

# Højtstående Grundvand i Byer

Udredning af vidensniveau og behov vedrørende højtstående grundvand i urbane områder

Peter van der Keur & Hans Jørgen Henriksen

# Højtstående Grundvand i Byer

Udredning af vidensniveau og behov vedrørende højtstående grundvand i urbane områder

Udarbejdet for Realdania

Peter van der Keur & Hans Jørgen Henriksen

## Indhold

### Resumé

<b>1.</b>	<b>Forord</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>Introduktion</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>Definitioner</b>	<b>13</b>
<b>4.</b>	<b>Gennemgang af videnskabelig litteratur, rapporter samt øvrigt materiale fra forskningsprojekter</b>	<b>18</b>
4.1	Baggrund .....	18
4.2	Viden og vidensbehov .....	22
<b>5.</b>	<b>Udfordringer med højtstående/stigende grundvand i DK belyst med HIP og KAMP værktøjer</b>	<b>32</b>
5.1	Udfordringer med højtstående grundvand på landsplan .....	32
5.2	Samfundsmæssige konsekvenser af højtstående/stigende grundvand .....	35
5.3	Eksempler på udfordringer med højtstående grundvand for udvalgte cases .....	39
5.4	Planer for videreudvikling af dynamisk HIP model opdatering .....	47
<b>6.</b>	<b>Behov for videregående udredningsanalyse af det bebyggede miljø og grundvand</b>	<b>50</b>
<b>7.</b>	<b>Referencer</b>	<b>60</b>



## Resumé

### Gennemgang af litteratur (se kapitel 4)

For at afdække tilgængelig viden om terrænnært grundvand i byer og bynære områder samt klimatilpasning der bygger på naturbaserede løsninger er der gennemgået en række recente dokumenter som omfatter viden fra videnskabelige publikationer, rapporter fra danske aktører, internationale projekter og organisationer. Fokus er således på en videns gennemgang der baserer sig på naturbaserede løsninger da disse udover primær klimatilpasning for at imødegå problemer med højtstående grundvand også bidrager til bybilledet gennem forskellige typer merværdi som f.eks. grønne områder der tilføjer rekreative muligheder og dermed forbedret folkesundhed, fysisk og mentalt, køling i byer samt en række økonomiske fordele. Videns gennemgangen tog udgangspunkt i (1) miljøministeriets fast-track projekt som har vurderet omfanget af udfordringen af højtstående grundvand i byer samt samfundsøkonomiske gevinster ved at håndtere dette problem; (2) Realdanias recente rapport [37] der kortlægger hvilke problemer en række kommuner i Danmark har med højtstående grundvand, samt årsager og løsninger. Nærværende videns og videns behov opsamling supplerer (1) og (2) ved at fokusere på klimatilpasning baseret på naturbaserede og helhedsorienterede løsninger.

Gennemgangen fokuserede på en videns søgning af naturbaseret klimatilpasning som mitigerer højtstående grundvand (f.eks. urbane å løb), øvrige naturbaserede løsninger som kan påvirke terrænnært grundvand (f.eks. LAR) og cirkulært brug af grundvand (f.eks. oppumpet overskydende grundvand til køling/varme). Derudover blev publikationer gransket for merværdier af nævnte naturbaserede løsnings typer (f.eks. rekreation, folkesundhed etc.).

Søgningen af publikationer viste en stor overvægt af viden om naturbaserede løsninger der adresserer vandrelaterede farer, specielt overfladisk afstrømning i byer pga skybrud, hvor naturbaserede løsninger som lokal afledning af tagvand til infiltration, retentions arealer (parker etc) kan påvirke det terrænnære grundvand. Meget få publikationer handler om naturbaserede løsninger der direkte adresserer højtstående grundvand. Ligeledes er der få publikationer der beskriver cirkulært brug af overskydende grundvand. Bland typer merværdi forbundet med naturbaserede løsninger er biodiversitet, folkesundhed, rekreation og kølende virkning blandt de hyppigst nævnte. Genopfyldning af grundvands reserver ved at infiltrere opsamlet overfladisk vand i byer bidrager til vandforsynings sikkerhed, men dette er sjældent eksplicit nævnt i litteraturen. Vi kan derfor konkludere at der er et klart vidensbehov for at adressere og mitigere højtstående grundvand i byer og bynære områder under danske forhold. I den internationale litteratur, inklusiv videnskabelige publikationer, og i lidt mindre grad i danske rapporter er dette emne underbelyst.

### HIP OG KAMP VÆRKTØJER (se kapitel 5)

Planlægnings- og klimatilpasningsværktøjer som HIP og KAMP er værktøjer der bygger på en integreret hydrologisk forståelse af vandkredsløbet (systemmodel for ferskvandskredsløbet), hvorved der foreligger revideret, højopløselig viden (i 100m med DK model HIP) af daglig dybde til terrænnært grundvand for den historiske periode 1990-2019 samt statistikker på måneds- og sæsonbasis af dybde til terrænnært grundvand, afstrømning i vandløb, og jordfugtighed, samt beregninger af ændringer for nær og fjern fremtid som følge af klimaændringer for et højt (RCP8.5) og et mellemhøjt (RCP4.5) emissionsscenario, ligeledes i 100m opløsning. Værktøjerne giver mulighed for sammenligning af disse resultater med observationsdata fra f.eks. Jupiter (pejlinger) samt afstrømningsdata (vandføringer fra

vandløbsmålestationer). Værktøjerne er primært screeningsværktøjer. KAMP er særligt målrettet sagsbehandlere og planlæggere i kommunerne og indeholder en lang række arealdata kort. HIP indeholder det fulde datasæt og kan både anvendes af professionelle brugere og borgere.

I forhold til naturbaserede løsninger f.eks. NBS-K1 (imødegåelse af højtstående grundvand) og NBS-K2 (effekter af øvrige NBS løsninger på højtstående grundvand) er HIP og KAMP primært anvendelige til f.eks. udpegning af områder i eksisterende byggeri med eventuelle problemer med højtstående grundvand (NBS-K1). I arbejdet med NBS'ere er det ikke muligt med HIP og KAMP at vurdere effekten af den enkelte (eller nye) NBS'ere. HIP og KAMP er derfor en systemmodeller som giver rammerne for hvor, hvornår og hvordan man evt. kan implementere NBS'ere og hvilke NBS'ere der kunne være særligt egnede i forskellige områder. Konsekvenser af NBS'ere kan ikke umiddelbart simuleres med disse værktøjer.

I de kommende år videreudvikles HIP og KAMP hvorved der tilvejebringes et HIP system med daglig opdatering som muliggør en mere adaptiv planlægning end den vi kender i dag. I stedet for historiske data for en fast 30-årsperiode, forventer GEUS en rullende beregning af statistikker for seneste 30-års periode, og visning af aktuelle og fremskrevne data for dybde til terrænnært grundvand, jordfugtighed og vandføring i vandløb 5-10 dage frem. Her ved åbnes der op for varsling af oversvømmelser (dvs. vand på terræn f.eks. fra vandløb), og nye muligheder for styring af vandkredsløbet, afhængigt af om man er i en våd eller tør periode. Det kan potentielt set åbne op for flere NBS løsninger i byområder eller i forhold til oversvømmelser fra vandløb, i det åbne land ovenfor byerne hvor det kan være lettere at finde areal der kan indgå i klimatilpasning og f.eks vandparkering. I forhold til terrænnært grundvand og dybere grundvand kan det samtidig give øget bevidsthed om vandkredsløb og dermed indirekte bidrage til forøget risikoforståelse f.eks. i befolkningen (blandt borgere, husejere og lodsejere m.fl.). Det kan forøge beredskabet og bidrage til disaster risk reduction (DRR), og åbner op overfor en generelt mere effektiv adaptiv planlægning i forhold til en bred NEXUS (miljø, sundhed, biodiversitet, vandkvantitet, vandkvalitet, fødevarer produktion, energiproduktion osv.).

Rapporten har illustreret brug af HIP og KAMP på danske eksempler fra Realdania rapport [37] med højtstående grundvand og viser at forskellige kortgrundvand (hhv. 10m Machine Learning (ML) model og 100m DK model HIP) kan give ret forskellige farekort (og tilknyttede ejendomsværdier). I tætbebyggede bykerner er der meget stor usikkerhed på HIP og KAMP screeningskort, men HIP data kan bidrage med randbetingelser til urbane- og suburbane systemmodeller der mere detaljeret kan analysere vandstrømme og interaktion med vand på terræn, vandhold i rodzone og umættet zone, samt interaktion mellem vandløb/hav og grundvand. HIP og KAMP har dog ikke en dynamisk beskrivelse af havvandspejlet (f.eks. under stormflod), og fremskrivning af klimændringer har alene effekten af havstigning med.

## **VIDEREGÅENDE UDREDNING OG ANBEFALINGER TIL OPFØLGENDE TVÆRDISCIPLINÆRT PROJEKT (se kapitel 6)**

Der tages udgangspunkt i en adaptiv forvaltnings tilgang da forudsætninger for klimatilpasning generelt og i forhold til højtstående grundvand i konteksten her er behæftet med stor usikkerhed af forskellig karakter, og i større grad under fremtidige klimændringer. Herigen kan en klimatilpasnings strategi i forhold til højtstående løbende justeres i forhold til monitoringsdata og ny / opdateret viden. Følgende anbefalinger kan danne udgangspunkt i

formulering af et tværdisciplinært opfølgende projekt med deltagelsen af en række danske videns institutioner og interessenter.

- Opfølgende studier om (1) naturbaserede løsninger der adresserer højtstående grundvand i byer under danske forhold (litteratur gennemgang, kapitel 4, viste et klart vidensbehov); (2) hvordan byer er udsat og sårbar for højtstående grundvand for at kortlægge resiliens (i modsætning til farekort); (3) relationen mellem grundvandsstand og økonomiske skader (skade funktioner) ift byens bebyggelse og underjordiske infrastruktur. Analyser af økonomisk værdi af naturbaserede løsninger til mitigerende af højtstående grundvand som skal inkludere merværdier og vedligeholdelse.
- Opfølgende studier i dansk kontekst om (1) vidensbaseret forvaltning (governance) i byer hvor der skelnes mellem (a) rumlig byplanlægning og grundvands forvaltning (kvantitet og kvalitet); (b) kystnære områder i byer, vandløb og grundvand; samt (c) oversvømmelser (temporært) og overflade/grundvand; (2) helhedsorienteret (adaptiv) klimatilpasning indenfor vandforvaltning som øger samlet effektivitet ved at betragte denne opdeling under (1).
- Opfølgende studier i dansk kontekst om adaptiv klimatilpasning hvor implementering af serviceniveauer løbende skal kunne justeres i forhold (a) til ny og opdateret viden via dedikeret overvågning og monitoring samt (b) ændret forvaltnings og lovgivnings kontekst.
- Opfølgning af punkter ovenfor kobles til videreudvikling af dynamisk HIP model med realtids data og prognoser, specielt mht realtid monitoring og bestemmelse af 'tipping/trigger' punkter i adaptiv forvaltning
- Videre udvikling af interessant baseret viden vedrørende 'værdier, politikker': delte / modstridende værdier bland interessenter ift f.eks. implementering og finansiering af naturbaserede løsninger ang. højtstående grundvand og relaterede problemstillinger. Interessent baserede trade-offs og kompromisser om beslutninger for service niveau, omkostninger og merværdier af diverse klimatilpasnings løsninger. Egnede struktur for at inddrage de rigtige interessenter i adaptiv vandforvaltning
- Videreudvikling af finansierings modeller for implementering af klimatilpasnings løsninger helhedsorienterede økonomiske analyser om virkninger og omkostninger af naturbaserede løsninger ift problemer med højtstående grundvand skal adresseres

# 1. Forord

Denne rapport er udarbejdet af GEUS som en del af Realdanias videns-udredning og -behov vedr. højtstående grundvand i byer og bynære områder samt tilpasning der tager udgangspunkt i naturbaserede løsninger for klimatilpasning der giver merværdi for det bebyggede miljø. Med hensyn til det terrænnære grundvand og klimatilpasning er det vigtigt at skelne mellem (a) naturbaserede løsninger der direkte adresserer problemer med højt grundvand i byer, f.eks. urbane å løb der fungerer som dræn, og (b) øvrige naturbaserede løsninger anvendt som klimatilpasning mod følger af specielt skybrud og overfladeafstrømning, f.eks. grøn infrastruktur (parker, regnbede, LAR etc.) som kan øge risikoen for høj grundvandsstand. Det sidste opstår navnlig ved at nedsivning af skybrudsvand, men også ved almindelige regn hændelser, f.eks. via LAR, utilsigtet kan forårsage lokal grundvandsstand øgninger og medfølgende skader. Derfor er fokus i denne rapport både på (a) og (b).

1. Rapporten giver en gennemgang af videnskabelig litteratur, rapporter samt øvrigt materiale bl.a. fra forskningsprojekter om problematikken af højtstående og stigende grundvand i byer og bynære områder i Danmark ud fra et (grundvands) hydrologisk perspektiv. Fokus er på viden om naturbaserede løsninger for klimatilpasning i byer og bynære områder da disse positivt kan bidrage til det bebyggede miljø og livskvalitet. Der tages udgangspunkt i terminologi fra dels tidligere rapporter:

- (a) Afrapportering af fasttrack projekt [36a,b] og :
- (b) Terrænnært grundvand i danske byer – Eksempelsamling, Realdania 2021 [37]

samt fra nyere vejledningsmateriale om måling af det terrænnære grundvand udarbejdet for KL [64].

2. Rapporten foretager en vurdering af i hvilke grad og hvordan [HIP](#), [KAMP](#) (inkl. planer for videreudvikling) og lignende operationelle og understøttende services til screeningsformål kan bygge bro mellem forskningsbaseret viden om grundvandets rolle indenfor det urbane kredsløb og anvendelse i klimatilpasning, via værktøjer som HIP og KAMP, i forhold til højtstående/stigende grundvand i byer og bynære områder. Dette kan understøtte en videre evaluering og udvikling af videns behov samt identifikation af barrierer i at klimatilpasse byer og skabe attraktive bymiljøer med naturbaserede løsninger.

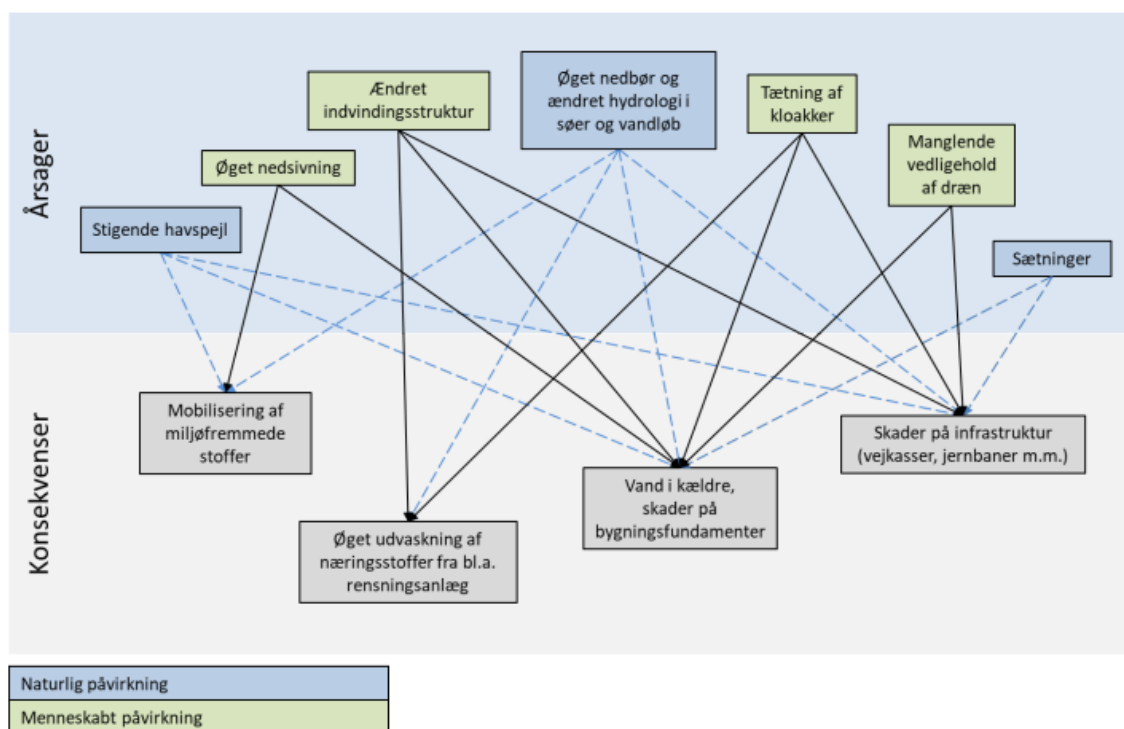
På baggrund af (1) og (2) udarbejdes anbefalinger om et muligt opfølgende tværdisciplinært projekt, der udover hydrologiske forhold og naturværdier/biodiversitet inkluderer samfundsmæssige, økonomiske, institutionelle, juridiske og adfærdspsykologiske (mentale) aspekter. Der vil være inkluderet forslag til relevante interessenter, som kan inddrages, for eksempel i møder og workshops.



## 2. Introduktion

Rapporten er struktureret som følger. Først gives en Introduktion (*kapitel 2*), efterfulgt af Definition af centrale termer i rapporten (*kapitel 3*). Efter det følger rapportering af de fire hovedtemaer: Gennemgang af viden (*kapitel 4*); Brobygning med værktøjer (*kapitel 5*); Fremadrettet udredningsanalyse af naturbaseret klimatilpasning og forslag til opfølgende tværdisciplinært projekt (*kapitel 6*).

Højtstående grundvand i byer og bynære områder opleves som et voksende problem i Danmark hvor såvel urbanisering som klimaændringer spiller ind. Problemstillingen er kompleks idet tiltag i forhold til klimatilpasning f.eks. lokal afledning af regnvand (lokal afledning og infiltration af regnvand), indsats i forhold til uvedkommende vand i spildevandssystemet (tætning af kloakker), sætninger (dræning eller indvinding), ændret indvindingsstruktur og reduceret vandindvinding i visse områder som følge af reduceret vandforbrug i husholdninger (afgifter samt vandsparekampagner) samt forurening (pesticider, nitrat, PFAS osv. i de senere år). Resultatet er samlet set, at der opleves udfordringer med stigende/højtstående grundvand flere steder i landet, og at der er set stigninger i grundvandsstanden gennem de seneste årtier typisk i byområder. Årsager og konsekvenser af højtstående grundvand i urbane områder er grafisk illustreret i nedenstående Figur 1.

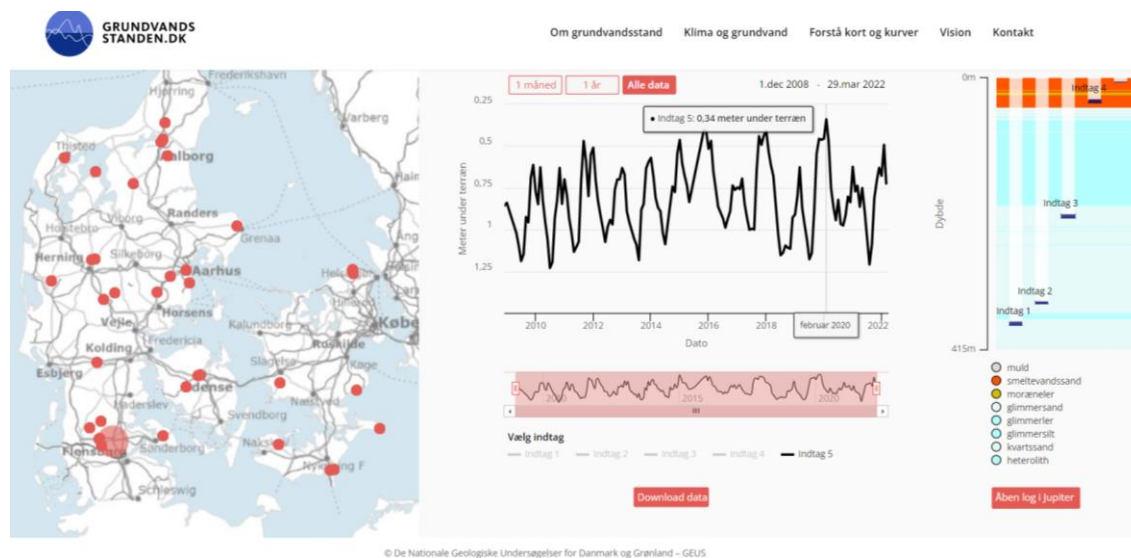


**Figur 1** Årsager til og konsekvenser af højtstående grundvand i byområder skyldes en bred vifte af årsager: stigende havspejl, øget nedsivning, ændret indvindingsstruktur, øget nedbør og ændret hydrologi i søer og vandløb, tætning af kloakker, manglende vedligehold af dræn og sætninger. Ændringer af det terrænnære grundvandspejl kan medføre en række konsekvenser: mobilisering af miljøfremmede stoffer, øget udvaskning af næringsstoffer, vand i kældre og skader på bygningsfundamenter og skader på infrastruktur f.eks. vejkasser, jernbaner mm. (Kilde: Miljøministeriet 2021) [36]

Konsekvenserne af højtstående eller stigende grundvand er jf. Figur 1 mange. Dels kan det medføre mobilisering af miljøfremmede stoffer. Det kan give øget udvaskning af næringsstoffer fra rensningsanlæg. Det kan give vand i kælderens, skader på bygningsfundamenter og fugtproblemer i bygninger og medføre skader på infrastruktur (vejkasser, jernbaner m.m.) samt forøgede vedligeholdelsesomkostninger. Urban dræning som følge af sænkning af grundvandsspejl og/eller vandindvinding og sænkning af trykniveau under lerlag kan også medføre sætninger af terræn i byområder. I forhold til problematik med højtstående grundvand er dette vist på Figur 1 som en årsag og en naturlig påvirkning, selvom det lige så vel kan opfattes som en konsekvens der er forårsaget af en menneskeskabt påvirkning som følge af ændret dræning og/eller vandindvinding.

Oveni det nuværende højtstående niveau ser vi mange steder frem mod yderligere stigninger i det terrænnære grundvandsspejl, da landsgennemsnittet for stigningen i det terrænnære grundvandsspejl som følge af den øgede vinternefbør vil stige med mellem 25-30 cm frem mod 2100. Der er stor geografisk variation, men dele af landet vil få stigninger på mere end 75 cm i det maksimale terrænnære grundvandsspejl, viser GEUS' modeller [113,114], se også kapitel 4.

Følgerne af det mere ekstreme vejr med langvarig, øget vinternefbør så vi senest i 2020. Her truede vandmasserne mennesker og infrastruktur i et stort område fra grænsen og op til Randers. I Horsens blev 100 borgere evakueret, fordi man frygtede, at dæmningen ved Bygholm sø ville give efter. Øget vandstand i søer og vandløb, som vi så det i 2020 ved Ribe, langs Gudenåen og mange andre steder i Region Midt- og Syddjylland, er ofte fremkaldt af mere ekstremt vejr samt oversvømmelser skabt af en kombination eller kaskadevirkning af oversvømmelser fra alle sider (dvs. en kombination af skybrud, oversvømmelser fra grundvand, vandløb og havet/stormflodshændelser). Klimaændringerne øger risikoen for denne type hændelser med højtstående grundvand om vinteren og samtidig en tendens til udtørring om sommeren.



**Figur 2** På Grundvandsstanden.dk kan man tilgå udvalgte tidsserier af målte grundvandsstande. Her er vist et eksempel fra Tinglev boringen der har indtag i fem forskellige dybder. Indtag 5 repræsenterer det terrænnære grundvand. Grundvandsspejlet er registreret siden 2008, og har vist en stigende tendens i perioden frem til 2017. Det højeste niveau er målt i februar 2020 (hvor vandspejl er registret til 0,34 m under terræn).

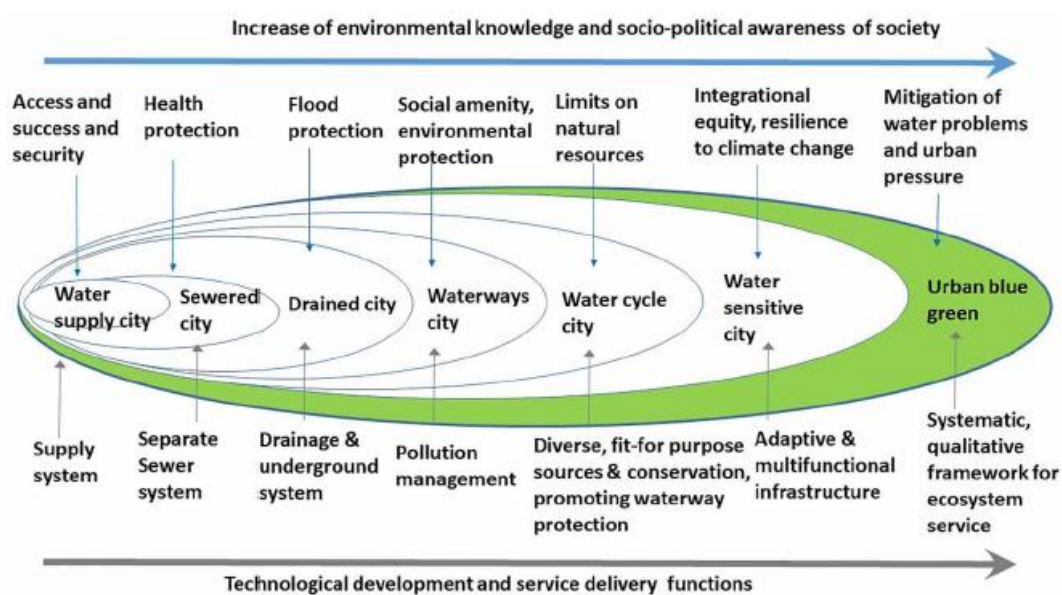
Klimaændringer giver samtidig en effekt på overfladenære afstrømningskomponenter og maksimum afstrømninger i vandløb, idet stigningen i vinternefbør hvor grundvandsspejlet kommer tæt

på terræn vil give anledning til øgede drænmængder og mere overfladenær afstrømning hvor vandet ikke kan sive hurtigt nok ned f.eks. gennem lerjorden. De nye klima emissionsscenerier der indgår i 5. og 6. assessment rapport (IPCC, 2014, 2022), de såkaldte 'Representative Concentration Pathway' RCP-scenerier, er defineret ud fra en ændring i strålingspåvirkning frem mod år 2100, som hovedsageligt skyldes ændringer i koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren. Scenerierne betegnes RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 og RCP8.5, hvor tallene, 2.6, 4.5, 6.0 og 8.5 angiver strålingspåvirkningen i watt per kvadratmeter ved slutningen af århundredet. GEUS har beregnet, at årsmaksimums døgnvandføringen for en 100-års hændelse for højt klimascenerie (RCP8.5.) øges med en faktor 2 – 5 i store dele af Østjylland og på Øerne. I Vest- og Nordjylland vil de øges med en faktor 1,25 – 2. En faktor 2 vil f.eks. sige, at de ekstreme maksimumsvandføringer vil blive dobbelt så store som tidligere. Det vil medføre en stigning i vandstanden i disse situationer som kan give oversvømmelser af lavtliggende arealer langs vandløbene. Samtidig kan et øget vandspejl i overfladevand medføre en stigning i grundvandsstanden tæt på vandløb.

