmæssige store omkostninger. Dette kriterium skal sikre, at mulighederne for at anvende modellen er størst mulig.
2. Andet kriterium er, at temaer, der anvendes i modellen, skal kunne repræsentere sårbarhed indenfor kategorierne Menneske, Økonomi, Samfund og Miljø. Dette kriterium skal sikre at modellen repræsenterer sårbarhed indenfor alle typer af kriterier og dermed er dækkende for den samlede sårbarhed og dermed alle typer af skader som kan opstå ved en oversvømmelse. Derved sikres der et mere helhedsorienteret, bæredygtigt grundlag for at prioritere indsatserne mod oversvømmelser.

## DATA

3. Tredje kriterium er, af hensyn til at modellen skal kunne automatiseres for at sikre dens anvendelighed, at der kun medtages temaer, som repræsenterer de væsentligste og største sårbarheder indenfor de forskellige kriterier. Dette kriterium skal sikre at indsamlingen af data og de beregninger, der udføres i modellen ikke bliver så komplekse at udarbejdelsen og anvendelsen af modellen bliver for omfattende i forhold til målet med udarbejdelsen. Målet med modellen er, at den skal vise, hvor der vil være størst sårbarhed ved oversvømmelser – hvorfor det ikke er nødvendigt, at modellen viser sårbarhed under en vis størrelse.

På baggrund af udvælgelseskriterierne er følgende temaer valgt til at repræsentere de udvalgte objekttyper.

TEMAER	Global	Mellem	Detail
<b>Bebyggelse</b>	X		
Øvrige bygninger		X	
Beboelsesbygninger		X	
Erhvervsbygninger		X	
Landbrugsbygninger		X	
Bygninger med offentlig funktion		X	
Kælder			X
Bygningsværdi			X
<b>Infrastruktur</b>	X		
Veje		X	
Jernbane		X	
<b>Arealer</b>	X		
Øvrige arealer end landbrug og natur		X	
Landbrugsjord		X	
Rekreative arealer / Natur		X	
Liste- og Risikovirksomheder			X
Landbrug med husdyr			X
<b>Befolkning</b>	X		
Befolkningstæthed		X	

Tabel 4: Liste over de temaer som er udvalgt til at repræsentere de udvalgte objekttyper i modellen

Ovenstående liste over temaer overholder det første udvælgelseskriterium, idet temaerne kan udarbejdes på baggrund af følgende landsdækkende databaser og registre: FOT, BBR, DST, SVUR, Matriklen, Danmarks Miljøportal og CHR.

For at sikre opfyldelse af det andet og tredje udvælgelseskriterium, oplistes og beskrives herunder, hvilke af de udvalgte temaer, der repræsenterer den væsentligste sårbarhed indenfor de fire sårbarhedskriterier: Menneske, Økonomi, Miljø og Samfund. Dermed sikres at temaerne dækker alle aspekter af sårbarhed samt alle de faktorer, der kan påvirke beslutningerne i forbindelse med klimatilpasningsstrategier og konkrete klimatilpasningsprojekter

### **Menneske**

Til at repræsentere sårbarhedskriteriet Menneske er følgende temaer fundet som de væsentligste: Offentlig funktion, veje, jernbaner og befolkningstæthed. Temaerne er udvalgt da kriteriet menneske skal anvendes til at simulere, hvor stort antallet af berørte individer ved oversvømmelse vil være. I den forbindelse vurderes det, at en oversvømmelse, hvor bygninger med offentlig funktion oversvømmes, vil berøre et større antal individer end eksempelvis oversvømmelse af en bygning uden offentlig funktion. Veje og jernbaner vurderes ligeledes at påvirke et stort antal mennesker ved oversvømmelse, da de ikke længere vil være funktionelle og da de bruges af størstedelen af befolkningen. Det sidste tema som repræsenterer sårbarheden menneske er direkte forbundet med antallet af personer bosat i et område, og gengiver derfor præcist antallet af berørte personer. Sårbarheden for kategorien menneske er hovedsageligt forårsaget af de indirekte, håndgribelige skader der opstår ved oversvømmelserne.

### **Økonomi**

Til at repræsentere sårbarhedskriteriet Økonomi er følgende temaer udvalgt: Øvrig bebyggelse, beboelsesbygninger, erhvervsbygninger, landbrugsbygninger, bygninger med kælder, bygningsværdi, vej, jernbane, øvrige arealer, landbrugsjord, dyreenheder (CHR). Valget af disse temaer beror på, at det vil være de tilsvarende objekttyper, der rent fysisk er repræsenteret og vil blive påvirket direkte af en evt. oversvømmelse. Kælder og bygningsværdi er attributter, der tilføjer yderligere sårbarhed til bygningstemaerne, ligesom husdyr er en attribut, som kan bevirke at den direkte økonomiske sårbarhed ved oversvømmelse af landbrugsjord øges.

### **Miljø**

Til at repræsentere sårbarhedskriteriet Miljø er følgende temaer udvalgt: Øvrig bebyggelse, erhverv, landbrugsbygninger, veje, øvrige arealer, rekreative arealer / Natur og Liste og risikovirkomheder. Valget af disse temaer beror på at der ved oversvømmelse af de tilsvarende objekter vil kunne medføre en række indirekte skader på miljøet som overførsel af forurenende stoffer eller skadelige stoffer til eksempelvis vandmiljø, flora eller fauna. Der vil ikke nødvendigvis være store skader ved oversvømmelse af natur medmindre det er med kontamineret vand. Skaderne / miljøets sårbarhed ved hovedsageligt være indirekte skader der kan være svære at gøre op økonomisk.

### **Samfund**

Til at repræsentere sårbarhedskriteriet Samfund er følgende temaer udvalgt: Øvrig bebyggelse, Beboelsesbygninger, erhverv, landbrugsbygninger, offentlig funktion, vej, jernbane, øvrige arealer, rekreative arealer/Natur, landbrugsjord samt liste- og risiko virksomheder. Valget af disse temaer er baseret

på at der ved oversvømmelser af de tilsvarende objekttyper vil opstå nogle samfundsmæssige tab i forbindelse med direkte u håndgribelige skader som psykiske effekter, eller indirekte håndgribelige skader, som eksempelvis offentlige services, eller forøgede administrative omkostninger.

### 4.3.3 Udarbejdelse af geografiske temaer

Jævnfør projektmetoden, som er beskrevet i afsnit 2.4 Metode, er næste skridt efter den teoretisk udvælgelse af de temaer, der skal indgå i model, den praktiske fremstilling af disse temaer - denne proces beskrives her. De udvalgte temaer fremstilles vha. forskellige databaser og registerdata. Følgende figur præsenterer hvilke input, der anvendes til at producere de enkelte temaer:

TEMAER	REGISTERDATA
<b>Bebyggelse</b>	
Øvrige bygninger	Bygningspolygoner (FOT)
Bygninger med offentlig funktion	Liste fra kommunen (BBR) + Bygningspolygoner (FOT)
Beboelsesbygninger	Anvendelses koder (BBRbygning) + Adresser (FOT) + Bygningspolygoner (FOT)
Erhvervsbygninger	
Landbrugsbygninger	Jordstykker (Matriklen) + Anvendelses koder (BBR) + Bygningspolygoner (FOT)
Kælder	Bygninger med kælder (BBR) + Bygningspolygoner (FOT)
Bygningsværdi	Vurderinger (SVUR) + Bygningspolygoner (FOT) + Jordstykker (Matriklen)
<b>Infrastruktur</b>	
Veje	Vejmidte (FOT)
Jernbane	Jernbane (FOT)
<b>Arealer</b>	
Øvrige arealer	Jordstykker (Matriklen) + Anvendelses koder (BBR)
Landbrugsjord	Jordstykker (Matriklen)
Rekreative arealer / Natur	§3 områder (Miljøportalen) + Grønne områder (FOT) + Sportsanlæg (FOT) + Parker (FOT)
Liste- og Risikovirksoheder	Liste fra kommunen
Husdyr	Besætninger (CHR) + Jordstykker (Matriklen)
<b>Befolkning</b>	
Befolkningstæthed	Antal indbyggere (Damarks Statistik)

Tabel 5: Oversigt over temaer, der skal indgå i modellen og de registerdata der anvendes til fremstillingen af temaerne.

#### Klargøring af data

Som beskrevet i *tabel 5*, er der ikke direkte relationer mellem de temaer, som skal indgå i modellen og de registerdata, der anvendes som input. Det betyder, at der skal gennemføres en række operationer for at data kan anvendes i modellen. Operationer består af tilpasninger af attributter, til-klipning af lag til caseområdet og sammenknytning af registre og databaser.

De temaer som produceres, er afhængig af kvaliteten af data i de registre som anvendes. Yderligere kan kvaliteten af de producerede temaer, være afhængig af hvordan kvaliteten er i de nøgler som anvendes til af knytte forskellige registre sammen. Desuden er enkelte temaers kvalitet afhængig af de operationer som data gennemgår, hvilket uddybes herunder.

Fremstillingen og indholdet i de enkelte temaer er beskrevet i *Appendiks II*. I dette appendiks præsenteres det hvordan de forskellige databaser og registre, der anvendes som datainput, kombineres i fremstillingen af temaerne. Yderligere beskriver appendikset med de forskellige GIS operationer, der foretages i denne proces. *Appendiks II* beskriver yderligere sammenhængen mellem de forskellige registre og angiver hvordan indholdet i forskellige registre, vha. forskellige nøgler, kan kombineres og anvendes til yderligere formål, end dem de er produceret til. Resultatet af operationerne som er beskrevet i appendiks, er en række forskellige datalag, svarende til de udvalgte temaer, som kan fyldes ind i GIS og dermed indgå i en multikriterieanalyse.

## 4.4 Analyse

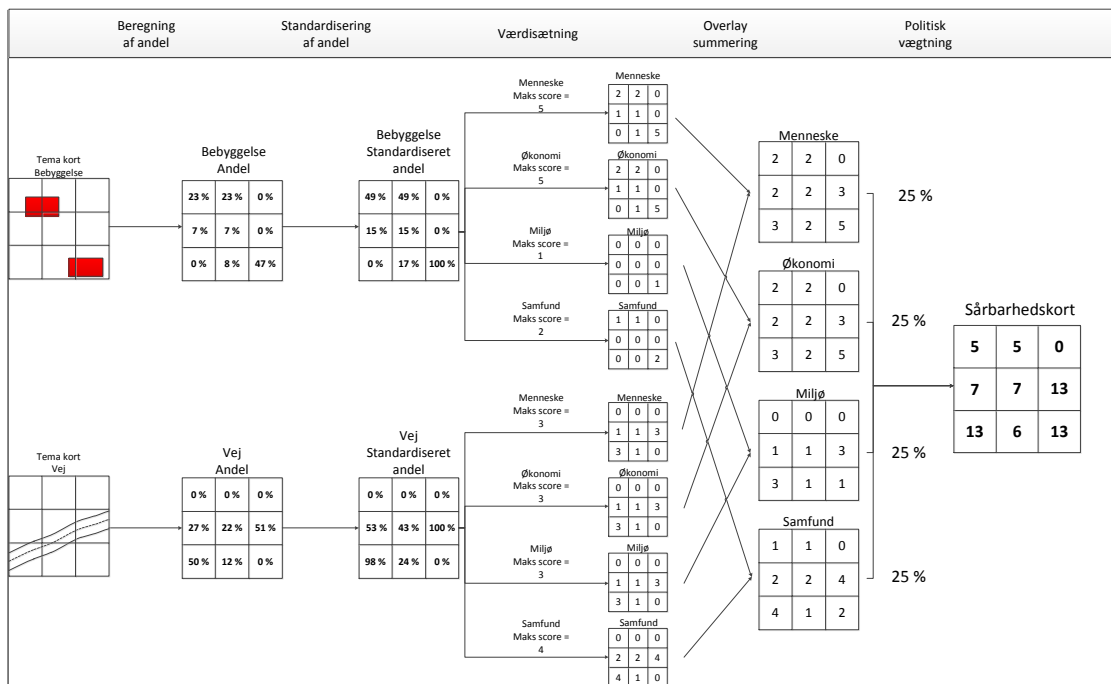
Efter udvælgelsen og klargøringen af temaerne i form af datalag, kan selve projektets analyse udarbejdes. Analysen indeholder forskellige operationer, som beskrives i dette afsnit. Selve udførelsen af analysen udarbejdes vha. programmet ArcGIS, og resultaterne heraf præsenteres i dette afsnit. Beskrivelserne af fremgangsmåden for de enkelte delprocesser, præsenteres ved hjælp af beregningseksempler og beskrivelser af de udførte operationer. De egentlige processer og delresultater kan ses af de data, der er vedlagt på CD (se *Bilag II*).

### 4.4.1 Inddeling i celler

Første skridt i analysen er at inddele caseområdet i et kvadratnet bestående af celler størrelse på 100 x 100 meter, inddelingen resulterer i at modellen bliver på Meso niveau jf. af snit 3.1.4 *Kortlægningens skala*. Som beskrevet i 3.1 *Analyseramme* angiver disse celler hvilken skala analysen udføres på. Indenfor hver af disse celler, vil sårbarhed blive beregnet.

### 4.4.2 Fremstilling af sårbarhedskort

Følgende figur viser en oversigt over multikriterieanalysen, som udføres for at fremstille sårbarhedskortet. Analysen udarbejdes på baggrund af temaerne fra dataudvælgelse og resulterer i det endelige sårbarhedskort. Processen består af fem delprocesser, hvor inputtet til den første delproces er de udvalgte temaer.



Figur 18: Skematisk oversigt over processen til fremstilling af sårbarhedskortet.



**Skadesfunktion – opgørelse af sårbarhed**

For hvert af de udvalgte temaer er opstillet en skadesfunktion. Skadesfunktionen angiver hvordan sårbarhed for hvert tema opgøres. Eksempelvis, om der er en lineær sammenhæng mellem arealstørrelsen af objekterne i et tema og deres sårbarhed overfor oversvømmelser. Det vil sige at des større areal et objekt har, des større bliver sårbarheden overfor oversvømmelse af objektet – dermed er skadesfunktionen arealafhængig. Blandt de udvalgte temaer arbejdes med følgende skadesfunktioner:

- **Binær:** Sårbarheden er ikke afhængig af en reel funktion, men gøres op i 0 og 1. Sårbarheden er blot afhængig om objekter fra temaet er repræsenteret i en celle eller ej. Hvis et eller flere objekter fra et givet tema findes i en celle, angives cellen med værdien 1. De celler hvor temaet ikke er repræsenteret angives med værdien 0.
- **Areal:** Sårbarheden er afhængig af arealstørrelsen på de objekter som temaet indeholder. Dermed opgøres sårbarheden som en lineær funktion, der følger arealstørrelsen af objekterne indenfor et tema i hver celle.
- **Befolkningstal:** Sårbarheden opgøres afhængigt af befolkningstallet i hver celle. Det antages at sårbarheden stiger i takt med antallet af folk i cellerne.
- **Pris:** Denne funktion opgør sårbarheden i forhold til en pris. Eksempelvis ved at sårbarheden opgøres lineært, ud fra den samlede værdi af bygningerne i en celle.

Nedenstående figur angiver hvilken skadesfunktion, som er knyttet til hvilke temaer. Som det fremgår af tabellen anghænger sårbarheden, for de fleste temaer, af en arealmæssige skades funktion, altså opgøres sårbarheden efter hvor stort et areal temaerne udgør.

TEMA	SKADESFUNKTION
<b>Bebyggelse</b>	
Øvrige bygninger	Areal
Beboelsesbygninger	Areal
Erhverv	Areal
Landbrugsbygninger	Areal
Offentlig funktion	Binær
Kælder	Areal
Bygningsværdi	Pris
<b>Infrastruktur</b>	
Veje	Areal (kapacitet)
Jernbane	Areal (kapacitet)
<b>Arealer</b>	
Øvrige arealer end landbrug og natur	Areal
Landbrugsjord	Areal
Rekreative arealer / Natur	Areal
Liste- og Risikovirksomheder	Binær
Landbrug med husdyr	Areal
<b>Befolkning</b>	
Befolkningstæthed	Befolkningstal

Tabel 6: Oversigt over temaernes skadesfunktioner.

### Beregning af andel

På baggrund af den skadesfunktion, der er opsat for hvert tema (se tabel 6), beregnes for hver celle hvor stor en andel hvert tema udgør i hver celle, ud fra en angivelse af repræsentationen af temaet i cellen.

Andelen opgøres ud fra hvilken skadesfunktion, der er angivet for temaet. Eksempelvis hvis temaets værditab er angivet som værende afhængigt af en arealfunktion, angives hvor stort et areal temaet udgør af hver celle. Denne operation fremgår af tabel 6 ovenfor, hvor det er eksemplificeret hvordan bygningspolygonerne omsættes til en procentvis andel i hver celle. Dette sker for temaerne med en arealafhængig skadesfunktion ved formlen:

$$Tema\ Andel = \frac{Tema\ areal}{Celle\ areal} \cdot 100$$

Hvis temaets skadesfunktion er binær, er det udelukkende interessant om temaet er repræsenteret i en celle eller ej. Derfor angives andelen til 100 % i en celle hvis temaet er repræsenteret og 0 % hvis det ikke er repræsenteret. For temaer med en befolknings- eller en prisafhængig skadesfunktion, beregnes andelen ved en summering af hhv. befolkningstallet eller den samlede pris i hver celle.

Data fra denne delproces ses på CD'en i Bilag II.

### Standardisering af andel

Efterfølgende sker en statistisk omregning ved hjælp af formlen for lineær standardisering som er beskrevet i teorien i afsnit 3.1.3 *Multikriterieanalyse*.

$$\text{Standardiseret andel} = \frac{\text{Tema andel}}{\text{Max andel}}$$

Herved tildeles den celle med højest andel 100 %, og andelene i de restende celler justeres tilsvarende. Dette skridt ses ligeledes eksemplificeret i figur 21.

Data fra denne delproces ses på CD'en i Bilag II.