På grund af de stigende temperaturer, øget fordampning samt mere ekstreme år-til-år hændelser med længerevarende tørre perioder, som vi så det i 2018 for et område der dækkede hele Danmark og et større område fra Alperne og langt op i Norge, vil rodzonen i stigende grad udtørre om sommeren og ind i efteråret. Det giver øget fordampning og et øget markvandingsbehov, som er vurderet til omtrent at fordobles på de grovsandede jyske jorde. I byerne kan der samtidig være et øget behov for vanding af f.eks. træer og anden begrønning i de meget tørre år (her kan regnvand evt. udgøre en vigtig ressource i stedet for brug af det dybere grundvand som i forvejen er intensivt udnyttet mange steder i Østdanmark). Samtidig betyder udtørring af rodzonen, som vi så det i 2018, at grundvandsdannelse og større afstrømninger først kommer i gang igen mod slutningen af året, mod normalt i oktober.

Det terrænnære grundvand vil i sommerperioden mange steder nå et lavere niveau sammenlignet med i dag. Danmarks vandindvinding er 99% baseret på dybt grundvand, og stigende behov for vanding og øget vandforbrug vil lægge yderligere pres på grundvandsmagasinerne, som i forvejen er fuldt udnyttet på Øerne og i dele af Jylland. Havniveaustigninger vil samtidig øge risikoen for saltvandsindtrængning i kystnære grundvandsmagasiner, hvilket specielt vil være kritisk for lavtliggende områder. Stigende temperaturer og fordampning kombineret med tørre år giver desuden reduceret minimumsvandføring i vandløbene. GEUS har beregnet, at Midt- og Sydvestjylland samt mange områder på Øerne får reduceret og mere længerevarende minimumsvandføringer i et fremtidigt klima. Ændringerne får negative effekter på biologiske kvalitetsparametre og mange større vandløb får derfor med 20-50 % sandsynlighed reduceret tilstand (f.eks. fra god til moderat) i et fremtidigt klima.

Gennem de senere år er det blevet mere klart at klimatilpasning som del af vandforvaltning har fået en flerdimensional og multidisciplinær karakter hvor urban vandforvaltning har udviklet sig i takt med at mere og bedre viden om det urbane hydrologiske system indenfor samfundets behov og socio-økonomiske randbetingelser. Samtidigt er der sket en betydelig udvikling af teknologien til at beskytte og forberede byer for vandrelaterede udfordringer, hvor fokus har skiftet fra kun kloakbaseret dræning til mere og mere helhedsorienterede løsninger hvor der tages hensyn til samfunds ressourcer og vandforsynings sikkerhed under usikkerhed. Således er vandforvaltning gået mod klimatilpasning med en mere fleksibel adaptive integreret vandforvaltning hvor naturbaserede løsninger, i modsætning til grå infrastruktur som (separat) kloakering, har en naturlig placering. Dette er illustreret i nedenstående Figur 3 der illustrerer den historiske udvikling i forvaltning af urban vandforsyning og dræning [31].



Figur 3 Historisk udvikling i vandforsyning og forvaltning [31]. Permission granted by author [31].

I forhold til klimatilpasning i by- og bynære områder og det åbne land opstrøms herfor er det derfor vigtigt at der vælges naturbaserede klimatilpasningsløsninger i forhold til *vand fra alle sider*, der dels giver merværdi i forhold til en bred vifte af økosystem tjenester såsom grønne og blå løsninger der har positiv værdi for det bebyggede miljø, samtidig med at problemet med højtstående grundvand løses effektivt, og at (1) naturbaserede løsninger der foretages *på/over overfladen* ikke utilsigtet forøger problemet med højtstående grundvand; samt at (2) naturbaserede løsninger *i undergrunden* er så effektive som muligt. En nærmere analyse af viden og vidensbehov er præsenteret i kapitel 4.

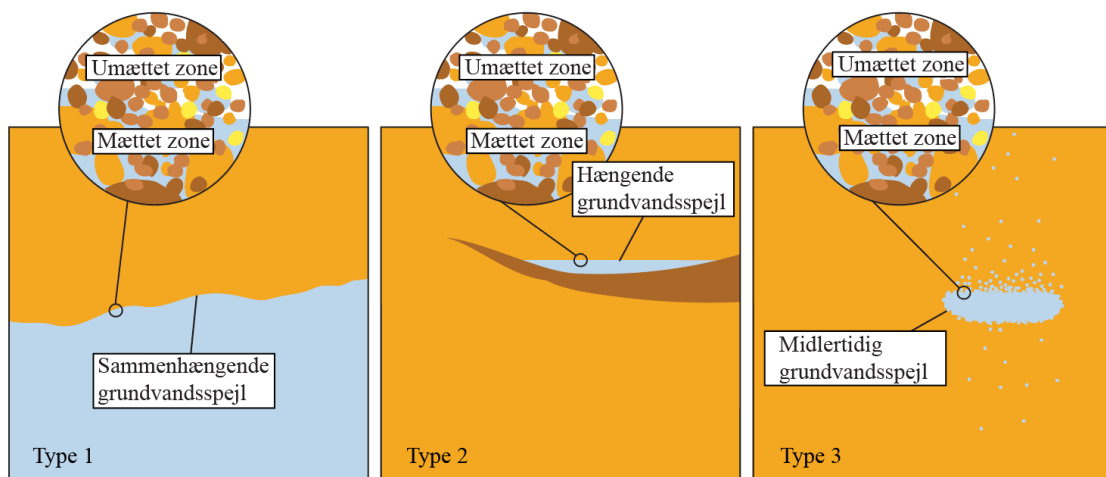
### 3. Definitioner

Formålet af denne sektion er at afklare terminologien vedrørende grundvand, og det terrænnære grundvand i særdeleshed samt andre relaterede begreber der er centrale for at entydigt kunne forholde sig til problematikken.

Der er i forbindelse med den fællesoffentlige digitaliseringsstrategi initiativ 6.1 (FODS6.1) foretaget en definition på terrænnært grundvandsspejl [113,114]: Terrænnært grundvand defineres som: "Det øverste frie grundvandsspejl man støder på fra oven". Det er dog ikke helt problemfrit at overføre denne definition til praksis i forhold til borgere, planlæggere og sagsbehandlere i vandselskaber, kommuner, regioner og øvrige aktører, hverken måleteknisk eller modelteknisk. Måleteknisk kan det specielt i lerjord men også for andre jordtypeforhold være vanskeligt at måle det terrænnære grundvandsspejl, da der kan stå vandspejl i flere dybder, og grundet flere forskellige processer. Derfor er en konceptuel model af hvor og hvordan man måler det øverste vandspejl, og hvordan man kan modellere og udtrækker det fra en model en nødvendighed.

Selv fasttrack projektet (Miljøministeriet 2021 [36a,b]) og GEUS's rapport vedr. HIP projektet [113,114] er ikke helt præcise omkring de forskellige hovedtyper. I det følgende tages udgangspunkt i et GEUS notat for KL [64], hvor de forskellige hovedtyper for terrænnært grundvand er nærmere defineret i forhold til placering af terrænnære pejleboringer (se Figur 4). I dette notat skelnes der mellem følgende 3 hovedtyper [64]:

- Sammenhængende højtstående grundvandsspejl
- Hængende vandspejl
- Midlertidige vandspejl/mættede zoner (nedsivende regn hændelser)



Figur 4 Typer af terrænnære grundvandsspejl (Kidmose og Henriksen 2022 [64])

Sammenhængende højtstående grundvandsspejl. Ved type 1 findes et vandmættet sekundært eller primært terrænnært magasinsystem. Trykniveauet (grundvandsstanden) i dybere magasiner ses ofte at have stor betydning for variationer i det øvre magasin. Hvis vandføringsevnen af det terrænnære magasin er høj (fx sand), skal store vandmængder afdrænes

ved sænkning af grundvandsstanden. Stedlig variation af et grundvandsspejl i en type 1 situation vil afhænge af jordarten/geologien, som grundvandsspejlet ligger i [64].

Hængende vandspejl. Ved type 2 kan der forekomme et permanent højtstående vandspejl opretholdt af et lavpermeabelt lag, typisk et lerlag, hvor afdræningsevnen er begrænset. Kældre og infrastruktur i kontakt med det hængende vandspejl kan påvirkes på samme måde som ved type 1 (fugtskader og vandtryk). Type 2 er velkendt fra de fleste glacielle landskaber med overfladenært moræneler og smeltevandsler.

Midlertidige vandspejl/mættede zoner. Ved type 3, midlertidige vandspejl/mættede zoner er problemet typisk knyttet til langvarige og kraftige regn hændelser, som giver anledning til højtstående grundvand i en kortere eller længere periode. Midlertidige grundvandsspejl kan forekomme ved en lang række omstændigheder. F.eks. kan der ske midlertidig vandmætning af jord-horizonten som resultat af stormflod eller oversvømmelse af arealer fra å-systemer hvor vandføringsevne overskrides ved kraftige/langvarige regn hændelser. Et andet eksempel ses typisk på marker, hvor langvarig nedbør i vinterperioden overskrider nedsivningsevnen og udvikler midlertidigt vandmættede forhold i de øverste jordlag. I andre tilfælde kan nedsivningsanlæg (lokal afledning af regnvand) ligeledes skabe midlertidige mættede zoner terrænnært, selvom det egentlige mere primære grundvandsspejl findes i flere meters dybde [64].

Terrænnært grundvand i byområder (Realdania 2021, [37]; Miljøministeriet 2021 [36a,b]) optræder typisk i lavtliggende områder under forhold der i en eller anden grad er påvirket af vandforvaltningsmæssig aktivitet eller andre menneskabte påvirkninger af det urbane vandkredsløb. Dette kan være store befæstelsesgrader, der ændrer den naturlige grundvandsdannelse, utætte kloakker, der medfører en dræning af grundvandet, LAR-anlæg (lokal afledning af regnvand) der nedsiver regnvand lokalt eller vandindvindinger eller urbanisering der virker som barrierer for naturlige drænsystemer (f.eks. småvandløb, grøfter eller ældre markdræn), der historisk eller nu medfører en påvirkning af det terrænnære grundvandsspejl. Problemer med terrænnært grundvand kan derfor dels optræde som følge af en reetablering til en 'naturlig' tilstand, f.eks. tætning af kloakker eller reduceret vandindvinding, der medfører en tilbagevenden til et mere naturligt og højereliggende grundvandsspejl. Udfordringen vil typisk være, at den kunstige tilstand med en påført ændring/sænkning af det terrænnære grundvandsspejl de sidste 50-100 år er blevet opfattet som en ny normalitet og forudsætning, eksempelvis i forbindelse med byudvikling. Urbanisering der ikke er tænkt ind i forhold til det naturlige landskab og naturlige drænsystemer kan dog også forringe det naturlige systems samlede vandførings- og dræningsevne, hvis f.eks. kloakker og regnvandssystemer ikke kan håndtere de øgede maksimumsvandføringer, eller hvis man forringer undergrundens evne til at bortlede vand gennem jordlagene. Endelig kan urbanisering og vandindvinding på sigt føre til sætninger af tørvelag og dæklag over grundvandsmagasiner (lerlag). Genåbning af et rør-lagt vandløb eller en grøft i et byområde vil ligeledes have indflydelse på det terrænnære grundvand og kan ses som en naturbaseret (blå) løsning.

Klimatilpasning. Natur- og planlagt klimatilpasning defineres af FN's klimapanel (IPCC) overordnet som samfundets tilpasning til de klimaændringer, der forventes over de kommende årtier [85]:

*"Klimatilpasning er svar på eksisterende eller forventede effekter af klimaændringer. Klimatilpasning modererer skaden eller udnytter fordelene ved klimaforandringer. Der findes forskellige former for tilpasning heriblandt naturlig og planlagt tilpasning."*

I EU's klimatilpasningsstrategi opereres der med tre hovedmål. (i) En mere intelligent tilpasning, (ii) En mere systemisk tilpasning og (iii) En hurtigere tilpasning. EU's nye klimatilpasningsstrategi lægger dermed vægt på bedre inddragelse af den nyeste forskning og et bredere samarbejde, og at data fremover gøres tilgængelige - helt konkret via Climate-ADAPT ([her](#))

Det voksende vidensgrundlag og den større udveksling af 'good practices' på tværs af landegrænser vil ifølge Kommissionen også bidrage til at gøre klimatilpasningen mere systemisk. Samtidig lægger kommissionen med strategien vægt på at geografiske og sociale skel ændrer præmisserne for klimarobusthed. Klimatilpasningsaktiviteter må derfor justeres, i forhold til forskellige lokale kontekster, hvilket giver god mening i forhold til problemstillingen med højtstående/stigende grundvand, samtidig med at klimatilpasning skal integreres i nationale finanspolitiske rammer.

Væsentligst i denne sammenhæng er imidlertid at strategien understreger det store potentiale i at implementere naturbaserede, multifunktionelle tilpasningsløsninger som f.eks. genopretning af vådområder, der, udover at bidrage til klimatilpasningen, også sikrer biodiversitet og renere luft (merværdier).

For at imødekomme en hurtigere klimatilpasning agter Kommissionen desuden at inkorporere klimatilpasningsagendaen i en række andre EU-programmer (Horizon Europe skal derfor hjælpe med at udarbejde løsninger, der let kan udbredes på tværs af landegrænser, og Kommissionen har desuden i sinde at gøre klimatilpasning til en fast bestanddel i kommende projekter om kritisk infrastruktur finansieret gennem bl.a. InvestEU, Connecting Europe Facility og European Regional Development Fund).

Læs om EU's klimatilpasningsstrategi [her](#):

I Danmark kender vi primært klimatilpasning som løsninger, der handler om at håndtere øgede vandmængder f.eks. i urbane drænsystemer som følge af stigende grundvandsspejl eller øget overfladenær afstrømning, som følge af øgede mængder regnvand og hyppigere skybrud. I kystområder vil havstigning ligeledes give øgede grundvandsstand og afdræningsmængder. Dertil kommer stormflodshændelser med mere temporære udfordringer. I Danmark er regnvandet traditionelt blevet ført væk fra overfladen gennem kloaknettet, men med de øgede mængder regnvand, som klimaforandringerne forventes at medføre, bliver pladsen i kloaknettet for trang. Mange forsyninger [8] er nødt til at tænke i nye baner for at undgå, at kloakkerne løber over i kældre, åer og vandløb. Derfor arbejder man strategisk og langsigtet med regnvandshåndtering (som en del af urban dræning), som både kan være tænkt ind fra starten af et nyt projekt eller som tilpasning af en eksisterende struktur. I begge tilfælde er udfordringen den samme: At man de kommende år forventer mere (og mere intens) regn pga. et ændret klima, fortsat havstigning og i visse områder desuden sætning af terræn samt øget risiko for jordskred, erosion osv. Gennem arbejdet med regnvandshåndtering bidrager forsyninger og partnerskaber således til klimatilpasning (adaptation). Samtidig bidrager partnerskaber og myndigheder til at forebygge klimaforandringer (mitigation). Det gør man typisk



gennem arbejdet med bæredygtighed og fodaftryk, kommuner, partnerskaber incl. forsyninger har fokus på energioptimering og CO2-reduktion (f.eks. etablering af fangst af drivhusgasser på lavbundsarealer, i skove mm).

#### Naturbaserede klimatilpasningsløsninger.

Naturbaserede løsninger (NBS) er først beskrevet i 2015 som 'løsninger inspireret og støttet af naturen, som er kosteffektive og samtidigt giver miljømæssig, social og økonomisk merværdi samt øger resiliens' [5]. Denne definition af NBS konceptet er sidenhen blevet anvendt og modificeret i en lang række sammenhænge afhængig af konteksten af anvendelsen og videre udvikling af begrebet [87].

Naturbaserede løsninger (NBS) er en paraply der refererer til "indsatser eller virkemidler der har til formål at beskytte, bæredygtigt forvalte, og genskabe naturlige eller modificerede økosystemer dvs. Løsninger der adresserer samfundsmæssige udfordringer effektivt og adaptivt, samtidig med at de bidrager til menneskelig velfærd og biodiversitets merværdi [5].

Kombinationer af grå løsninger og NBS er betegnet hybride løsninger, dette er afbildet i Figur 5. NBS står sjældent alene og er som oftest kombineret med grå løsninger til hybride løsninger

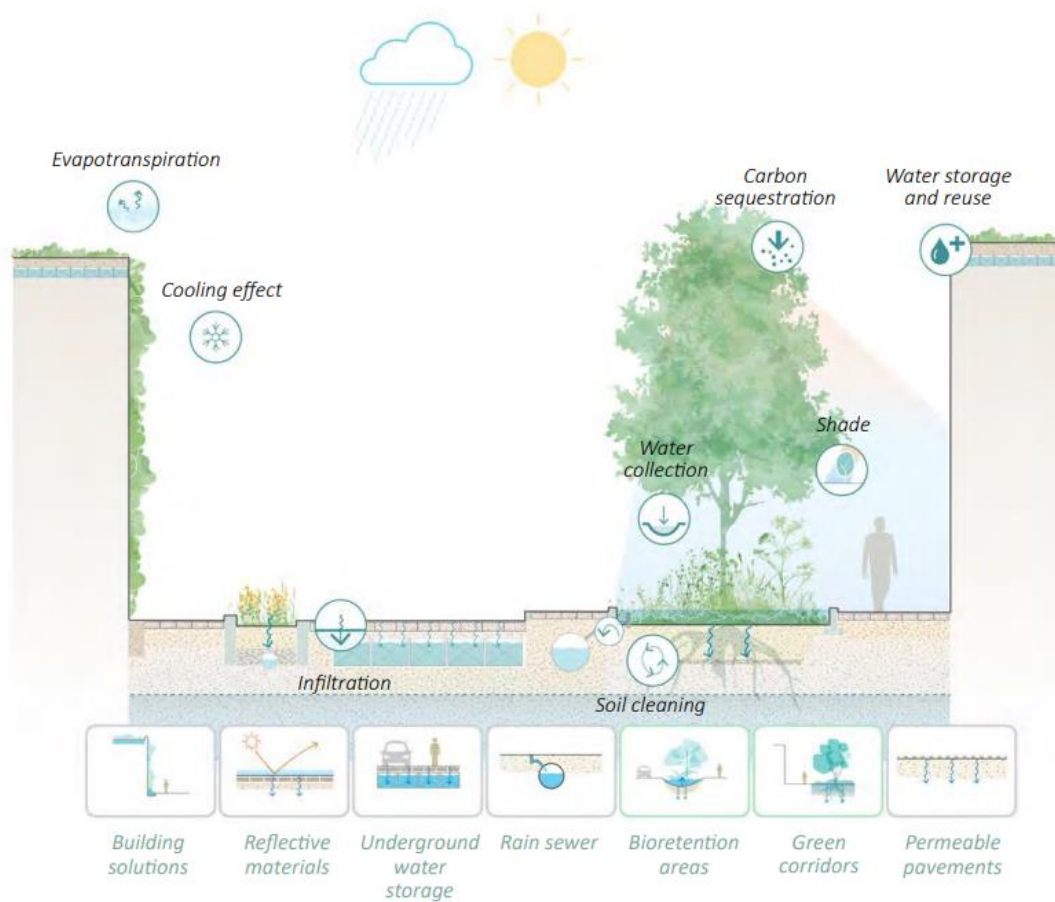
Den nuværende danske lovgivning (april 2022) holder den enkelte grundejer/husejer som ansvarlig for forvaltningen af det terrænnære grundvandsspejl. Som en del af implementeringen af en klimatilpasningsstrategi for bl.a. terrænnært grundvand kan det muligvis blive ændret så denne myndighedsopgave fremover placeres hos kommunerne (i samarbejde med vandselskaberne). Det kan nemlig være vanskeligt for den enkelte grundejer at løse problemet med fugtskader og vand i kælderen fra højtstående grundvand, f.eks. gennem omfangsdræn, pumper mv. da den eneste løsning i mange tilfælde vil være at aflede regnvandet fra sådanne afværgesystemer til kloakken, hvor det udgør uvedkommende vand i forhold til rensning af spildevand, og desuden kan give oversvømmelser og forureningsudslip via overløb, i situationer hvor hændelser overskrider hhv. 5 og 10 års hændelser for regnvand og spildevand, der er de generelle dimensioneringskrav (acceptkriterier).

Variationer i det terrænnære grundvand og evt. sænkning af højtstående grundvand ved hjælp af naturbaserede løsninger samt hvordan øvrige naturbaserede løsninger kan påvirke terrænnært grundvand lokalt udgør en kompleks problemstilling. Der er både vandforvaltning, kortlægnings-, planlægnings- og overvågnings udfordringer fordi det ikke er tilstrækkeligt at arbejde med vandet i siloer som det har været lidt traditionen hidtil hvor areal- og byplanlæggere har håndteret arealanvendelsen, afløbsteknikere har håndteret dræning af regnvand og spildevand, mens grundvandsteknikere har håndteret vandindvinding.

Grå infrastruktur løsninger er konstruktioner og mekanisk, f.eks. reservoirer, dæmninger, rør, pumper, vandbehandlingsanlæg og kanaler. Disse 'ingeniør-løsninger' er indlejrede i vandløbs- eller kyst økosystemer, og systemets hydrologiske og miljømæssige attributter påvirker funktionaliteten af de grå infrastrukturer [74].

De helhedsorienterede-cirkulære by/bynære løsninger fokuserer på en bredere palet end beskrevet ovenfor. Det er sigtet med nærværende udredningsrapport at prøve at få nogle af disse elementer med i forhold til naturbaserede løsninger der medtænker vores undergrund, og de muligheder helhedsorienteret og bæredygtig planlægning af byernes vandkredsløb kan give i arbejdet med multifunktionel adaptation og mitigation i byer og bynære områder.





**Figur 5** Hybrid løsning bestående af blandinger mellem grå og naturbaseret løsninger [40].  
 Permission: Creative Commons Attribution license (CC BY 3.0 IGO)

## 4. Gennemgang af videnskabelig litteratur, rapporter samt øvrigt materiale fra forskningsprojekter

I dette kapitel gennemgås viden om det terrænnære grundvand i by og bynære områder med fokus på hvilke løsninger der kan afhjælpe eller påvirke højtstående grundvand i urbane områder og hvor der specielt ses på hvilke naturbaserede løsninger, oftest i kombination med traditionelle grå løsninger (hybrid) kan adressere denne udfordring. Da mange etablerede NBS løsninger mitigerer overfladevands oversvømmelser, som følge af skybruds hændelser hvor dræning af overskuds regnvand via kloaksystemet ikke kan følge med og bliver overbelastet med potentielt store skader til følge [36], men også kan have en negativ indvirkning på terrænnært grundvand, f.eks. via LAR og grønne løsninger, er dette også relevant og inkluderet i oversigten. Sektion 4.1 giver hhv. en kort opsummering af MSTs fasttrack projekt [36a, 36b] og rapporten om 'Terrænnært grundvand i danske byer' [37] for at redegøre for hvordan nærværende rapport supplerer og bygger videre på dette arbejde, specielt ved at have fokus på naturbaserede løsninger som udover klimatilpasning og nedsætter risikoen for skader på det bebyggede miljø, også bidrager med merværdi til bymiljøet.

### 4.1 Baggrund

Miljøministeriets fast-track-projekt [36a,b], har set nærmere på, om der kan gives bedre mulighed for at lave fælles indsatser for at sænke højtstående grundvand i byerne. Rapporten [36a] indeholder bl.a. en indledende vurdering af omkostninger af oversvømmelser fra grundvand i Danmark som kan udgøre et estimat over antallet af berørte bygninger. På landsplan er cirka 450.000 bygninger, der er klassificeret som bolig i BBR, beregnet til at have mindre end en meter til grundvandsspejlet mere end 80% af året. Af disse er cirka 51.000 bygninger med kældre. Bygningsværdierne for de 450.000 berørte boliger er cirka 880 mia. kr. Hertil kommer cirka 8200 yderligere bygninger, der er klassificeret som sårbare anvendelser. Det vil sige bygninger, der anvendes i forbindelse med sundhedsvæsenet, døgninstitutioner, energiproduktion, vandforsyning, affald og spildevand. Ydermere er cirka 127.000 erhvervsbygninger og næsten 25.000 km vejstrækning potentielt mindre end en meter over grundvandsspejlet mere end 80% af året [36a]. Det forventes, at antallet vil stige som følge af klimaforandringerne indvirkning på grundvandet. En ny analyse for fremtidens potentielt berørte bygninger og veje er på vej, og vil blive inddraget i det videre arbejde med den nationale klimatilpasningsplan [36a].

Det vurderes, at der vil være betydelige samfundsøkonomiske gevinster ved at håndtere højtstående grundvand i byområder. KL og DANVA's beregninger af de samfundsøkonomiske konsekvenser i fire områder viser, at når omkostningerne trækkes fra gevinsterne (færre fugtskader/mindre grundvand i kloakkerne og på renseanlæg) ser man, at der er overskud på investeringerne. "For hver krone der investeres i fælles løsninger, kommer der et overskud, på mellem 2 og 7 kroner." Eksemplerne spænder bredt og omfatter et mindre villakvarter uden for Herning, alle kloakerede områder i Odense Kommune, et villa/industri-kvarter i Herlev og det flade kystareal på Risskov Fed ved Aarhus. Dette er forbundet med en del

usikkerheder, både i forhold til metode, men også på inputparametre i beregningen, men resultaterne vurderes stadigvæk at være et realistisk/konservativt skøn.

Disse estimater tager dog ikke højde for bygningernes sårbarhed, men antager meget forenklet at en bygning er i farezonen hvis blot grundvandspejlet står mindre end 1 m under terræn. Nyere bygninger opført efter starten af 1970'erne vil være opført med en fugtspærre, og højtstående grundvand giver derfor ikke nødvendigvis fugtskader hvis blot grundvandspejlet står tættere end 1 m under terræn.

Fasttrack rapporten vurderer, at for den enkelte grundejer vil et omfangsdræn typisk være den eneste mulige lovlige løsning for at få en tør sokkel. Etablering af et omfangsdræn er relativt bekostelig og forudsætter desuden, at der er en afledningsmulighed, som i praksis oftest vil være til kloakken. Dermed ender vandet i kloakken og på renseanlægget (ved fælleskloak). For vandselskaberne betyder det uvedkommende vand i kloakrørene, fordi det dels tager plads i kloakrørene og dels medfører større kapacitet på renseanlægget end nødvendigt og et øget energiforbrug. Samtidig medfører det større udledning af næringsstoffer til recipienter, som følge af flere overløb. Vandselskaberne gør i dag en stor indsats for at undgå uønsket vand på renseanlæggene (uvedkommende vand). Den gældende regulering af højtstående grundvand beskrives også i rapporten, og her skelnes der mellem eksisterende og ny by. I eksisterende by er ansvaret for håndtering af højtstående grundvand alene grundejerens (kommune og forsyning kan dog spille en rolle). For udlægning af ny by (kommuneplanen) er der tale om en planlægningsopgave, som kommunen har ansvaret for. Her kan der planlægges for forebyggelse af oversvømmelser mere frit end i eksisterende by. Der er metodefrihed for kommunerne i forhold til hvilke data, der skal indgå i kortlægningen. I eksisterende byområder er problemstillingen kompleks. Reguleringen hænger her sammen med den konkrete årsag til højtstående grundvand (ændret vandindvinding, omklassificering af vandløb, tætning af rør, kollaps af drænrør eller ønske om ny dræning).

Fasttrack rapporten beskriver også nye landsdækkende statslige datasæt (HIP og KAMP). Det nævnes at HIP-modellen har kritiske svagheder i byområder, fordi centrale elementer i byens vandkredsløb ikke er direkte repræsenteret med data, herunder interaktion med kloaksystemet, konkrete drænsystemer og nedgravet infrastruktur. Rapporten indeholder i bilag [36b] beskrivelser af forskellige interessenters ønsker til en reform af lovgrundlaget, samt en vurdering af NIRAS af egnetheden af HIP og KAMP som screeningsværktøj. Denne vurdering peger på at HIP og KAMP kan anvendes til screening også i byområder. I bykernen skal man være forsigtig med at benytte HIP og KAMP.

Nærværende rapport og litteratur gennemgang følger op på fasttrack rapportens analyse ved at fokusere på hvordan naturbaserede løsninger kan være med til at afhjælpe effekter af højtstående grundvand i byer og samtidigt bidrage til samfundsøkonomiske gevinster, specielt gennem merværdi af NBS, herunder øget biodiversitet, kølende effekter af grønne og blå områder, attraktive byområder med muligheder for rekreation og turisme, som alle sammen bidrager til beboernes folkesundhed [f.eks. 8, 15, 77, 88, 89].

En recent kortlægning af hvordan terrænnært grundvand i Danmark og i danske byer [37] stiger viser at der er mange udfordringer af teknisk, organisatorisk og juridisk art til en bæredygtig håndtering af klimatilpasning der både adresserer en beskyttelse af værdier i byer og

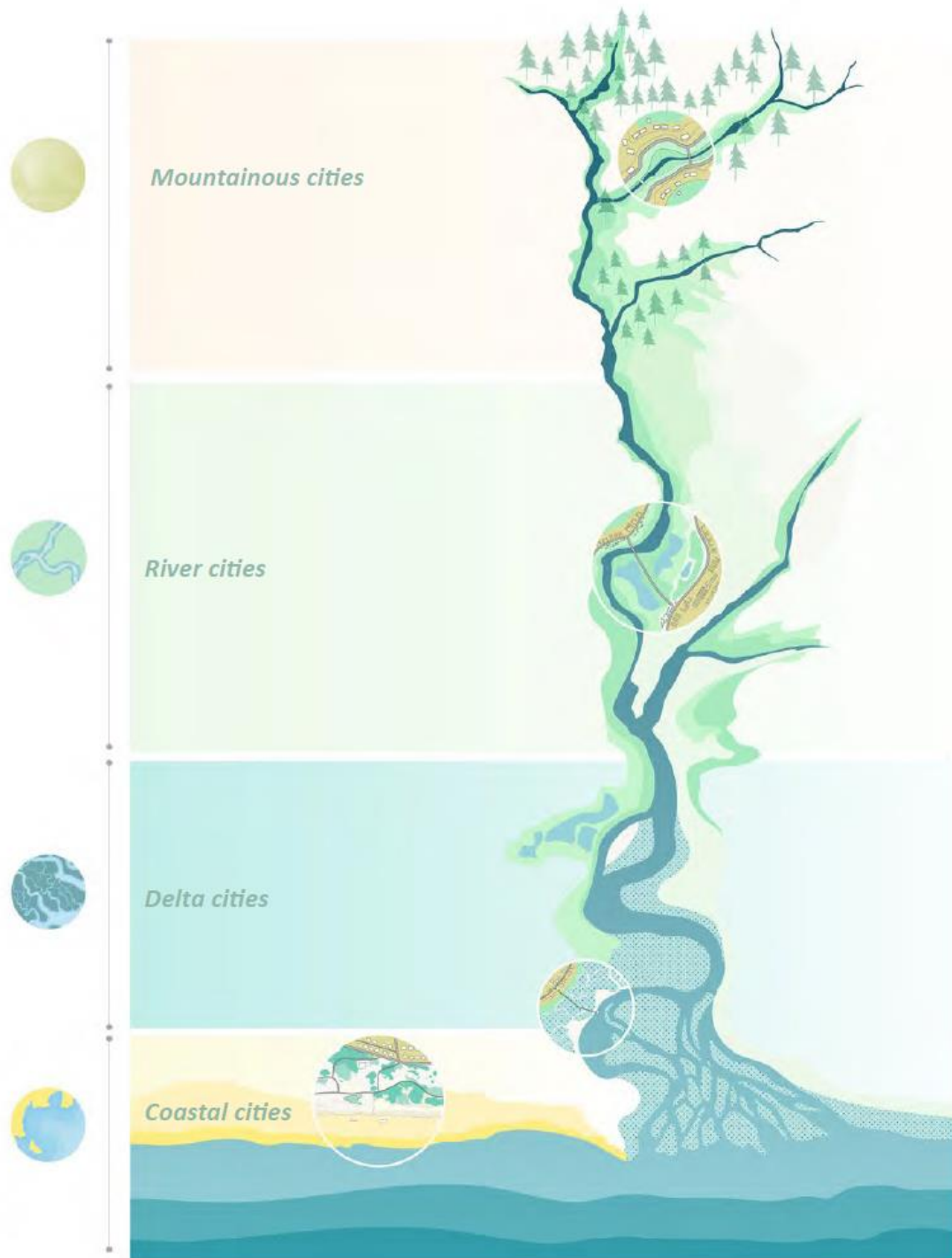
samtidigt tilgodeser forskellige hensyn som byplanlægning og administrative forhold. Rapporten udarbejdet til Realdania indeholder en samling af danske byer, og i samarbejde med 12 vandselskaber, hvor årsagen af for højt grundvand bliver beskrevet og mulige løsninger foreslået. Årsagen til for højt grundvand i byområder kan være en kombination af forskellige påvirkninger, naturlige såvel som menneskeskabte eller kombinationer af begge. Løsninger kan være tilsvarende komplekse og skal for at kunne implementeres og vedligeholdes, understøttes af en lovgivning der tilgodeser interesser af kommune, forsyninger og grundejere.

Litteratur gennemgangen i nærværende rapport supplerer [37] ved at fokusere på klimatilpasning i urbane og peri-urbane områder (Figur 7) gennem anvendelse af naturbaserede løsninger med henblik på at mindske risikoen for højt grundvand og fare for store skader som beskrevet i [36a,b]. Endvidere tages højde for hvordan byens beliggenhed i et opland kan have betydning for hvilken type naturbaseret løsning er egnet samt dimensionering da grundvands tilstrømning fra det omgivende opland kan være betragteligt samt at der fra kystsiden kan være vandspejls ændringer der kan påvirke grundvandsspejlet i byområdet, dette er illustreret i figur 6. I [37] nævnes at vidensniveauet om det terrænnære grundvand er begrænset sammenlignet med viden om det primære grundvand og at der specifikt mangler viden om bl.a. (i) helhedsorienteret håndtering af problemet, (ii) LAR anlægs effekt på det terrænnære grundvand og (iii) brug af højtstående grundvand som ressource. I eksempelsamlings rapporten [37] bliver dette allerede adresseret på et praktisk plan i et vist omfang, men bliver suppleret og udvidet i nærværende rapport ved at kortlægge viden om NBS på et bredere grundlag.

I forbindelse med Topsoil projektet har Region Midt med bistand fra GEUS fået foretaget nærmere undersøgelser og modelberegninger af forskellige klimatilpasningsløsninger - både grå løsninger og hybrid løsninger indeholdende naturbaserede løsninger [NBS-K1 i Figur 8] – for Sunds området udenfor Herning [60], se også Figur 6. Sunds indgår i øvrigt som case i [6, 36b, 37 og 40]. Der er bl.a. regnet på det 3. dræn, etablering af en urban grøft, skovrejsning lige udenfor Sunds by, managed aquifer recharge (MAR) mm. Beregningerne har vist at den mest effektive løsning isoleret set vil være etablering af et 3. dræn, specielt hvis et sådant drænsystem kan etableres i forbindelse med at f.eks. kloaksystemet renoveres. NBS løsninger som en urban grøft og skovrejsning vil isoleret set være mindre effektive løsninger. Det skal dog her tilføjes at disse beregninger ikke inddrager merværdi (co-benefits) udover effekter på sænkning af det højtstående grundvand, f.eks. merværdier i forhold til huspriser, sundhed, mental velbefindende, biodiversitet osv.

EKLIPSE projektet ' Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas (EWG)'[5] som blev rekvireret af EU kommissionen for (i) at udvikle en framework med kriterier for at vurdere virkningen af NBS i forhold til vand relaterede udfordringer i byer; (ii) at udarbejde en guide for at måle merværdier af NBS for miljø, socio-økonomi og samfund; (iii) at komme med anbefalinger for NBS effektivitet samt identificere vidensmangler for vurderede NBS under (i).

EWG bygger metodisk på en scoping review af videnskabelig og grå litteratur samt ekspert rapporter om NBS [92, 107] og hvordan NBS kan adressere 10 samfundsmæssige udfordring, herunder vandforvaltning, men hvor højtstående grundvand i byer ikke er inkluderet som problem der kan føre til grundvandsoversvømmelser og skader på det bebyggede miljø, men i stedet ses på for lavt grundvand som følge af bl.a. tørke og hvor grundvand nedsivning via f.eks. regnbede som NBS kan være en løsning.



**Figur 6.** Cities location in catchments: mountain (headwater dvs. Beliggende I vandpark hvor grundvandet dannes fx Sunds/Herning) – river (vandløbsoversvømmelse+grundvandsoversvømmelse fx Holstebro/Sunds) – delta (koblede hændelser fra stormflod + skybrud + grundvandsoversvømmelse + vandløbsoversvømmelse fx Ribe eller Odense) – coastal dvs. Vand på land fra Stormflod + erosion (Juelsminde + Harboøreland) [40]  
 Permission: Creative Commons Attribution license (CC BY 3.0 IGO)

Figure 1-1: Diversity of nature-based solutions for urban application



Figur 7 NBS i byområder ([40]): Groundwater (terrænnært) hybridløsninger fx. 3. Dræn eller borer med grundvandssænkning. Permission: Creative Commons Attribution license (CC BY 3.0 IGO)

## 4.2 Viden og vidensbehov

Nærværende rapportens fokus er at kortlægge viden om NBS der understøtter klimatilpasning i forhold til højtstående grundvand fra to vinkler: (i) NBS som direkte mitigerer terrænnært grundvand, og (ii) NBS som adresserer andre vandrelaterede farer (hazards), først og fremmest skybrud og som kan påvirke grundvandsstanden lokalt eller over et større område

En gennemgang af recent viden om klimatilpasning i forhold til højtstående grundvand vha. natur-baserede løsninger, grå løsninger eller en kombination af begge (hybrid) er gjort ved at søge relevant litteratur som inkluderer videnskabelige publikationer (via videnskabelige databaser som Scopus, Web of Science og Google Scholar), rapporter fra organisationer som IPCC, World Economic Forum, UN Environmental Program (UNEP) samt fra EU videnskabelige projekter hvor der i f.eks. Horizon 2020 og nu i Horizon Europe er meget fokus på NBS i forbindelse med bæredygtig byudvikling og vandforvaltning [31]. Reference listen giver et overordnet overblik over hvor meget viden og erfaringer der er samlet gennem de sidste cirka 10 år hvor naturbaserede løsninger har fået mere og mere opmærksomhed. Udover danske publikationer om emnet er udenlandske referencer inkluderet for så vidt de er relevante for danske forhold og kan bidrage til en bedre forståelse af hvordan naturbaserede klimatilpasnings løsninger kan være effektive, bæredygtige og resiliente og samtidigt kan skabe attraktive bymiljøer.

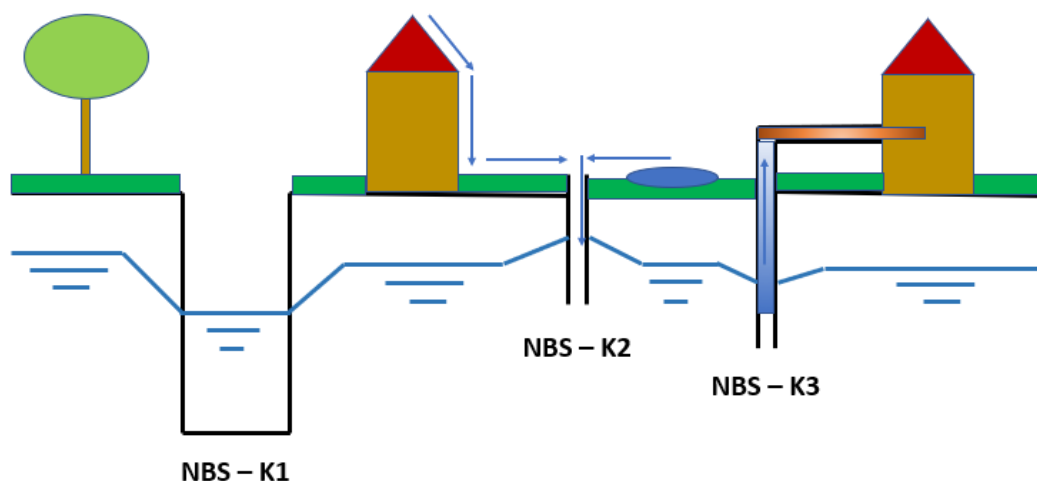
Nedenstående tabel rubricerer listen over inkluderede referencer i 4 kategorier

**Table 1.** Oversigt over kategorier af referencer inkluderet i litteratur gennemgangen

REFERENCE KATEGORI	REFERENCE NUMRE
<b>A</b> DANSKE RAPPORTER, INKL. MST, DANVA, KL; REALDANIA, GEUS, IGN, IFRO, CONCITO	[1, 2, 3, 6, 12, 16, 17, 23, 24, 25, 28, 29, 30, 36a, 36b, 37, 38, 39, 44, 52, 53, 60, 64, 79, 86, 104, 105, 106]
<b>B</b> INTERNATIONALE ORGANISATIONER, INLL. EC, EEA, UNEP, UN-WATER, WRI, IAH, WEF, IP-BES, IPCC, WORLD BANK	[4, 5, 7, 9, 14, 19, 20, 21, 22, 42, 46, 54, 56, 59, 62, 73, 74, 84, 85, 90, 91, 97, 109, 110]
<b>C</b> INTERNATIONALE PROJEKTER OG RAPPORTER	[11, 13, 15, 18, 26, 32, 33, 43, 50, 51, 57, 61, 66, 67, 70, 77, 81, 82, 89, 97, 103, 123]
<b>D</b> INTERNATIONALE VIDENSKABELIGE PUBLIKATIONER (PEER REVIEWED)	[8, 10, 31, 34, 35, 41, 45, 47, 48, 49, 55, 58, 59, 63, 68, 69, 71, 72, 75, 78, 80, 83, 87, 88, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 107, 108, 111, 124]

Publikationer i kategori A-D er blevet gennemgået og analyseret for viden om højtstående grundvand i byer og byens opland samt information om klimatilpasning ved hjælp af naturbaserede løsninger, hvor der er set på om og hvordan NBS direkte kan adressere terrænnært grundvand og grundvandoversvømmelser samt hvordan NBS der anvendes primært til at afhjælpe problemer med skybrud men som kan påvirke terrænnært grundvand. Da mange publikationer om klimatilpasning med naturbaserede løsninger ikke har fokus på grundvand, blev dokument søgninger rettet mod nøgleord 'Groundwater' eller 'Grundvand'. Efterfølgende blev afsnittene hvor grundvand optrådte gennemgået for hvordan naturbaserede løsninger som klimatilpasning i byer er relateret til det højtstående grundvand, men også de dybere grundvand da NBS oftest tilbageholder vand i retentionsområder som regnbede og parker hvor det kan sive ned til både det terrænnære og dybe grundvand.

For at understøtte gennemgangen af litteraturen i forhold til nøgleordene 'grundvand' og 'naturbaserede løsninger (NBS)' opstilles 3 kategorier NBS-K1, K2 & K3. Dette illustreres i nedenstående figur 8 hvor 'NBS-K1' repræsenterer en naturbaseret løsning som lokalt sænker grundvandsstanden, her vist som kanal eller urbant åløb hvor højtstående grundvand drænes til en recipient, f.eks. en sø eller havet (f.eks. [13, 27, 66, 71, 90, 99]), hvor grundvandsniveauet kan nedbringes til et niveau hvor det ikke længere udgør en risiko for grundvandsoversvømmelser af kældre og underjordisk infrastruktur. Kategori 'NBS-K2' er repræsenteret ved lokal nedsivning, f.eks. via LAR (SuDS), hvor det terrænnære grundvand lokalt stiger og som derved kan øge problemer ved for højt grundvandsspejl. I figuren vises hvordan tagvand og vand fra lokalt opsamlet vand bliver ledt til nedsivningsanlægget. De fleste kilder i gennemgangen hvor 'grundvand' og 'naturbaserede løsninger (NBS)' er søgeord er relateret til NBS der nedsiver skybrudsvand fra retentionsområder og som dermed lokalt kan påvirke grundvandsstanden. Endelig er der 'NBS-K3' kategorien som i figuren er fremstillet som en løsning hvor 'overskydende grundvand' anvendes til cirkulære formål som geotermisk varme eller køling, 'Urban Heat Island' effekt (f.eks. [11, 31, 45]).



**Figur 8** Illustration af NBS-K1, NBS-K2 og NBS-K3 klimatilpasningsløsninger, se teksten for nærmere forklaring

Naturbaserede løsninger bidrager udover til klimatilpasning i betydelig grad til forbedret bymiljø og denne merværdi for bybilledet er derfor taget med i litteratur gennemgangen for både kategori NBS-K1 og K2 og inkluderer (positive) effekter for biodiversitet, folkesundhed, rekreation, køling og luftkvalitet (Tabel 2). Derudover kan naturbaserede løsninger i forhold til grundvand bidrage til vandforsyning sikkerhed, dvs. grundvands kvantitet og kvalitet. Grundvands kvantitet kan øges ved at nedsive overskydende skybrud genereret overfladevand til dybereliggende lag, hvor vandkvaliteten stiger under nedsivnings processen (f.eks. [9, 20, 73, 74]), men hvor mht det terrænnære grundvand skal tages hensyn til at lokalisere de rigtige steder for nedsiving for at undgå vandforurening (f.eks [46, 59, 62, 97, 100])

I nedenstående afsnit er hver kategori referencer (A-D i Tabel 1) gennemgået for viden om naturbaserede klimatilpasnings løsninger af typer NBS-K1, NBS-K2 og NBS-K3 (figur 8) samt for merværdien (co-benefits) af NBS løsninger for det bebyggede miljø, eksempler er forøgelsen af biodiversitet via grønne og blå løsninger, køling af bymiljøet, rekreative og kulturelle formål som også bidrager til folkesundhed og velbefinnende generelt. Merværdien inkluderer økonomiske positive effekter såsom kreering af grønne jobs, branding af grønne byer og turisme samt ejendomspriser (med gentrificering som mulig negativ effekt). Nedsiving af vand via retentions områder og LAR kan bidrage til genopfyldning af grundvandsreserver hvor øget vandmængde og kvalitet er en vandforsyningsikkerheds merværdi. Endelig kan merværdien bestå i at naturbaserede klimatilpasnings løsninger bidrager til verdensmål (Sustainable Development Goal, SDG), specielt SDG 3 (folkesundhed), 6 (ren vand og sanitering), 11 (bæredygtige byer) og 13 (klima aktion).

Det er vigtigt at pointere at alle tre typer af naturbaserede løsninger med fokus på grundvand kan bidrage positivt til bybilledet og kan tages højde for i byplanlægning hvor klimatilpasning er en integreret del af byens udvikling, som tidligere beskrevet i [16] med fokus på overfladisk afstrømning og havspejlsstigninger. Merværdien af naturbaserede løsninger som enten direkte adresserer højtstående grundvand (NBS-K1), som anvendes til øvrige klimatilpasnings



formål, men som kan påvirke det terrænnære grundvand (NBS-K2) eller som faciliterer alternativ brug af oppumpet grundvand (NBS-K3), se Figur 8, er sammenfattet i Tabel 2:

**Tabel 2.** merværdi af naturbaserede løsninger

<b>Nr.</b>	<b>Merværdi type</b>	<b>kommentar</b>
1	biodiversitet	Inkl. 'rewilding' og habitat
2	folkesundhed	Inkl. Velbefinnende / sociale aktiviteter
3	rekreation	Afspændingsmuligheder (fysisk/mentalt), bynaturmiljø
4	Køling	Grønne arealer har kølende virkning
5	Luftkvalitet	Grønne arealer
6	økonomi	Inkl. 'grønne jobs', fast ejendoms marked, turisme
7	'vandforsynings sikkerhed' (water security)	Inkl. Vand mængde og vand kvalitet
8	Bybaseret landbrug	Kunstig jord, medium
9	SDG support	NBS typer kan bidrage til FN verdensmål

De seneste og mest relevante dokumenter er i nærværende gennemgang (se Tabel 1) blevet skannet for hvorvidt NBS typer (kategorier) som indikeret i figur 8, NBS-K1 (f.eks. urbane vandløb), NBS-K2 (f.eks. LAR) eller NBS-K3 (cirkulær brug af grundvand) er adresseret. Samtidigt er dokumenterne undersøgt for hvilke typer af merværdi (se Tabel 2) er omtalt. Resultatet af denne gennemgang er herefter resumeret i let overskuelig tabel form (Tabel 3-6) således at videns niveau og videns behov for specifikke naturbaserede løsninger samt merværdi klart fremgår

En gennemgang af recente danske rapporter fra Miljøstyrelsen, DANVA, Realdania, CONCITO og andre, se Tabel 1, viser at naturbaserede løsninger som adresserer højtstående grundvand (type NBS-K1 i Figur 8) er nævnt i en del publikationer, se Tabel 3 hernede, hvor urbane å løb eller grøfter [16, 23, 60] er løsninger som også nævnes i internationale publikationer, se Tabel 4, 5 og 6) og kan betragtes som ægte naturbaserede (blå) løsninger da de ikke relateres til traditionelle grå løsninger som kloak eller drænledninger og bidrager til bybilledet gennem at tilføre (blå) natur. Andre løsninger kan være øget fordampning gennem træbeplantning som kan sænke det terrænnære grundvandsspejl lokalt [1, 60], terrænhævning [16, 23, 37, 52], flytning af boliger fra områder med højtstående grundvand [24], eller omfangsdræn / afværge pumpning e.l. [f.eks. 36b, 37, 104,, 105, 106] hvor strengt taget kun træbeplantning og øget fordampning kan regnes som en ren naturbaseret løsning. Som under de internationale publikationer i Tabel 4-6 er der samlet fhv. mange eksempler på naturbaserede løsninger som ikke mitigerer højtstående grundvand men som adresserer overfladisk afstrømning, f.eks. via retentionsområder som regnbede eller vi lokal regnvands afledning og som kan påvirke terrænnært grundvand lokalt og forårsage grundvands oversvømmelser (type NBS-K2 i figur 8). Endvidere er brug af overskuds grundvand som sekunda vand nævnt i [1, 16, 37, 52 og 60]. Forholdsvis mange danske publikationer har fokus på økonomisk merværdi, investeringsmodeller og cost-benefit analyser for naturbaserede løsninger [6, 16, 17, 24, 25, 28, 29]. Der henvises til kapitel 6 for videre diskussion om viden og videns behov i forhold til højtstående grundvands problematikken og positive effekter til bybilledet gennem naturbaserede eller hybride klimatilpasnings løsninger

**Tabel 3.** Danske rapporter mm. (skraverede felter er adresseret)

NBS kategori (Figur 8)				Merværdi type (Tabel 2)								
Ref	K1	K2	K3	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[1]												
[2]												
[3]												
[6]												
[12]												
[16]												
[17]												
[23]												
[24]												
[25]												
[28]												
[29]												
[30]												
[36a]												
[36b]												
[37]												
[38]												
[39]												
[44]												
[52]												
[53]												
[60]												
[64]												
[79]												
[86]												
[104]												
[105]												
[106]												

Globale organisationer som FN (inkl. IPCC), Verdens Banken, World Resources Institute (WRI), International Association of Hydrogeologists (IAH), International Union for Conservation of Nature (IUCN), World Economic Forum (WEF), OECD samt på Europæisk niveau fra den Europæiske Kommission (EC) og European Environmental Agency (EEA) har i de seneste år publiceret om klimatilpasning og anvendelse af naturbaserede løsninger (oftest som del af hybride løsninger) ud fra deres faglige vinkler og specifikke viden. En betragtelig del af den undersøgte litteratur har fokus på naturbaserede løsninger relateret til grundvand på oplands skala og ikke specifikt om byer eller bynære områder, f.eks. [4, 9, 110] men taget med i gennemgangen da byens grundvandsdynamik som del af et opland kan være påvirket af hele oplandets vandkredsløb og løsninger skal ses som helhedsorienterede løsninger (se [40]), dette gælder også for kystnære byer der påvirkes af havspejlets dynamik (f.eks. [4]). En dokument søgning på <groundwater> AND <NBS> resulterer i først og fremmest information om naturbaserede løsninger som primært er implementeret for at imødegå problemer med overskuds vand fra ekstreme regnhændelser, inkl. Skybrud, sommetider i kombination med stormflodshændelser. Disse NBS-K2 typer som ikke mitigerer højtstående grundvand men kan påvirke terrænnært grundvand (se Figur 8) omfatter f.eks. grøn og blå infrastruktur

som retentions bassiner (regnbede, sivegrøfter), permeable belægninger, vådområder, grønne tage mm.

Nedenstående Tabel 4 viser at næsten alle inkluderede publikationer omhandler denne type NBS som lokalt kan forværre niveauet af terrænnært grundvand og som nødvendiggør at kortlægge byområder hvor dette kan være tilfældet. Publikationer der indeholder information om NBS-K1 typer er begrænset til [20] hvor NBS effekten er simuleret med hydrologiske modeller; [40] hvor genopretning af urbane å løb og skovbeplantning er omtalt; [27] og [90] hvor grundvands oversvømmelser er nævnt som et tiltagende problem, forværret af klimaændringer og havspejlsstigninger og med konsekvenser for forsikringer. Alternative og cirkulære anvendelser af overskydende grundvand, f.eks. til varme eller køling er omtalt i [11,20,21]. Bland merværdi (co-benefit) typer er 'biodiversitet' (1), 'folkesundhed' (2), rekreation (3) og 'køling' (4) fhv. ofte nævnt. Den nyeste IPCC arbejdsgruppe 2 rapport [84, 85] nævner udover 'folkesundhed' og lokal 'biodiversitet' også bidrag til FN verdensmål som en vigtig merværdi [124].