### Værdisætning

Efter udarbejdelse af et lag for hvert tema, der repræsenterer de standardiserede andele fordelt på 100 meter cellerne, skal andelene omsættes til en sårbarhed. Dette sker gennem værdisætningen som omsætter temaernes informationer til ordnede værdier, der kan anvendes til at rangere temaerne indbyrdes for at gøre dem sammenlignelige i den endelige model (Jensen, Jørgensen, & Klagenberg, 2009). Værdisætning består i, at temaerne får en værdi for sårbarheden, som repræsenterer de skader, der vil opstå på de objekter, som de enkelte temaer er repræsentanter for.

Værdisætningen er en politisk opgave, som skal styres af politikerne i kommunerne. Dette skyldes at værdisætningen ikke er en størrelse, som kan udføres normativt.

Værdisætningen foregår ved, at der for hvert tema ses på de maksimale skader, der kan opstå indenfor én celle. Størrelsen af sårbarheden i denne celle angives på baggrund af konsekvensmatricen (se figur 20), og sættes til 100 %. Herefter angives sårbarhedsindekset for de øvrige celler indenfor hvert tema, ved at deres sårbarhed rangeres ud fra cellen med den største sårbarhed (beregningen eksemplificeres senere).

Temaerne indeholder forskellige informationer som arealstørrelser, repræsentation, pris eller befolkningstal. Ud fra skadesfunktionerne er det defineret hvilke typer af informationer de forskellige temaer indeholder. Disse forskellige informationer anvendes når skaderne skal værdisættes, da det er disse som omsættes til sårbarhed vha. konsekvensmatricen.

## ANALYSE

KONSEKVENSMATRIX					
MENNESKE	Nærmest ingen berørte personer	Enkelte berørte personer	Flere berørte personer	Betydelige antal berørte personer.	Store mængder berørte personer
ØKONOMI	< 10.000 kr.	10.000 – 100.000 kr.	100.000 – 1 mio. kr.	1 – 10 mio. kr.	> 10 mio. kr.
MILJØ	Ubetydelig påvirkning	Større påvirkning	Risiko for varige skader	Mindre varige skader	Større varige skader
SAMFUND	Ingen /mindre forstyrrelser	Kortere forstyrrelser	Betydelige forstyrrelser	Alvorlige forstyrrelser	Kritisk for opretholdelse af funktion.

SÅRBAR- HEDS- INDEKS	1	2	3	4	5
----------------------------	---	---	---	---	---

Figur 19: Konsekvensmatrix. Figuren er gentagelse af figur 16.

### Værdisætning – håndgribelige skader

Når informationstyperne sammenlignes med konsekvensmatrixen, ses det at det kun er muligt at foretage en normativ værdisætning af temaerne bygningsværdi og befolkningstæthed, da disse temaer indeholder information om pris eller befolkningstal – og derved kan indsættes direkte i konsekvensmatrixen. Værdisætningen af skaderne bliver herved håndgribelig. Yderligere kan en del af temaerne med arealafhængige skadesfunktioner værdisættes ved at omregne arealstørrelserne til en økonomisk sårbarhed. Dette kan gøres ved, for eksempel at angive, hvor stor en udgift pr. m<sup>2</sup> det medfører at oversvømme landbrugsjord. Denne form for værdisætning betegnes også som håndgribelig, da sårbarheden opgøres indenfor kriteriet økonomi – det sammen gælder sårbarhed der opgøres indenfor menneske.

Hvis der eksempelvis maksimalt findes 7500 m<sup>2</sup> bebyggelse i en celle, svarer det til at 75 % af arealet i cellen der er dækket af bebyggelse. Denne celle vil herved være tildelt den standardiserede andel 100 %. Værdisætningen tager udgangspunkt i hvor stor sårbarheden er hvis, de 7500 m<sup>2</sup> bebyggelse oversvømmes. På baggrund af den ovenstående konsekvensmatrix vurderes det eksempelvis at, Indenfor kategorien økonomi, vil en oversvømmelse resultere i et økonomisk tab på "1 – 10 mio. kr.", i cellen med 7500 m<sup>2</sup> bebyggelse. Derfor tildeles cellen værdien eller sårbarheden 4 (se konsekvensmatrixen). På samme måde tildeles temaet et sårbarhedsindeks indenfor hvert af de øvrige kriterier. Herefter gradueres værditabet for de øvrige celler ud fra deres standardiserede andele. Dette vil eksempelvis sige, at værditabet i en celle med en halvt så stor andel af bebyggelse, vil blive tildelt 50 % af den maksimale sårbarhed altså værdien 2. På samme måde vil værditabet i en celle, der kun indeholder en tiendedel af det bebyggede areal, i forhold til det maksimale, være på 10 % af den maksimale sårbarhed. Dette eksempel beskriver prin-

## ANALYSE

cippet i værdisætning, på baggrund af en håndgribelig skade, hvor det er muligt at overføre en kvantitativ værdi fra temaet til et sårbarhedsindeks, vha. konsekvensmatricen.

ADGANGSADR	AREA	AREA tema	Tema_ANDEL	temaS ANDEL	Shape Length	Shape Area	MSK	O
4	10000	8522	85,22	100	399,9938	9999,690001	0	
1	10000	7824	78,24	91,809434	399,9938	9999,690001	0	
0	10001	6302	63,013699	73,942383	400,0106	10000,529998	0	
20	10000	6261	62,61	73,468669	399,9938	9999,690001	0	
23	10000	6220	62,2	72,987562	399,994	9999,700001	0	
2	10000	5908	59,08	69,326449	399,994	9999,700001	0	
0	10001	5870	58,694131	68,873657	400,0106	10000,529998	0	
3	10001	5677	56,764324	66,609157	400,0138	10000,689974	0	
1	10000	5422	54,22	63,623563	399,9938	9999,690001	0	
3	10000	5405	54,05	63,424079	399,994	9999,700001	0	
0	10002	5299	52,979404	62,167806	400,0306	10001,530054	0	
18	10001	5178	51,774823	60,754309	400,0106	10000,529998	0	
0	10001	5099	50,984902	59,82739	400,014	10000,699974	0	
0	10001	5057	50,564944	59,334597	400,0104	10000,519998	0	
37	10000	5052	50,52	59,281859	399,9942	9999,710001	0	
1	10001	5046	50,454955	59,205532	400,0106	10000,529998	0	
1	10000	5013	50,13	58,82422	399,9938	9999,690001	0	
4	10000	4851	48,51	56,923257	399,9942	9999,710001	0	
2	10000	4836	48,36	56,747242	399,994	9999,700001	0	
7	10000	4824	48,24	56,60643	399,994	9999,700001	0	

Figur 20: Screenshot af attributtabel fra datalaget Bygninger med kælder. Hver række i tabellen repræsenterer en celle i kortet. Tabellen viser hvordan kælderarealet i hver celle (AREA\_tema) omsættes til en celleandel (Tema\_ANDEL) og videre til en standardiseret andel (temaS\_ANDEL). På baggrund af de standardiserede andele sættes sårbarhedsindekset for hver celle.

De skader, der vil opstå for en stor del af objekttyperne ved en oversvømmelse, er modsat det ovenstående eksempel med bebyggelse, uhåndgribelig og dermed svære at værdisætte, da temaerne ikke direkte indeholder informationer, der kan omsættes til et sårbarhedsindeks.

Opgørelsen af sårbarhed indenfor kriterierne Samfund og Miljø, er uhåndgribelige - derfor må sårbarheden som nævnt opgøres vha. verbale beskrivelser. Hermed kan sårbarheden ligeledes opgøres på den en ordnet skala vha. konsekvensmatricen. Værdisætningen af uhåndgribelige skader udføres som beskrevet nedenfor.

### **Værdisætning uhåndgribelige skader**

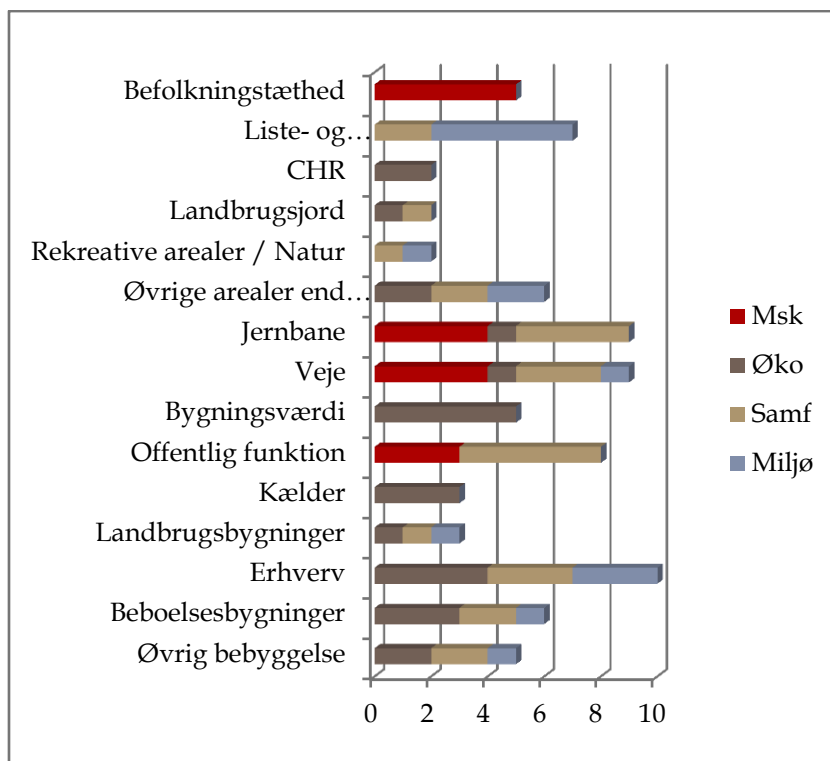
Med hensyn til uhåndgribelige skader, er det som beskrevet nødvendigt at beskrive skaderne deskriptivt, da de ikke er direkte målbare. Værdisætningen kan udføres vha. 'Delphi metoden'. Metoden er en iterativ proces, hvor kommunalpolitikkerne i første omgang værdisætter kriterierne individuelt, herefter diskuteres de forskellige forslag i plenum, hvorefter de enkelte politikere kan revurdere deres værdisætning. Processen fortsættes indtil der er opnået enighed omkring værdisætningen af alle objekttyperne (Meyer, 2007). Anvendelsen af denne metode giver mulighed for at foretage forskellige deskriptive værdisætninger i kommunerne.

### **Udkast til værdisætning**

I dette projekt er værdisætningen fortaget ud fra deskriptive vurderinger, i de tilfælde hvor det ikke er muligt at omsætte informationer fra temaerne direkte til sårbarhed vha. konsekvensmatricen. Værdisætningen af sårbarheden er

derfor ikke endelig, men afspejler et bud på en værdisætning, som kan anvendes som udgangspunkt for den kommunale værdisætning.

Den endelige værdisætning er præsenteret herunder:



Figur 21: Oversigt over den endelige værdisætning af temaer. Selve værdisætningen findes i Appendiks III.

Ovenstående figur præsenterer resultatet af overvejelserne vedrørende værdisætningen af de enkelte temaer, som er foretaget i *Appendiks III*. I *appendiks* beskrives for hvert tema, hvordan værdisætning er opgjort samt hvilke skader, der er repræsenteret af hvilke temaer. Af *figur 22* fremgår det, at de fleste temaer har indvirkning på den økonomiske og samfundsmæssige sårbarhed, hvorimod den miljømæssige og menneskelige sårbarhed kun repræsenteres af en mindre del af temaerne.

I forbindelse med værdisætningen er det vigtigt at være opmærksom på, at en skade kun skal værdisættes en gang. Det vil sige at, selvom en skade eller sårbarheden for eksempelvis en beboelsesbygning kan opgøres økonomisk både vha. af temaet beboelsesbygninger samt vha. temaet bygningsværdi, skal den økonomiske sårbarhed kun angives for et af temaerne. I den forbindelse er det relevant at vurdere hvilke del af skaderne, der bedst gøres op på et givent tema, i tilfælde hvor den samme skade kan opgøres vha. flere temaer.

I tilfælde hvor flere temaer 'overlapper' samme skade på et objekt, eksempelvis, ved en skade på en beboelsesbygning med kælder, vil den samlede sårbarhed for bygningen skulle beregnes ved at lægge sårbarheden for temaerne,

## ANALYSE

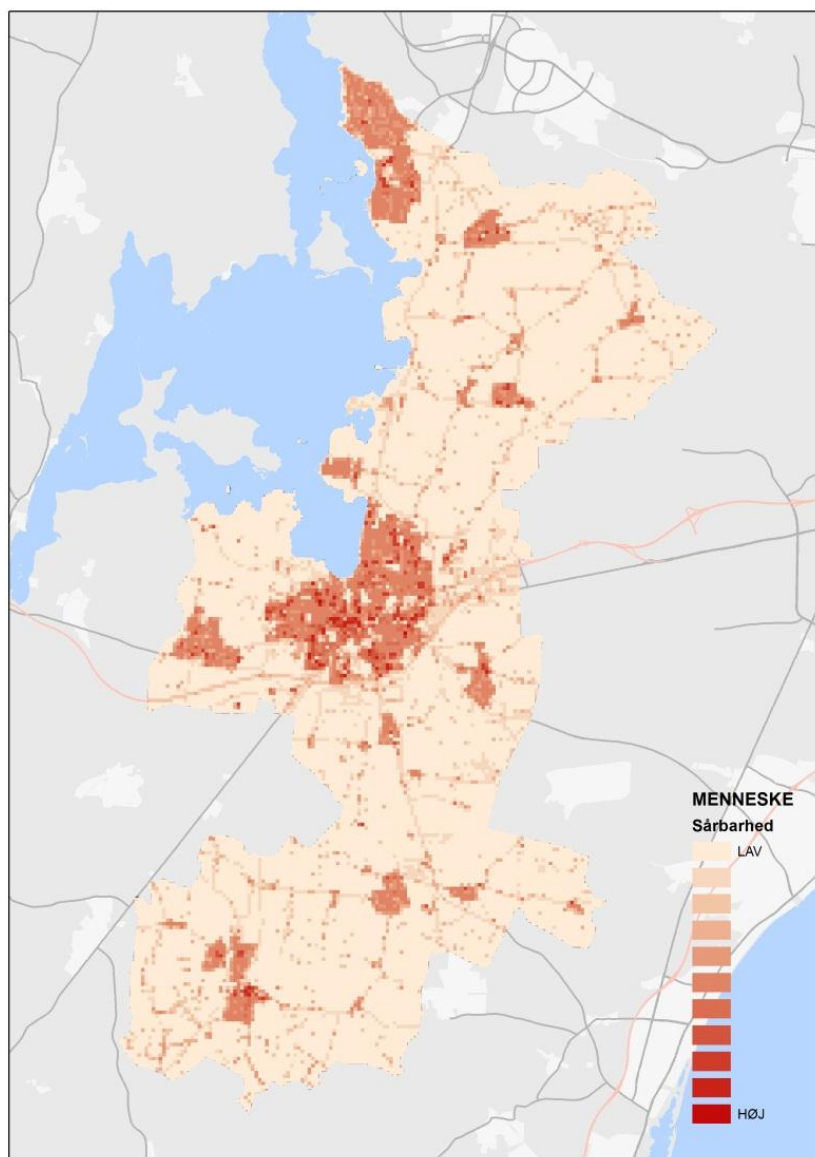
Kælder, bygningsværdi og beboelsesbygninger sammen. Dermed skal *figur 22* ikke tolkes som om, at der direkte er forskel på sårbarheden af de forskellige temaer, da der kan forekomme overlap mellem temaer der befinder sig på forskellige niveauer (se *tabel 4*).

### **Overlay - summering**

Efter tilføjelserne af værditab, omsættes hvert tema, til fire kort - et kort, der repræsenterer værditabet indenfor hvert af de fire kriterier (menneske, værdi, samfund og miljø). Efterfølgende aggregeres sårbarhedsværdierne fra de enkelte temaer i et kort for hvert kriterium, således at der opstår fire kort - et der angiver sårbarheden indenfor hvert af de fire kriterier.

Summeringen resulterer i følgende fire kort:

## Sårbarhed - Menneske

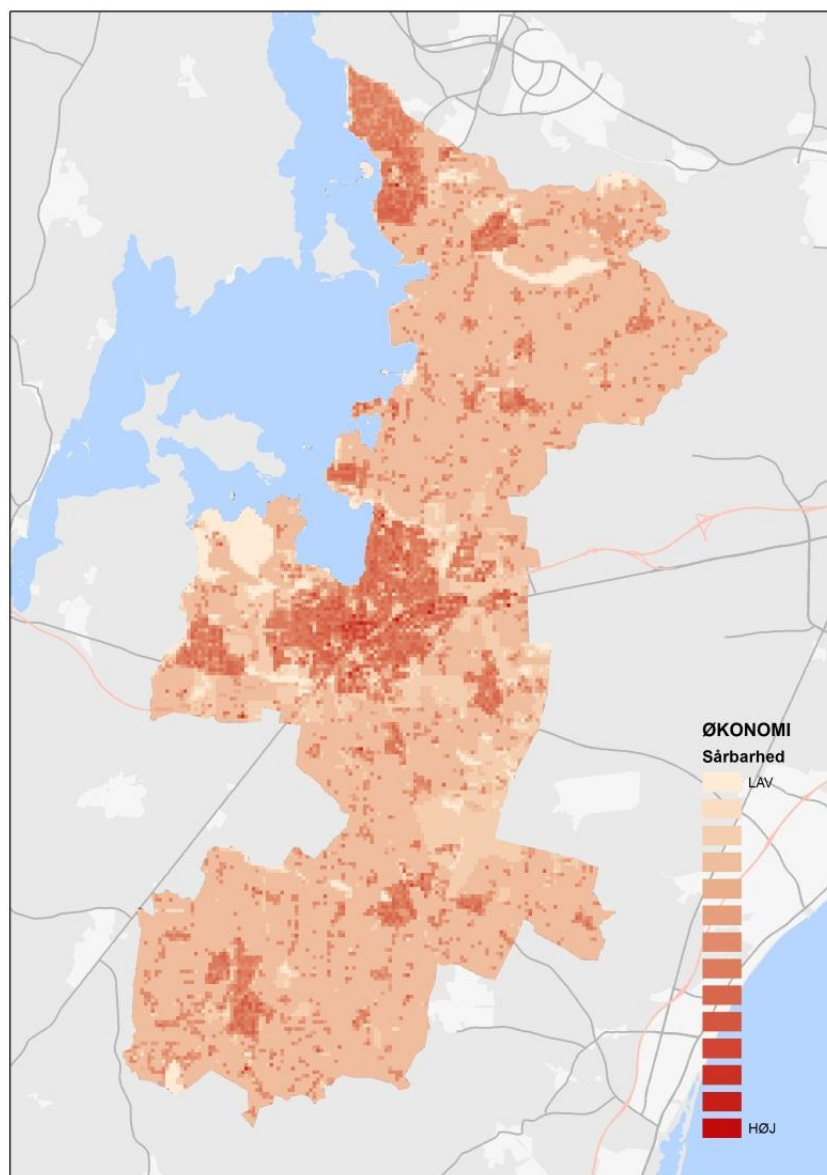


Figur 22: Opgørelse af menneskelig sårbarhed ved oversvømmelser i Roskilde Kommune.