**Tabel 4.** Referencer af internationale organisationer (skraverede felter er adresseret)

Ref	NBS kategori (figur 8)			Merværdi type (tabel 2)								
	K1	K2	K3	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[4]		■		■								
[5]		■		■	■		■		■			
[7]		■										
[9]		■		■	■		■				■	
[11]		■	■									
[14]					■							
[19]		■										
[20]	■	■	■	■			■					
[21]		■	■									
[22]		■								■		
[27]	■	■			■							
[40]	■	■		■	■	■	■					
[42]		■										
[46]		■				■						
[54]												
[56]		■		■		■						
[59]		■										
[65]		■		■							■	
[73]		■								■		
[74]		■				■						
[76]		■				■	■	■	■			
[84]		■		■	■							
[90]	■	■										
[91]												
[97]		■								■		
[109]		■										
[110]												

De senere år har der fra Europæisk side været meget opmærksomhed omkring naturbase-rede løsninger som støtter EU strategier, specielt 'European Green Deal'. 'Biodiversity strategy' og 'EU Adaptation Strategy' som har til formål at øge biodiversiteten og samtidigt at

gøre Europa mere klima resilient. I EU forskningsrammeprogrammet Horizon2020 og som fortsættes under det nye Horizon Europe program har finansieret Europæiske projekter hvor fokuspunkterne været at dække forskningsbehov og operationalisering (inkl. Finansiering og forretningsmodeller). I tabel 5 nedenfor er et udvalg af recente Europæiske (f.eks. Naturvation [57], NetworkNature [51], ThinkNature [81], NAIAD [123]) og andre internationale projekter (f.eks. [13, 18, 32]) gennemgået for grundvands relevante naturbaserede løsninger og merværdier i byområder. Højtstående grundvand og en række klimatilpasnings løsninger, herunder kanaler som sænker grundvandsniveauet ved bebyggede områder (type NBS-K1) er beskrevet for South Dunedin byen i New Zealand [13] som har mange ligheder med andre lavt beliggende byer i verden og 15 andre byer i verden som har lignende problemer med højtstående grundvand. I studiet er der taget højde for muligheder såvel som begrænsninger samt socio-økonomiske forhold og finansierings modeller. Åbrink og åløb restaurering i Leipzig er omskrevet som case i [66] for Leipzig, men uden klar sammenhæng med grundvand, hvor sivegrøfter (bioswales) og andre retentionsområder er af type NBS-K2. I det recente Dasgupta review [82] om biodiversitet og økonomi omtales højt og stigende grundvand som en fare for folkesundhed, det bebyggede miljø med udfordringer for skadeforsikringer (insurability).

Som under gennemgangen for internationale organisationer (Tabel 4) er fokus af tilknyttede merværdier på biodiversitet, folkesundhed, rekreation og køling (varmø effekten), samt vandforsyningssikkerhed (water security) med vand kvantitet og kvalitet.

**Tabel 5.** Internationale projekter (skraverede felter er adresseret)

Ref	NBS kategori (figur 8)			Merværdi type (tabel 2)								
	K1	K2	K3	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[11]		■								■		
[13]	■			■		■						
[15]					■	■						
[18]												
[26]	■											
[32]		■										
[33]		■				■						
[43]		■			■							
[50]		■		■	■				■			
[51]		■		■	■							
[57]		■		■			■					
[61]		■										
[66]	■	■		■		■	■	■		■		
[67]		■		■		■		■	■			
[70]		■		■		■			■			
[77]			■	■	■	■			■			
[81]		■		■		■			■			
[82]	■					■			■			
[89]		■		■	■	■						
[103]		■										
[123]	■	■		■	■	■	■				■	■

Gennemgangen af videnskabelig litteratur, se tabel 6 nedenfor, viser i lighed med studier af internationale organisationer at der er en overvægt af information om naturbaserede

løsninger (NBS-K2) som relateres til klimatilpasning ift overfladevands overlast og oversvømmelser men som kan påvirke det terrænnære grundvand gennem løsninger som lokal afledning (LAR), regnbede osv. Fokus er ofte på nedsivning af overskydende vand til det dybere-liggende grundvand som der kan være en ressource og bidrage til øget vandforsynings sikkerhed (f.eks. [31, 49, 68]).

Naturbaserede løsninger som direkte mitigerer højtstående grundvand (NBS-K1) er i gennemgangen kun adresseret i [49], [71], [99] og [124] via henholdsvis urbane vådområder og restaurering af urbane åløb. Cirkulært brug af grundvand (NBS-K3) er undersøgt gennem et review of NBS for urban vandforvaltning [68, 71], 'food-energy-water NEXUS' [31] og geotermisk varme [31, 45]. Merværdien af NBS er centreret omkring biodiversitet, folkesundhed, rekreation og køling, hvor fysisk og mentalt helbred er nævnt i [34], [35] og [45] og også relevansen af social aktivitet i [34] og [45].

**Tabel 6.** International (peer reviewed) artikler (skraverede felter er adresseret)

Ref	NBS kategori (figur 8)			Merværdi type (tabel 2)								
	K1	K2	K3	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[8]		■										
[10]												
[31]		■	■	■			■					
[34]				■		■						
[35]				■	■		■					
[41]		■					■					
[45]		■	■		■							
[47]		■										■
[48]			■									
[49]	■	■		■	■	■						
[55]		■										
[58]												
[59]		■										
[63]							■			■		
[68]		■										■
[69]		■			■		■					
[71]		■	■	■		■						
[72]		■		■				■				
[75]		■					■					
[78]		■					■					
[80]		■										
[83]												
[87]												
[88]		■		■	■		■			■		
[92]		■			■		■					
[93]		■					■					
[94]		■										
[95]		■				■	■					
[99]	■											
[100]		■										
[101]												
[102]		■										
[107]												
[108]		■										
[124]	■			■		■						■

**Tabel 7** Eksempler på klimatilpasningstiltag (urban dræning + subsurface) (modificeret efter [20]). I tabellen er anført den engelske og danske term for NBS'en, og løsninger er kort beskrevet i forhold til effekt på sænkning af terrænnært grundvand, utilsigtet effekt på terrænnært grundvand (hvis f.eks. NBS'en etableres med henblik på merværdi, men uden omtanke på hvordan den påvirker det terrænnære grundvand LAR kan f.eks. give et til et par meters hævet GVS lokalt) og effekt på vandressourcen (her tænkes på evt. påvirkning af vandkvalitet eller mængden af grundvand/kvantitet)

Type Engelsk term	Dansk term	Beskrivelse af naturbaseret løsning	Sænke terrænnært grundvand	Utilsigtet effekt på terrænnært gvs	Effekt på primært vandressourcen
<b>A</b> Climate pond	Klimadamme	Kan forbedre biodiversitet, og sikre et permanent vand-spejl, og derved regulere afstrømning af skybrudsvand til afløbsrende		(x)	
<b>B</b> Ditch	Gravet grøft	Gravet grøft med henblik på dræning langs en vej eller matrikel			
<b>C</b> Infiltration from surface	Lokal afledning af f.eks. tagvand til infiltration i jord	Lokal afledning af regnvand på et areal hvor det kan sive ned gennem jorden		x	X
<b>D</b> Linear drainage systems	Lineært vejdræn	Overfladisk afledning af regnvand tæt på overfladen f.eks. gennem render i vejbanen (ved forhøjet fortovskant, rende dækket af rist)			
<b>E</b> Rain garden	Regnbede	Lavning i terræn med henblik på modtagelse, magasinering og filtrering af regnvand		x	
<b>F</b> Swale	Sivegrøft	En kombination af et regnbed og nedsivningsgrøft f.eks. i siden af vejen			
<b>G</b> Underdrains	Underdræn	Underdræn der kombineret med øvrige NBSere optimerer infiltrationsraten eller øger infiltrations-arealet (kan også bruges til at dræne vand til anden NBS)	X	x	x
<b>H</b> Climate road	Klimavej	Permeabel asfalt som tillader skybrudsvand at infiltrere med vandafledning gennem vejbox		x	x
<b>I</b> Green roof and walls	Grønne tage og vægge	Vækstmedium, drænlag, vandbeskyttende membran som forsinker afstrømningen (grad afhænger af tykkelse af vækstmedium). Evt. biodiversitetsgevinst + øget fordampning			
<b>J</b> Irish crossings	Irsk krydsning	Design af mulighed for at skybrudsvand kan krydse vejen i rende vejbelægningen			
<b>K</b> Permeable pavement	Permeable belægninger	Befæstede arealer der er gjort permeable, så regnvandet kan sive ned igennem f.eks. flise eller grusbelægning		x	X
<b>L</b> Soakaway or infiltration trench	Infiltrations bed/eller grøft/dræn/brønd	Infiltrationsbrønd stabiliseret med porøst materiale / filtermateriale og fyldt med topjord og vegetation. En infiltrationsgrøft (f.eks 1m dyb og 60cm bred flere meter lang)		x	x
<b>M</b> Trench	Afløbsrende	Benyttes til transport af vand over jorden på steder hvor åbne kanaler ikke er hensigtsmæssige for vejens brugere (kan udgøre et rekreativt element)			
<b>N</b> Mix of NBS	Hybridløsning	Mix af ovenfor nævnte NBS'ere der tilsammen bidrager til urban dræninginfrastrukturen i forbindelse med klimatilpasning		x	x

<b>O</b> Urban afforestation / greening	Begrønning eller skov-rejsning i byer	Kan bidrage til forøget fordampning og evt. sænket grundvandsspejl samt køling i byer	x		
<b>P</b> Third drain	Det 3. dræn	Etableres som systemløsning i bydel hvorved der etableres et grundvandsdrænsystem med henblik på sænkning af terrænnært grundvand og reduktion af uvedkommende vand i kloak	x		x
<b>Q</b> Drains around houses + pumps in cellar	Omfangsdræn +evt. pumpe i kælder	Kan etableres som en afværge løsning af boligejere med henblik på at reducere problemer med vand i kælder eller fugtskader på fundamenter (ledes typisk til kloak og udgør dermed uvedkommende vand)	x		
<b>R</b> Reestablishment of urban creeks and streams	Urbane vandløb	Genetablering af urbane vandløb eller frilægning af større vandløb der er blevet elimineret i forbindelse med urbanisering af hensyn til merværdi (biodiversitet+mental f.eks. Århus å, Ladegaards å forslag osv.)	x		
<b>S</b> Sealing of sewer systems	Strømpeforing eller tætning af kloakker	Tætning af kloakker for at undgå indsvingning af grundvand i utætte samlinger. Kan begrænse risiko for overløb i kloaksystemer ved skybrud, men samtidig give øget terrænnær grundvandsstand		x	
<b>T</b> Vertical wells and managed aquifer recharge	Etablering af vertikale 3. dræn f.eks. boringer eller brønde og kunstig infiltration/magasinering i dybt grundvand (MAR)	Afsenkning af terrænnært grundvand ved etablering af et antal boringer/brønde typisk i eksisterende bebyggelse i terrænnært grundvand kombineret med naturbaseret rensning og MAR	x		x
<b>U</b> Managed aquifer recharge	Artificial recharge of surface water to groundwater	Kunstig infiltration af overfladevand ved infiltration i jorden eller i brønde		x	x

## 5. Udfordringer med højtstående/stigende grundvand i DK belyst med HIP og KAMP værktøjer

### 5.1 Udfordringer med højtstående grundvand på landsplan

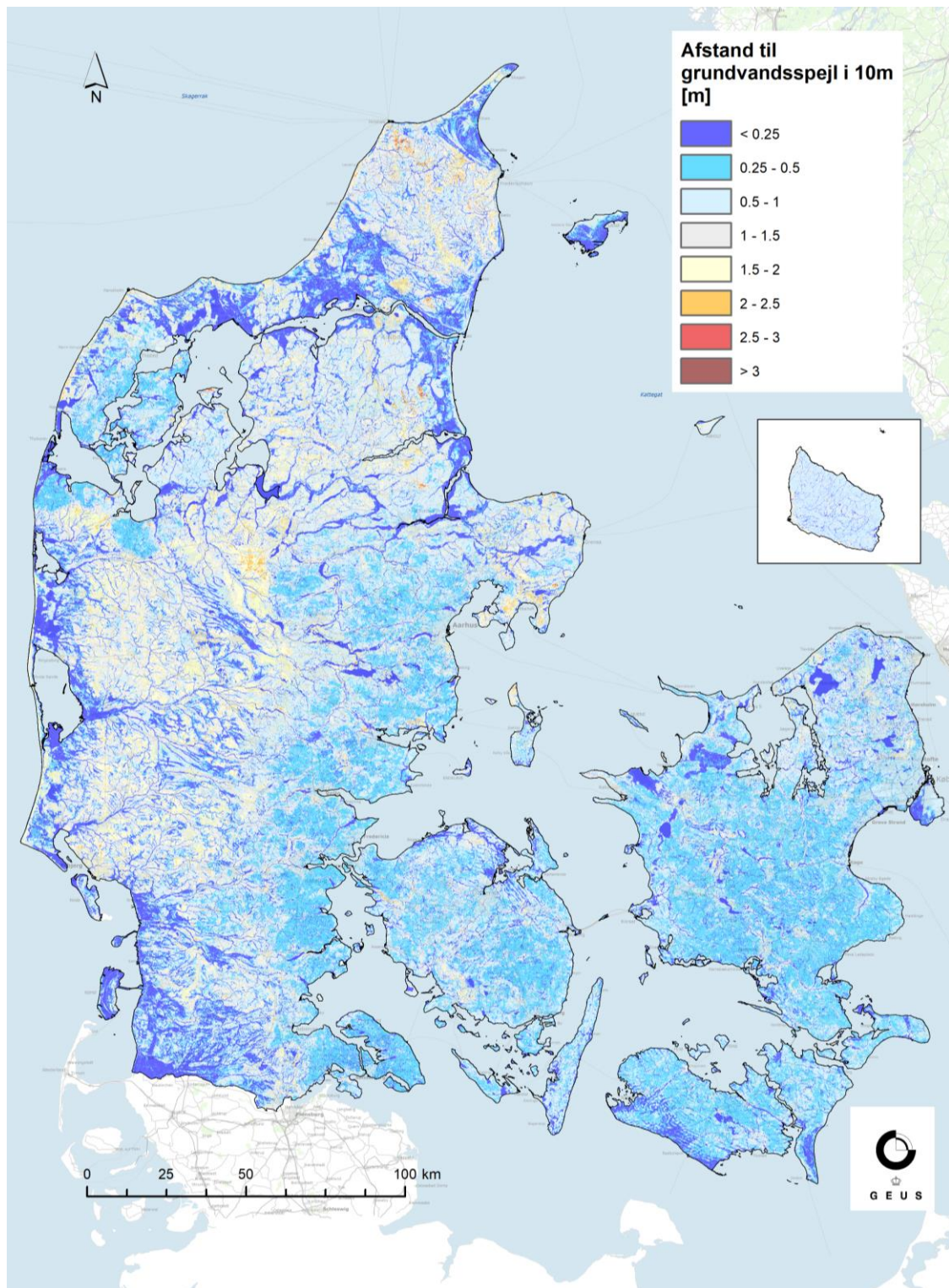
På hipdata.dk udstilles landsdækkende, højopløselig data om terrænnære hydrologiske forhold, der visualiseres på kort, i grafer og tabeller. Målinger inkluderer terrænnært grundvand, vandløbsdata og havvandsstand. Modelberegninger er foretaget af GEUS for en 30-årig historisk periode (1990-2019) i 100 m grid og for ca. 60.000 vandløbsberegningsspunkter, og der er kortlagt dybde til terrænnært grundvand i 10 m grid for vinter- og sommersituation med brug af maskinlæring [113,114]. Statistiske data på kort for 1990-2019 fungerer som reference for vurdering af klimaændringernes effekter for den nære (2041-2070) og fjerne (2071-2100) fremtid, der også vises i HIP. Prognoserne baseres på to forskellige CO<sub>2</sub>-udledningsscenerier (RCP) og viser standardafvigelser på tværs af 17 klimamodeller for at repræsentere usikkerhed.

Alle data kan downloades fra <https://hip.dataforsyningen.dk/> (mere end 5 TB). Dette inkluderer randbetingelser til udvikling af mere detaljerede modeller og kortlægninger til detailplanlægning – og projektering. HIP-data kan også hentes som webservices fra dataforsyningen.dk. Et udvalg af HIP data vises også i KAMP (<https://kamp.klimatilpasning.dk/>, Klima- og arealanvendelsesværktøj for miljø- og planmedarbejdere) sammen med miljø- og plandata, der er vigtige for klimatilpasning.

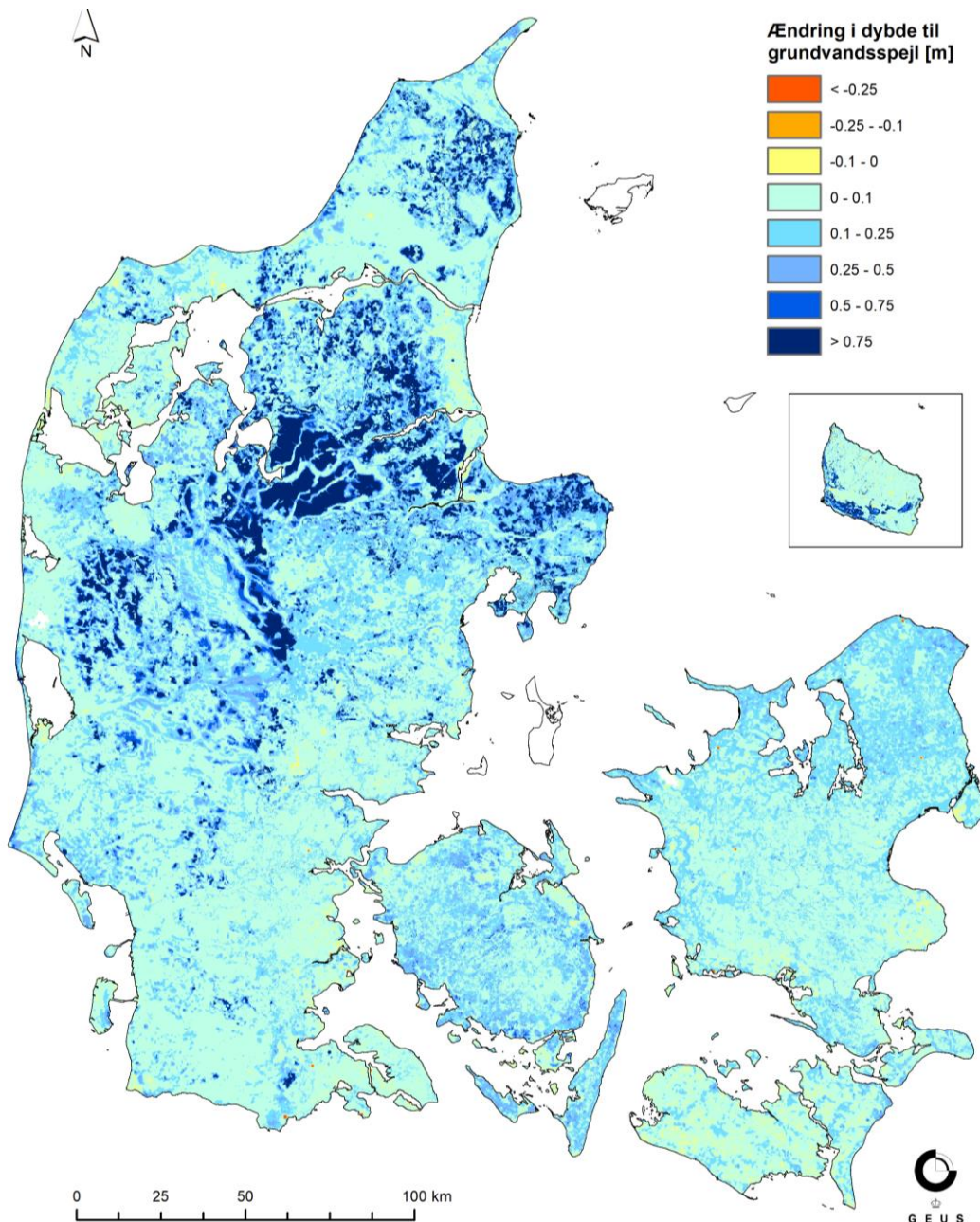
Hipdata.dk er udviklet som en del af digitaliseringsstrategien (2016-2020), hvor der er udviklet nye muligheder for at tilgå målinger og modelberegninger om terrænnært grundvand i et Hydrologisk Informations- og Prognosesystem (HIP). I HIP udstilles det fulde datagrundlag inkl. modelusikkerheder.

Udfordringer med højtstående grundvand (Se Figur 9) [113,114,115] hvor der er vist dybde til grundvand i 10m opløsning [115]. Der foreligger derudover i HIP resultater fra 100m model med statistikker for et større antal variabler samt tidsserier for historisk periode. Ligeledes foreligger der i HIP kort over beregnede klimaeffekter (øget temperatur, fordampning og nedbør, effekt af havstigning på terrænnært grundvandsspejl, vandindhold i rodzonen og vandføring i vandløb. Fremskrivninger for 2071-2100 af terrænnært grundvandsspejl viser gennemsnitlige stigninger på + 28 cm for RCP8.5. Der er beregnet fremskrivning for mere end 60 forskellige temaer for måneder, sæsoner, året, fraktilværdier og ekstremværdier. Stigningen på 28 cm er et gennemsnitstal for Danmark, og dækker over store geografiske forskelle (se Figur 10 hvor stigningen i vinter max grundvandsstanden for terrænnært grundvand er vist baseret på nedskalering fra 500m til 100m).





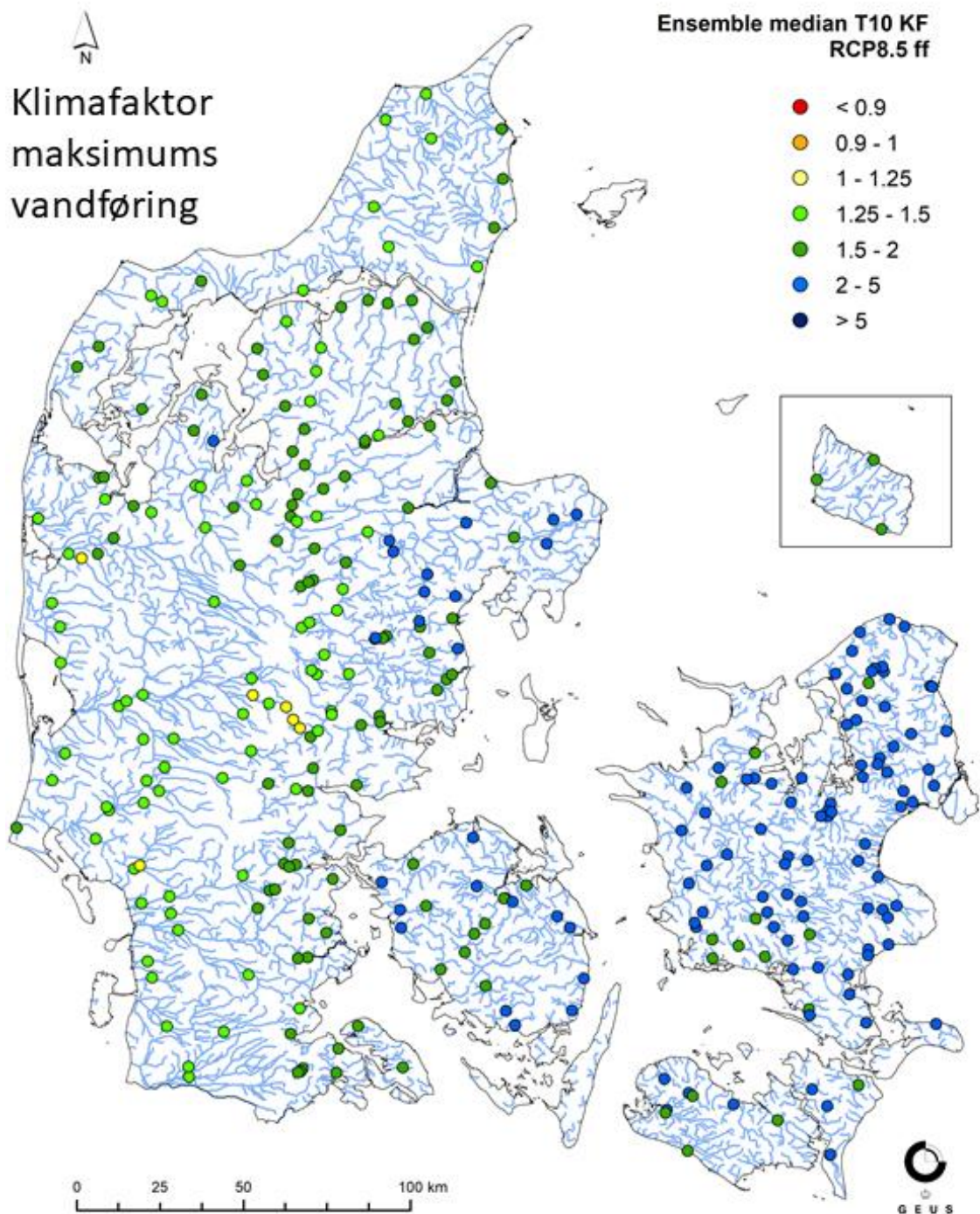
**Figur 9** Højopløseligt kort (10x10m) af dybden til terrænnært grundvand udviklet som en del af HIP. Her vist vintersituationen: december - februar [115]



**Figur 10** Ændring i maxdybden til det terrænnære grundvandsspejl for højt emissionsscenario (RCP8.5) frem mod 2071-2100 i forhold til 1990-2019 [113, 114].

Nogle områder har store stigninger i det terrænnære grundvandsspejl (lyseblå-mørkeblå områder) på visse steder over 0.5 – 0.75 m, mens andre områder har uændret eller blot en begrænset stigning i terrænnære grundvandsspejl (gule-lysegrønne områder dvs. max 10cm stigning). Stigningen i grundvandsstanden, som følge af klimaændringer, er dog kun en del af problemkomplekset der medfører grundvandsoversvømmelser i forhold til kældere, fundamenter som følge af fugtskader og vand i kælderen. En anden del af problemkomplekset er de forøgede vandmængder i dræn og klokker, og dermed overfladenær afstrømning (Figur 11) i by og bynære områder, der på større skala vil medføre en øget mængde uvedkommende vand i klokker og dermed flere overløb med forurening af recipienter samt øgede omkostninger til spildevandsrensning.





Figur 11 Klimafaktorer for maksimumsvandføring (T10 års returværdi) [113, 114].

## 5.2 Samfundsmæssige konsekvenser af højtstående/stigende grundvand

Som nævnt (se afsnit 4.1) tidligere har en undersøgelse af Miljøministeriet [36,86] vist at 450.000 bygninger har et grundvandsspejl tæt på terræn. Af disse har 50.000 kældre. Det er

dog ikke muligt at vurdere hvor mange af disse bygninger der vil blive udsat for oversvømmelser eller hyppigheden for dette. Vurderingen er baseret på HIP screeningskort i 100m opløsning på områder med stor sandsynlighed for højtstående grundvand en del af året (høj overskridelsessandsynlighed svarende til 100m model). Dette grundlag, det vil sige et screeningskort som vist i både HIP og KAMP beskriver imidlertid et vandspejl (hazard kort - på dansk "farekort") og ikke nødvendigvis den samlede risiko for skader på bygninger mm. Det er derfor ikke sikkert at højtstående grundvandsspejl f.eks. <1 m under terræn i en periode hvert år vil give konsekvenser i form af fugtskader eller vil resultere i vand i kælderens. Farekortet kan dog sige noget om hvilke bygninger der i værste fald kan blive udsatte for fugt- og evt. oversvømmelsesskader. For at vurdere den konkrete risiko for disse bygninger skal der imidlertid udover farekortet indregnes sårbarheden (vulnerability) før man kan vurdere risikoen for et givet skadesomfang.

Som en analogi til oversvømmelser fra grundvand kan vi betragte oversvømmelser fra vandløb og hav. I oversvømmelsesdirektivet og i forbindelse med kategorier for oversvømmelser fra f.eks. stormflod eller vandløb forestår Kystdirektoratet udarbejdelsen af vejledning i risikostyringsplaner [116] hvor der indgår oversvømmelsesfare og risiko i forhold til tre delelementer:

- Fareanalyse
- Sårbarhedsanalyse
- Risiko for oversvømmelse

Risikoanalyse kobler således fare med sårbarhed. Fareanalysen er her en analyse af kilde og rute. Hvor kommer vandet fra ?; Sandsynlighed for hændelsen ?; Klimaændringernes påvirkning af oversvømmelsen ?; Effekten af barrierer på oversvømmelsesudbredelsen? Hvilke arealer der oversvømmes ?; Hvor højt vandet kan stå under oversvømmelsen? ; Hvor hurtigt strømmer vandet?. I beregningerne af oversvømmelser fra vandløb inddrager Kystdirektoratet klimafaktorer beregnet af GEUS for vandløbspunkter.

For grundvand er det ved DK model HIP og 10m ML modellen vurderet hvor vandet kommer fra og man kan også vurdere sandsynlighed for hændelsen hvis man benytter fraktil værdier eller returværdier baseret på 100m model. 10m ML modellen er en statisk model for vintersituation (december – februar) som et gennemsnitsniveau men man kan på HIP finde konfidensgrænser (10% og 90%), men egentlig skal man bruge returværdier f.eks T=2, 10 eller 100 års beregninger, hvis man teknisk set skal vurdere sandsynligheden for en hændelse. Klimaændringernes påvirkning kan man også finde i HIP f.eks. med 100m resultater for ændringer af returværdier, fraktilværdier mm. I KAMP kan man se overskridelsessandsynligheder med 100m model og klimaeffekter på dem. Effekten af barrierer på oversvømmelsesudbredelsen er på sin vis indregnet i modellen, og vises i KAMP med udpegning af hvilke bygninger og veje der påvirkes. Farekortet er dermed rimeligt velbeskrevet i HIP og KAMP. Usikkerheden på beregningen kan man vurdere ved sammenligning med pejlinger fra terrænnært grundvand. Det der ikke er udstillet i HIP og KAMP pt. er det der kunne svare til vandhastighed i oversvømmelsesdirektivet. Her er for grundvand, drænmængden knyttet til en given vandstand der er interessant, dvs. den vandmængde forøgelse der f.eks. vil ske som følge af indsvivning til kloakker (som er bekostelig for vandselskabet til rensning). Denne vandmængde vil inkludere det borgere evt. opsamler i omfangsdræn eller med en pumpe i

kælderen og leder til kloakken. Farekortet for terrænnært grundvand mangler derfor en indikering af de mængder der optages af dræn for hvert model grid med de tilhørende klimaef-  
fekter.

Sårbarhedsanalysen er en analyse af modtagerne af 'grundvandsoversvømmelsen' eller 'den vandlidende påvirkning' om man vil. Skader vil optræde ved højtstående grundvand i de øverste par meter under terræn eller mere, afhængigt af hvilken infrastruktur eller hvilke forureningskilder der kommer i spil. Man kan overordnet skelne mellem (1) vand over terræn, (2) vand i 0-1 m's dybde der påvirker huse uden kældre eller fundamenter til infrastruktur f.eks. veje mm., og (3) vand mellem 1-2 m's dybde der kan give fugt eller vand i kælderen. Over 3 m's dybde vil der kun i mere specielle situationer være skader som skal vurderes mere konkret.

Man skelner i sårbarhedsanalyse mellem direkte og indirekte samt uhåndgribelige (engelsk: intangible) og håndgribelige (tangible) skader. I Tabel 8 er vist en sårbarhedsanalyse fra oversvømmelsesdirektivet (KYST 2020). I Tabel 9 er beskrevet GEUSs skøn på en tilsvarende relateret til højtstående grundvand.

**Tabel 8** Sårbarheder kan inddeles i direkte og indirekte samt håndgribelige og uhåndgribelige skader [116]. Tabellen kan bruges for grundvandsoversvømmelser eller vandløbsoversvømmelser med vand der strømmer over terræn.

Oversvømmelsesdirektivet	Uhåndgribelig (intangible)	Håndgribelig (tangible)
Direkte skader	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tab af liv</li> <li>- Fysiske menneskelige skader</li> <li>- Skader på kulturarv</li> <li>- Negative effekter på økosystemer</li> <li>- Forsyningsnetværk ude af drift</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Skader på bygninger</li> <li>- Skader på infrastruktur</li> <li>- Tab for virksomheder</li> <li>- Skader på landbruget</li> </ul>
Indirekte skader	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traumer og mentale problemer for mennesker</li> <li>- Arbejdsløshed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forstyrrelser udenfor oversvømmelsesområdet, f.eks. for transport</li> <li>- Midlertidigt ophold for evakuerede</li> <li>- Produktionstab for virksomheder</li> </ul>

**Tabel 9** Sårbarheder for terrænnært grundvand inddelt i direkte og indirekte samt håndgribelige og uhåndgribelige skader (modificeret efter [116]).

Oversvømmelsesdirektivet	Uhåndgribelig	Håndgribelig
Direkte skader	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tab af liv (hvis man drukner, får stød eller dør af bakterier, virus eller forurening i oversvømmet kælder)</li> <li>- Fysiske menneskelige skader (sygdom mm.)</li> <li>- Skader på kulturarv (fugtskader på fundamenter osv.)</li> <li>- Negative effekter på økosystemer (terrestriske økosystemer)</li> <li>- Forsyningsnetværk ude af drift</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Skader på bygninger (fugt, fundamenter, og på hvad der opbevares i kældre mm)</li> <li>- Skader på oprydning og infrastruktur (vej fundamenter mm.)</li> <li>- Tab for virksomheder</li> <li>- Skader på landbruget (ødelagte afgrøder, hvis man ikke kan køre på marken osv.)</li> </ul>
Indirekte skader	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traumer og mentale problemer for mennesker</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uvedkommende vand i kloaker som føre til øgede rensningsomkostninger</li> <li>- Forstyrrelser udenfor det vandlidende areal, f.eks. for transport</li> <li>- Produktionstab for virksomheder</li> <li>- Forureningsspredning til dybere grundvand (drikkevand)</li> <li>- Stigende forsikringspræmie eller tab af ejendomsværdi (evt. grundværdi?)</li> </ul>

Man kan i KAMP til screeningsformål få en indgang til en mulig sårbarhedsanalyse idet man kan se bygninger og veje der bliver berørt af højtstående grundvand f.eks. under en meter under terræn. Der vises i KAMP en beregnet ejendomsværdi minus grundværdi (10m ML vinter og sommer samt baseret på 100m model og arealer med <1 og <2 m's dybde til terrænnært grundvand overskredet mere end ca. 1 måned pr. år) som et udtryk for potentielle direkte håndgribelige skade.

Det er selvfølgelig ikke et udtryk for skadesomkostningerne, her skal man inddrage forsikringsdata for at vurdere for det første om givne skader på bolig og indbo mm. skyldes højtstående grundvand (eller noget andet f.eks. skybrud, stormflod eller oversvømmelse fra vandløb). Dernæst skal man indregne de værdier der findes i bygningerne f.eks. tabt varelager i virksomheders kældre, øgede vedligeholdelsesomkostninger, skader på oprydning og øvrig infrastruktur, tab for virksomheder og skader på landbruget f.eks. på afgrøder (og øvrige sektorer).

Dernæst kommer de indirekte håndgribelige skader, og endelige de uhåndgribelige direkte og indirekte skader. Skader der ikke kan beregnes, kan evt. blot vises på kortlægningen. Det kunne f.eks. være påvirkning af kendte forureninger (punktkilder), påvirkning af bestemte beskyttede naturområder (terrestriske økosystemer) mm.

I det følgende afsnit vil vi se på nogle eksempler fra Realdania rapport om terrænnært grundvand i danske byer [37], som kan være med til mere konkret at illustrere hvor stor en udfordring vi står med. Det er dog kun en meget begrænset del af en sårbarhedsanalyse. I afsnit 5.4 vender vi tilbage til hvordan udbygning af HIP i de kommende 4 år kan bidrage til en realtidsmodel og prognoser der kan muliggøre en adaptiv klimatilpasningsplanlægning.

### 5.3 Eksempler på udfordringer med højtstående grundvand for udvalgte cases

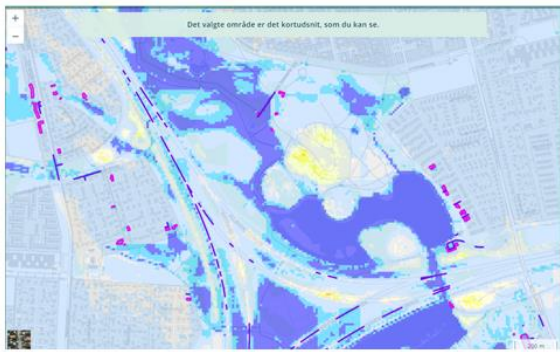
I Figur 13 (side 40-43) er vist eksempler på udfordringer med højtstående grundvand for områder i Danmark der også er beskrevet i Realdania eksempelsamling ([37]). For hvert område er vist kortudsnit fra KAMP med bygninger (incl. bygningsværdi excl. grundværdi) og veje der med hhv. 10m vintersituation (1 m.u.t.) og 100m overskridelsessandsynlighed mere end 10% af tiden (1 m.u.t.) for eksemplerne gennemgået i [37].

Figur 13 er dermed en illustration og analyse foretaget af GEUS for de cases som er omfattet af Realdania's eksempelsamling [37], hvor figuren til højre beskriver hvilke bygninger der er påvirket af højtstående grundvand jf. overskridelsessandsynligheder (det vil sige svarende til Miljøministeriets vurdering af bygninger og veje der er i risiko for skader jf. [36] hvor der på landsplan var 450.000 huse. I figuren til venstre har GEUS vist det tilsvarende udtræk fra '10m maskinlæringskortet' (vinterperioden december-februar). Begge kort er fremstillet ved brug af KAMP værktøjet.

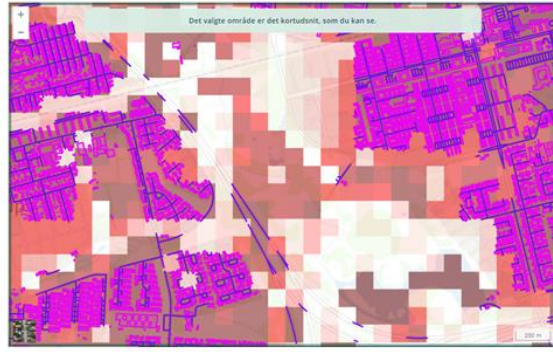
Formålet med analysen har været at illustrere den forskel der kan være på vurderingen af potentiel skadesomkostning (og berørte bygninger) på basis af de to forskellige kortgrundlag, for derved at illustrere at der er stor usikkerhed både på antallet af bygninger og længden af vejstrækninger og placeringen for de udvalgte cases fra eksempelsamlingen. At der er meget stor forskel på de to kortgrundlag viser f.eks. Vallensbæk, Roskilde, Herlev, Taastrup-Valby, Aulum, Holte, Tårnby, Vejlbj-Riskov, Hedensted-Uldum og Odense dvs. områder med terrænnære lerlag typisk moræneler. I områder med sandaflejringer ses generelt større overensstemmelse mellem de to kortgrundlag (10m ML vintermodel og overskridelsessandsynlighed baseret på 100m model).

I Figur 13 er resultater analyseret yderligere i forhold til case beskrivelser fra eksempelsamling [37] og opgjorte skader kvantificeret vha. KAMP for de viste udsnit. I Tabel 10 og 11 er resultater yderligere analyseret i forhold til øvrige arealdata tilgængelige i KAMP.





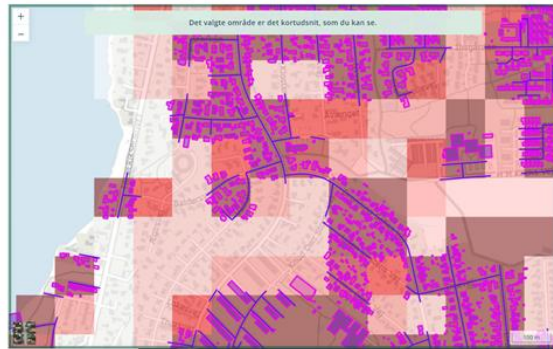
Vallensbæk 58 bygninger (bygningstværdi 51 mio. kr.) - 3.4 km vej



Vallensbæk 4304 bygninger (bygningstværdi 4632 mio. kr.) - 46 km vej



Roskilde 273 bygninger (bygningstværdi 292 mio. kr.) - 2 km vej



Roskilde 1258 bygninger (bygningstværdi 2200 mio. kr.) - 7.8 km vej



Herlev 406 bygninger (bygningstværdi 1770 mio. kr.) - 4.6 km vej



Herlev 2473 bygninger (bygningstværdi 5558 mio. kr.) - 17 km vej



Taastrup-Valby 22 bygninger (bygningstværdi 56 mio. kr.) - 1.3 km vej

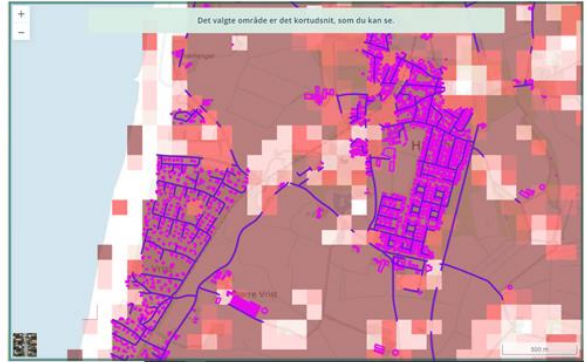


Taastrup-Valby 4581 bygninger (bygningstværdi 3294 mio. kr.) - 32 km vej

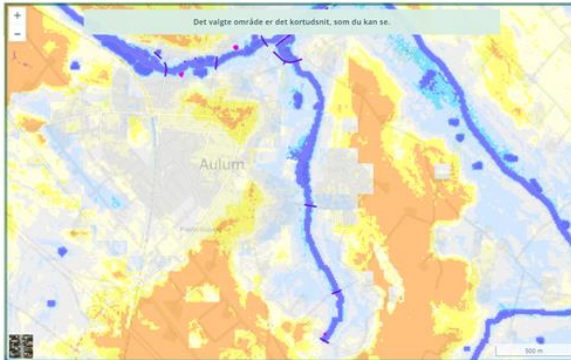




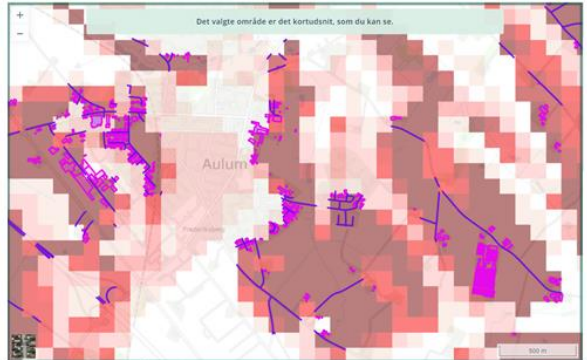
Harboøreland 2367 bygninger (bygningseværdi 831 mio. kr.) - 35 km vej



Harboøreland 1982 bygninger (bygningseværdi 704 mio. kr.) - 27 km vej



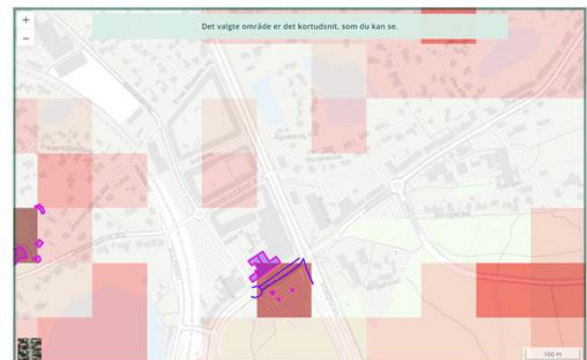
Aulum 6 bygninger (bygningseværdi 2.8 mio. kr.) - 1 km vej



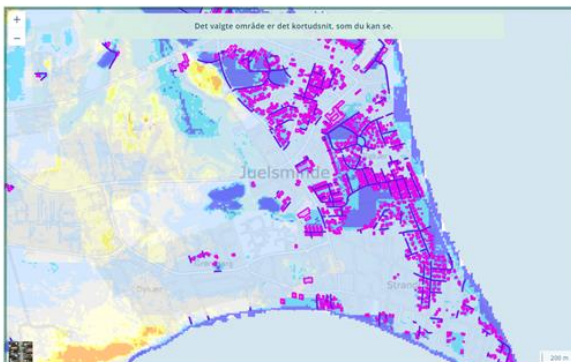
Aulum 519 bygninger (bygningseværdi 275 mio. kr.) - 12 km vej



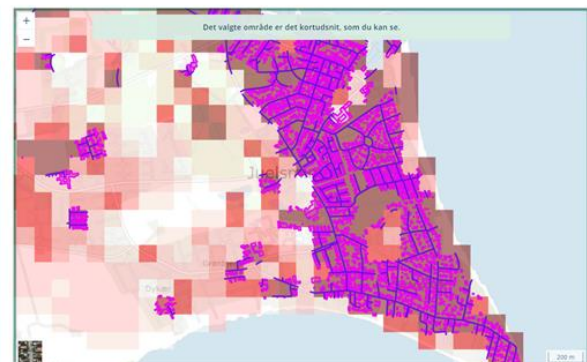
Holte 64 bygninger (bygningseværdi 339 mio. kr.) - 0.7 km vej



Holte 12 bygninger (bygningseværdi 64 mio. kr.) - 0.3 km vej

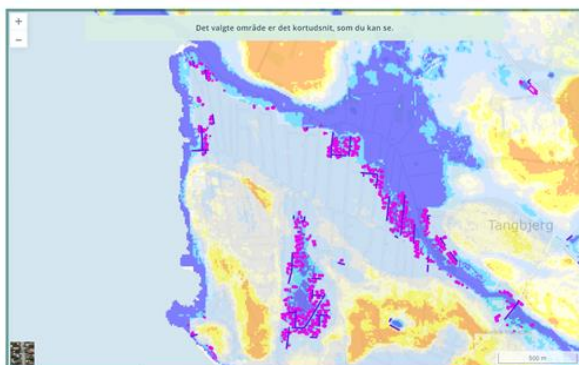


Juelsminde 1223 bygninger (bygningseværdi 670 mio. kr.) - 13 km vej

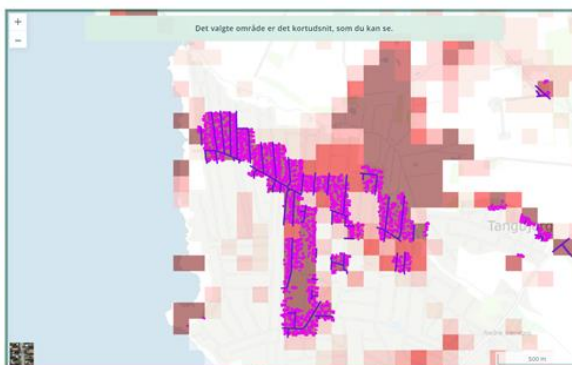


Juelsminde 2423 bygninger (bygningseværdi 1229 mio. kr.) - 0.3 km vej

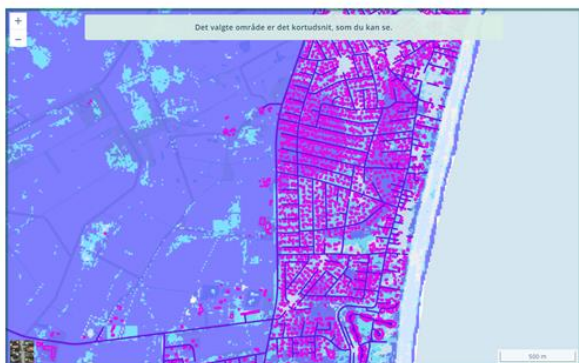




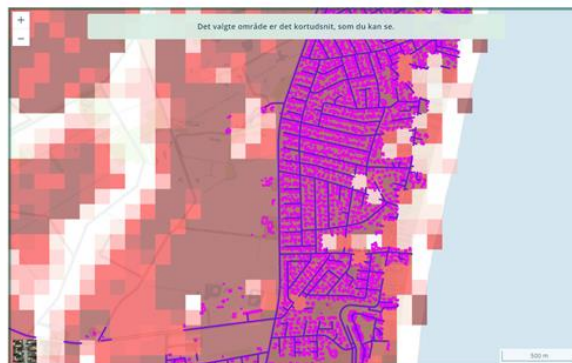
Jyllinge-Nordmark 562 bygninger (bygningseværdi 208 mio. kr.) – 3.5 km vej



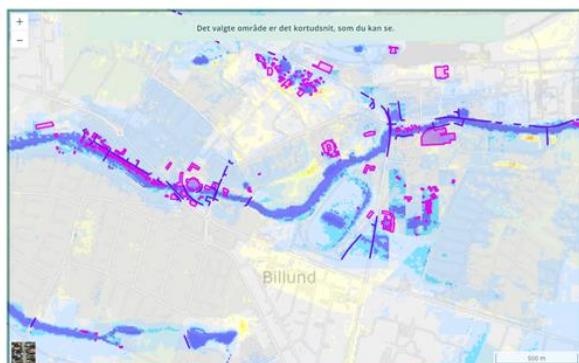
Jyllinge Nordmark 1261 bygninger (bygningseværdi 412 mio. kr.) – 8.2 km vej



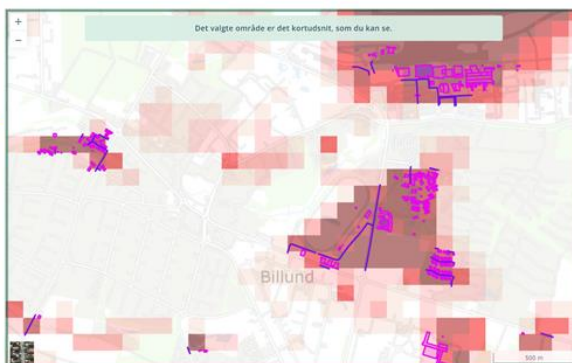
Marienlyst 3418 bygninger (bygningseværdi 952 mio. kr.) – 38 km vej



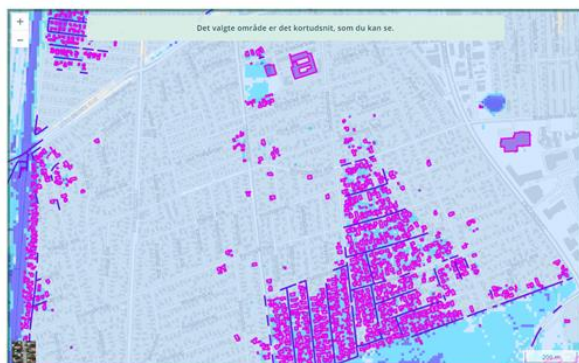
Marienlyst 3137 bygninger (bygningseværdi 858 mio. kr.) – 33 km vej



Billund 235 bygninger (bygningseværdi 454 mio. kr.) – 4.8 km vej



Billund 323 bygninger (bygningseværdi 268 mio. kr.) – 3.7 km vej

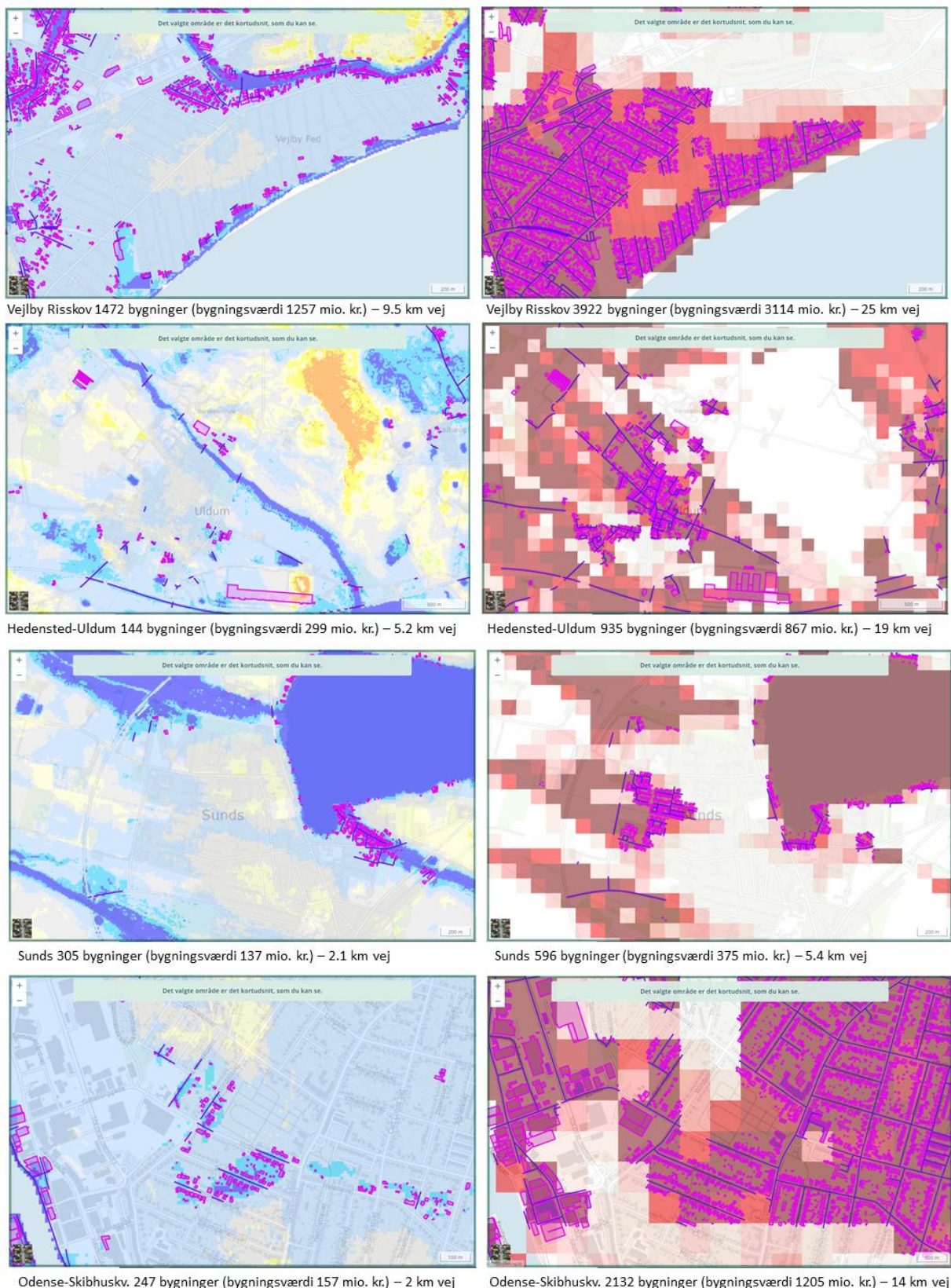


Tårnby 1578 bygninger (bygningseværdi 681 mio. kr.) – 6.8 km vej



Tårnby 7664 bygninger (bygningseværdi 2797 mio. kr.) – 35 km vej





**Figur 13** Udfordringer med højtstående grundvand i dag jf. eksempler fra Realdania [37] identificeret med KAMP ud fra to forskellige temaer, hhv. 10m ML vinter (venstre) og 100m overskridelsessandsynlighed (højre). Se også tabel 10.