Af kortet ovenfor ses det, at den menneskelige sårbarhed hovedsageligt er repræsenteret i byerne. Dette skyldes af befolkningstætheden her er størst og at befolkningstætheden er det tema med størst indvirkning på den menneskelige sårbarhed. Yderligere ses de infrastrukturelle elementer også at fremtræde på kortet - da disse også er værdisat indenfor den menneskelige sårbarhed.



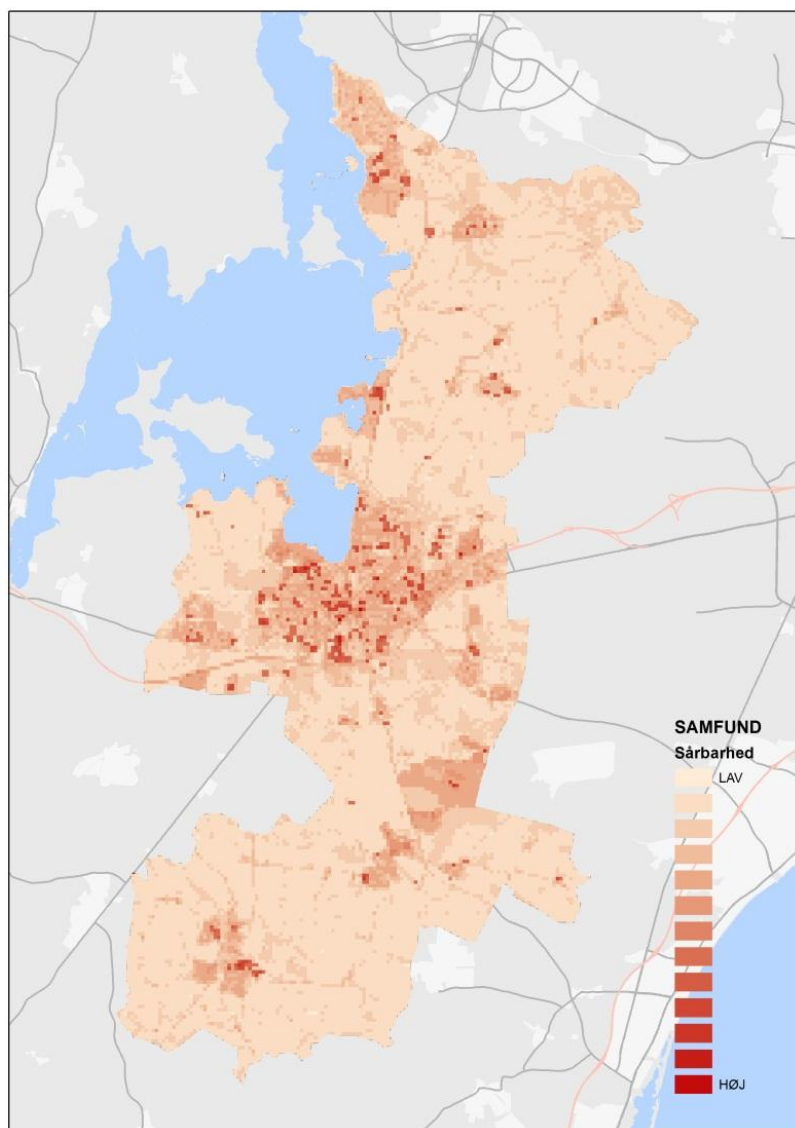
## Sårbarhed - Økonomi



Figur 23: Opgørelse af økonomisk sårbarhed ved oversvømmelser i Roskilde Kommune.

Sårbarheden indenfor økonomi, ses at angive strukturer der refererer direkte til beliggenheden af bygninger. Det åbne land ses at være de områder med lavest økonomisk sårbarhed, hvorimod byerne, er mest sårbare.

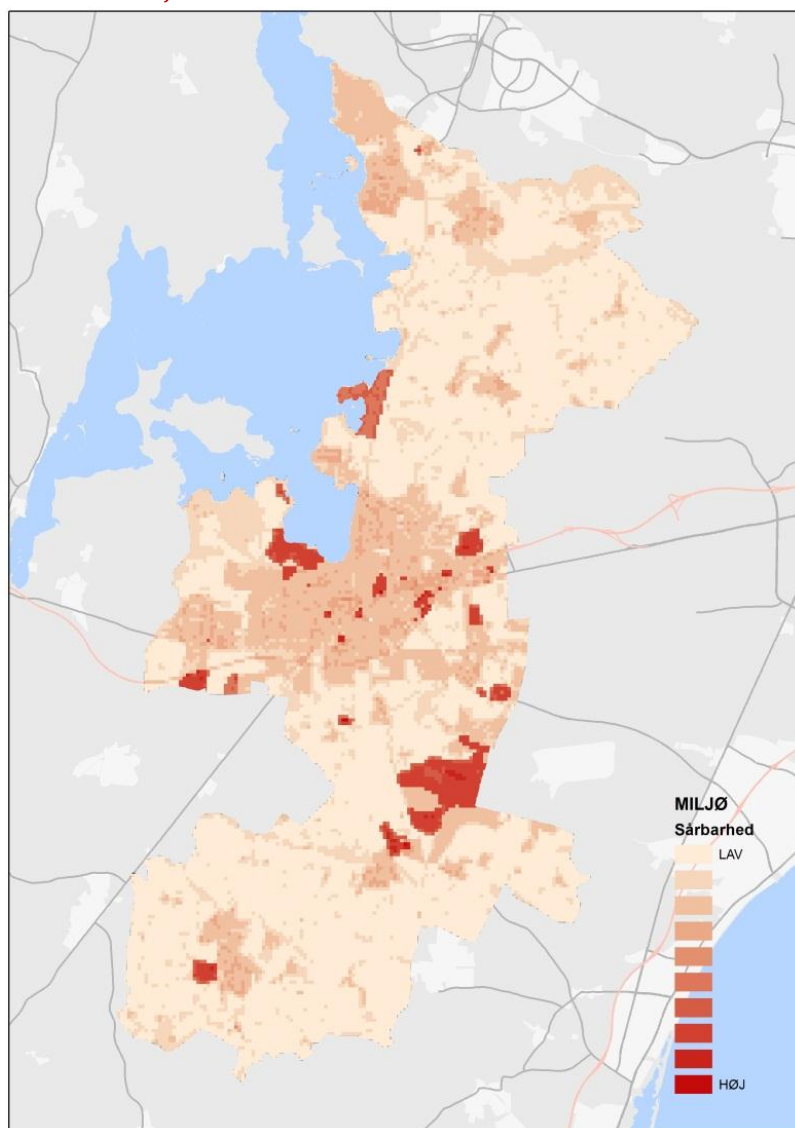
## Sårbarhed - samfund



Figur 24: Opgørelse af samfundsmæssig sårbarhed ved oversvømmelser i Roskilde Kommune.

Sårbarheden indenfor samfund, er ligeledes hovedsageligt lokaliseret i byerne, dog ses det at den samfundsmæssige sårbarhed i byerne er mere differentieret end den økonomiske. Dette skyldes placeringen af de offentlige funktioner, som eksempelvis institutioner, der bidrager meget til den samfundsmæssige sårbarhed.

## Sårbarhed - Miljø



Figur 25: Opgørelse af miljømæssig sårbarhed ved oversvømmelser i Roskilde Kommune.

Sårbarheden indenfor miljø ses at afvige væsentligt fra de øvrige opgørelser. Dette skyldes at bygningerne ikke har en stor påvirkning på den miljømæssige sårbarhed som derimod hovedsageligt afhænger af temaet risiko- og listevirksomheder.

## 4.5 Vægtning

For at kortlægge den samlede sårbarhed skal der foretages en vægtet overlay-analyse. I den forbindelse skal beslutningstagernes præferencer omsættes til vægte, der kan tildeles de enkelte kriterier. Vægtningen udarbejdes på baggrund af parvis sammenligning som er beskrevet i afsnit 3.1.3 *Multikriterieanalyse*. Der arbejdes i dette projekt med et fiktivt præferencesæt, der er defineret udelukkende med det formål at kunne eksemplificere en beregning af vægtene. Før modellen kan anvendes i praksis, vil der være en vigtig proces med at tildele de politiske præferencer og opnå konsensus omkring vægtene. Processen er tidligere illustreret i *figur 13* og det tænkes som en iterativ proces, hvor der løbende kan ændres på værdisætning og vægtning for at opnå et beslutningsgrundlag der tilfredsstillende beslutningstagere og interessenter.

Første skridt i vægtning som er der hvor de politiske beslutninger inddrages, er tildelingen af såkaldte beslutningsværdier. De værdier, som anvendes til overlayanalysen, er der defineret og tildelt i *figur 22*. Efterfølgende anvendes beslutningsværdierne, således at der kan beregnes et sæt vægte til kriterierne. Beregningerne er baseret på (Jankowski & Nyerges, 2010) og (Meyer, Messner, Penning-Roswell, Green, Tunstall, & van der Veen, 2009).

### 4.5.1 Beslutningsværdier

Beslutningsværdierne tildeles ved, at alle kriterierne sammenlignes med hinanden parvis og tildeles en værdi ud fra skalaen beskrevet i afsnit 3.1.3 *Multikriterieanalyse* (skalaen går fra 1-9, hvor 1 betyder at kriterierne er lige vigtige, og 9 betyder at det ene kriterium er meget vigtigere end det andet). Kriterierne navngives således:

Økonomi =  $C_1$

Menneske =  $C_2$

Samfund =  $C_3$

Miljø =  $C_4$

Følgende tabel beskriver den tildeling af beslutningsværdier som anvendes i dette projekt:  $C_1$  vurderes til at være moderat til betydeligt vigtigere end  $C_4$  (betydningsværdi 6) og moderat vigtigere end  $C_2$  og  $C_3$  (betydningsværdi 5) som derfor indbyrdes har samme betydning (betydningsværdi 1)  $C_2$  og  $C_3$  vurderes at være svagt vigtigere end  $C_4$  (betydningsværdi 3).

Kriteriepar	Beslutningsværdi	Indgang i sammenligningsmatricen
Økonomi - Menneske ( $C_1-C_2$ )	5	$a_{12}$
Økonomi - Samfund ( $C_1-C_3$ )	5	$a_{13}$
Økonomi - Miljø ( $C_1-C_4$ )	6	$a_{14}$
Menneske - Samfund ( $C_2-C_3$ )	1	$a_{23}$
Menneske - Miljø ( $C_2-C_4$ )	3	$a_{24}$
Samfund - Miljø ( $C_3-C_4$ )	3	$a_{34}$

Tabel 7: Oversigt over tildelte beslutningsværdier.

Overstående tildeling af beslutningsværdi, har hovedsagligt til formål at illustrere hvordan processen foregår. Dermed er selve tildelingen af beslutningsværdier ikke væsentligt i dette projekt - det skyldes at dette projekt ikke forholder sig til politiske prioriteter og holdninger - som er en væsentligt faktor i tildelingen af værdierne - men derimod blot fokuserer på udvikling af modellen.

### 4.5.2 Beregninger af vægte

På baggrund af de beslutningsværdier, der er tildelt til de seks kriteriepar, som er opstillet, udfyldes matrix A ved hjælp af følgende regler:

Regel 1: Hvis  $a_{ij} = w$ , så er  $a_{ji} = \frac{1}{w}$

Regel 2: hvis  $C_i$  vurderes til at være af samme betydning som  $C_j$  så er  $a_{ij} = 1$  og  $a_{ji} = 1$

#### Trin 1/ Trin 2:

Den parvise sammenligningsmatrix udfyldes med betydningsværdierne ved anvendelse af regel 1 og 2 (se *Bilag II* for regneark med beregninger) herefter summeres søjlerne i matricen.

$$A = \begin{array}{c|cccc} & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \\ \hline c_1 & 1 & 5 & 5 & 6 \\ c_2 & 1/5 & 1 & 1 & 3 \\ c_3 & 1/5 & 1 & 1 & 3 \\ c_4 & 1/6 & 1/3 & 1/3 & 1 \\ \hline \text{sum} & 1,57 & 7,33 & 7,33 & 13,00 \end{array}$$

#### Trin 3:

Normalisering af matrix A.

Dette foretages ved at dividere hver indgang i en given søjle med søjlens sum.

$$\text{Eks. } \frac{a_{12}}{\text{Sum Søjle 1}} = \frac{1/5}{1,57} = 0,13$$

$$A = \begin{array}{c|cccc} & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \\ \hline c_1 & 0,64 & 0,68 & 0,68 & 0,46 \\ c_2 & 0,13 & 0,14 & 0,14 & 0,23 \\ c_3 & 0,13 & 0,14 & 0,14 & 0,23 \\ c_4 & 0,11 & 0,05 & 0,05 & 0,08 \end{array}$$

**Trin 4:**

For at bestemme vægten til de enkelte kriterier, beregnes der for hver række et gennemsnit på baggrund af matricen fra trin 3. Herved er vægten bestemt på baggrund af de opstillede betydningsværdier.

$$C_{v1} = \frac{0,64+0,68+0,68+0,46}{4} = 0,6159$$

$$C_{v2} = \frac{0,13+0,14+0,14+0,23}{4} = 0,1578$$

$$C_{v3} = \frac{0,13+0,14+0,14+0,23}{4} = 0,1578$$

$$C_{v4} = \frac{0,11+0,05+0,05+0,08}{4} = 0,0686$$

Som kontrol af tildelte vægte og således at summen af vægtene er 100 % skal de fire vægte summeret være =1.

$$\sum_{C_i}^{i=[1,2,3,4]} = 1$$

Herved opfylder vægtene kravet om at summere til 1.

De opstillede vægte kan kontrolleres yderligere ved hjælp af en 'Consistency Ratio' (CR). Ved beregningen af CR gælder at et resultat mindre eller lig med 0.10 indikerer, at der er god overensstemmelse mellem de tildelte beslutningsværdier. Et CR højere end 0.10 vil betyde at beslutningsværdierne må evalueres igen. Det kunne eksempelvis være i tilfælde hvor 2 kriterier, der er vurderet til at have sammen relative betydning, men som så i forhold til et tredje kriterium er tildelt beslutningsværdier med stor forskel.

Beregningerne er her foretaget på baggrund af de tildelte beslutningsværdier og resulterer i CR = 0,04. Hvilket antyder at der fin konsistens mellem de tildelte betydningsværdier.

Økonomi = 61,6 %

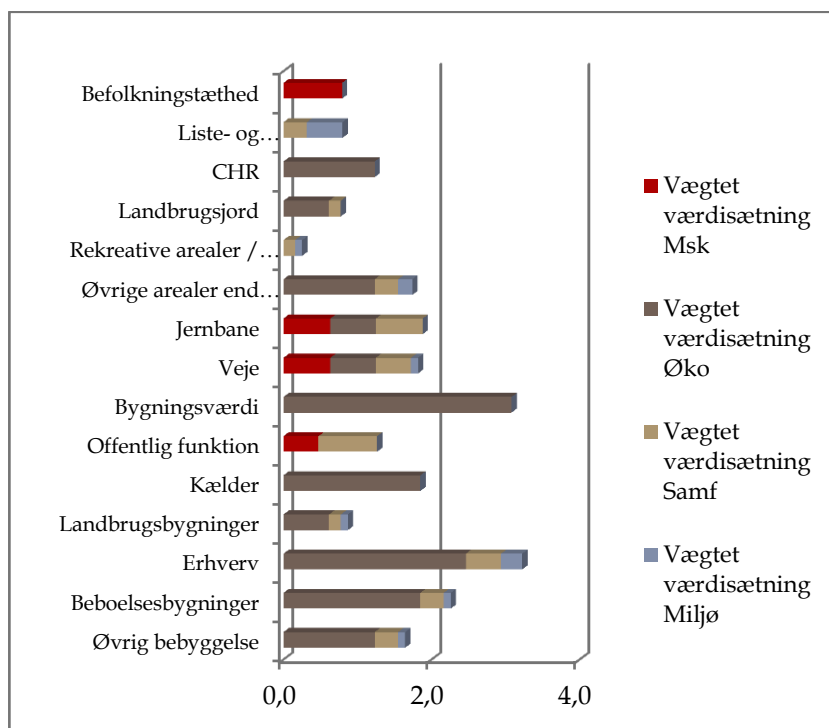
Menneske = 15,8 %

Samfund = 15,8 %

Miljø = 9,6 %

Der er nu bestemt et sæt vægte, der matcher kriterierne [C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>]. Disse vægte skal nu anvendes i den endelige vægtede overlayanalyse, der kombinerer vægtene med kortlægningen af sårbarheden indenfor de enkelte kriterier. Den vægtede værdisætning ses herunder.

## VÆGTNING



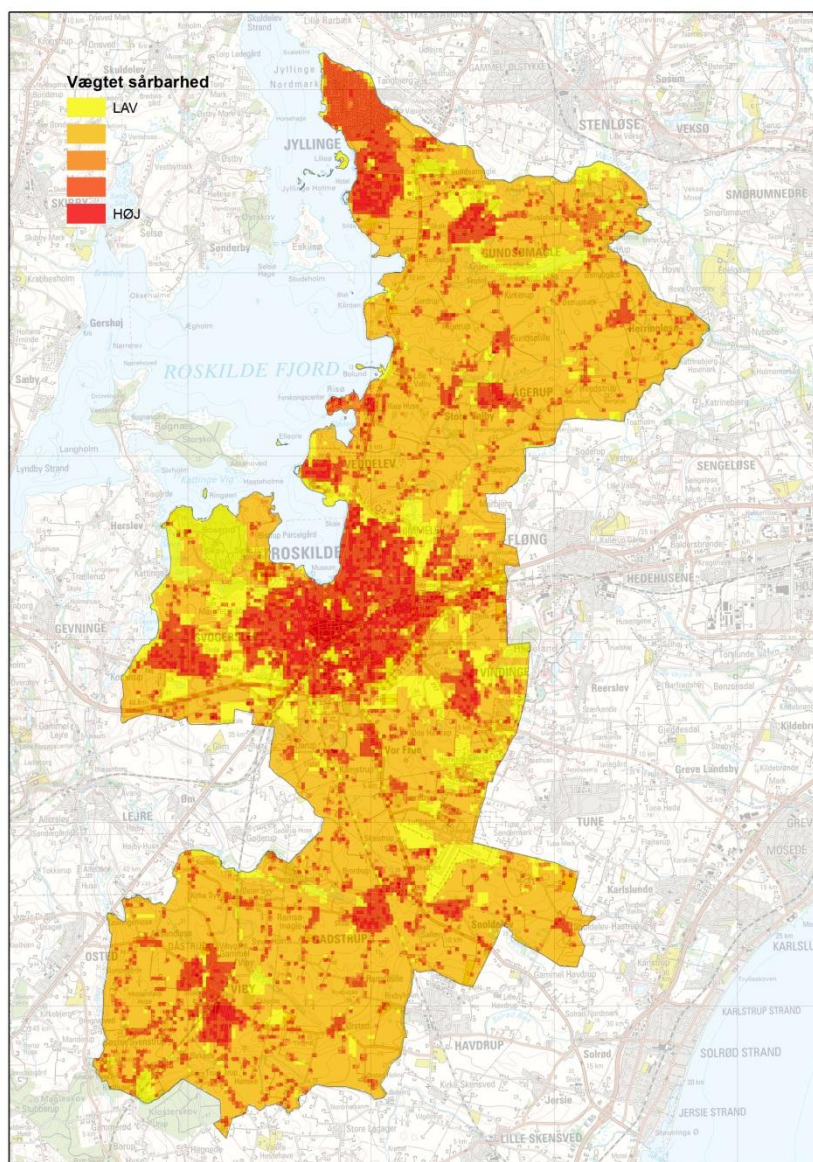
Figur 26: Oversigt over den vægtede værdisætning af temaerne. Vægtningen er foretaget ved at gange værdierne fra værdisætningen af temaerne med de beregnede vægte.

Efter tilføjelsen af vægtene til vil værdisætningen af temaerne se ud som ovenfor. Som det fremgår, vil den samlede sårbarhed hovedsageligt være afhængig af den økonomiske sårbarhed – da den er vægtet højest.

### 4.5.3 Aggregeret sårbarhed

På baggrund af den beregnede vægtning af kriterierne og den efterfølgende aggregering, er nedenstående et eksempel på en kortlægning af sårbarhed i Roskilde Kommune udarbejdet. Sårbarheden er opgjort på en relativ skala, hvor rød angiver størst sårbarhed og grøn angiver mindst. Dermed kan kortlægningen kun anvendes i en relativ sammenligning, og ikke i absolutte sammenhænge.

## VÆGTNING



Figur 27: Kortet viser den endelige udpegning af sårbarhed overfor oversvømmelser i Roskilde Kommune.

Det ses på kortet, at specielt de bebyggede områder omkring Roskilde, Viby Sjælland og Jyllinge, fremstår som sårbare overfor oversvømmelser. Resultatet er ikke overraskende da det i vægtningen af kriterierne er valgt at økonomien er moderat til betydeligt vigtigere end det lavest scorende kriterium Miljø. Kriterierne Menneske og Samfund er også vægtet relativt lavt i forhold til økonomi. Dermed vil den endelige model hovedsageligt vise den økonomiske sårbarhed, som hovedsageligt knytter sig til bebyggelsen, som derfor vil fremtræde i det endelige kort.

Desuden er der i datagrundlaget relativt flere temaer, der sætter værdi på objekter, som knytter sig til tættere bebyggede områder og ikke åbent land. Derfor træder Roskilde, Viby Sjælland og Jyllinge samt mindre byer tydeligt frem i den samlede sårbarhedskortlægning. På landet kunne problemerne



## VÆGTNING

tænkes at opstå langs vandløb og underførsler hvor vandet staves op på lavtliggende terræn. Yderligere er der i byerne også en højere tæthed af bebyggelse og infrastruktur generelt.

Naturarealer fremgår tydeligt som de mørkeste grønne flader, som angiver lavest sårbarhed, i form af skove, vandløb og ådale. Dette ses eksempelvis vest for Roskilde og øst for Jyllinge, hvor der er henholdsvis skov, ådal og § 3 områder.

En anden politisk vægtning af kriterierne og udvalget af temaer ville have resulteret i et andet resultat og derved ville indsatserne mod de sårbare områder skulle prioriteres anderledes. Oversvømmelse af skov og vandløb vil alt andet lige ikke have så store samfundsmæssige konsekvenser, medmindre at vandet er kontamineret på den ene eller den anden måde, således at det vil få længevarende skadelige virkninger for miljø og være forbundet med meget store samfundsmæssige retableringsomkostninger. Tolkningen og diskussion af analysens resultat, er generelt mindre væsentlig, da resultatet i høj grad er styrret af politisk prioriteringer som kan ændre meget på udfaldet. Derimod er det mere væsentligt at diskutere indholdet i modellen i form af udvalget af temaer og vægtningen af kriterierne.

Formålet med sårbarhedskortet, er at det kombineret med sandsynligheden for oversvømmelse kan vise risikoen ved oversvømmelser i forskellige områder, derfor illustreres denne kombineret i følgende afsnit.

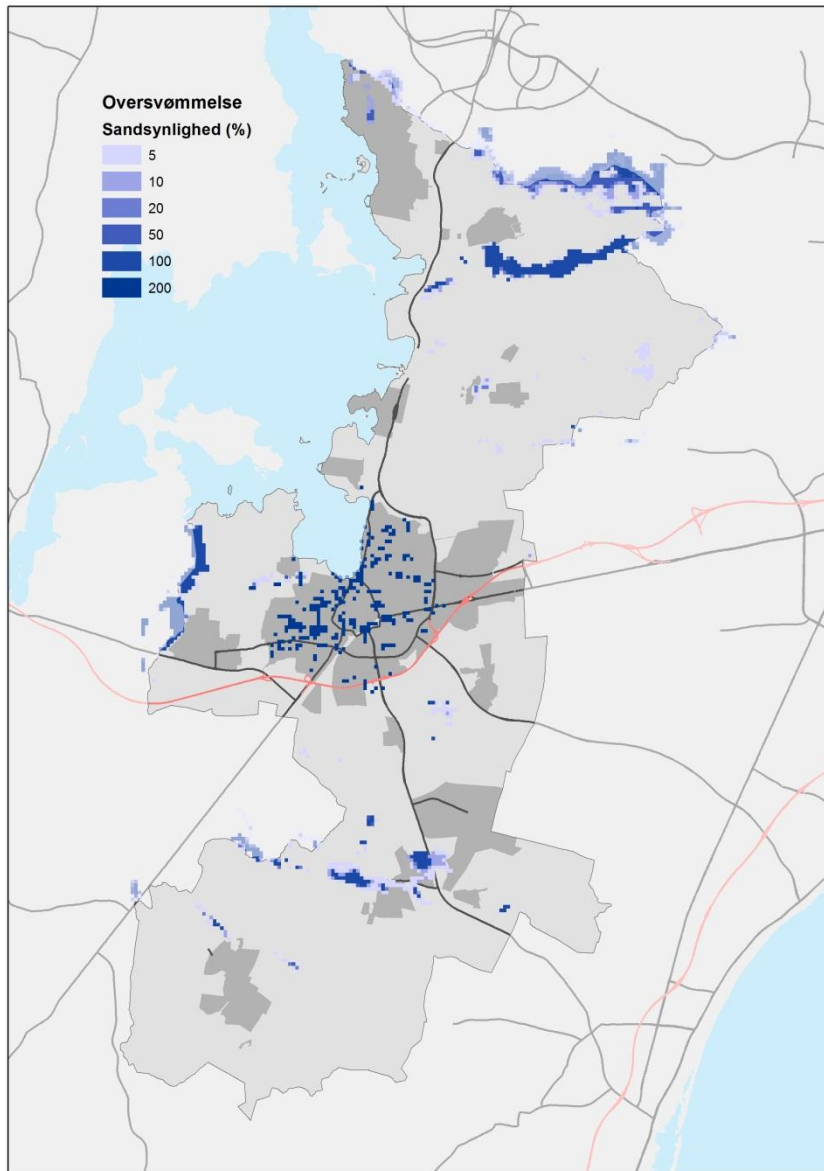
## 4.6 Risikokortlægning

For at illustrere anvendeligheden af sårbarhedskortlægning, ville dette afsnit kombinere sårbarheden (konsekvensen) med sandsynligheden, og dermed angive risikoen ved oversvømmelser.

### 4.6.1 Oversvømmelsesmodel

Sandsynligheden kommer fra en oversvømmelsesmodel udarbejdet af Orbicon. Modellen angiver sandsynligheden for oversvømmelser, opgjort på 100 meter celler, svarende til cellerne i sårbarhedskortet. Modellen tager udgangspunkt i år 2010, og beregner sandsynligheden for vand på terræn på baggrund af tre modeller: MIKE Urban kloakmodel i Roskilde by, MIKE Flood ved Jyllinge Nordmark og MIKE 11 for vandløbene. Kortene viser sandsynligheden for vand på terræn som følge af nedbør. I kortlægningen af sandsynligheden, er det konstateret at oversvømmelsesmodellen viser stor usikkerhed i Roskilde by, på baggrund af sammenligninger med data fra tidligere hændelser. Derfor er sandsynligheden for alle celler i Roskilde By med en beregnet sandsynlighed, sat til 200 %, hvorfor alle celler i selve Roskilde By, er angivet med høj sandsynlighed uanset den i oversvømmelsesmodellen beregnede sandsynlighed (Orbicon, 2012a).

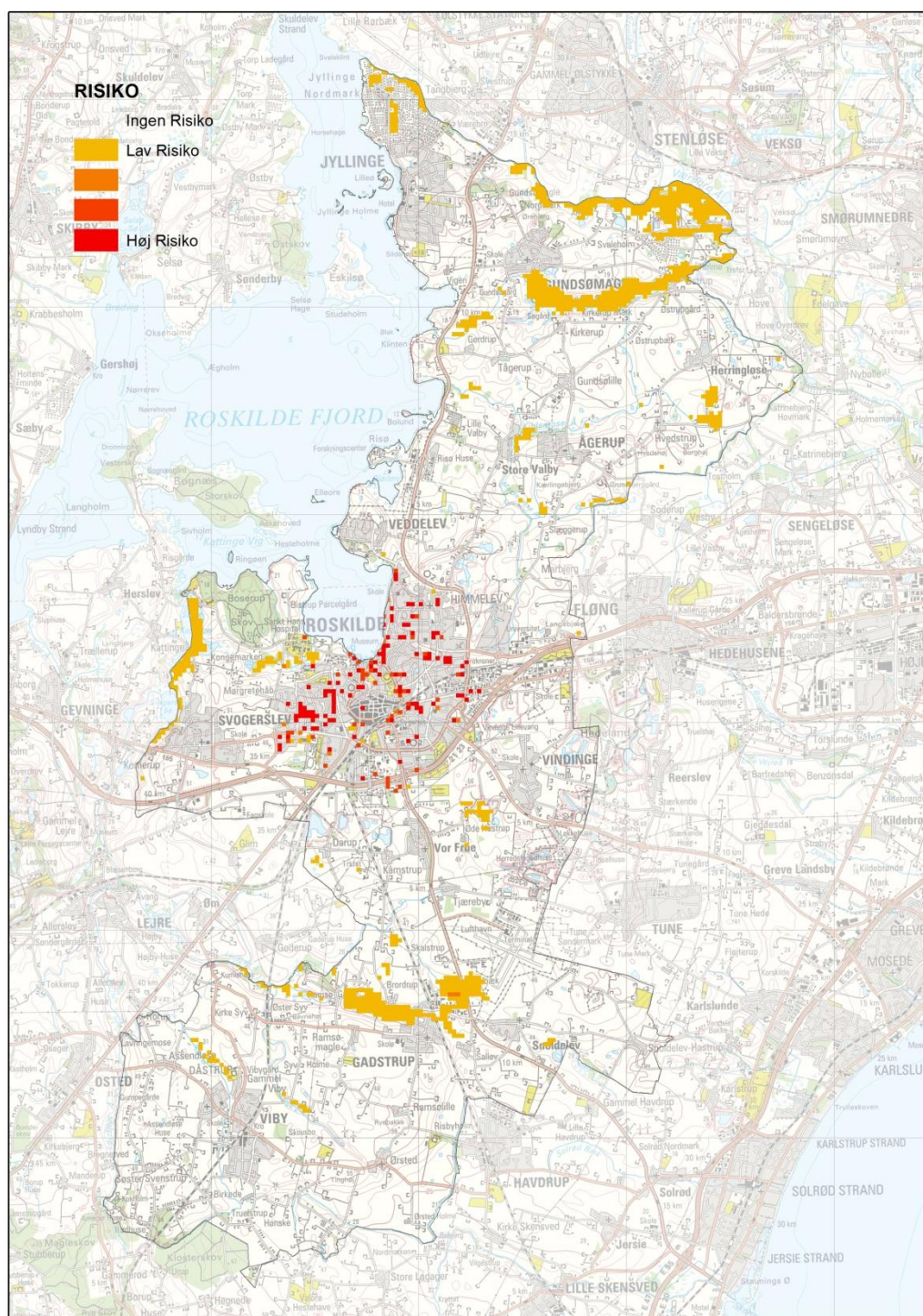
## RISIKOKORTLÆGNING



Figur 28: Kortet viser sandsynligheden for oversvømmelser i Roskilde Kommune i år 2010. Data til kortet er leveret og udarbejdet af Orbicon.

### 4.6.2 Risiko = Sandsynlighed x Konsekvens

Risikoen beregnes som beskrevet ved at gange resultatet fra kortlægningen af sårbarheden (figur 28) med sandsynligheden for en oversvømmelse (figur 29 ovenfor).



Figur 29: Samlet oversvømmelsesrisiko i Roskilde Kommune.

## RISIKOKORTLÆGNING

Kortet viser risikoen ved i forbindelse med oversvømmelser som følge af ekstrem nedbør i hele Roskilde kommune. Det ses på baggrund af den angivne sandsynlighed i Roskilde By, at risikoen er størst, da her både er høj sandsynlighed og høj sårbarhed. Ellers fremgår det af kortet, at risikoen eksisterer, men er lav i områder der ligger udenfor byerne, da sandsynligheden for oversvømmelser er størst i for eksempel i ådal og i vådområder, men sårbarheden samtidigt er lav her.

På baggrund af kortet er det muligt at identificere enkelte celler men også mindre eller større klynger af celler hvor der på baggrund af risikokortlægningen vil kunne forventes at være konsekvenser ved oversvømmelser. I og med man kan identificere de celler, hvor der angiveligvis vil opstå problemer, er det her man må sætte ind med et konkret klimatilpasningstiltag. I forhold til at maksimere udbyttet af et konkret tiltag kunne man starte med at foretage tiltag der, hvor der fremkommer større klynger af celler der vil være berørt af oversvømmelser(dette er tilfældet i den vestlige del af Roskilde).

I det tilfælde hvor man ønsker at vælge mellem to celler med samme risiko, vil det være nødvendigt at foretage yderligere detail- eller microskala-analyser for at kunne afgøre hvor udbyttet vil være størst. Det kan i denne sammenhæng også være relevant at overveje udgifterne ved et konkret tiltag samt hvor nemt det vil være at implementere et konkret tiltag.

## 5 Konklusion

---

## 5.1 Opsamling

Det er i rapporten sandsynliggjort, at der som følge af klimaændringer, i fremtiden vil opstå en kæmpe udfordring i form af behovet for klimatilpasning. Klimaændringerne, herunder ekstreme regnhændelser, truer de højtudviklede byområder, hvor koncentrationen af impermeable flader og værdier er stor og derfor gør dem sårbare. Klimaændringerne kan ikke afværges, men vores samfund kan tilpasses så konsekvenserne bliver så minimale som mulige. Som følge af de sidste somres kraftige skybrud er der på nationalt niveau opstået et lovkrav om at de danske kommuner skal tilvejebringe klimatilpasningsplaner inden udgangen af år 2013. Disse klimatilpasningsplaner, skal indeholde: sandsynligheds-, konsekvens/sårbarheds- og risikokortlægning - hvilket dette projekt udarbejder input til.

Det har gennem projektet været målet, at udarbejde en GIS-baseret model, der kan anvendes af alle landets kommuner til at foretage risikokortlægning i forbindelse med ekstreme regnhændelser. Der har dog grundet projektets faglighed været fokuseret på at udarbejde et koncept der kan modellere sårbarheden på grundlag af landsdækkende registre og databaser. Sandsynlighedskortlægningen er venligst leveret af Orbicon, og er baseret på de avancerede hydrologiske modeller MIKE- URBAN og SHE. Som følge af samarbejdet med Orbicon er sårbarhedskortlægningen udarbejdet for caseområdet Roskilde Kommune - anvendelsen af modellen er dog tiltænkt alle landets kommuner.

Problemstillingen omkring sårbarhedskortlægning er blevet afdækket gennem en opnået forståelse for klimaændringerne, de typer af skader som kan opstå ved oversvømmelser, hvilke objekter der vil være fare, hvordan objekter kan værdisættes og vægtes samt hvilke analyseformer, der er anvendelige i denne sammenhæng. For at indsamle empiri vedrørende disse spørgsmål er der udarbejdet et litteraturstudie. Litteraturstudiet indeholder 16 udvalgte, internationale og nationale journaler, rapporter og konkrete lignende projekter. Der har yderligere været suppleret med generel teori og interviews.