**Tabel 10** Oversigt over de 16 eksempel områder (Kilde case tekst: [37]), og hovedresultat af GEUSs analyse af samlede værdier og vejlængder beregnet med hhv. 10m og 100m model vha. KAMP

Nr	Område	Realdania eksempelsamling beskrivelse + fysisk planlægning	10mML Vinter Bygnings- værdi (kr) og km vej	100m Overskrid-p Bygnings- Værdi (kr) og Km vej
1	Val-lens-bæk	Lukning af kildeplads. Løsning: Ved ophør af brug af kildeplads, valgte man fortsat at pumpe af hensyn til den bydannelse, som er sket i årtier, hvor det terrænnære grundvand var sænket	51 mio. /3.4 km	4632 mio. /46 km
2	Roskilde	Lukning af vandværk og indvinding midt i Roskilde by. Lukning af en vandindvindingsboring fører ikke nødvendigvis til stigning i det terrænnære grundvand, og at inkludering af borgere kan give positive resultater	292 mio. /2 km	2200 mio. /7.0 km
3	Herlev	Ændret vandindvinding. Bydele i Herlev fra 1960'erne med både bolig og erhverv udfordres af nedsat og standset vandindvinding, hvilket giver betydelige problemer for både borgere, forsyning og kommune	1770 mio. /4.6 km	5558 mio. /17 km
4	Taastrup-Valby	Eksisterende område med højt grundvand. Årsager til højtstående grundvand er tit komplekse, hvis samspil er vanskelig at gennemskue for aktører, som ikke har den fornødne viden. Flerårig monitoring i boringer hjælper	56 mio. /1.3 km	3294 mio. /32 km
5	Harboøre-land	Intensiveret anvendelse af sommerhusområde i vintermånederne kombineret med øget nedbør og udtjent grøfte- og drænanlæg førte til spildevands-kloakering og etablering af ny pumpe og drænanlæg, med grundejere som medlemmer (pumpelag)	831 mio. /35 km	704 mio. / 27 km
6	Aulum	Grundvand i terræn. Højtstående grundvand i et udviklingsområde blev løst ved terrænhævning ved hjælp af overskudsjord. Simpel måde at sikre mod problemer med højtstående grundvand (byudvikling)	2.8 mio. / 1 km	275 mio. / 12 km
7	Holte	Terrænnært grundvand under bymidten. Holte midtpunkt ligger i lavning, hvor der er tendens til stigende terrænnært grundvand. Området skal separatkloakeres. Svært at tage de fornødne skridt til sikring mod øgede problemer terrænnært grundvand	339 mio. / 0.7 km	64 mio. / 0.3 km
8	Juelsminde	Afvanding gennem grøfter og problemer med havstigninger. Terrænnært grundvand udfordrer lavtliggende områder i Juelsminde. Der er lavet spildevandskloakering af hensyn til æstetik og badevand og arbejdes på stormflodssikring. Højtstående grundvand er ikke italesat i den kontekst	670 mio. / 13 km	1229 mio. / 0.3 km
9	Jyllinge-Nordmark	Afvanding gennem grøfter og LAR anlæg. Et lavtliggende beboelsesområde oplever problemer med højtstående grundvand som følge af at ejendomme og veje afleder regnvand til nedsivning i lerholdige jordlag og ultimativt til de lavest liggende arealer, hvilket resulterer i vand på terræn	208 mio. / 3.5 km	412 mio. / 8.2 km
10	Marienlyst	Nybygget erhverv er etableret med nedsivning af regnvand på egen grund, men grunden har vist sig uegnet hertil, da det terrænnære grundvand i vinterperioden står højt. Forsyningen kan dog ikke tillade en ny tilslutning forsyningens dræn i området	932 mio. / 38 km	3137 mio. / 33 km

11	Billund	WOW-park Billund. Ved etablering af en aktivitetspark oplevede voldsomme, uventede årstidsvariationer i det terrænnære grundvand, herunder egentlige oversvømmelser. Grundvandssænkning/bortpumpning	454 mio. /4.8 km	268 mio. / 3.7 km
12	Tårnby	Det terrænnære grundvand giver borgere fugtige kældre. De uafklarede ansvarsforhold bremser og hindrer løsning. Der er behov for et solidt datagrundlag for det terrænnære grundvand før der kan tages stilling til løsningsforslag omkring grundvandsstand	681 mio. / 6.8 km	2797 mio. / 35 km
13	Vejlby Risskov	Et boligområde langs kysten ved Vejlbj-Risskov oplever problemer med højtstående og opstuvende grundvand. Der er iværksat undersøgelser og samfundsmæssige beregninger for løsninger baseret på henholdsvis etablering af dræn langs vejene i området og grundejernes etablering af dræn på respektive ejendomme	1257 mio. / 9.5 km	3114 mio. / 25 km
14	Uldum	Frem for en sædvanlig separatkloakering er det valgt at lave LAR anlæg til tag- og vejvand som forsinkes, renses og nedsives til nye dræn, som tilsluttes den oprindelige fælleskloakering. I denne løsning holdes det terrænnære grundvand samtidig i sit nuværende niveau uden at give genere. Separatkloakering + tætning af kloakker kan give problemer, derfor denne løsning	299 mio. / 5.2 km	867 mio. / 19 km
15	Sunds	Tætning af kloakker giver fugtige kældre. I kombination med øgende nedbørsmængder har tætning af kloakker givet forhøjet terrænnært grundvand i Sunds. Grundige undersøgelser peger på at den 3. ledning er den bedste løsning, men løsningen er ikke implementeret på grund af manglende hjemmel for kommunen og forsyningen	137 mio. / 2.1 km	375 mio. / 5.4 km
16	Odense Skibhuskvarter	Et stigende terrænnært grundvand, giver problemer for både forsyning og grundejere. Det er konstateret at den mest effektive løsning vil være en kombination af LAR anlæg og en tømmeledning, der fører det rensede regnvand til Odense havn. Dræn kan have positiv effekt	157 mio. / 2 km	1205 mio. / 14 km

**Tabel 11** Oversigt over arealdata baseret på KAMP portal med GEUSs analyse af de enkelte områders kloakeringsforhold, tidligere arealudnyttelse jf. målebordsblade, økologisk tilstand i vandløb, evt. beskyttede natur + vandløb, fredning, jordartsforhold, evt. lavbundsjord og kvantitativ tilstand for underliggende grundvandsforekomst (jf. Vandplan 3)

Nr	Område	Kloakering	Lave målebordsblade	Økologisk tilstand	Beskyttet natur+ vandløb	Fredet område	Jordart	Lavbundsjord	Grundvand Kvantitativ tilstand
1	Vallensbæk	Separat Ukloakeret	Bebygget N	dårlig/ ukendt	Mose, sø overdrev eng, vandløb	Ja	Ferskvandsafl. Moræneler Prækvartær Smeltev.sand	Ådal udbredt: 6-12% Over 12%	Ringe Kalk
2	Roskilde	Fælles Separat	Delvis bebygget	Ikke målsat (fjord)	Mose Sø	Nej	Moræneler Ferskvandsafl. Smeltev.sand	Lokalt 6-12 %	Risiko (god) Kalk
3	Herlev	Fælles Ø Separat V	Delvis bebygget	Ikke målsat	Sø	Nej	Moræneler Ferskvandsafl.	Lokalt 6-12 %	Ringe Kalk
4	Taastrup-Valby	Fælles NV Separat SØ	Bebygget NV	Ikke målsat (dårlig)	Sø	Ja	Moræneler Ferskvandsafl.	Lokalt 6-12% Over 12%	Ringe Kalk

5	Harbøre-land	Ukloakeret	Ubebygget	Ikke målsat (hav)	Hede	Nej	Flyvesand Marint sand+l	Nej	Risiko (god) Sand
6	Aulum	Ukloakeret Separat Fælles	Ubebygget	Ikke målsat (ringe/dårlig)	Sø Mose Eng Vandløb	Ja	Ældre havafll. Moræneler Smeltev.sand	Ådal 6-12 % Over 12%	God
7	Holte	Fælles Separat	Bebygget	Ikke målsat (ukendt moder.potent.	Sø Mose Eng Vandløb	Ja	Ferskvandsafl. Moræneler	Ådal 6-12 Over 12%	Ringe Kalk
8	Juelseminde	Ukloakeret Spildev. K. Separat	Ubebygget strand- eng	Ikke Målsat (hav)	Strandeng	Nej	Marint sand+l Flyvesand Ferskvandsafl. Smeltev.sand	6-12%	God
9	Jyllinge-Nordmark	Overflade- sands- kloakeret	Ubebygget mose	Ukendt (moderat os)	Eng Mose Overdrev Sø	Ja	Marint sand+l Moræneler Ferskvandsafl. Smeltev.sand.	6-12%	Ringe Kalk
10	Marienlyst	Spildev. K.	Ubebygget	Ukendt (hav)	Sø	Nej	Flyvesand Moræneler	6-12 %	Ringe Kalk
11	Billund	Fælles Separat Andet	Ubebygget	Mode- rat/Ringe	Eng Mose Sø Hede	Nej	Ekstramargin. Ferskvandsafl. Flyvesand	6-12%	God
12	Tårnby	Overflade- vands-kloake- ret	Delvis bebygget	Ikke målsat (hav)	-	Nej	Marint sand+l Moræneler Strandvolde	-	Ringe kalk
13	Vejlby Ris- skov	Overflade- vands-kloake- ret	Ubebygget (feddet)	Ringe økol. Pot.	Overdrev Mose Vandløb	Ja	Marint sand+l Strandvolde Moræneler	6-12%	God
14	Uldum	Fælles Separat Overflade- vand	Delvis bebygget	Ringe	Søer Vandløb	Ja	Extramarginal Ferskvandsafl. Moræneler	6-12% >12%	God
15	Sunds	Fælles Separat Overflade- Vands- kloakeret	Ubebygget	Ringe	Sø Eng Mose Overdrev Hede	Ja	Extramarginal Ferskvandsafl.	6-12% >12%	God
16	Odense Skibhus- kvarter	Fælles Separat	Bebygget	Ikke Målsat (havn)	Sø	Nej	Moræneler Ferskvandsafl.	-	Risiko (god)

Det fremgår af Figur 13 at der er store forskelle på de to kort mht. potentielt berørte bygninger og veje der påvirkes af det højtstående grundvand i de illustrerede og analyserede cases. Der er mange forskellige kloakeringsformer i de udvalgte cases. Bebyggelsesgraden jf. målebordsblade varierer. Der er elementer af beskyttet natur og vandløb og fredede områder i mange / de fleste cases. Både ferskvandsaflejringer, moræneler, sand, flyvesand, ekstramarginale aflejringer og marint sand præger de eksempelsamlingens cases. Der findes en del udpegede lavbundsområder. De østdanske cases på Sjælland og Falster har desuden ringe kvantitativ tilstand for grundvandsforekomsterne (mange steder beliggende i kalk). Evt. klimatilpasning med naturbaserede løsninger bør derfor ikke forringe vandbalancen for forekomsterne, samtidig med at indsats i forhold til saltvandsindtrængning som følge af havstigning evt. bør prioriteres i nogen områder.

## 5.4 Planer for videreudvikling af dynamisk HIP model opdatering

HIP leverer landsdækkende modelberegninger til brug for klimatilpasning for dybden til terrænnært grundvand, vandføring og jordens vandindhold for en historisk periode (1990-2019) samt prognoser for fremtiden (2041-2070 og 2071-2100).

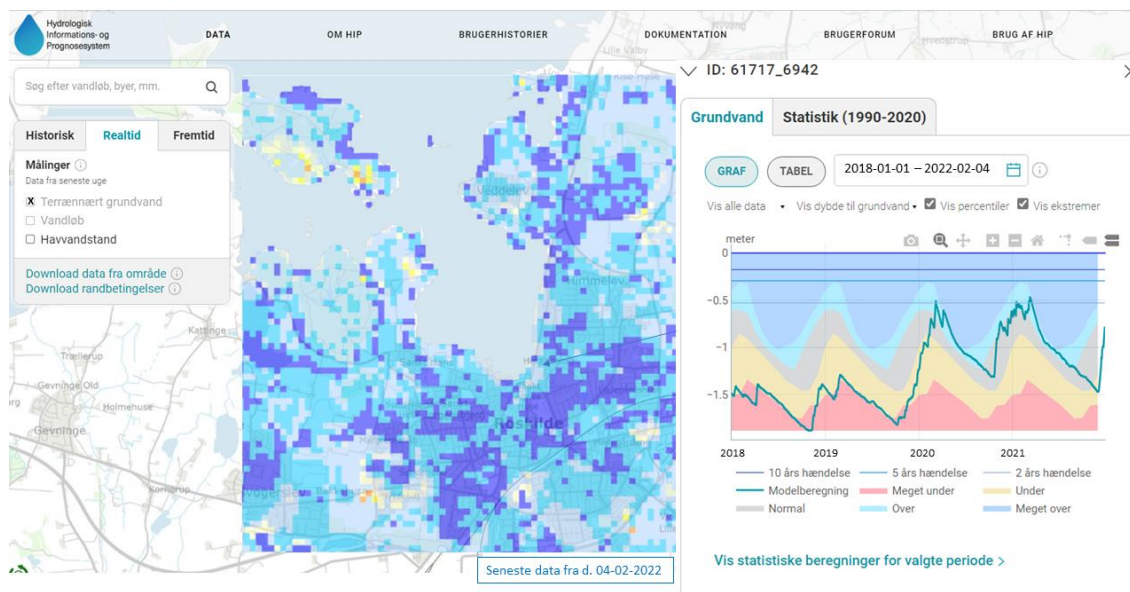
I 2021 har SDFE haft ca. 1 mio. forespørgsler og ca. 6.000 downloads af HIP-data om måneden. Beregningerne, der er foretaget af GEUS, udstilles på Hipdata.dk, hvor der også er modelusikkerheder og målinger. Udvalgte data anvendes i klimatilpasningsværktøjet KAMP.

I takt med at klimaforandringerne allerede finder sted, og der er stor usikkerhed om den fremtidige udvikling og konsekvenserne heraf, er det besluttet at der skal udstilles dagligt opdaterede modelberegninger af vandets kredsløb i HIP til brug for løbende overvågning, planlægning og håndtering af vand (HIP realtidsmodel og prognoser).

De næste fire år (2022-2025) vil Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE) sammen med GEUS og DMI udvikle et system, der kan levere aktuelle, daglige beregninger om vandets kredsløb. Beregningerne skal gøres tilgængelige i det Hydrologiske Informations- og Prognosesystem (HIP), der leverer data til klimatilpasning. Indsatsen betyder, at der dagligt vil beregnes nye dagsværdier for dybden til terrænnært grundvand, jordens vandindhold og vandføring i vandløb (inkl. randbetingelser) for dagen og de kommende 5-10 dage. Disse data skal supplere de historiske modelberegninger fra 1990-2019 og beregnede effekter af klimaændringer, som er tilgængelige i HIP i dag. Ved udviklingen af HIP har kommunerne netop efterspurgt løbende, aktuelle data. Se Figur 14.

Det er ikke kun HIP som planlægges videreudviklet i de kommende år. Som led i digitaliseringsstrategien forventes KAMP-appen videreudviklet til en bredere understøttelse af kommunernes opgaveportefølje. KAMP bliver optimeret forbindelse med udpegningsaf bynære områder, hvor signifikante værdier trues af højtstående grundvand. Endvidere planlægges det at supplere de eksisterende bygningsværdier med egentlig beregnede overslag for økonomiske skader.





Figur 14 Illustration af princippet i en dynamisk opdatering/realtidsmodel der kan vise plankort og tidsserier af vandindhold i rodzonen, dybde til terrænnært grundvand, afstrømning eller randbetingelser hvor den aktuelle tilstand vises i forhold til den historiske periode (som vist til højre for dybde til terrænnært grundvand)

En analyse har vist, at aktuelle dynamiske opdateringer af grundvandsstanden kan anvendes af grundejere, kommuner, vandforsyninger m.fl. til at overvåge, planlægge og prioritere indsatsen til gavn for vandafledning og vandforsyning, optimering af landbrugets udbytte og miljøpåvirkning og beskyttelse af natur, miljø og grundvand. Dagligt opdaterede HIP-data (realtid og prognoser 5-10 dage frem) giver nye muligheder for at forebygge oversvømmelser og understøtte bæredygtig vandforsyning og forvaltning af vandløb og naturområder. Det vil kunne bidrage mere effektivt til ikke kun mere viden om vandsystemer og vandkredsløb men også til planlægning, regulering og nye aftaler om bedre styring af vandkredsløbet i hhv. tørre og våde perioder på basis af den udbyggede overvågning med en kombination af målinger (f.eks. grundvandsstanden.dk og GEUSs modelberegninger fra HIP realtidsmodel, samt lokalmodeller der opereres af forsyninger, rådgivere, kommuner, regioner og øvrige anvendere af HIP).

Dynamiske modelberegninger kan også gavne såkaldt adaptiv planlægning [107] og mindske risikoen for at klimatilpasnings tiltag skal modificeres og udbygges mod høje merinvesteringer, f.eks. øge dimensionen på kloak eller dræningsrør. Med en adaptiv tilgang kan usikkerhed om klimaændringerne håndteres ved, at der udarbejdes en plan med et klart mål og mulige tiltag, der kan sættes i værk, når der opstår kritiske ændringer (tipping points). Overvågning og læring er en vigtig del af adaptiv planlægning, der gør det muligt at tilpasse planer til opdateret viden og behov for at sikre en bæredygtig samfundsøkonomisk udvikling.

Der er ingen erfaringer i Danmark med **adaptiv planlægning** der rækker hele vejen til inddragelse af hydrogeologi og byernes undergrund. I Holland derimod arbejder man i deltaprogrammet med en 5-trins model for adaptiv planlægning [107] der omfatter følgende fem steps hvor 'signposts' er et bærende element:



- Step 1: What are key decisions and actions, adaptation tipping points, and critical assumptions in the adaptive plan?
- Step 2: What developments could trigger implementation of the key decisions or actions or could result in the failure of key assumptions?
- Step 3: What (derivative) signposts could be used to monitor these developments and assumptions and give signal that actions need to be implemented or that the plan may need to be reassessed?
- Step 4: If these signposts are measurable, are they able to give timely and reliable signals for implementation or reassessment of the plan?
- Step 5: What combination of indicators could give timely, reliable, and convincing signals, and will be selected for the signal monitoring system?

I artiklen [107] er der for eksempel fremført '**signposts**' som havstigning (in 2050, 2100 og 2200, antal dage i vinterperioden uden drænkcapacitet fra Lake IJsselmeer og hyppighed af lukninger af stormflodsbarrierer (Maeslant, Eastern Scheldt, Hollandse IJssel), simuleret fremskrevet max og min vandføring in 2050 og 2100 in Rhinen og Meuse, fremskreven rumlig udvikling incl. arealanvendelse, økonomisk værdi og befolkningstal i 2050, nedbørsunderskud (tørke), indtogsstop af ferskvand (som følge af øget saltholdighed), ekstrem nedbør (frekvens og intensitet), heat stress (antal tropedage > 30 grader C og tropenætter > 20 grader C) samt krav til viden og innovation (damage curves cost estimates, measures og strength flood defences).

Det kunne være relevant at udvikle lignende signposts i relation til HIP realtidsmodellen og den nationale vandressource model samt at teste et mere adaptivt planlægnings værktøj i forhold til gængse faste indvindingstilladelser mm. Det ville være helt oplagt i første omgang at få defineret krav til dybde til grundvand mht risikoen for grundvands oversvømmelser, med den skala som DK model HIP kan levere på (100m skala med daglige værdier for vandføring ved > 50.000 vandløbspunkter, dybde til grundvandsspejl og vandindhold i rodzonen samt grundvandsdannelse og randbetingelser for grundvandsmagasiner, og stoftransport, f.eks. nitrattransport). Disse elementer indgår i vandplan grundlaget og det vil være nyttigt at kunne dokumentere hvordan forskellige arealanvendelser samt bufferkapaciteter nu og i fremtiden bidrager til klimatilpasning og samtidig kan bidrage til mitigation af drivhusgasser (f.eks. ændrede vandspejlsforhold på lavbundsarealer).

## 6. Behov for videregående udredningsanalyse af det bebyggede miljø og grundvand

Nærværende litteraturanalyse i kapitel 4 peger forholdsvis entydigt på at der ikke er ret mange eksempler på naturbaseret klimatilpasning hverken fra Danmark eller udlandet med fokus på bebyggede miljø og grundvand. Naturbaserede løsninger som adresserer problemet med højtstående grundvand, f.eks. urbane åløb, er underbelyst i litteraturen. Der er identificeret en håndfuld løsningsmuligheder på højtstående grundvand (NBS-K1) hvoraf det primært er grå løsninger som dræning (det tredje dræn) som er vurderet effektive. Men vurderingen af effektivitet jf. f.eks. Sunds projektet (Topsoil, <https://northsearegion.eu/topsoil/pilot-areas/>) [6, 36a] er samtidig snæver, idet merværdi (co-benefits) ikke er fuldt ud inddraget i økonomiske analyser af f.eks. bynær skovrejsning, urbane vandløb mm. Det fleste internationale eksempler på afværgetiltag i forhold til grundvandsspejlet omhandler problemer med for stor afsænkning af grundvandsspejlet i byområder (kombination af for stor grundvands-sænkning fra f.eks. vandindvinding, tørkeskader på infrastruktur og pælefundering eller som følge af særlige geologiske forhold mm.).

Der er derimod et meget større antal eksempler på naturbaserede løsninger i forhold til urban dræning, oversvømmelser fra vandløb eller hav (NBS-K2), og i visse tilfælde er der set eksempler på maladaptation f.eks. når LAR løsninger giver utilsigtet højtstående grundvand som set i en række danske eksempler. Når det gælder lidt mere komplekse problemstillinger med vandkvalitet eller effekter på urbane grundvandsafhængige akvatiske og terrestriske økosystemer er der et meget stort vidensbehov, og meget få eksempler på egentlige undersøgelser af sådanne forhold.

Der er generelt meget få eksempler på cirkulære løsninger der har fokus på det bebyggede miljø og grundvand. De eksempler der er fra f.eks. Høje Tåstrup, Frederiksberg og andre steder går primært ud på at fortsætte f.eks. en indvinding fra en kildeplads, for at undgå øgede problemer med højtstående grundvand, og i stedet bruge vandet til varmeproduktion og/eller køling.

I forhold til EU's klimatilpasningsstrategi er der derfor et kæmpestort vidensbehov når det gælder mere systemiske udredningsanalyser der omfatter planlægning af klimatilpasning, cirkulære løsninger, og fokus på resilience og risiko for bydele der trues af højtstående grundvand (i stedet for lokale projekter af f.eks. et vandværk eller øvrige typer asset management).

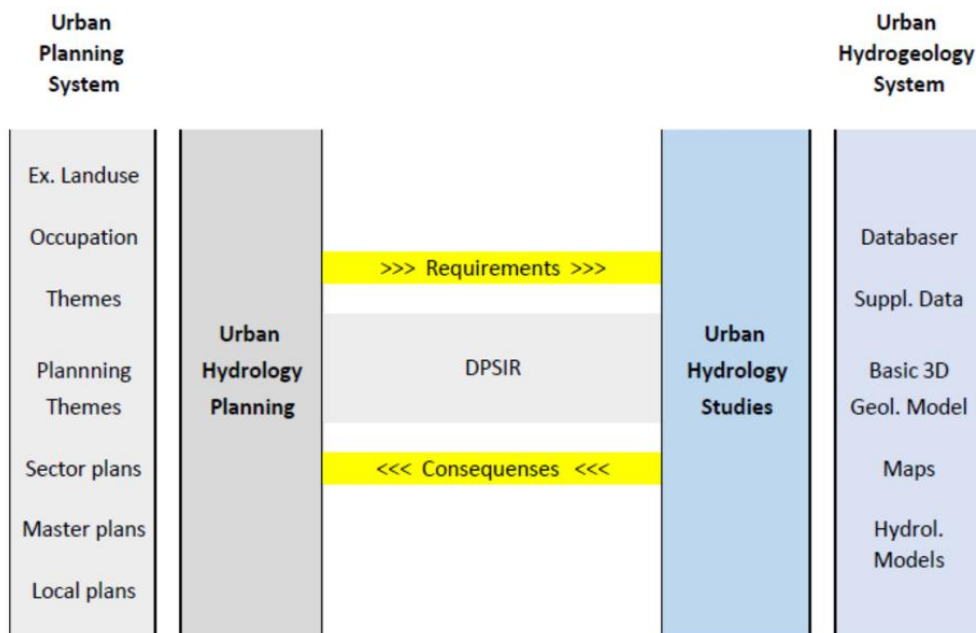
Byplanlægning med inddragelse af naturbaserede løsninger, beslutningstagning og management og vedligeholdelse af naturbaserede løsninger der mere systematisk har fokus på resilience og bæredygtighed med en hydrogeologisk fokus [8] er derfor meget sparsom i litteraturen, og metoder til vurdering af bæredygtighed og resilience, der inddrager betydningen af undergrundens (bygeologisk) og infrastrukturens forhold, hydrogeologi og hydrologi, og behovet for en mere helhedsorienteret planlægning og omstilling er derfor nærmest ikke eksisterende.

Temaer som 'naturlige og menneskeskabte processer med relation til ferskvandskredsløbet og balancen i forhold til f.eks. saltvandsindtrængning' spiller her en nøglerolle, og det samme gør 'forskellige (urbane) forvaltningskalaer' hvor forvaltning (governance) kan være på grænseflade mellem (i) grundvands ressourcer og kloak/dræningsnetværket (vertikal grænsezone), (ii) by-arealer tæt på kysten der kan blive påvirket af havspejlsstigninger (horisontal

grænsezone) eller (iii) der hvor grænsezone mellem by-areal og grundvandsstanden er varierende på kort sigt (højtstående grundvand, måske relateret til stormflods hændelser) og lang sigt som påvirket af klimaændringer ( 'flydende' grænsezone) [87]. For at sikre en bæredygtig klimatilpasning med positive effekter for det bebyggede miljø er det vigtigt at urban forvaltning / planlægning går på tværs af disse tre forskellige typer, og i kontekst af denne rapport at grundvands dynamik samt ændringer heraf som følge af klimaændringer bliver en integreret del af byens klimatilpasnings strategi. Et urbant observatorium har været under udvikling i Odense [8] som en del af COST Action TU1206Sub-Urban—'A European network to improve the understanding and use of the ground beneath our cities', og øvrige projekter [personlig kommunikation Kidmose 2022 + NORDRESS [8, 120, 121] m.fl.].

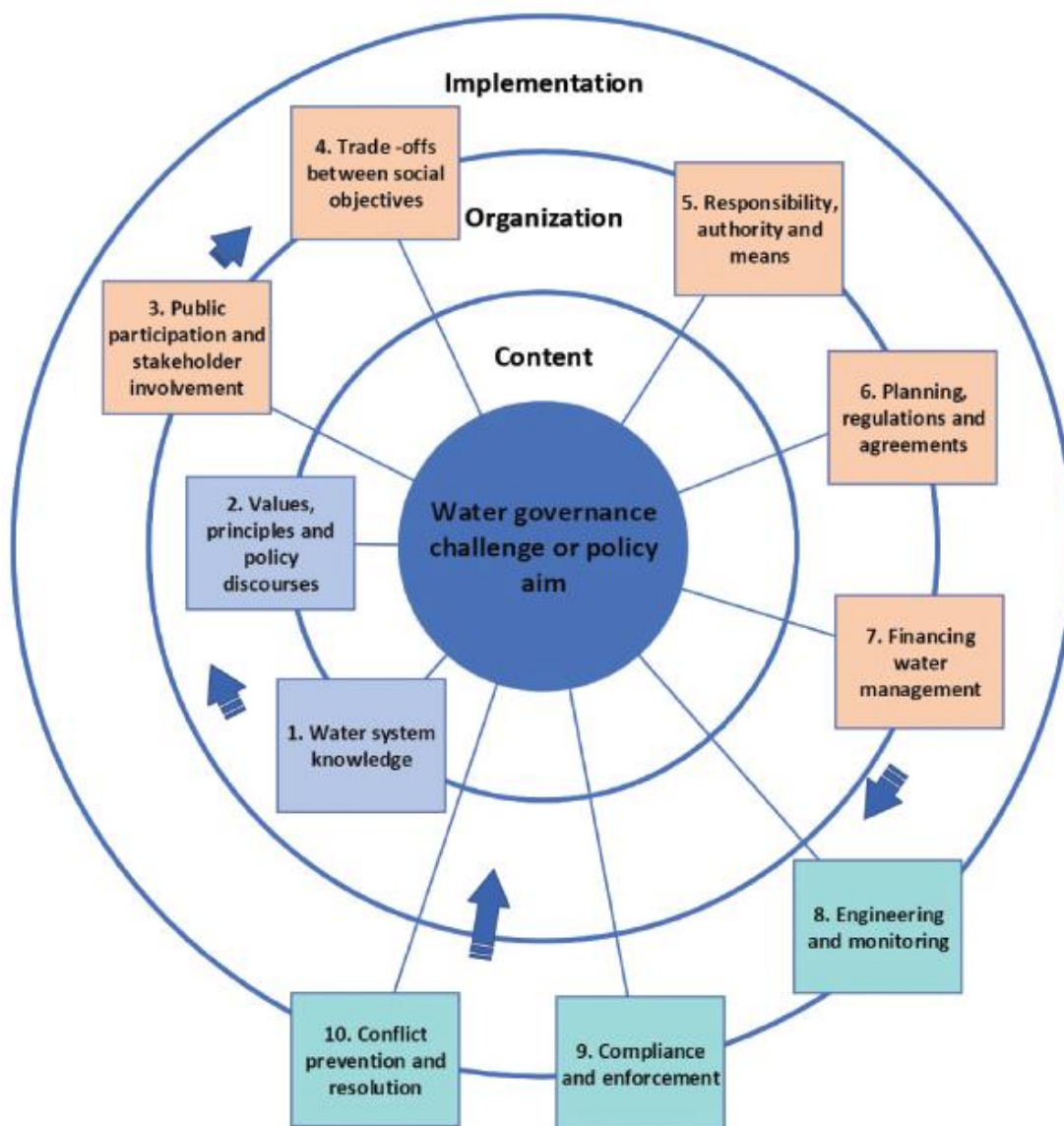
Herved er der udviklet en konceptuel forståelse på basis af en vifte af projekter i Odense gennem de seneste årtier bl.a. med en dybere forståelse af betydning af det sub-urbane miljøes repræsentation i modelværktøjer (grundvandsoversvømmelse mm.), som har givet ny forståelse af hvordan urbane modeller (MIKE URBAN) skal/kan integreres med grundvandsmodeller (MIKE SHE/MIKE HYDRO), se også [36b].

Erfaringerne fra Odense og andre byer f.eks. Horsens (KIMONO projektet) har vist at en hovedudfordring er at kunne planlægge på tværs af det urbane plan system og det urbane hydrogeologiske system [8], altså forholdet i den vertikale grænsezone [87] som definerer såvel resilience som sustainability i forhold til areal og grundvandsressource (se Figur 15). Men udfordringen er, at der også er vand fra andre sider, f.eks. fra havstigning/stormflod, fra vandløbsoversvømmelser eller fra oversvømmelser af de urbane drænsystemer (spildevand og regnvand), og derfor er det nødvendigt at arbejde med et integreret modelsystem der dækker hele vandkredsløbet, inkl. det overfladiske og underjordiske vandkredsløb, menneskeskabte såvel som naturlige processer, i eksisterende såvel som nye byområder, og for nutid såvel som under fremtidige klimatiske forhold midt og sidst i det 21 århundrede. Her kommer desuden usikkerheden på urbane plan elementer, plankrav og konsekvenser fra hydrogeologien og grundvandet i spil, således at man planlægnings- og forvaltningsmæssigt med fordel kan håndtere systemet og de tilknyttede naturbaserede løsninger jf. en adaptiv planlægnings metodik [107] der evt. også understøttes af en realtids- og prognosemodel som en del af det værktøjsmæssige og teknologiske grundlag.



Figur 15 Interaktionen mellem det urbane planlægningssystem og de urbane hydrogeologiske konsekvenssystem (Drivers, Pressures, States, Impacts, Responses (DPSIR) [118, 119]). Bemærk at figuren ikke eksplicit gør rede for de hydrogeologiske konsekvensers karakter [8]. Kan være såvel af fysisk karakter (vandstand/flow/vandtemperatur, vandkemi/forureningsspredning/saltholdighed, terrestrisk/akvatisk økologi, sætninger/effekter på infrastruktur/fugt/vandskader mm. Kan også være af mental eller socio-økonomisk (ejendomsværdi osv.) karakter samt om mere generel biodiversitet i byområder.

Dette peger på behov for et tværvideenskabeligt projekt der inddrager urban plan system, hydrogeologisk system, og øvrige forvaltningsmæssige (governance) elementer såsom ingeniørvideenskab & overvågning. Et tværvideenskabeligt projekt skal desuden have fokus på øvrige governance grundelementer (building blocks), se Figur 16. Denne fremgangsmåde er udviklet af [122] og evalueret i [111] for at anvende og vurdere vandforvaltning hvor interdisciplinær viden og helhedsorientering er i fokus og som har været anvendt for forvaltning relateret til vand kvantitet, kvalitet og oversvømmelser [111]. Som det fremgår af figur 16 er metoden iterativ og består af tre dimensioner 'indhold'. 'organisation' og 'implementering'. Fordi metoden grundlæggende har en inter og tværdisciplinær tilgang er det centralt at der udover (grundvands) hydrologisk viden inddrages en række videnskabelige discipliner der kan dække indholdet af boksene (elementer) 1-10 i Figur 16, dette inkluderer sociale og økonomiske discipliner samt f.eks. arkitektur (se ecological urbanism [117]). For sikre helhedsorientering gennem en bred orienteret tilgang



Figur 16 De 10 bærende elementer (building blocks) i vandforvaltning og vand-governance [111]. Permission by authors.

I nærværende rapport har fokus været på tre af af de ti governance elementer:(1). Water system knowledge' (vandsystem viden), (6). Planning, regulations and agreements' (planlægning, regulering og aftaler) og (8). Engineering and monitoring' (ingeniørvidenskab og overvågning). I det følgende afsnit fokuseres på en diskussion af behovet for et opfølgende tværgående projekt med udgangspunkt i disse tre governance elementer (1., 6. og 8.), med inddragelse af referencer fra nærværende litteratur/desk-studie. Først er der anbefalinger om hvordan ovennævnte tre elementer adresseret i nærværende rapport kan udvides til at omfatte adaptive og forvaltningsmæssige aspekter (governance i Figur 16). Derudover vil vi komme med anbefalinger hvordan de øvrige elementer, 2-5, 7, 9-10 kan adresseres i en videregående udredningsanalyse.

### **Vandsystem viden** (Element 1).

Med HIP data systemet bliver viden efterhånden tilgængeligt for nutid, nær og fjern fremtid for terrænnært grundvand og med randbetingelser for det dybere grundvand. Realtidsdata og prognoser er på vej i de kommende 4 år, og det vil give nogen helt nye muligheder for at skabe bevågenhed (i form af en egentlig digital tvilling, med forbedrede kommunikationsmuligheder til både borgere, lodsejere, interessenter og myndigheder). Viden bliver derved mere dynamisk, og kan indgå til en gradvis bedre styring, og adaptiv planlægning.

På baggrund af litteratur gennemgangen i kapitel 4 og analysen af HIP og KAMP værktøjer belyst gennem udfordringer med højtstående grundvand i byer har det vist sig (kapitel 5) at der er et klart behov for at få udviklet mere viden om specielt **sårbarhed** (vulnerability) og **exposure** i forhold til dybde til grundvandsspejl og vandindhold i rodzonen (vandlidenhed). Det man anvender i dag er primært farekort (hazard maps) når det gælder højtstående grundvand. Der er et behov for at kigge nærmere på grundvandsstand – økonomiske skader relationer (**skade funktioner**) afhængigt af dybden til grundvandet, for forskellige bydelstyper. Der er desuden planer om videreudvikle KAMP så beregninger af eksisterende bygningsværdier suppleres med egentlig beregnede overslag for økonomiske skader. På klimatilpasning.dk findes desuden værktøjer til vurdering af hydrologiske effekt af forskellige enkeltstående LAR-elementer (værktøjet [LAR potentiale](#)). Dette værktøj som er udviklet som en del af et MUDP projekt er tænkt som en hjælp til at give et hurtigt overslag på om givne LAR-løsninger (NBS-K2) overholder opstillede mål og servicekrav. Eksempler på NBS'ere der kan laves beregninger på: Regnbed, faskine, hævet drosselledning (konstant afledning til kloaknet), grønt tag, vådt bassin osv. Disse beregninger er primært anvendelige til overslag, til detailvurdering henvises til spildevandskomiteens dokumentation. Med hensyn til skader ved højtstående grundvand er der på klimatilpasning.dk af NIRAS udarbejdet et [notat](#) om estimering af omkostninger til genopretning. Der er formentlig behov for udvikling af bygnings-specifikke syntetiske dybde-afhængige skadesfunktioner der kan beskrive forskellig hybrid og NBS løsninger med henblik på skadesvurdering for højtstående grundvand (jf. GRUWAD modellen som er præsenteret af NIRAS i dette notat). Udover skades omkostninger (damage costs) er der desuden behov for at kunne værdisætte merværdier (co-benefits) af forskellige naturbaserede løsninger (NBS-K1, K2) (f.eks. sundhed, biodiversitet osv.)

**Vedligeholdelse af naturbaserede løsninger** ved man ikke meget om i dag (f.eks. [108]). Hvordan overvåger man effektivitet af forskellige løsningen og behovet for løbende vedligeholdelse?

Endelig er der et behov for at undersøge hvordan **realtidsmodel og prognoser** kan bidrage til implementeringen af naturbaserede løsninger jf. målsætninger i EU's klimatilpasningsstrategi, herunder hvordan citizens science data for grundvand [120] kan understøtte implementeringen af forskellige løsninger [NBS-K1-K2-K3] og engagere borgere og private aktører i co-produktion [123, 124].

**Usikkerhed** spiller en særlig rolle i vandsystem viden, og vurdering af 'resilience' på system-niveau forudsætter derfor klarhed og gennemsigtighed om usikkerhedskilde, vidensdeling og usikkerheder relateret til naturlig variabilitet (f.eks. at vejret veksler mellem våde og tørre perioder, inkl. effekter af klimaændringer på variabiliteten, sæsoner osv.). HIP-data udgør her nye muligheder for at analysere sæson- og månedsvariationer, samt daglige data og klimaeffekter på f.eks. dybde til terrænnært grundvand. Hertil kommer så statistisk (eller

stokastisk) og epistemisk usikkerhed på vidensgrundlaget. Endelig er der flertydigheden ('ambiguity') som er en usikkerhedskilde. Nogen af disse usikkerheder kan reduceres (epistemisk) ved at ny viden kommer til, mens andre ikke kan reduceres (stokastisk). Robusthed eller 'resilience' er nøglebegreber der i princippet kan anvendes både om de enkelte NBS'ere, og om det samlede system, de indgår i. Når det gælder robuste beslutninger om f.eks. klimatilpasning, disaster risk reduction eller planlægning og vandforvaltning og vurdering af effekter er der en række vidensgab f.eks. hvilken skala (by, opland, region), hvilke indikatorer (f.eks. til at måle virkninger af naturbaserede løsninger [5]), hvilke verdensmål (SDGs) [22, 47, 68, 84, 124] osv.

Klimaændringer er fænomener der optræder på en tidsskala svarende til år til dekader, mens demografiske ændringer og ressourceforvaltning på måneder til år. Infiltration af grundvand optræder til sammenligning typisk fra time til måneder, mens magasinerings i kloaksystemer og skybrud har en tidsskala på minutter til dage. I forhold til tidsskalaen har forskellige problemer og værktøjer f.eks. infrastruktur planlægning en tidsskala på år til dekader, mens at asset management (vandforsyning og spildevandshåndtering) har en skala på måneder til dekader. Byggearbejder har typisk en skala på dage til år, mens vedligeholdes typisk har en skala på dage til måneder.

Der mangler fortsat en masse viden om disse usikkerheder der er karakteristisk for byområder, og der findes forskellige metoder til reduktion af forskellige usikkerheder. I praksis produceres og tilgængeliggøres viden om vandsystemer af en række myndigheder på forskellige skala og i forskellige sektorer. HIP systemet er f.eks. et resultat af den fællesoffentlige digitaliseringsstrategi (FODS) initiativ 6.1 for vand, klima og terræn. Et andet eksempel er den fællesoffentlige Jupiter-database (der indeholder informationer om mere end 370.000 borer og 35.000 vandindvindingsanlæg, som Miljøstyrelsen igangsætter som led i regeringens digitaliseringsstrategi, som er blevet offentliggjort 5. maj 2022. GEUS er Danmarks geologiske datacenter, og Jupiter er GEUS' landsdækkende database for grundvands-, drikkevands-, råstof-, miljø- og geotekniske data. GEUS' modernisering af Jupiter-databasen skal resultere i bedre og automatiserede rutiner til kvalitetssikring samt lettere informationsøgning, som i sidste ende kan effektivisere opgaver som løses i det offentlige. Det gøres f.eks. ved at målrette databasen til de enkelte målgrupper, så de får lettere adgang til data. Når GEUS som en del af videreudviklingen af HIP data, udvikler dagligt opdaterede modelberegninger der eksempelvis viser dybden til terrænnært grundvand, jordens vandindhold og vandføring i vandløb for de kommende 5-10 dage, så er det netop begrundet i at noget sådant er efterspurgt af anvendere af HIP i arbejdet med at forebygge oversvømmelser samt sikre bæredygtig vandforsyning og forvaltning af vandløb og naturområder. Sideløbende hermed skal GEUS' DK-model desuden videreudvikles, så den kan levere data om vandføring og grundvand til DMI's fremtidige varsling af oversvømmelser i Danmark.

#### **Planlægning, regulering og aftaler (Element 6).**

Hovedtemaer er udfordringen med vidensbaseret forvaltning af land og vand og dets interaktioner mere helhedsorienteret således at klimatilpasning i forhold til urban dræning samtdænktes med den rumlige planlægning samt håndteringen af grundvandet og grundvandsressourcen under byområder [3,8,87].

Et brugbart **analytisk framework** [87] kunne være baseret på en skelnen mellem: (1) den vertikale grænsezone (the vertical frontier), mellem rumlig planlægning og urban/peri-urban arealanvendelse på den ene side og grundvandsudnyttelse og -beskyttelse på den anden side, (2) den horisontale grænsezone (the horizontal frontier) med reference til kystlinie og vandløbsreference, og endelig (3) den flydende grænsezone (the fluent frontier), som omfatter oversvømmelseshændelser f.eks. havstigning /stormflod.

Her kunne man undersøge hvordan de tre forskellige grænsezoner spiller sammen med mulige løsninger på højtstående grundvand [NBS-K1], eller kan skabe utilsigtede virkninger af øvrige naturbaserede løsninger [NBS-K2]. Ligeledes i forhold til cirkulære løsninger [NBS-K3].

Hypotesen er her at mange udfordringer udspiller sig hvor to eller flere grænsezoner samvirker jf. analogien med 'vand fra alle sider', hvor det fortsat er sådan at grundvand er generelt underbelyst i forhold til hav, vandløb, og urbane drænsystemer/skybrud.

Terrænnært grundvand er derfor særligt **komplekst** fordi alle tre grænsezoner godt kan være i spil samtidigt, og man derfor er nødt til at anvende en forvaltningspraksis der har særligt fokus på stedets betydning (som f.eks. i territorial og/eller adaptiv governance). Helhedsorienteret vandforvaltning som f.eks. IWRM har ikke helt den samme fokus på stedet, her har man mere fokus på opstrøms og nedstrøms problemstillinger. Endelig er der NEXUS begrebet der fordrer samtænkning af sektorer f.eks. i water security sammenhæng (vand, energi, fødevarer og miljø/biodiversitet). Arbejdet i sammenkoblingen af grænsezoner fordrer en særlig høj opløsning f.eks. af data vedr. fluent grænsezone (vandlidende arealer og dybde til terrænnært grundvand, typisk på en skala omkring 10m), mens at det dybere grundvand (vertikal grænsezone) kan håndteres i større skala typisk omkring 100m.

State of the art indenfor planlægning og regulering er at regulering der omhandler vandproblemer skal være legitime og adaptive. Legitimitet forudsætter en høj grad af interessentinvolvering og åbne diskussioner omkring alternative løsningsmuligheder herunder NBS [124]. Såfremt involvering rækker ud og opnår accept i den brede offentlighed vil legitimiteten øges. Der findes som beskrevet i nærværende rapport mange eksempler [f.eks. 112] at såkaldte bløde reguleringer (soft regulations) ofte kan være mere fleksible og adaptive end regulering via lovgivning. Omvendt vil bløde reguleringer imidlertid ikke kunne implementeres pga. manglende 'enforcement'. Integrationen af rumlig planlægning og vandplanlægning/-forvaltning er her en særlig udfordring. God og fornuftig rumlig planlægning kan på mange måder bidrage til f.eks. grundvandsbeskyttelse, i forhold til Boring Nær Beskyttelses Område (BNBO) og grundvandsdannende oplande mod forskellige aktiviteter og forureningsrisici. Tilsvarende kan rumlig planlægning være en integreret del af 'flood risk management' [59], og byudvikling i forhold til områder med højtstående grundvand nu og i fremtiden. I mange lande er rumlig planlægning og vandforvaltning dog ret adskilte discipliner, og integrationen på tværs af den vertikale frontier er derfor en særlig udfordring. Det samme gælder integration på tværs af miljø, energi, landbrug, sundhed og industriel regulering, hvis der skal implementeres forpligtende samarbejde på tværs. Det peger i retning af et behov for bedre integration af arealplanlægning og vandforvaltning.



### **Ingeniørviden og overvågning (Element 8).**

Man skelner ofte mellem screening og detailmodellering når man vurderer krav til modelgrundlag og usikkerheder. Værktøjer som HIP der udvikles i realtids- og prognose version i de kommende fire år, vil utvivlsomt yderligere understrege denne diskurs. Specielt er der stor forskel på krav til plangrundlag for nybyggeri/byggemodning og eksisterende byggeri. Et tværdisciplinært projekt bør derfor inddrage elementer såsom forsikringsværdi af forskellige løsninger, screening versus detailvurdering, og krav til kortlægning og overvågning. Her bør indgå inddragelse af IoT, datadrevne modeller, maskinlæring og beslutningsstøttesystemer.

NBS – er adaptiv og flugter godt med at fremtiden er usikker og tilstanden der klimatilpasses imod er i varierende grad usikker eller ukendt.

Klimatilpasning skal foregå via adaptiv tilpasning og adaptiv planlægning som kan håndtere både usikkerhed ved hvordan klimaændringerne bliver, men også hvordan hydrologiske forhold og specielt det terrænnære grundvand udvikler sig. Viden om det sidste er meget usikker, da specielt beskrivelsen af den underjordiske hydrologi er behæftet med systemiske usikkerheder (selv for nutid situationen). For at foretage adaptiv planlægning af klimatilpasning for det det terrænnære grundvand (og grundvand generelt) skal ændringer monitoreres systematisk for at kontinuert vurdere tilpasningens værdi og behov for revision, også for utilsigtede afledte effekter. Herunder skal der defineres elementer som beskriver hvornår og hvordan klimatilpasnings strategier skal tilpasses på grund af ændrede forhold (trigger/tipping points eller signposts [107]) i den adaptive klimatilpasning. Klimatilpasning i forhold til vandrelaterede farer ved hjælp af NBS skal derfor ikke opfattes som endelige løsninger dimensioneret til specifikke hændelser men opfattes som midlertidige foranstaltninger med stor mulighed for tilpasning til løbende observerede ændringer.

Implementering af serviceniveauer i forhold til forskellige typer oversvømmelser fra vandløb samt tilhørende gentagelsesperioder (acceptgrænser) er i dag en særlig forvaltningsmæssig udfordring. I dag indeholder eksempelvis vandløbsloven ikke klimatilpasning i formålsparagraffen, og krav til f.eks. hvor meget vand et vandløb skal kunne aflede (for en veldefineret returværdi) i dag og i et fremtidigt klima er ikke veldefineret i vandløbsregulativerne. Implementering af naturbaserede løsninger og eller grå løsninger vanskeliggøres derfor. Der er et behov for et bedre overvågningssystem af vandføringsevnen både om vinteren hvor store afstrømninger typisk foregår, og om sommeren hvor grødvækst er størst. På grund af store usikkerheder på både vandføringsevne, max vandføring og ikke mindst vandstande i f.eks. vandløb og tilknyttede grundvandsmagasiner, er der behov for en adaptiv tilgang med overvågning af såvel vandstande, vandføringsevne samt også operationel overvågning af forskellige naturbaserede og grå løsninger. Det samme gælder operationel overvågning af tilstanden i overfladevand og grundvand (f.eks. påvirkning fra LAR løsninger) [112]. Det er vigtigt her at huske af 'ingeniørviden' ikke kun er grå løsninger, men derimod også blå og grønne NBS løsninger, og at det er vigtigt specielt med NBS at overvåge behov for vedligeholdelse af sådanne løsninger, samt behov for udbygning/effektivisering af NBS løsninger, hvis ikke de er tilstrækkelige til at sikre et fastlagt serviceniveau.

## Anbefalinger

Ovennævnte beskrivelser af (a) vandsystem viden (element 1 i figur 16), (b) planlægning, regulering og aftaler (element 6) og (c) ingeniørviden og overvågning (element 8) leder til følgende anbefalinger om videregående udrednings analyser. Der tages udgangspunkt i en adaptiv tilgang da forudsætninger for klimatilpasning generelt og specielt i forhold til højtstående grundvand i konteksten her er behæftet med stor usikkerhed af forskellig karakter, og i større grad under klimaændringer. Herigennem kan en klimatilpasnings strategi ift højtstående grundvand løbende justeres i forhold til monitoringsdata og ny / opdateret viden. Følgende anbefalinger kan danne udgangspunkt i formulering af et tværdisciplinært opfølgende projekt med deltagelsen af en række danske videns institutioner og interessenter.