Ved litteraturgennemgangen er der blevet identificeret fire typer af skader, der kan opstå som følge af ekstremregn: Direkte, håndgribelige; Indirekte, håndgribelige; Direkte, uhåndgribelige og indirekte, uhåndgribelige. Disse anvendes til at identificere, hvilke objekter der vil være sårbare overfor oversvømmelser, og dermed kan anvendes i modellen. De udvalgte objekters validitet er yderligere bekræftet gennem to fokusinterviews med: Daniel Grube, NST (Pedersen, 2012) og Orbicon (Orbicon, 2012a). Objekterne er ved hjælp af de landsdækkende registre og databaser: BBR, CHR, FOT, SVUR og Matriklen omsat til temaer som repræsenterer den virkelige verden i modellen.

For at kunne operationalisere temaerne og kunne sammenligne de forskellige skader (håndgribelige og uhåndgribelige), herunder forskellige typer af sårbarheder, har det været nødvendigt at kategorisere skaderne ved hjælp af en

række kriterier. Litteraturstudiet og definitionen af bæredygtighed har været med til at identificere fire kriterier, der kan beskrive alle aspekter af at kortlægge sårbarheden. Kriterierne er Menneske, Økonomi, Samfund og Miljø.

Da sårbarhedskortlægningen skal anvendes i politisk sammenhæng til at foretage prioriteringer og konkrete klimatilpasninger er der valgt en analysemetode, som er iterativ og som dermed passer godt ind i en politisk beslutningskontekst. Multikriterieanalysen som tildeler vægte på baggrund af de politiske beslutningspræferencer, er i denne sammenhæng en passende model. Til at vægte kriterierne er 'pairwise comparison' fundet som den bedst teoretisk funderede metode.

Den endelige sårbarhedskortlægning, vurderer byområderne som værende mest sårbare. Dette resultat er i høj grad en konsekvens af de tildelte vægte, som i sidste ende vil være en politisk beslutning i den enkelte kommune. Den udarbejdede model er ikke fuldstændig, men er baseret på landsdækkende registre og databaser, der gør den let tilgængelig og let anvendelig for landets kommuner. Det vil være muligt at supplere med flere data, og en mere velfunderet værdisætning af temaerne for hvert kriterium.

Det har således været muligt at opstille en model der kan kortlægge sårbarheden ved ekstreme regnhændelser. Yderligere er modellen opstillet med henblik på at kunne anvendes som et MC-SDSS i en politisk kontekst. Modellen er grundet repræsentation på celleniveau og aggregeringerne på et Meso-Skalaniveau, vurderet som et tilstrækkeligt grundlag for at foretage prioriteringer og i sidste ende at iværksætte konkrete klimatilpasningstiltag på baggrund af.

## 5.2 Vurdering

### Er den fremstillede model tilstrækkelig?

Den endelige sårbarhedskortlægning som ses i *figur 28*, kortlægger sårbarheden i forhold til de fire kriterier Menneske, Økonomi, Samfund og Miljø. Modellen vil kunne suppleres med yderligere data til at repræsentere sårbarheder, da den ikke er fuldstændig men er en delvis model, der bygger på eksisterende registre og databaser. Modellen i projektet bygger på de data der er fundet repræsentative og anvendelige, uden at der er foretaget lokale detaljanalyser, som ville være forbundet med store tidsmæssige omkostninger.

Som nævnt, kunne der være tilføjet flere temaer, som kunne have været med til at gøre modellen mere komplet. Det kunne være temaer der kunne differentiere og kortlægge natur og miljø yderligere. Der kunne f.eks. have været suppleret med data omkring kulturarv og -miljøer, som slet ikke er repræsenteret i projektets model. Kulturarv kunne kortlægges ved hjælp af en screening, hvor der på baggrund af lokal viden bliver udpeget museer, kirker etc. Her vil en oversvømmelse anses for uacceptabel, da disse elementer vil være uerstattelige, hvorfor disse objekter skulle præsenteres som mest sårbare. For



at sikre at disse objekter, og dermed de celler som indeholder dem, stadig vil fremtræde i risikokortlægningen, selvom om sandsynligheden for oversvømmelse er lav, skal sårbarheden for disse temaer sættes så højt, at de opnår den højeste risikovurdering. Konkret kunne der udføres en screening for eksempelvis unikke eller sårbare naturområder, hvor oversvømmelse ville have store og langsigtede konsekvenser, samt udvalgte liste- og risikovirk-somheder (Kystdirektoratet og Naturstyrelsen, 2011).

De fire kriterier vurderes at være dækkende for alle aspekter af sårbarhed i forbindelse med oversvømmelser som følge af ekstremregn. Kriterierne bygger på bæredygtighedsbegrebet og de kriterier (Økonomi, Samfund og Miljø), der anvendes til at beskrive det. Dette kaldes også triple bottomline princippet (Hopwood, Giddings, & O'Brien, 2002) (Lombardi, Porter, Barber, & Rogers, 2011). Kriteriet menneske er tilføjet for i kommunal kontekst at kunne argumentere ud fra lighedsprincippet, hvor det er antallet af berørte personer og ikke nødvendigvis værdien af deres bolig, der kan anvendes til at prioritere indsatserne. De fire valgte kriterier er også dem, der går igen i store dele af litteraturstudiet, i de projekter der tager stilling til andet end blot direkte økonomiske skader (se *Appendiks I*). Inden de fire kriterier kan omsættes til en egentligt sårbarhed, skal de tildeles en vægt på baggrund af de politiske præferencer, der måtte være i kommunerne. Til dette blev der anvendt 'pairwise comparison' Denne metode er den mest teoretisk velfunderede, af de som blev identificeret gennem litteraturstudiet og anden teori. Metoden vurderes at passe godt i overensstemmelse med den politiske beslutningsproces (se *figur 14*), hvor der med stor sandsynlighed vil opstå en række forhandlinger og forlig før et endeligt tiltag eller en strategi vedtages.

### Datamodel

Den anvendte fysiske datamodel i projektet er vektorbaseret i 2D. Data inputs til modellen har alle været vektorbaserede enheder i form af punkt, linje og flade. Til disse enheder er der blevet tilføjet forskellige egenskabsværdier på baggrund af en række forskellige joins baseret på forskellige nøgler alt efter det anvendte register eller database. Bygninger har eksempelvis fået tilføjet en bygningsværdi beregnet på baggrund af SVUR ved hjælp en sådan nøgle (Balstrøm, Jacobi, & Bodum, 2006).

Alle de anvendte enheder er herefter blevet aggregeret på et kvadratnet bestående af 100 x 100 m celler, således at enhederne repræsenteres som helheder. En egenskab der egentlig ikke tilhører den vektorbaserede datamodel, men den rasterbaserede. Det endelige output af modellen kan logisk ikke skelnes fra en rastermodel, da det endelige output ligesom en rastermodel er opbygget på baggrund af celler (Balstrøm, Jacobi, & Bodum, 2006).

En rastermodel er opbygget ved hjælp af celler der er koordineret x,y i det venstre hjørne af cellen og derefter defineret af en cellestørrelse. En rastermodel er en hensigtsmæssig model at anvende til at gengive kvantitative og kontinuerte datasæt. Hver celle i en gridfil kan kun indeholde en værdi i form af et heltal eller en decimal. Rasterformatets styrke er dog at række matematiske og statistiske funktioner vil kunne anvendes på celleværdierne. Det kunne være simpel aggregering eller mere avancerede statistiske operationer som udjævning eller neighborhood-funktioner (Balstrøm, Jacobi, & Bodum, 2006).

I modellen har der som nævnt været anvendt en vektorbaseret fysisk model, da det har været mest hensigtsmæssigt i forhold til antallet af attributter, der anvendes til de indledende beregninger, og aggregeringen af værdi inden for hvert af de fire kriterier. Hvorimod rastermodellen kun anvendes med en værdi. Yderligere har der ikke været brug for at anvende de statistiske værktøjer som en rastermodel giver muligheden for. Alle beregninger er foretaget ved hjælp af 'fieldcalculatoren' i ArcGIS. Præsentation af den logiske datamodel adskiller sig dermed ikke fra en rastermodel.

#### **Er den anvendte skala tilstrækkelig?**

I forhold til de omtalte skalaer (Macro, Meso og Micro), må denne model betegnes som værende på Meso-skala. Der anvendes dog væsentligt mindre aggregeringsenheder end dem der normalt kendetegner Meso skalaen. I projektet arbejdes der med 100x100m celler, der er mindre end de administrative enheder, eks. arealanvendelse, erhvervs-, boligområde-, industriområde, der normalt anvendes på denne skala. Modellens skala må dog samtidigt siges at være tæt på Micro-skalaen, der anvender de enkelte objekter til at repræsentere sårbarheden. Projektets model er hovedsageligt baseret på objekter, der herefter er aggregeret på den valgte cellestørrelse 100x100, som er identisk med cellestørrelsen, hvorpå de anvendte befolkningsdata og den anvendte oversvømmelsesmodel er tilgængelige. Umiddelbart er Meso-skala en passende skala til at identificere mindre afgrænsede områder, hvor sårbarheden er stor. Og når sårbarheden kombineres med sandsynligheden, er det generelt mindre klynger af områder med høj sårbarhed eller stor sandsynlighed, der indikerer arealer, hvor der skal foretages konkrete klimatilpasningstiltag. Udarbejdelse af en mere overordnet strategisk klimaplanlægning, på eksempelvis kvarterniveau, vil også være muligt, med den valgt skala. I forhold til at vurdere nytten af konkret klimatilpasningstiltag, kan der argumenteres for at det vil være ønskeligt at have en model på Micro-skala. Dog er tilvejebringelsen af en model i Microskala forbundet med store omkostninger i forbindelse med at fremskaffe data på objektniveau og at udarbejde skadesvurderinger for de enkelte objekter. Der kan derfor argumenteres for, at projektets model kan anvendes til en overordnet identificering af, hvor der skal foretages klimatilpasninger og såfremt beslutningsgrundlaget ikke findes oplyst nok, kan der foretages Micro-analyser for at sammenligne to tiltag. Derved er et væsentligt undersøgelsesarbejde sparet i forhold til at prioritere indsatserne.

#### **Kan modellen gøres mere præcis og håndgribelig?**

I den opstillede model er der angivet temaer, der er sårbare overfor hhv. de direkte og indirekte skader ved oversvømmelse – der kunne være anvendt mere præcise estimater til at beregne sårbarheden på økonomiskalaen i konsekvensmatricen, for at gøre opgørelserne af sårbarheden mere nøjagtig. Sådanne estimater kunne eksempelvis bygge på forsikringsdata eller kvantitative undersøgelser blandt mennekser, der blev berørt af sidste sommers skybrud. Dette vil ikke ændre modellen, men ville være med til at give mere præcise inputs gennem konsekvensmatricen. Der vil dog stadig være en række uhåndgribelige faktorer, som vil være væsentlige at medregne når der ses på hvilke områder, der relativt inden for en kommune er mest sårbare. Selvom værdisætningen af temaerne for hvert kriterium kunne bygges op på et

større empirisk grundlag, vil de u håndgribelige skader dog stadig ikke kunne værdisættes entydigt. Derfor kan modellen umiddelbart ikke gøres meget mere håndgribelig, men de allerede eksisterende håndgribelige dele ville kunne gøres mere præcise.

#### **Afspejler modellen de virkelige skader?**

Modellen afspejler ikke de virkelige skader, der opstår ved en ekstrem regnhændelse, men angiver et sårbarhedsindeks for en given celle, baseret på hvilke og hvor stor andel af et tema cellen indeholder. Sårbarhedsindekset er en u håndgribelig størrelse, hvorfor det ikke kan afgøres om dette absolut afspejler skaderne korrekt. Hver celle repræsenterer skaderne opgjort inden for 4 kriterier, der ifølge litteraturen kan beskrives som dækkende for problemfeltet. Men når der ses på den u håndgribelige del af værdisætningen er der ikke sikkerhed for, at de reelle skader bliver gengivet rigtigt. Og som nævnt tidligere, kan der arbejdes yderligere med at beregne gennemsnitslige estimater for forskellige typer af skader. Skader på objekter vil også være afhængige af mange andre faktorer, som vanddybde, vandstrømning og længden af oversvømmelsen. Dette tager modellen ikke højde for (Se yderligere i afsnit 4.3 *Perspektivering*), den angiver derimod den relative sårbarhed mellem cellerne på baggrund af de temaer der er repræsenteret i en given celle, hvilket er tilstrækkeligt i forhold til, hvad modellen skal anvendes til.

#### **Komplet kortlægning vs. kortlægning af områder med stor sandsynlighed for vand på terræn.**

Når der ses på det endelige resultat hvor sårbarhedskortlægningen er kombineret med sandsynligheden for en oversvømmelse, fremgår det tydeligt, at værdisætningen af mange celler ikke er anvendelige i det samlede risikobillede. Derfor ville det kunne overvejes, om man i stedet for at kortlægge sårbarheden i en hele kommune, kunne tage udgangspunkt i sandsynligheden for oversvømmelse og derefter udvikle en model der dækker områder med. For det første er arbejdet med at udvikle en generel model, som er kontinuerlig for hele kommunen ikke er større end blot at udvikle en model, der kun dækker diskrete områder. Udvikling af en model i Micro-skala ville for hvert område have været omkostningsfuld i dataindsamling. Yderligere vil Micro-skalamodel ikke som projektets Meso-skalamodel kunne anvendes i samtlige af landets kommuner, da den ikke ville bygge på landsdækkende registre og databaser. En anden fordel ved den kontinuerte Meso-skalamodel vil være, at den vil kunne anvendes med forskellige klimascenarier, der fremskriver nedbøren og ændrer hyppigheden af hændelser. Her vil den kontinuerte model let kunne anvendes, da der blot vil opstå nye celler med sandsynlighed, som vil få sårbarheden til at være synlig på kortet.

## 5.3 Perspektivering

På baggrund af projektets definerede afgrænsninger er det valgt at udarbejde en model, der delvist illustrerer sårbarheden i Roskilde Kommune. Dette skal som nævnt forstås som, at der gennem projektet er foretaget en række til- og fravalg, hvilket betyder at modellen ikke bliver helt eksemplarisk. Dog er kortlægningen foretaget på et niveau, således at modellen viser sårbarheden, så den vil kunne anvendes i de kommunale klimatilpasningsplaner. For at udvikle en fuldstændig eksemplarisk model, ville det kunne overvejes at inddrage yderligere faktorer, samt at revurdere en række af de valg, der er foretaget igennem projektet. Eksempelvis kunne udvælgelsen af temaer revideres, og måske tilføjes yderligere detaljer. På samme måde kunne værdisætning og vægtning udarbejdes ved inddragelse af politiske prioriteringer og dagsordner, gennem interviews med Roskilde Kommune.

### 5.3.1 Videreudvikling af modellen

#### Modeller på forskellige niveauer

Der er flere muligheder for at udvikle modeller, der kortlægger sårbarheden. Som beskrevet i rapporten kan der arbejdes på flere forskellige niveauer: Macro, Meso og Micro. Kortlægningen bliver mere eller mindre avanceret afhængigt af niveauet og antallet af faktorer som inddrages. I forhold til målet med modellen som er, at den skal kunne anvendes som middel til at prioritere de kommunale indsatser mod oversvømmelser, som eksempelvis lokale LAR-projekter, kloaksanering osv., må det overvejes hvilket detaljeringniveau modellen skal have. Dette betyder, at der i selve modellen også må foretages prioriteringer med hensyn til valg af data som input og hvilke faktorer der skal tages højde for. Disse prioriteringer vil være et kompromis mellem en række forvaltningsmæssige hensyn, som eksempelvis tilgængelig økonomi og ressourcer overfor ønsker om et højt detaljeringniveau.

I denne forbindelse er det desuden vigtigt at bemærke, at uanset hvor mange faktorer der inddrages i den endelige model, vil det resultat, som fremkommer, vise de samme tendenser, dog på forskellige detaljeringniveauer. En Micro-skalamodel vil ofte være nødvendig til detailplanlægning af konkrete tiltag, mens en meso-skalamodel er tilstrækkelig i forhold til at kunne foretage overordnede prioriteringer (Merz, Thieken, & Kreibich, 2011).

#### Parametre der har indvirkning på sårbarheden

I forbindelse med opgørelse af værditab, vil skaderne på et element kunne blive påvirket af en række yderligere parametre end blot om elementet bliver oversvømmet eller ej. Dette vil være faktorer som vanddybde, hyppigheden af oversvømmelserne, om vandet er forurennet eller ej samt varigheden af oversvømmelserne. Afhængigt af kompleksiteten af den model som ønskes udarbejdet samt hvilken oversvømmelsesmodel, der er tilgængelig, må der inddrages flere eller færre af disse parametre i modellen. Yderligere må modellen differentieres i vurderingen og værdisætningen af skaderne. Gennem litteraturstudiet er der opnået kendskab til modeller, som inddrager forskelli-

ge parametre i kortlægningen. Følgende eksempler viser modeller af mere eller mindre kompleks karakter:

FORSKELLIGE NIVEAUER AF SÅRBARHEDSMODELLER		
Rapport	Inddragelse af parametre	Krav til oversvømmelsesmodel
<b>Brøndby Kommune, Plan B undersøgelse</b> (Lønborg, 2012)	Egnet / uegnet til oversvøm.	Blue-spot (kort med angivelse af sandsynligheden for oversvømmelse)
<b>Betydningen af klimaændringer for hovedstadsregionen</b> (COWI, 2010)	Permanent / kortvarig skade	Blue-spot (kort med angivelse af sandsynligheden for oversvømmelse)
<b>Manual for udarbejdelse af bestemmelser knyttet til den samfundsøkonomiske analyse samt oversvømmelsesdirektivet</b> (Jensen, Jørgensen, & Klagenberg, 2009)	Direkte / indirekte, håndgribelige / uhåndgribelige, dybdeafhængighed	Kort med angivelse af områder hvor vandet står over terræn, samt vanddybder
<b>Endelig udpegning af risikoområder for oversvømmelse fra vandløb, søer, havet og fjorde</b> (Kystdirektoratet og Naturstyrelsen, 2011)	Geografiske afgrænsninger	Kort med angivelse af områder hvor vandet står over terræn ved givne hændelser (5, 10, 50, 100 års), samt vanddybder

Figur 30: Oversigt over forskellige niveauer i sårbarhedskortlægningen. Figuren angiver hvilke parametre der inddrages i forskellige andre rapporter, og opstiller hvilke krav dette stiller til oversvømmelsesmodelleringen.

Som det fremgår af ovenstående tabel (som er udarbejdet på baggrund af litteraturstudiet) er det foruden inddragelsen af parametre, yderligere nødvendigt at være opmærksom på, at des flere parametre der inddrages, des flere krav stilles til oversvømmelsesmodellen. I de angivne rapporter i figur 31 er der anvendt oversvømmelsesmodeller med et detaljeringsniveau lige fra angivelsen af sandsynligheden for oversvømmelser for forskellige områder, til avancerede oversvømmelsesmodeller, der angiver, hvor og hvor meget vand, der vil stå ved en given regnhændelse.

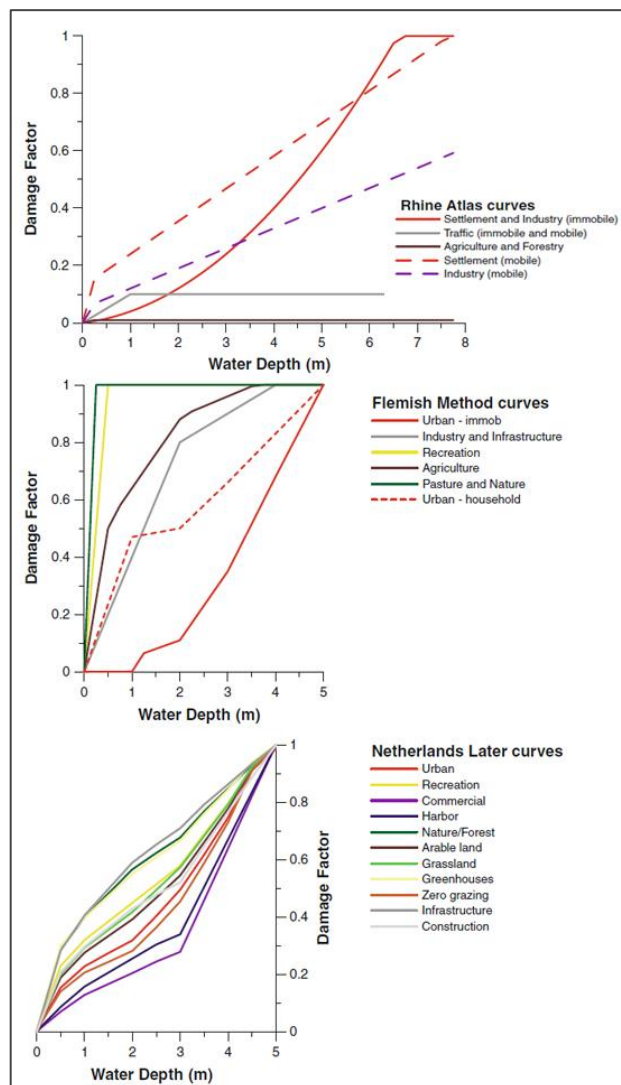
#### Tilføjelse af parametre

Hvis det ønskes at udarbejde en mere detaljeret model, skal parametrene tilføjes som funktioner, der ganges på de enkelte objekter eller temaer. Herved vil den værdi, der vil gå tabt eksempelvis blive afhængig af vanddybden ved en oversvømmelse af et givent objekt. Tilføjelsen af parametre vil, som

nævnt ovenfor, stille krav til oversvømmelsesmodellen, samt indholdet og detaljeringsniveauet heraf.

**Dybdefølsomhed/Skadesfaktor.**

De forskellige temaer er sårbare i forskellige grader afhængigt af vandstanden ved en oversvømmelse. Eksempelvis vil kældre være sårbare allerede ved en vandstand på få centimeter over terræn og værdien, som går tabt ved oversvømmelse vil være stigende indtil en vis vandstand, hvor alt i kælderen er ødelagt. Skader på infrastruktur og andre objekter vil ligeledes være afhængig af vandstanden, derfor arbejdes med skadesfaktorer, som multipliceres med forskellige skader afhængigt af vanddybden (Luino, et al., 2009), (de Moel & Aerts, 2011). Der er flere eksempler fra Europa på at sådanne funktioner er forsøgt udviklet. I nedenstående figur ses et eksempel fra Belgien, Holland og Tyskland.



Figur 31. Skadeskurver med tilhørende skadesfaktor fra Tyskland, Belgien og Holland. Kurverne illustrerer en skadesfaktor for en given vanddybde. Kurverne er baseret på forskellige arealanvendelser og objekternes mobilitet (de Moel & Aerts, 2011).

Det ses af de tre grafer, at der er meget stor national variation, på trods af at landende må kunne siges at være relativt ens i forhold til udviklingsniveau. Dette siger noget om, hvor svært det kan være at udvikle præcise estimater for skadesfaktorer, da disse er meget komplekse (de Moel & Aerts, 2011). Funktioner som illustreret i *figur 32* kunne tænkes anvendt til at gøre projektets model mere præcis, så sårbarheden blev gengivet mere detaljeret. Funktionerne kunne eksempelvis udarbejdes på grundlag af forsikringsdata fra hændelserne i 2007 og 2011, hvor der må være et stort empirisk materiale, der kan afspejle skader og tab.

### Hyppighed

På samme måde som dybdefølsomheden vil forværre en given skade, vil hyppigheden af oversvømmelserne kunne inddrages som en faktor. Ved inddragelsen af denne parameter kan modeller for forskellige regnhændelser, anvendes. Ved inddragelse af hyppigheden kan de forskellige temaers sårbarhed differentieres i forhold til, hvor ofte de tåler en oversvømmelse eller hvor ofte en oversvømmelse vil være acceptabel. Eksempelvis tåler nogle objekter som naturområder oversvømmelser, hvis de forekommer med tilpasse mellemrum mellem oversvømmelserne, således at deres funktion kan opretholdes på lang sigt. På kort sigt, mens der er oversvømmet, vil deres rekreative værdi selvfølgelig være tabt.

### Varighed

En yderligere parameter, der kan tilføjes er varigheden af oversvømmelserne. Dette kræver en avanceret oversvømmelsesmodel, da forudsigelsen af hvor hurtigt vandet efter en oversvømmelse vil trække sig tilbage, er svær at forudsige (Orbicon, 2012a). Varigheden af oversvømmelser kan indvirke på sårbarheden, da nogle temaer vil kunne tåle oversvømmelse i en kortere periode, hvorimod andre objekter, vil blive skadet i det øjeblik de oversvømmes. Ligeledes vil sårbarheden, for nogle objekter eller temaer, stige i takt med varigheden af oversvømmelsen.

## 5.3.2 Yderligere anvendelsesmuligheder

Formålet med kortlægningen af sårbarheden er, at kortlægningen skal kunne anvendes til at foretage prioriteringer af indsatser i forbindelse med udarbejdelsen af kommunale klimatilpasningsplaner. Foruden denne anvendelse, vil kortlægningen også kunne anvendes i andre situationer.

Dette kan være i beredskabssammenhænge og i katastrofesituationer. Her kan kortlægning af sårbarhed for oversvømmelser anvendes til planlægning af det kommunale serviceniveau (Beredskabsstyrelsen, 2004). Eksempelvis kan kortlægningen bruges til at prioritere anvendelsen af et begrænset antal vandpumper eller sandsække, i forbindelse med en aktuel eller varslet oversvømmelse (Orbicon, 2012a). Anvendelse af kortlægning i andre sammenhænge ville kunne optimeres ved at ændre på modellens forskellige delelementer, som udvalget af temaer, værdisætningen eller vægtningen.

## 6 Litteraturliste

---



## 6.1 Litteratur

- Arnbjerg-Nielsen m.fl., K. (2007). *Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning*. Miljøministeriet.
- Arnbjerg-Nielsen, K., Halsnæs, K., Mikkelsen, P., & Zhou, Q. (25. November 2011). Framework for economic pluvial flood risk assessment considering climate change effects and adaptation benefits. *Journal of Hydrology*(414-415), s. 539-549.
- Ascough II, J., Rector, H. D., Hoag, D. L., McMaster, G. S., Vandenberg, B. C., Shaffer, M. J., et al. (2002). Multicriteria Spatial Decision Support Systems: Overview, Applications, and Future Research Directions. *Proceedings of the International Environmental Modelling and Software Society*, s. 24-27.
- Balstrøm, T., Jacobi, O., & Bodum, L. (2006). *Bogen om GIS og geodata*. København NV: Forlaget GIS & Geodata.
- Beredsskabstyrelsen. (2004). *Håndbog i risikobaseret dimensionering*. Birkerød: Beredskabsstyrelsen.
- Brodersen, L. (2002). *Kort som Kommunikation*. Frederikshavn: Forlaget Tankegang a/s.
- Brodersen, L. (2008). *Kommunikation med kort - Informationsdesign og visualisering*. København: Nyt Teknisk Forlag.
- Bryson, J. M. (2004). *Strategic Planning For Public and Nonprofit Organizations*. San Fransisco : Jossey-Bass.
- COWI. (2010). *Betydningen af klimaændringer for hovedstadseionen*. Region Hovedstaden.
- DANVA. (2011). *En kagebog for analyser af klimaændringers effekter på oversvømmelser i byer*. DANVA.
- de Moel, H., & Aerts, J. C. (2011). Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. *Natural Hazards*(58), s. 407-453.
- Densham, P. J. (1995). Spatial Decision Support System. *Proceedings of Geographical Information Systems: principles and applications*, s. 403-412.
- DHI. (2007). *En tolkning af EU's "Oversvømmelsesdirektiv" med fokus på oversvømmelse i byer*. Århus: Århus Kommune.
- Ferrand, N. (2000). Multi-reactive Agents Paradigm for Spatial Modelling. I A. S. Fotheringham, & M. Wegener, *Spatial Models and GIS* (s. 167-182). London: Taylor & Francis.

## LITTERATUR

- Hopwood, B., Giddings, B., & O'Brien, G. (2002). Environment, Economy and Society: Fitting them together into sustainable development. *Sustainable Development*, 187-196.
- IPCC. (2007). *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change*. New York: IPCC.
- IPCC. (2012). *Managing the risk of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jankowski, P., & Nyerges, T. N. (2010). *Regional and Urban GIS*. New York: The Guilford Press.
- Jensen, J., Jørgensen, J., & Klagenberg, P. (2009). *Manual for udarbejdelse af samfundsøkonomiske analyser samt oversvømmelsesdirektivet*. Kystdirektoratet.
- Joerin, F., Thériault, M., & Musy, A. (2001). Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assesment. *International Journal of Geographical Information Science*, 15(2), s. 153-174.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decision with multiple objects - preferences and value tradeoffs*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kystdirektoratet og Naturstyrelsen. (2011). *Endelig udpegning af risikoområder for oversvømmelse fra*. København: Miljøministerietm Naturstyrelse g Transportministeriet, Kystdirektoratet.
- Kaas, E. (November 2005). Menneskeskabte klimaændringer - Fup og Fakta. *Vejret*, 27(4), s. 26-31.
- Lejano, R. P. (September 2008). *Science Technology & Human Values*, 33(5), s. 653-678.
- Lombardi, D. R., Porter, L., Barber, A., & Rogers, C. D. (February 2011). Conceptualising Sustainability in UK Urban Regeneration: a Discursive Formation. *Urban Studies*, 2(48), s. 273-296.
- Longley, P. A., Maguire, D. J., Goodchild, M. F., & Rhind, D. W. (2011). *Geographic Information Systems and Science*. Chichester: Jonh Wiley & Sons.
- Luino, F., Cirio, C. G., Biddoccu, M., Agangi, A., Giulietto, W., Godone, F., et al. (2009). Application of a model to the evaluation of flood damage. *Geoinformatica*(13), s. 339-353.
- Lønborg, M. J. (2012). *Spildevandscenter Avedøre I/S – Brøndby Kommune, Plan B undersøgelse*. Roskilde: Orbicon.
- Malczewski, J. (1999). *Gis and Multicriteria decision analysis*. New York.

## LITTERATUR

- Malczewski, J. (August 2006). GIS-based Multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*(07), s. 703-726.
- Merz, B., Thielen, A., & Kreibich, H. (2011). Quantification of Socio-Economic Flood Risks. I A. Schumann, *Flood Risk Assessment and Management* (s. 229-245). Springer Science + Business Media B.V.
- Meyer, V., Haase, D., & Scheuer, S. (2007). *GIS-Based Multicriteria Analysis as decision support in flood risk management*. Floodsite.
- Meyer, V., Messner, F., Penning-Roswell, E., Green, C., Tunstall, S., & van der Veen, A. (2009). *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods*. Floodsite.
- Orbicon. (2012b). *Tilbud - Kortlægning og prioritering af indsatser for vand og klimatilpasning i Roskilde Kommune*. Roskilde: Ej udgivet.
- Rafn, K. (26. Marts 2012). *Klimatilpasning - fra passiv viden til fælles handling. Klimatilpasning - fra passiv viden til fælles handling*. København: Naturstyrelsen.
- Rienecker, L., & Jørgensen, P. S. (2002). *Den gode opgave*. Frederiksberg: Forlaget Samfundslitteratur.
- Sander, M. (April 2003). Hvad ved vi om det forhistoriske klima? *Vejret*, 25(2), s. 36-45.
- Statsministeriet. (2011). *Et Danmark, der står sammen - Regeringsgrundlag*. København: Regeringen.
- Vejen, F. (August 2011). Tropisk styrtregn over København d.2 juli 2011. *Vejret*(128), s. 1-11.
- Wegener, M. (2001). New Spatial Planning Models. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3(3), s. 224-237.
- Wit, E. d., & Webb, R. (2010). Planning for coastal climate change in Victoria. *EPLJ*, 23(27), s. 23-35.

## 6.2 Hjemmesider

- CP. (2007). *Videnskabelige metoder*. Hentede 05. Juni 2012 fra kom.aau.dk:  
<http://kom.aau.dk/~dsp/ComSys08/ComSys07/sites/ComSys6/4%20Videnskabelige%20metoder.pdf>
- DANVA. (November 2007). *www.danva.dk*. Hentede 14. April 2012 fra [www.danva.dk](http://www.danva.dk): <http://www>
- DHI. (2011). *Modelling the world of water*. Hentede 01. 06 2012 fra MIKE by DHI:  
<http://www.mikebydhi.com/.danva.dk/Default.aspx?ID=467&TokenExist=no>
- Esri. (13. 9 2011). *What is ModelBuilder*. Hentede 26. 4 2012 fra ArcGIS Resource Center:  
<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/002w00000001000000>
- EU. (2007). <http://europa.eu>. Hentede 10. April 2012 fra <http://europa.eu>:  
[http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/tackling\\_climate\\_change/index\\_da.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/index_da.htm)
- Jensen, H. (16. August 2011). *www.b.dk*. Hentede 02. April 2012 fra [www.b.dk](http://www.b.dk):  
<http://www.b.dk/nationalt/regning-for-juli-skybrud-eksploderer>
- Klimatilpasning.dk. (Januar 2012). *Januar 2012*. Hentede 17. April 2012 fra [www.klimatilpasning.dk](http://www.klimatilpasning.dk): <http://www.klimatilpasning.dk/da-dk/service/nyheder/januar%202012/sider/klimatilpasningkannuin-tegreresilokalplanen.aspx>
- Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter. (18. 02 2011). *BBR-instruks*. Hentede 01. 05 2012 fra Bygnings- og Boligregisteret:  
<http://www.bbr.dk/instruks/0/31>
- Munksgaard, P. (05. Oktober 2011). <http://finanswatch.dk>. Hentede 04. April 2012 fra Finanswatch:  
[http://finanswatch.dk/Finansnyt/Forsikring\\_\\_\\_Pension/article1015730.ece](http://finanswatch.dk/Finansnyt/Forsikring___Pension/article1015730.ece)
- Naturstyrelsen & KL. (15. Marts 2012). *Projekt Klimatilpasningsplaner*. Hentede 17. April 2012 fra KL:  
[http://kl.dk/ImageVault/Images/id\\_53402/scope\\_0/ImageVaultHandler.aspx](http://kl.dk/ImageVault/Images/id_53402/scope_0/ImageVaultHandler.aspx)
- Naturstyrelsen. (2011). *klimatilpasning.dk*. Hentet fra <http://www.klimatilpasning.dk/da-DK/service/Klima/KlimaaendringeriDanmark/Sider/Forside.aspx>

- Nielsen, J. B. (2008). Hentede 05. Juni 2012 fra samfnu.systeme.dk:  
[http://samfnu.systeme.dk/fileadmin/filer/Tekster/Emne1/k\\_jbn\\_s kab\\_samf\\_viden.pdf](http://samfnu.systeme.dk/fileadmin/filer/Tekster/Emne1/k_jbn_s kab_samf_viden.pdf)
- Vestergård, G. L. (27. august 2010). *Hvad er videnskab*. Hentede 05. juni 2012 fra videnskab.dk: <http://videnskab.dk/kultur-samfund/hvad-er-videnskab>
- Smith, M. d., Goodchild, M., & Longley, P. (dec 2011). *Geospatial Analysis - Web edition*. Hentede 26. 03 2012 fra spatialanalysisonline:  
<http://www.spatialanalysisonline.com/output/>

## 6.3 Lovgivning

- BEK nr 121. (2010). *Bekendtgørelse om vurdering og risikostyreing for oversvømmelser fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet*. Transportministeriet.
- Direktiv 2007/60/EF. (2007). *om vurdering og styring af risikoen for oversvømmelser*. Bruxelles: Europa-Parlamentet og Rådet.
- LOV nr 1505. (2009). *Lov om vurdering af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer*. Miljøministeriet.

## 6.4 Interviews

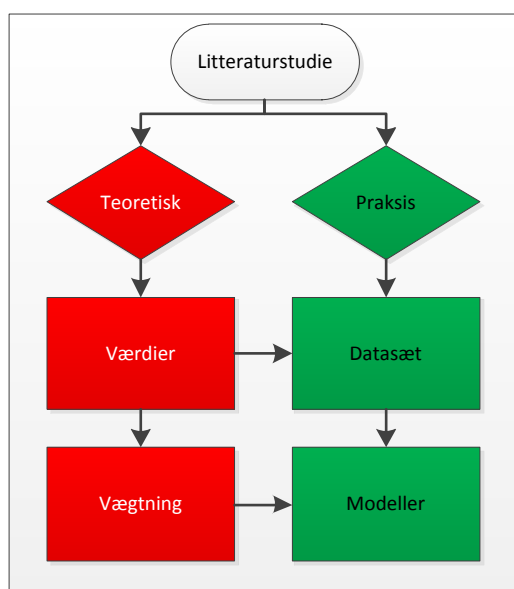
- Orbicon. (2012a). Projektmøde Orbicon. (S. A. Jensen, & M. Klindt, Interviewere)
- Pedersen, D. G. (18. 4 2012). Værdifastsættelse i forbindelse med oversvømmelse fra ekstreme vejrhændelser. (M. Klindt, & S. A. Jensen, Interviewere)
- Rothschild, M. (16.. marts 2012). Telefoninterview Forsikring og Pension. (S. A. Jensen, Interviewer)

# 7 Appendixs

---

## 7.1 Appendiks I - Litteraturstudie

Litteraturstudiet er en struktureret undersøgelse af eksisterende litteratur. Formålet er at skabe et solidt empirisk grundlag for at kunne identificere hvilke typer af data samt hvilke metoder og modeller de anvendes til at vægte og sammenstille de forskellige data. Helt konkret fokuserer litteraturstudiet på at finde information omkring værdisætning, herunder hvilke værdier der er i fare ved oversvømmelser. Studiet anvendes også som input til hvilke datasæt der skal anvendes til kortlægningen af de udvalgte værdier. Foruden fokuseringen på værdier og datasæt, undersøger litteraturstudiet, metoder til vægtning, herunder, hvilke hensyn der kan tages i vægtningen. Slutteligt fokuseres på at finde modeller, som i praksis, vha. GIS, illustrerer den teoretiske vægtning og dermed kortlægger sårbarheden.



Figur 32: Illustration af hvordan projektets litteraturstudie fokuserer på at finde forskellige informationer. På det teoretiske plan undersøges hvilke værdier der er i fare ved oversvømmelser, samt hvordan disse vægtes. Yderligere undersøges det hvilke datasæt andre har anvendt i praksis og hvilke datasæt der er tilgængelige samt hvordan deres modeller til præsentation, vægtning og lokalisering af værdier ser ud.

I praksis udføres litteraturstudiet ved at undersøge forskellige typer af kilder. For at strukturere litteraturstudiet, inddeles litteraturen i forskellige kategorier:

- Konkrete Projekter
- Forskning
- Offentlige tiltag
- National internationale

- Metoder (ikke udført i praksis)

Litteraturstudiet er dokumenteret i form af en indeksering af de undersøgte artikler (se figur 34) og et output.

### 7.1.1 Indeksering af undersøgt litteratur

Indekseringen er foretaget på baggrund af de 6 parametre som bekskrevet i metodeafsnittet og som fremgår af nedenstående tabel.

	Application of a model to the evaluation of flood damage (Luino, et al., 2009)	Betydning af Klimaændringer for Region Hovedstaden (COWI, 2010)	Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates (de Moel & Aerts, 2011)	En Kogebog for analyser af klimaændringers effekter på oversvømmelse i byer (DANVA, 2011).	Endelig udpegning af risikoområder for oversvømmelse fra vandløb, søer, havet og fjorde (Kystdirektoratet og Naturstyrelsen, 2011)
Objekttyper	X	X	X		X
Skadestyper	X	X	X	X	X
Værdisætning	X	X	X	X	X
Kriterier				X	
Vægtning					
Design	X	X	X	X	X
	Flood damage, vulnerability and risk perception – challenges for flood damage research (Messner & Meyer, 2005)	Flood risk analysis— how detailed do we need to be? (Apel, Aronica, Kreibich, & Thielen, 2009)	Flood risk mapping at the local scale: concepts and challenges (Merz, Thielen, & Gocht, 2007)	Framework for economic pluvial flood risk assessment considering climate change effects and adaptation benefits (Arnbjerg-Nielsen, Halsnæs, Mikkelsen, & Zhou, 2011)	GIS-based Multicriteria Analysis as Decision Support in Flood Risk Management (Meyer, Haase, & Scheuer, 2007)
Objekttyper		X	X	X	
Skadestyper	X	X		X	X
Værdisætning		X		X	X
Kriterier					X
Vægtning					X
Design	X	X	X	X	X
	Håndbog i risikobaseret dimensionering (Beredskabsstyrelsen, 2004).	Manual for udarbejdelse af samfundsøkonomiske analyser samt oversvømmelsesdirektivet (Jensen, Jørgensen, & Klagenberg, 2009)	Micro-scale flood risk analysis based on detailed 2D hydraulic modelling and high resolution geographic data (Ernst, Dewals, Detrembleur, Archambeau, Erpicum, & Piroton, 2010)	Plan B – Brøndby Kommune (Lønborg, 2012)	Quantification of Socio-Economic Flood Risks (Merz, Thielen, & Kreibich, 2011)
Objekttyper		X	X	X	X
Skadestyper		X	X	X	X
Værdisætning	X	X		X	X
Kriterier	X	X			
Vægtning	X				
Design		X		X	X

Figur 33: Indeksering af den undersøgte litteratur



## 7.1.2 Output fra litteraturstudie

Outputtet fra litteraturstudie er de konkrete identificerede objekter, metoder osv., som er identificeret gennem litteraturstudiet. Outputtet er præsenteret i følgende:

### Identificerede Objekttyper

#### Anlæg:

- Motorveje og motortrafikveje
- Veje > 3 m
- Jernbaner
- El-skabe og lyslederbrønde
- indvindingsboringer / Kildepladser
- Lufthavne, landingsbaner
- Kirkegård
- Affaldsdepoter
- Brandstationer
- Gartneri
- Hospitaler
- Campingpladser
- Sportspladser og rekreative anlæg
- Renseanlæg
- Vandværker
- Sportsanlæg

#### Arealanvendelse:

- Bolig
- Industri
- Landbrug
- Andet

#### Befolkningstæthed

#### Bygninger (objektet)

- Bygningsværdi (herunder genoprettelses omkostninger)
- Bygningskarakteristik (gulv/sokkelkoter, kælderkoter etc.)
- Bolig/Erhverv/Landbrug

#### Bebyggelse inddelt efter zoner

- Byzone
- Sommerhuszoner
- Erhvervsområder
- Landsbyafgrænsninger
- Husdyr

#### Natur

- Strandenge
- Heder
- Overdrev
- Moser
- Enge
- Søer

#### Fredning

- Fredede arealer, linjer og punkter

- Fredningsforslag

Kultur (Screening)

#### ***Kulturmiljø***

- DKC arealer
- Kulturarvsarealer
- Fredede fortidsminder
- Kirkefredninger

#### ***Identificerede Skadestyper***

- Direkte skader. (Materielle/Økonomiske skader).
- Indirekte skader (trafikforstyrrelser, administrative omkostninger, produktionsstab etc.).
- Håndgribelige
- Uhåndgribelige
- Sårbarhed (ikke økonomisk).

#### ***Identificerede metoder til værdisætning***

- Gen- opførelse/anskaffelsesværdi.
- Relativ rangering af kvalitative data.- Skadeskurver (baseret på vanddybde).- Sårbarhedsindeks.
- (Kvantitativ ordnet skala 1-5).- DKR / M<sup>2</sup> (Baseret på arealanvendelse og vanddybde).

#### ***Identificerede kriterier***

- Menneske
- Miljø (positiv / Negativ )
- Samfund
- Omkostninger
- Økonomi

#### ***Identificerede metoder til vægtning***

- Ranking- Rating
- Pairwise Comparison
- Swing Weight Approach

#### ***Identificerede niveauer***

- Micro
- Meso
- Macro
- Objektniveau (Micro)
- 1 x 1 km celler (Makro)
- Hændelsesbaseret kortlægning 10-,20-, 50-, 100-, 200- og 500 års hændelser.

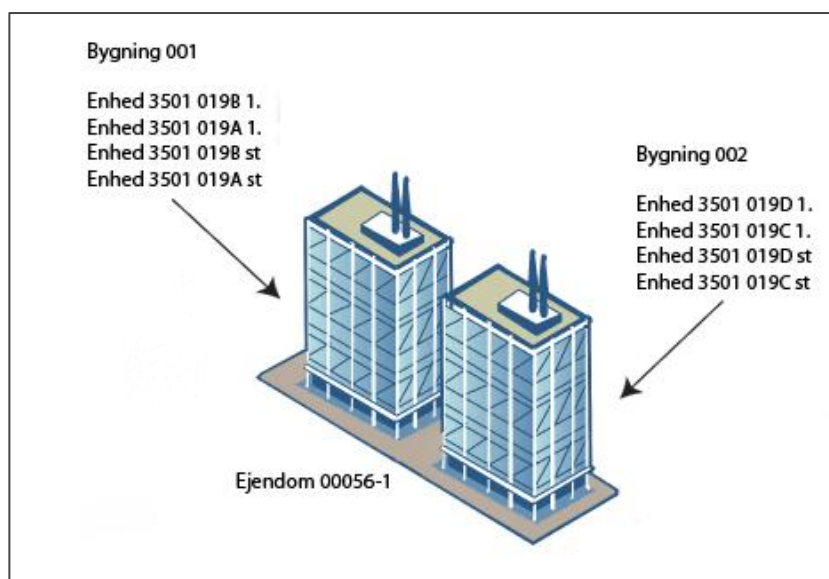
## 7.2 Appendiks II – fremstilling af temaer

Beskrivelse af de tekniske fremstilling erog indhold i temaerne, der skal indgå i modellen. Alle temaer er fremstillet vha. programmet ArcGIS.

### Beboelses- og erhvervsbygninger

Temaerne indeholder bygninger der anvendes til hhv. beboelse og erhverv. Bygninger med blandet anvendelse eksisterer under temaet øvrig bebyggelse.

For at skabe de to temaer, der indeholder hhv. beboelses og erhvervsbygninger anvendes data fra FOT (bygningstema) og data fra BBR-bygning. Oplysningerne fra de to registre knyttes sammen således at oplysningerne fra BBR-bygning, får en geografisk reference, og samtidig en fysisk udbredelse, fra bygningstemaet. For at kunne knytte de to temaer sammen anvendes adresse-temaet fra FOT.

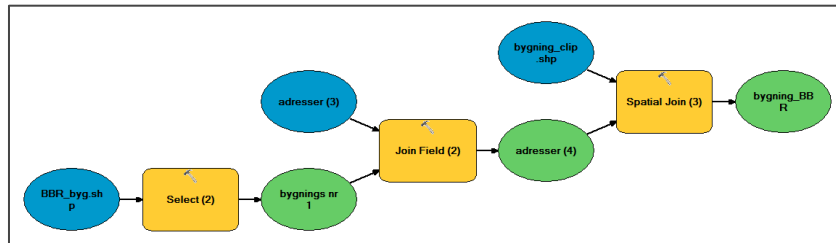


Figur 34: Niveauopdeling i BBRsystemet udarbejdet på baggrund af ( Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter, 2011). BBR er opdelt i ejendomme og enheder, og enhederne er summeret på bygningsniveau.

I BBR-bygning er alle bygninger med bygningsnummer 1 udvalgt. Således at kun hovedbygningen på hver ejendom kommer med i det endelige tema. Dette er nødvendigt for efterfølgende at kunne knytte BBRoplysningerne sammen med adressepunkterne vha. adressen. Det skyldes at oplysningerne derefter skal knyttes sammen med oplysningerne fra den bygning, der er beliggende i samme punkt som adressepunktet vha. funktionen 'Spatial join', som det ses i figur 36. Denne operation er nødvendig da den eneste nøgle, til at knytte BBR- oplysningerne sammen med bygningerne fra FOT er adressen,

## APPENDIKS II – FREMSTILLING AF TEMAER

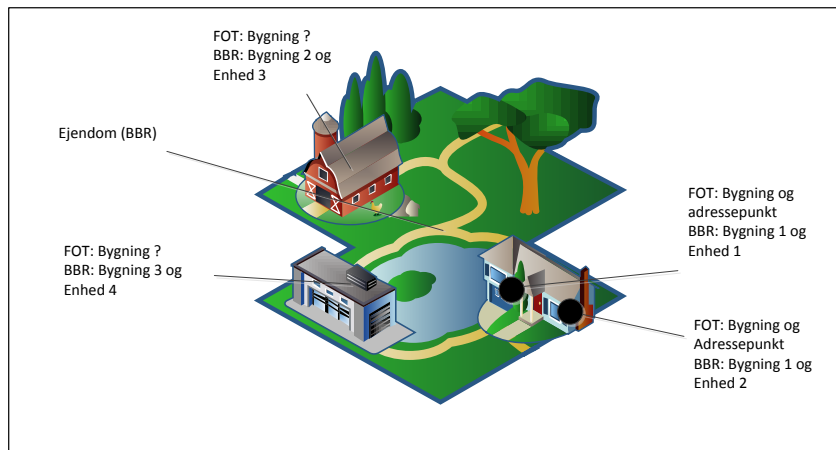
og at der ikke findes en selvstændig adresse for hver bygning. Gennem denne operation antages det at de oplysninger der i BBR er knyttet til alle bygninger med bygningsnummer et, svarer til de bygninger der er beliggende samme fysiske sted som adresse punkterne i FOT.



Figur 35: Fremstilling af temaerne beboelsesbygninger og erhvervsbygninger, vha. data fra BBR og FOT.

Efter sammenknytning af BBR-bygning og bygningspolygonerne, udvælgelse alle bygninger der er angivet med anvendelsen beboelse eller erhverv.

### Datakvalitet



Figur 36: Eksempel på en ejendom indeholdende flere bygninger, adresser og enheder. Der findes ingen nøgle der gør det muligt at knytte bygningsdata fra FOT direkte sammen med bygnings- eller enhedsdata fra BBR- derfor må adressetemaet fra FOT anvendes. Figuren illustrerer at der ikke er en en-til-en sammenhæng mellem bygninger og adresser. Det er derfor kun mulig at knytte bygningsdata fra BBR for bygning 1 sammen med bygningerne fra FOT.

På baggrund af de ovenfor beskrevne operationer opstår to temaer hvor størstedelen af bygningerne (bygninger med bygningsnummer 1) har fået en anvendelseskode fra BBR-bygning. Dog findes en række bygninger, som ikke optræder med en anvendelseskode, i tilfælde hvor flere bygninger hører til samme adresse. Dog er BBR bygget op så den vigtigste bygning på hver ejendom har bygningsnummer 1, hvilket typisk er beboelsesbygningen og dermed den bygning hvor adressepunktet i FOT ligger. Dermed antages det, at det udarbejdede tema er retvisende under antagelse af at de bygningsanvendelser der er angivet i BBR er korrekte.

### Landbrugsbygninger

Temaet angiver bygninger beliggende på landbrugsejendomme – dog uden beboelsesbygningerne, da disse er repræsenteret i et andet tema.

I Matriklen er alle landbrugsejendomme noteret. Dermed kan dannes et lag med landbrugsejendommene ved data fra Matriklen ved at jordstykkerne 'Dissolves' på ejendomsnummer, og efterfølgende udvælge alle ejendomme noteret som landbrug. Landbrugsbygninger defineres, ved at udvælge de bygninger fra FOT, der overlapper med landbrugsejendommene ('Spatial join' mellem landbrugsejendomme og bygningspolygoner). Efterfølgende frasorteres alle de bygninger som også optræder i temaet beboelse. Dermed antages det at alle bygninger beliggende på landbrugsejendomme, som ikke anvendes til beboelse, er landbrugsbygninger – der anvendes til landbrugsdrift.

### Datakvalitet

Temaet vil ikke blive 100 % retvisende, da der kan eksistere mere end en beboelsesbygning for hver landbrugsejendom, som ikke direkte anvendes til landbrugsdrift - eksempelvis andre beboelsesbygninger, garage, udhus m.v. Ved at analysere de øvrige anvendelseskoder, for de bygninger der eksisterer på landbrugsejendommene, udover bygning nummer 1, kunne det vurderes hvor stor en del af bygningerne der ikke vedrør landbrugsdriften. Men dog vil det ikke være muligt af se specifikt hvilke bygninger det drejer sig om.

### Offentlig funktion

Temaet angiver bygninger der indeholder en offentlig funktion, som institutioner, samt undervisning og forskning, som polygoner.

Temaet er udarbejdet ved samme fremgangsmåde (FOT+OSAK+BBR-bygning) som temaet beboelse og erhverv.

### Øvrige bygninger

Temaet indeholder alle bygningspolygonerne fra FOT, som ikke er indeholdt i et af de ovenstående temaer.

### Kælder

Temaet angiver bygninger med kælder, som polygoner.

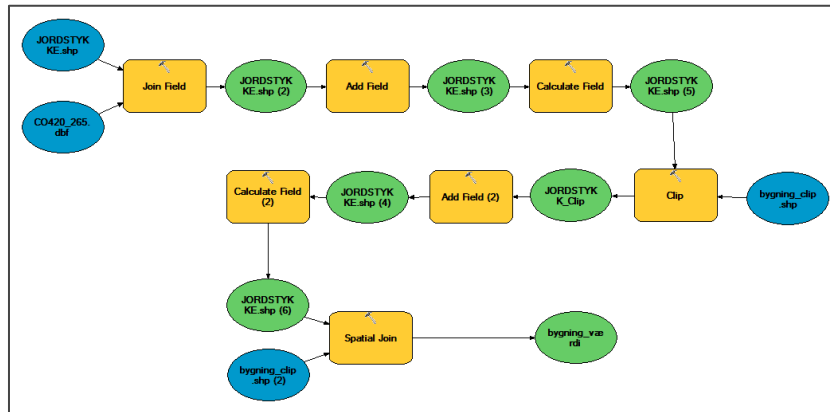
Temaerne er udarbejdet på samme måde som temaet beboelse og erhverv. Blot er bygninger angivet med et kælderareal udvalgt.

### Bygningsværdi

Temaet angiver prisen for hver bygning, ud fra vurderingerne i SVUR.

Ejendomsvurderingerne fra SVUR er knyttet sammen med ejendomspolygonerne fra Matriklen, vha. ESR ejendomsnummeret. Herefter er grundværdien for hver ejendom fratrukket ejendomsværdien for at få bygningsværdien på hver ejendom. Herefter kan bygningsarealet indenfor hver ejendom beregnes, vha. bygningspolygonerne fra FOT – dette kan ske ved at klippe ejendomslaget med vurderingerne efter bygningspolygonerne. Herefter kan bygningernes kvadratmeterpris beregnes, for hver ejendom og knyttes til de enkelte bygninger vha. funktionen 'Spatial join'. Herefter kan værdien for hver bygning beregnes ud fra bygningsarealet og kvadratmeterprisen.

## APPENDIKS II – FREMSTILLING AF TEMAER



Figur 37: Fremstilling af temaet bygningsværdi, på baggrund af data fra SVUR, FOT og Matriklen.

### Datakvalitet

Prisen på hver bygning bliver ikke helt retvisende, da prisen er regnet ud fra en samlet kvadratmeterpris for hver ejendom. Dette skyldes at kvadratmeterprisen ikke vil være den samme for alle bygninger på en ejendom.

### Vej

Temaet angiver vejene i caseområdet som polygoner. Vejenes areal antages at repræsentere deres kapacitet, og dermed gennemsnitslige trafikmængde.

Vejtemaet fra FOT, er et linjetema, der indeholder oplysninger om vejbrede inddelt i forskellige kategorier. Ved at danne en bufferzone omkring vejmidten, svarende til vejens bredde (gennemsnitlige værdier i hver kategori), opnås et polygontema, svarende til det samlede vejareal.

Det antages at vejens bredde er proportional med trafikmængden. Dermed antages der at vejens størrelse, og dermed dens areal kan anvendes som repræsentant for trafikmængden og dermed kapaciteten.

### Datakvalitet

Ved fremstillingen af vejtemaet vil ske en række forvanskninger af det virkelige trafikbillede – da vejbredden ikke direkte siger noget om trafikmængde. Dermed bliver billedet af vejenes kapacitet forvansket, hvorved udpegningen af hvilke veje som er mest sårbare overfor oversvømmelser kan blive tilsvarende forvansket. Dette skyldes at vejens kapacitet er afhængig af mange forskellige faktorer, og at det blot på antages at vejene er anlagt store og brede der hvor der er behov for stor kapacitet. Overordnet set, antages det at billedet bliver relativt retvisende – da der er en relation mellem vejens størrelse og trafikmængde. For at opnå et helt eller mere retvisende billede måtte inddrages data fra trafiktællinger.

### Jernbane

Temaet jernbane angiver hvilke arealer der udgør jernbaner. Temaet udarbejdes på samme måde som vejtemaet, ved at danne en bufferzone omkring Jernbane linjerne fra FOT.

### **Landbrugsejendomme**

Temaet er fremstillet som beskrevet under temaet landbrugsbygninger.

### **Øvrige arealer**

Dette tema, angiver alle arealer som ikke er indeholdt i temaerne landbrugs-ejendomme og Rekreative arealer / Natur.

### **Liste- og risikovirksomheder**

En liste over liste- og risikovirksomheder i Rokilde Kommune er knyttet sammen med adressepunkterne fra FOT med adressen som nøgle. Herved har virksomhederne fået en geografisk reference, som kan knyttes til ejendoms-polygonerne fra Matriklen, hvorved et kort over ejendomme med Risiko- og Listevirksomheder opstår.

### **Datakvalitet**

Såfremt at listen med liste- og risikovirksomheder er fuldstændig, afhænger datakvalitet kun af sammenhængen mellem adressen som er anvendt som sammenknytningsnøgle, mellem de to registre. Yderligere er det nødvendigt at være opmærksom på at betegnelsen liste- og risikovirksomheden, da betegnelsen dækker over mange typer af virksomheder. De forskellige virksomheders ejendomme vil være sårbare overfor oversvømmelser i forskellige grader. Dette ville være muligt at skelne mellem forskellige typer af virksomheder ud fra typekoderne, det er dog ikke gjort i dette projekt.

### **Husdyr**

På samme måde som ved ovenstående tema, er dette tema fremstillet ved at alle ejendomme hvor der er husdyrsbesætninger udvælges.

### **Resterende temaer**

De resterende temaer som ikke er beskrevet ovenfor, indgår i modellen i den form de har i databaserne. Derfor er datakvaliteten også afhængig af kvaliteten i de forskellige registre og databaser.

## 7.3 Appendiks III - Værdisætning

### Bygninger

#### Beboelsesbygninger

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS	0	3	2	

Beboelsesbygninger ikke vurderet at indvirke på sårbarheden indenfor Menneske. Da dette kriterie repræsenteres af befolkningstæthed.

Den økonomiske sårbarhed er angivet til 3, da en del af den økonomiske sårbarhed angives ved bygningsværdien. Dermed repræsenterer værdisætningen her kun de direkte skader på inventar og løsøre.

Samfundsmæssigt vil oversvømmelse af cellen med størst beboelsesbygningens areal, give indirekte uhåndgribelige skader i form af kortere samfundsmæssige forstyrrelser, da oversvømmelserne vil skabe en øget tidsmæssig omkostning som vil gå fra øvrige aktiviteter for de ramte indbyggere.

#### Erhvervsbygninger

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS		4	3	3

Den økonomiske sårbarhed angives til 4. Dette skal kun angive direkte skader i form af sårbarhed for inventar og løsøre, efter skybruddet har det vist sig at nogle af de største økonomisk udgifter var i forbindelse med erhverv (Rothschild, 2012).

Sårbarheden for samfundet, angives til 3 i kraft af de indirekte skader som produktionstab, mangel på varer mm. der kan opstå ved oversvømmelser af erhvervsbygninger

Den miljømæssige sårbarhed angives som 3 da noget erhverv kan medføre indirekte forureninger. I denne forbindelse tildeles en relativt høj sårbarhed qua forsigtighedsprincippet.

#### Landbrugsbygninger

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS		1	1	1

Den økonomiske sårbarhed angives til 1. værdien skal kun angive direkte skader i form af sårbarhed for inventar og løsøre. Da skader på bygningen afspejles af bygningsværdien.

Oversvømmelse af landbrugsbygninger angives med en sårbarhed på 1, da oversvømmelse kan medføre forstyrrelser i produktion af afgrøder, dyr m.m. som dermed indirekte kan påvirke hele samfundet. Udslip af diesel, gylle, gødning etc., kan medfører skader på miljøet, men vil ikke forekomme ofte, hvorfor sårbarheden angives til 1.



*Bygninger indeholdende offentlig funktion*

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS	3		5	

Oversvømmelse af bygninger indeholdende offentlige funktioner, vil direkte medføre påvirkning af de daglige brugere, i større eller mindre omfang. Indirekte vil oversvømmelse medføre store skader for samfundet, da de offentlige funktioner typisk er centrale, hvorfor sårbarheden tildeles 5.

*Øvrige bygninger*

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS		2	2	1

Øvrige bygninger vil være bygninger med meget forskellige funktioner og indhold, derfor er angivelsen af sårbarheden svær. De direkte skader ved oversvømmelse af øvrige bygninger, vil indenfor økonomi være inventar, som ikke repræsenteret af temaet ejendomsverdi, derfor værdisætte øvrige bygninger som 2 indenfor den økonomiske sårbarhed. Yderligere værdisættes øvrige bygninger indenfor miljø og samfund, til hhv. 1 og 2, grundet bygningernes forskellige og ukendte indhold, hvorfor forsigtighedsprincippet må inddrages, og værdisætningen må vurderes som et gennemsnit.

*Kælder*

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS		3		

Temaet kælder værdisættes kun indenfor økonomi, da kælder, fungerer som en attribut der lægges til de øvrige temaer med bygninger. Tilstedeværelsen af kælder i en bygning, vil forøge den økonomiske sårbarhed, som derfor sættes til 3, i det en kælderoversvømmelse er vurderet til at koste 10.000 kr. ifølge en opgørelse af spildevandskomiteen fra 2005 (Arnbjerg-Nielsen m.fl., 2007) Dette anvendes i som input i konsekvensmatricen til at værdisætte.

*Bygningsverdi*

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS		4		

Sårbarhedsindekset for temaet bygningsverdi er sat på baggrund af en vurdering, hvor det er vurderet at 10 % af bygningsverdi er i fare ved oversvømmelse. Derfor anvendes 1/10 af bygningsværdien, når sårbarheden skal opgøres vha. konsekvensmatricen.

*Infrastruktur*

*Vej*

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS	4	1	3	1

Indenfor menneske, er veje værdisat med en sårbarhed på 4, da det vurderes at den celle med mest vej, vil påvirke mange mennesker hvis den oversvømmes. Indenfor økonomi, er det vurderet at vejbrud kan opstå som en direkte skade, men at dette vil være sjældent, hvilket resulterer i en vurdering af en gennemsnitslig sårbarhed på 1, for cellen med mest vej. Indenfor samfund er sårbarheden 3, da oversvømmelser af veje vil give store forstyrrelser, men det dog vil være muligt i en vist omfang at anvende alternative ruter. Indenfor miljø, er sårbarheden vurderet til 1, grundet risikoen for at forurenede vand fra vejarealer, som en indirekte skade kan påvirke omkringliggende arealer.

**Jernbane**

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS	4		4	1

Som en direkte konsekvens, ved oversvømmelse af jernbane, vil mange mennesker blive påvirket, da jernebaner fungerer som hovedfærdselsårer, hvorfor sårbarheden indenfor menneske angives til 4. Samtidigt vurderes sårbarheden indenfor samfund ligeledes til 4, da der vil opstå en række indirekte konsekvenser for samfundet. Økonomisk er sårbarheden vurderet til en indeks på 1, da kun store oversvømmelser vil medføre en økonomisk konsekvens.

**Arealer****Natur og rekreative arealer**

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS			1	1

Det vurderes ikke, at der er nogle direkte skader ved oversvømmelse af natur og rekreative arealer. Sårbarheden indenfor samfund og miljø sættes begge til 1, da der som indirekte skader, kan opstå forureninger af områderne, hvis oversvømmelserne sker med forurenet vand, og oversvømmelser vil hindre den rekreative anvendelse af arealerne i den oversvømmede periode.

**Landbrug**

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS		1	1	

Som direkte skade ved oversvømmelse af landbrugsjord, vil der være et økonomisk tab, som sættes til et indeks på 1, grundet muligt tab af afgrøder. Som indirekte skader, vil der ved oversvømmelse af store landbrugsarealer kunne være konsekvenser for samfundet, i form af mangel på afgrøder, derfor sættes den samfundsmæssige sårbarhed ligeledes til 1.

**Øvrige arealer**

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS		2	2	2

Grundet at ukendt anvendelse af de øvrige arealer, anvendes forsigtighedsprincippet, og sårbarheden indenfor økonomi, samfund og miljø vurderes fælles som 2.

**Husdyr**

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS		2		

Oversvømmelse af landbrug med husdyr vurderes at øge den økonomiske sårbarhed for landbrugene. Derfor sættes sårbarhedsindekset til 2.

**Liste- og risikovirkomheder**

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS			2	5

Liste- og risikovirkomheder omfatter bl.a. forsyningsvirkomheder, som vil medføre en samfundsmæssig indirekte konsekvens hvis de oversvømmes. Derfor sættes den samfundsmæssige sårbarhed til 2, indenfor miljø sættes sårbarheden til 5, da risikoen for forureninger er stor, ved oversvømmelse af disse virksomheder.

**Befolkning**

*Befolkningstæthed*

KRITERIUM	Menneske	Økonomi	Samfund	Miljø
SÅRBARHEDSINDEKS	5			

Befolkningstætheden omsættes direkte til sårbarhed ved nedenstående tabel.

MENNESKE	Nærmest ingen berørte personer	Enkelte berørte personer	Flere berørte personer	Betydelige antal berørte personer.	Store mængder berørte personer
	<2	2-4	5-9	10-50	>50

# Bilag I

Udbudsmateriale fra Roskilde Kommune vedrørende  
Kortlægning og prioritering af indsatser for Vand og  
Klimatilpasning



## **Ydelsesbeskrivelse - Kortlægning og prioritering af indsatser for Vand og Klimatilpasning i Roskilde Kommune**

### **I forbindelse med Roskilde Kommunes udarbejdelse af klimatilpasningsplan ønsker Roskilde Kommune et tilbud på nedenstående konsulentydelse, jævnfør oversigt i brev til fem rådgivere af den 19. januar 2012:**

Roskilde Kommune vil den 1. januar 2013 have en politisk vedtaget handleplan for klimatilpasning af vandkredsløbet i Roskilde kommune. Planen skal an vise hvor det er vigtigst at vi sætter ind - og hvordan vi får det optimale ud af vores indsats. Planen skal både an vise veje og prioriteringer for vores planer, vores drift og vores myndighedsindsats.

Som grundlag for indsatsen ønsker Roskilde Kommune blandt andet at få foretaget konsekvensanalyser, værdikortlægning og risikokortlægning. Analyserne vil danne grundlaget for kommunens prioriteringer og handlinger som beskrives i handleplanen.

### **Ydelsens indhold**

#### **A. *Modellering af oversvømmelser fra regnvandssystem, vandløb og hav***

Roskilde Kommune ønsker at få udført analyser, så prioritering og handlinger for klimatilpasning foretages på et tilstrækkeligt veloplyst grundlag.

Derfor ønskes der analyser af effekterne af ændret nedbørsmønster for hele kommunen, blandt andet i form af ekstremregn i kloakerede byområder og for landområder, som kan blive påvirket af høj vandføring i vandløb. Desuden ønskes analyse af påvirkning ved oversvømmelse fra hav, samt angivelser af konsekvenser ved sammenfald af hændelser som ekstrem regn og stormflod. Endvidere ønskes en analyse på screeningsniveau af påvirkningen fra klimabetingede ændringer af grundvandsstanden i hele kommunen.

Analyserne skal benytte både terræn/overflademodel og hydrodynamisk afløbsmodel inklusiv tidsfaktoren, så påvirkning fra længerevarende regn registreres. Analyserne skal vise sårbare områder ved nuværende klimaforhold, samt fremskrives efter valgt klimamodel til fremtidige forhold i f.eks. 2050 og 2100. De valgte analysemodellers detaljeniveau skal mindst være tilstrækkeligt til at give et godt billede af udsatte områder i hele kommunen, som kan danne grundlag for risikoanalyse og prioriteringsrækkefølge for grundigere analyser og indsatser. Desuden må tilbuddet gerne eksemplificere på hvilket detaljeringsniveau analyserne fremover kan bruges i byplanlægning, naturplanlægning, vandløbsdrift eller andet. På sigt overvejes at Roskilde Kommune, i samarbejde med Roskilde Forsyning, kan få udviklet et dynamisk værktøj med hydrauliske ledningsmodeller og overflademodeller som kan indgå i beredskabsarbejde og planlægning. Det må gerne sandsynliggøres, hvordan ydelsen i nuværende udbudte opgave kan indgå i dette fremadrettede sigte.

#### **B. *Værdikortlægning***

Der ønskes en geografisk analyse af de økonomiske følger som oversvømmelser kan have på aktiviteter, miljø, infrastruktur, bygninger, kulturarv, truet værdifuld natur m.v. Værdikortlægningen skal give en første identifikation af i hvilket omfang oversvømmelser ødelægger værdier og i hvilket omfang.

### C. Risikokortlægning

Der ønskes en risikokortlægning ud fra modellering af konsekvenser og kortlægning af værdier, herunder naturværdier. Risikokortlægningen omfatter opstilling af forslag til "servicemål" eller tilsvarende angivelse af accepteret gentagelseshyppighed. Kortlægningen skal kunne give Roskilde Kommune mulighed for at prioritere indsatsen i forskellige geografiske områder så den sætter ind der hvor udfordringerne viser sig først, og hvor de økonomiske konsekvenser er mest vidtgående. Analysen inddeles geografisk (ex. efter vandoplande) som konsulenten, i samråd med kommunen, finder det bedst i forhold til kommunens fremtidige handlinger.

### D. Økonomisk overslag over forebyggelse

På screeningsniveau ønskes et groft overslag over investeringer og hvor det måtte være relevant kapitaliserede driftsomkostninger, der kræves for at forhindre de identificerede konsekvenser. Muligheder for og omkostninger til at skabe ny natur i nyetablerede opstuvningsområder ønskes også belyst. Oversigten skal følge den valgte opdeling fra risikoanalysen og må gerne have en tidsmæssig inddeling i forhold til de forventede løbende ændringer i klimaet over tid. Overslaget skal være med til at opkvalificere det politiske beslutningsgrundlag forud for prioritering af indsatsområder.

### Leverancens format

Analyserne skal foreligge som formidlende tekst med printbare kortfiler og GIS-lag som kan bruges sammen med Roskilde Kommunes GIS-værktøj (pt. Geomedia).

### Udbudsform:

Udbud uden annoncering i henhold til SKI-aftalen, rammeaftale 17.05, delaftale 2.

Roskilde Kommune sender denne indbydelse til at afgive tilbud til 5 konsulentfirmaer, som vurderes at kunne løse opgaven.

### Tilbuddets maksimale prisramme:

400.000 kr.

### Tilbuddets indhold:

I tilbuddet redegøres der for

- Opgavens delydelser og gennemførelse
- Valgte analysemetoders funktion og anvendelse
- Tids- og aktivitetsplan for ydelsen
- Medarbejdere på opgaven
- Pris

### Udvælgelse af tilbud:

Det overordnede kriterium for udvælgelsen vil være en samlet vurdering af det mest økonomisk fordelagtige tilbud. Ved udvælgelsen vil der blive lagt vægt på følgende delkriterier:

- Pris
- Begrundelse for valg af analysemetoder i forhold til ydelsesbeskrivelsen
- Referencer med tilsvarende opgaver
- Faglige kompetencer
- Organisatoriske kompetencer

### Tidsplan:

Tilbud fremsendes så det er Roskilde Kommune i hænde senest den mandag den 13. februar 2012

Udvælgelsen af tilbud forventes at ske i uge 8.

Det forventes at opgaven kan løses inden for to måneder efter opstartsmøde i slutningen af februar.

# Bilag II

CD

**Indhold:**

Geodata.zip

ParawiseComparision.xlsx

Samfundsmæssige konsekvenser ved oversvømmelser.pdf