- Opfølgende studier om (1) naturbaserede løsninger der adresserer højtstående grundvand i byer under danske forhold (litteratur gennemgang viste et klart vidensbehov); (2) hvordan byer er udsat og sårbar for højtstående grundvand for at kortlægge resiliens (i modsætning til farekort); (3) relationen mellem grundvandsstand og økonomiske skader (skade funktioner) ift byens bebyggelse og underjordisk infrastruktur. Analyser af økonomisk værdi af naturbaserede løsninger til mitigerende af højtstående grundvand som skal inkludere merværdier og vedligeholdelse.
- Opfølgende studier i dansk kontekst om vidensbaseret forvaltning (governance) i byer hvor der skelnes mellem (a) rumlig byplanlægning og grundvands forvaltning (kvantitet og kvalitet); (b) kystnære områder i byer, vandløb og grundvand; samt (c) oversvømmelser (temporært) og overflade/grundvand. Helhedsorienteret (adaptiv) klimatilpasning indenfor vandforvaltning og øget samlet effektivitet ved at betragte denne opdeling (a) – (c).
- Opfølgende studier i dansk kontekst om adaptiv klimatilpasning hvor implementering af serviceniveauer løbende skal kunne justeres i forhold (a) til ny og opdateret viden via dedikeret overvågning og monitoring samt (b) ændret forvaltnings og lovgivnings kontekst.
- Opfølgning af punkter ovenfor kobles til videreudvikling af dynamisk HIP model med realtids data og prognoser, specielt mht realtid monitoring og bestemmelse af 'tipping/trigger' punkter i adaptiv forvaltning

Udover de elementer i adaptiv forvaltning som vist i figur 16 som direkte er adresseret i nærværende rapport anbefales at en videregående udrednings analyse tager højde for de øvrige elementer med inddragelse af relevant interessenter (i workshops mv.). Her bygger vi videre på bl.a. erfaringer af deltagelsen i NAIAD projektet [123, 124] om forsikringsværdien af naturbaserede løsninger (med København som en by case og interessant workshops):

- Videre udvikling af interessant baseret viden vedrørende 'værdier, politikker': delte / modstridende værdier blandt interessenter ift f.eks. implementering og finansiering af naturbaserede løsninger ang. højtstående grundvand og relaterede problemstillinger. Interessent baserede trade-offs og kompromisser om beslutninger for service niveau, omkostninger og merværdier af diverse klimatilpasnings løsninger. Egnede struktur for at inddrage de rigtige interessenter i adaptiv vandforvaltning (figur 16, element 2 – 5, 9,10)

- Videreudvikling af finansierings modeller for implementering af klimatilpasnings løsninger; helhedsorienterede økonomiske analyser om virkninger og omkostninger af naturbaserede løsninger ift problemer med højtstående grundvand skal adresseres (figur 16, element 7)

For at adressere nævnte anbefalinger er det vigtigt at der inddrages relevante aktører som aktivt kan bidrage gennem en række workshops. I lignende workshops i NAIAD projektet [123, 124] hvor nærværende rapport forfattere har været involveret i er der til workshops til diskussion af naturbaserede løsninger til vandrelaterede problemer, skybrud/overfladevand og grundvand været følgende interessenter: DNNK, Københavns og Frederiksberg kommune (Teknik og Miljøforvaltning), Region Hovedstaden, Vandselskaber, Forsikring og Pension, Byplanlæggere og arkitekter samt diverse interesse organisationer, f.eks. Miljøpunkt Nørrebro

## 7. Referencer

- [1] MST (2018). Vand i Byer-fra belastning til ressource; MUDP-rapport; ISBN: 978-87-7038-028-7
- [2] DANVA (2019). Praktiske og juridiske problemer med terrænnært grundvand i byer. Notat
- [3] Henriksen et al (2017). Geovejledning nr. 2017/1–Hydrologisk geovejledning. God praksis i hydrologisk modellering. GEUS rapport
- [4] EC-RTD-ENV (2020a). Nature-Based Solutions for Flood Mitigation and Coastal Resilience Analysis of EU-funded Projects. ISBN 978-92-76-18197-2; doi:10.2777/374113
- [5] Raymond, C.M., Berry, P., Breil, M., Nita, M.R., Kabisch, N., de Bel, M., Enzi, V., Frantzeskaki, N., Geneletti, D., Cardinaletti, M., Lovinger, L., Basnou, C., Monteiro, A., Robrecht, H., Sgrigna, G., Muhari, L. and Calfapietra, C. (2017) An Impact Evaluation Framework to Support Planning and Evaluation of Nature-based Solutions Projects. Report prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, United Kingdom
- [6] Realise ApS & Kouno P/S (2020). Samfundsøkonomiske cost-benefit-analyser for løsninger til håndtering af terrænnært grundvand. Udarbejdet for DANVA og KL
- [7] EEA (2021b). Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction. EEA Report No 01/2021. ISBN 978-92-9480-362-7; ISSN 1977-8449; doi: 10.2800/919315
- [8] Mielby, S. & Henriksen, H.J. (2020). Hydrogeological Studies Integrating the Climate, Freshwater Cycle, and Catchment Geography for the Benefit of Urban Resilience and Sustainability. *Water* 2020,12, 3324; doi:10.3390/w12123324
- [9] UNEP (2018). UN Environment-DHI, UN Environment and IUCN 2018. Nature-Based Solutions for Water Management: A Primer
- [10] Scricciu Albert, Pagano Alessandro, Coletta Virginia Rosa, Fratino Umberto, Giordano Raffaele (2021). Bayesian Belief Networks for Integrating Scientific and Stakeholders' Knowledge to Support Nature-Based Solution Implementation. *Front. Earth Sci.*, 05 July 2021 | <https://doi.org/10.3389/feart.2021.674618>
- [11] Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.) (2016). Nature-based Solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland: IUCN. xiii + 97pp. ISBN: 978-2-8317-1812-5; DOI: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>
- [12] Jens Christian Refsgaard, Jeppe Eriksen, Olaf Berg, P.S. Ramanujam, Henrik Anthony, Henriette Jakobsen, Steffan Alexander Thule Madsen & Henrik Correll (2021). (i) Borgerinddragelse i vandforvaltning. (ii) Grundvandsproblemer i villa kvarter ?. In Van & Jord (1), Feb 2021. <http://www.vandogjord.dk/>
- [13] Deltares & Golder Associates (2017). REVIEW OF INTERNATIONAL CASE STUDIES Protection Options for Managing Rising Groundwater in South Dunedin. Report Number: 1671023\_7410-004-R-Rev2
- [14] Baldwin, C. & King, R. (2017). What about the people? The socially sustainable, resilient community and urban development. WRI report
- [15] Barton, D.N., E. Stange, S. Blumentrath, N. Vågnes Traaholt (2015) Economic valuation of ecosystem services for policy. A pilot study on green infrastructure in Oslo. NINA Report 1114. 77pp

- [16] Realdania (2016). Klimatilpasning i byudvikling – Fem løsninger med merværdi for byen© Realdania By & Byg, februar 2016
- [17] Good practice-guide 3. Klimatilpasning i kystnære byer. Realdania (2017)
- [18] Olesen, L., Löwe, R., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2017). Flood damage assessment – Literature review and recommended procedure. Cooperative Research Centre for Water Sensitive cities. <https://watersensitvecities.org.au/content/flood-damage-assessment-literature-review-recommended-procedure/>
- [19] Revi, A., D.E. Satterthwaite, F. Aragón-Durand, J. Corfee-Morlot, R.B.R. Kiunsi, M. Pelling, D.C. Roberts, and W. Solecki, 2014: Urban areas. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 535-612
- [20] Malene Bering Beitzel (Ed) (2021a). Nature Based Solutions Using rainwater as a resource to create resilient and liveable cities Version 2.0 February 2021. [www.stateofgreen.com/publications](http://www.stateofgreen.com/publications)
- [21] EEA (2020). Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change. EEA Report No 12/2020. ISBN 978-92-9480-270-5; ISSN 1977-8449; doi:10.2800/324620
- [22] Tanya Gottlieb Jacobsen (Ed) (2020). WATER FOR SMART LIVEABLE CITIES. How rethinking urban water management can transform cities of the future. State of Green 2020. [www.stateofgreen.com/publications](http://www.stateofgreen.com/publications)
- [23] Pernille Jægerfelt (Ed) (2018). KLIMA100. 100 klimaløsninger fra de danske kommuner. Sustainia & Realdania. ISSN: 978-87-970072-4-2
- [24] Ole Fryd og Gertrud Jørgensen (red.) (2020): Byerne og det stigende havvand – Statusrapport 2019. IGN Rapport, januar 2020, Institut for Geo videnskab og Naturforvaltning, Frederiksberg. 21 s. ill
- [25] Anker, H.T. & Knoop, V.T. (2019). Byer og havvand – et juridisk baselinemat. IFRO Rapport 290. ISBN: 978-87-93768-14-7
- [26] Buma, J. (2018). Dutch experiences in urban groundwater control. Temadag om stigende grundvand i byer 23/08/2018, Aarhus. Deltares
- [27] International Association of Hydrogeologists. Strategic Overview Series. RESILIENT CITIES & GROUNDWATER. IAH report (2015)
- [28] Concito (2020), Sørensen (Ed.). Klimaplanlægning i kommunerne. Status for danske kommuners forebyggende klimaplanlægning
- [29] Schou, J.S., Lautrup, M. & Callesen, G.E. (2019). Review af litteratur om økonomiske effekter af havvandsstigninger for byer. IFRO Rapport 291. ISBN: 978-87-93768-15-4
- [30] Københavns Kommune (2019). Forslag til Københavns Kommuneplan 2019. Verdensby med ansvar. Kommuneplan 2019 kan hentes på: [kp19.kk.dk](http://kp19.kk.dk)
- [31] Hasan Volkan Oral, Pedro Carvalho, Magdalena Gajewska, Nadia Ursino, Fabio Masi, Eric D. van Hullebusch, Jan K. Kazak, Alfonso Exposito, Giulia Cipolletta, Theis Raaschou Andersen, David Christian Finger, Lena Simperler, Martin Regelsberger, Vit Rous, Matej Radinja, Gianluigi Buttiglieri, Pawel Krzeminski, Anacleto Rizzo, Kaveh Dehghanian, Mariyana Nikolova and Martin Zimmermann (2020). A review of nature-based solutions for urban water management in European circular cities:

- a critical assessment based on case studies and literature. *Blue-Green Systems* Vol 2 No 1112; doi: 10.2166/bgs.2020.932
- [32] Karen G. Villholth and Andrew Ross (2019). Groundwater-based Natural Infrastructure (GBNI). GRIPP report
- [33] Cooper, R. (2020). Nature-based solutions for water security. K4D Helpdesk Report 813. Brighton, UK: Institute of Development Studies
- [34] Nancy Andrea Ramírez-Agudelo, Roger Porcar Anento, Miriam Villares and Elisabet Roca (2020). Nature-Based Solutions for Water Management in Peri-Urban Areas: Barriers and Lessons Learned from Implementation Experiences. *Sustainability* 2020, 12, 9799; doi:10.3390/su12239799
- [35] Seddon N, Chausson A, Berry P, Girardin CAJ, Smith A, Turner B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Phil. Trans. R. Soc.* B375: 20190120. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- [36a] MST (2021a). Afrapportering fra fasttrack-projekt om højtstående grundvand i byområder
- [36b] MST (2021b). Bilag 1–Kommunerne og vandselskabernes interview svar om spørgsmål vedr. højtstående grundvand i byområder
- [37] WSP, Smith Innovation, Teknologisk Institut og Lundgrens (2021). Terrænnært grundvand i danske byer. Eksempelsamling – problemer, årsager og løsninger?
- [38] MST (2019). Erfaringsopsamling med helhedsplanlægning for vandløb. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 37, Dec. 2019
- [39] FVM (2017). Rapport fra ekspertudvalget til ændret vandløbsforvaltning (2017)
- [40] World Bank, 2021. A Catalogue of Nature-based Solutions for Urban Resilience. Washington, D.C. World Bank Group
- [41] Pedro N. Carvalho, David Christian Finger, Fabio Masi, Giulia Cipolletta, Hasan Volkan Oral, Attila Toth, Martin Regelsberger, Alfonso Exposito (2022). Nature-based solutions addressing the water-energy-food nexus: Review of theoretical concepts and urban case studies. *J. Cleaner production* 338 (2022) 130652. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130652>
- [42] EC-RTD-ENV (2020b). Nature-Based Solutions: State of the Art in EU-funded Projects. ISBN 978-92-76-17334-2doi:10.2777/236007
- [43] Croci, E. & Lucchitta, B. (Eds.) (2022). Nature-Based Solutions for More Sustainable Cities. A Framework Approach for Planning and Evaluation. Emerald Publishing Limited, Howard House, Wagon Lane, Bingley BD16 1WA, UK. ISBN: 978-1-80043-636-7 (Online)
- [44] Jørgen Windolf, Henrik Tornbjerg, Carl Christian Hoffmann & Brian Kronvang (2016). Vådområder virker. In: *Vand og Jord*, 23. årgang nr. 3 september 2016 • 91
- [45] Maring, L. & Blauw, M. (2018). Asset management to support urban land and subsurface management. *Science of the Total Environment* 615(2018) 390-397. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.1090048-9697>
- [46] Hoffmann, B., Laustsen, A., Jensen, I. H., Jeppesen, J., Briggs, L., Bonnerup, A., Hansen, L., Sommer Lindsay, R., Rasmussen, J., Andersen, U. R., Rungø, M., Uggerby, M., Bay, H., Quist Rasmussen, S., Vester, M., Riise, J. C., Krag Strømberg, C., Dreiseitl, H., Astrup, R., Milert, T. (2015). Sustainable Urban Drainage Systems: Using rainwater as a resource to create resilient and liveable cities. *State of green*. <https://stateofgreen.com/en/news/new-white-paper-on-climate-adaptation-launched-at-aquatech>

- [47] Danielsen Sorup, H. J., Fryd, O., Liu, L., Arnbjerg-Nielsen, K., & Jensen, M. B. (2019). An SDG-based framework for assessing urban stormwater management systems. *Blue-Green Systems*, 1(1), 102-118. <https://doi.org/10.2166/bgs.2019.922>
- [48] Duivenvoorden et al. (2021). Managing public space – A blind spot of urban planning and design. *Cities* 109 (2021) 103032. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103032>
- [49] Alikhani, S.; Nummi, P.; Ojala, A. (2021) Urban Wetlands: A Review on Ecological and Cultural Values. *Water* 2021,13, 3301. <https://doi.org/10.3390/w13223301>
- [50] Erin Danford, Intza Balenciaga, Matthew Bach (ICLEI) (2021). Making Urban Nature Bloom. Naturvation project publication Creative Common Attribution 4.0. International (CC BY-ND 4.0)
- [51] Nature-based Solutions :working togetherAn update from NetworkNature and the EU Nature-based Solutions Task Forces. Horizon2020 NetworkNature project (grant agreement No. 887396). Available from [networknature.eu](http://networknature.eu)
- [52] Fryd, O. og Jørgensen, G. (2019). Byerne og det stigende havvand - innovative planlægningstilgange. IGN Rapport, oktober 2019, Institut for Geo videnskab og Naturforvaltning, Frederiksberg. 48 s. ill
- [53] Karsten Arnbjerg-Nielsen og Roland Löwe (2019). Risiko management i forbindelse med stigende havvandstand. DTUs bidrag til Realdania baseline i spor 1 i projektet ”Byerne og det stigende havvandspejl”. TU, Department of Environmental Engineering, Bygningstorvet, Building 115, 2800 Kgs. Lyngby Denmark [www.env.dtu.dk](http://www.env.dtu.dk)
- [54] Beitzel (2021b). Malene Bering Beitzel (Ed). REDUCING URBAN WATER LOSSES. How water utilities can improve efficiency and meet future demand for water January 2021. [www.stateofgreen.com/publications](http://www.stateofgreen.com/publications)
- [55] James D. Miller, Michael Hutchins (2017). The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. *J. Hydrol. Regional Studies* 12 (2017) 345-362. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.06.006>
- [56] BiodiverCities by 2030: Transforming Cities’ Relationship with Nature, INSIGHT REPORT JANUARY 2022. 2022 World Economic Forum and Alexander von Humboldt Biological Resources Research Institute
- [57] Naturvation (2020). URBAN NATURE: A SHARED SOLUTION TO THE CLIMATE AND BIODIVERSITY CRISES ?. [www.naturvation.eu](http://www.naturvation.eu)
- [58] Vincenzo Allocca, Silvio Coda, Pantaleone De Vita, Antonio Iorio & Raffaele Viola (2016). Rising groundwater levels and impacts in urban and semirural areas around Naples (southern Italy). *Rend. Online Soc. Geol. It.*, Vol. 41(2016), pp. 14-17, 3 figs.(doi: 10.3301/ROL.2016.81)
- [59] Abhas K Jha | Robin Bloch Jessica Lamond (2012). Cities and Flooding. A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. World Bank & GFDRR. ISBN (electronic): 978-0-8213-9477-9DOI: 10.1596/978-0-8213-8866-2
- [60] Region Midtjylland (2021). Inspirationskatalog Sænkning af det terrænnære grundvand. TopSoil Inspirationskatalog udgivet af Region Midtjylland og udarbejdet af partnerskabet i Interreg projektet TopSoil isamarbejde med EU LIFE Coast to Coast Climate Challenge (C2C CC). <https://northsearegion.eu/topsoilUdgiver>
- [61] Local Gov Ass & Env. Agency (2011). Flooding from groundwater. Practical advice to help you reduce the impact of flooding from groundwater. Environment Agency Horizon House, Deanery Rd, Bristol, BS10 6BF. [www.environment-agency.gov.uk](http://www.environment-agency.gov.uk)



- [62] European Environment Agency (2021). Urban sustainability in Europe — Learning from nexus analysis 2021 — 135 pp. EEA Report No 07/2021; doi:10.2800/350696
- [63] Brighid Ó Dochartaigh, Helen Bonsor and Stephanie Bricker (2019). The Geosciences in Europe's Urban Sustainability: Lessons from Glasgow and Beyond (CUSP) Improving understanding of shallow urban groundwater: the Quaternary groundwater system in Glasgow, UK. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 108, 155–172, 2019 <https://doi.org/10.1017/S1755691018000385>
- [64] Jacob Kidmose & Hans Jørgen Henriksen (2022). Måling af det terrænnære grundvand. GEUS notat
- [65] IPBES (2019), Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Brondízio, E. S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H. T. (eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1144 pages. ISBN: 978-3-947851-20-1
- [66] Tomasz Bergier and Agnieszka Kowalewska (2019). Addressing Climate Change in Cities – Catalogue of Urban Nature-Based Solutions. Ecologic Institute & the Sendzimir Foundation. ISBN 978-83-62168-12-5
- [67] FEMA (2021). BUILDING COMMUNITY RESILIENCE WITH NATURE-BASED SOLUTIONS. SOLUTIONS, A GUIDE FOR LOCAL COMMUNITIES. RiskMap, Increasing Resilience Together. FEMA report
- [68] Carla Sofia Santos Ferreira, Kristina Potočki, Marijana Kapović-Solomun, and Zahra Kalantari (2021). Nature-Based Solutions for Flood Mitigation and Resilience in Urban Areas. In: Carla S. S. Ferreira, Zahra Kalantari, Thomas Hartmann, and Paulo Pereira (eds.), *Nature-Based Solutions for Flood Mitigation: Environmental and Socio-Economic Aspects*, Hdb Env Chem, DOI 10.1007/698\_2021\_758
- [69] Hobbie SE, Grimm NB. Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Phil. Trans. R. Soc.* 375: 20190124. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0124>
- [70] IDB-Acclimatise (2020). Increasing infrastructure resilience with Nature-based Solutions (NbS). A 12-STEP TECHNICAL GUIDANCE DOCUMENT FOR PROJECT DEVELOPERS
- [71] Alida Alves, Zoran Vojinovic, Zoran Kapelan, Arlex Sanchez, Berry Gersonius (2020). Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation. *Science of the Total Environment* 703 (2020) 134980, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134980>
- [72] Alemaw, B.F., Chaoka, T.R. and Tafesse, N.T. (2020) Modelling of Nature-Based Solutions (NBS) for Urban Water Management—Investment and Outscaling Implications at Basin and Regional Levels. *Journal of Water Resource and Protection*, 12, 853-883. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.1210050>
- [73] EC (2021). Evaluating the Impact of Nature-based Solutions: A Handbook for Practitioners. ISBN 978-92-76-22821-9; doi:10.2777/244577
- [74] WRI, World Bank and GFDRR. NATURE-BASED SOLUTIONS FOR DISASTER RISK MANAGEMENT (2019). WRI report
- [75] V. Notaro, C.M., Fontanazza, G.L, Loggia and G. Freni (2015). Identification of the best flood retrofitting scenario in a urban watershed by means of a Bayesian Decision Network. DOI: 10.2495/UW140291
- [76] OECD (2020). Nature-based solutions for adapting to water-related climate risks. POLICY PERSPECTIVES. OECD ENVIRONMENT POLICY PAPER NO. 21. ISSN 2309-7841

- [77] Manchester (2021). A Strategy for Revitalising Manchester's River Valleys and Urban Waters 2021-2030. Manchester City Council report
- [78] Abdul Naser Majidi, Zoran Vojinovic, Alida Alves, Sutat Weesakul, Arlex Sanchez, Floris Boogaard and Jeroen Kluck (2019). Planning Nature-Based Solutions for Urban Flood Reduction and Thermal Comfort Enhancement. *Sustainability* 2019,11, 6361; doi:10.3390/su11226361www.mdpi.com/journal/sustainability
- [79] Anders Barfod, Hans Henrik Bruun, Preben Clausen, Lars Dinesen, Sara Egemose, Rasmus Ejrnæs, Camilla Fløjgaard, Jacob Heilmann-Clausen, Theis Kragh, Anders Højgård Petersen, Carsten Rahbek, Eva Roth, Karsten Raulund-Rasmussen, Jesper Sølvér Schou, Jens-Christian Svenning & Martin Søndergaard (2020). Genopretning af biodiversitet og økosystemer i Danmark. Det danske IPBES-samarbejde: Aarhus, København, Roskilde og Syddansk Universitet samt DTU Aqua
- [80] Spyrou, C.; Loupis, M.;Charizopoulos, N.; Apostolidou, I.;Mentzafou, A.; Varlas, G.;Papadopoulos, A.; Dimitriou, E.;Panga, D.; Gkeka, L.; et al. Evaluating Nature-Based Solution for Flood Reduction in Spercheios River Basin under Current and Future Climate Conditions .*Sustainability* 2021,13,3885. <https://doi.org/10.3390/su13073885>
- [81] Somarakis, G., Stagakis, S., & Chrysoulakis, N. (Eds.). (2019). ThinkNature Nature-Based Solutions Handbook. ThinkNature project funded by the EU Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 730338. doi:10.26225/jerv-w202
- [82] Dasgupta, P. (2021), *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*. (London: HM Treasury)
- [83] Eli P. Fenichel, Joshua K. Abbott, Jude Bayhama, Whitney Boone, Erin M. K. Haacker, and Lisa Pfeiffer. Measuring the value of groundwater and other forms of natural capital. 2382–2387 | *PNAS* | March 1, 2016 | vol. 113 | no. 9; [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1513779113](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1513779113)
- [84] IPCC (2022). Draft SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6). Summary for Policymakers
- [85] IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press
- [86] Kirsten Halsnæs, Morten A. D. Larsen og Karin L. Drenck. Samfundsøkonomiske konsekvenser af oversvømmelser og investeringer i klimatilpasning. DTU, Department of Management Engineering, Produktionstorvet, Building 424, 2800 Kgs. Lyngby Denmark
- [87] Tom Scholten, Thomas Hartmann & Tejo Spit (2020) The spatial component of integrative water resources management: differentiating integration of land and water governance, *International Journal of Water Resources Development*, 36:5, 800-817, DOI: 10.1080/07900627.2019.1566055
- [88] Nadja Kabisch, Horst Korn Jutta Stadler, Aletta Bonn (Eds). *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas Linkages between Science, Policy and Practice. Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions*. ISBN 978-3-319-53750-4; DOI 10.1007/978-3-319-56091-5
- [89] European Commission, *Nature-based solutions & re-naturing cities*. Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-Based solutions and Re-Naturing cities', Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2015
- [90] United Nations World Water Assessment Programme & UN-Water. *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. Paris, UNESCO
- [91] *Exploring nature-based solutions. The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather- and climate change-related natural hazards*. EEA Technical report No 12/2015

- [92] Kabisch, N., N. Frantzeskaki, S. Pauleit, S. Naumann, M. Davis, M. Artmann, D. Haase, S. Knapp, H. Korn, J. Stadler, K. Zaunberger, and A. Bonn. 2016. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society* 21(2):39. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08373-210239>
- [93] Lena Simperler, Thomas Ertl and Andreas Matzinger (2020). Spatial Compatibility of Implementing Nature-Based Solutions for Reducing Urban Heat Islands and Stormwater Pollution. *Sustainability* 2020, 12, 5967; doi:10.3390/su12155967
- [94] Guri Venvik and Floris C. Boogaard (2020). Infiltration Capacity of Rain Gardens Using Full-Scale Test Method: Effect of Infiltration System on Groundwater Levels in Bergen, Norway. *Land* 2020, 9, 520; doi:10.3390/land9120520
- [95] Vinicius J. Taguchi, Peter T. Weiss, John S. Gulliver, Mira R. Klein, Raymond M. Hozalski, Lawrence A. Baker, Jacques C. Finlay, Bonnie L. Keeler and John L. Nieber (2020). It Is Not Easy Being Green: Recognizing Unintended Consequences of Green Stormwater Infrastructure. *Water* 2020, 12, 522; doi:10.3390/w12020522 [www.mdpi.com/journal/water](http://www.mdpi.com/journal/water)
- [96] Suman Patra, Satiprasad Sahoo, Pulak Mishra, Subhash Chandra Mahapatra (2018). Impacts of urbanization on land use /cover changes and its probable implications on local climate and groundwater level. *Journal of Urban Management* Volume 7, Issue 2, September 2018, Pages 70-84. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2018.04.006>
- [97] Floris Boogaard (Hanze university of applied sciences Groningen), Allard Roest, Jasper Schmeits, Guri Venvik New Quickscan method for prevention of groundwater pollution through stormwater infiltration, XRF as new quick scan method to map heavy metals in Dutch Sustainable urban Drainage Systems, IAH Groundwater management and governance, Allard Roest, Jasper Schmeits, Guri Venvik, Malaga 22-27th September 2019
- [98]. Morgane Minnig, Christian Moeck, Dirk Radny, Mario Schirmer (2018). Impact of urbanization on groundwater recharge rates in Dübendorf, Switzerland; *J. Hydrol.* 563, 2018, Pages 1135-1146, ISSN 0022-694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.058>
- [99] S.H. Bricker, V.J. Banks, G. Galik, D. Tapete, R. Jones (2017). Accounting for groundwater in future city visions. *Land Use Policy*, Volume 69, December 2017, Pages 618-630. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.09.018>
- [100] Guri Venvik and Floris C. Boogaard (2020b). Portable XRF Quick-Scan Mapping for Potential Toxic Elements Pollutants in Sustainable Urban Drainage Systems: A Methodological Approach. *Sci* 2020, 2(3), 64; <https://doi.org/10.3390/sci2030064>
- [101] Hade Dorst, Alexander van der Jagt, Helen Toxopeus, Laura Tozer, Rob Raven, Hens Runhaar (2022). What's behind the barriers? Uncovering structural conditions working against urban nature-based solutions. *Landscape and Urban Planning* 220 (2022) 104335. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104335>
- [102] Scott J. McGrane (2016) Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review, *Hydrological Sciences Journal*, 61:13, 2295-2311, DOI: 10.1080/02626667.2015.1128084
- [103] Stuart Connop, Caroline Nash, Jack Elliot, Dagmar Haase, Diana Dushkova (2020). Nature-based solution evaluation indicators: Environmental Indicators Review. Connecting Nature report
- [104] Marianne Marcher Juhl, Annette Raben, Herman Juel, Lisbeth Hjortborg Jensen (2014). Udredning om brug af sekundavand i Danmark. MST rapport. ISBN 978-87-7091-542-7

- [105] Lars Kaalund (KL) og Niels Vinderslev Bjerregaard (2019) (DANVA). National indsats imod Stigende overfladenært grundvand. KL & Danva rapport
- [106] NIRAS (2016). Afvandringsforhold i Skagen by; Fase 1: Interessentanalyse og samling af eksisterende data. Frederikshavn Kommune, Frederikshavn Vand A/S og Frederikshavn Spildevand A/S. Projekt nr. 222396, Dokument nr. 1219289806, Version 3. NIRAS note
- [107] Marjolijn Haasnoot, Susan van 't Klooster, Jos van Alphen (2018). Designing a monitoring system to detect signals to adapt to uncertain climate change. *Global Environmental Change*, Volume 52, September 2018, Pages 273-285; <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.003>.
- [108] Godecke-Tobias Blecken, William F. Hunt III, Ahmed Mohammed Al-Rubaei, Maria Viklander & William G. Lord (2017) Stormwater control measure (SCM) maintenance considerations to ensure designed functionality, *Urban Water Journal*, 14:3, 278-290, DOI:10.1080/1573062X.2015.1111913
- [109] United Nations, The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. UNESCO, Paris
- [110] United Nations, The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. UNESCO, Paris.
- [111] Liping Dai, Carel Dieperink, Susanne Wuijts & Marleen van Rijswijk (2022): Assessing the soundness of water governance: lessons learned from applying the 10 Building Blocks Approach, *Water International*, DOI: 10.1080/02508060.2022.2048487
- [112] Liping Dai, Rebecca Wörner & Helena F. M. W. van Rijswick (2018). Rainproof cities in the Netherlands: approaches in Dutch water governance to climate-adaptive urban planning, *International Journal of Water Resources Development*, 34:4, 652-674, DOI: 10.1080/07900627.2017.1372273
- [113] Henriksen HJ, Kragh SJ, Gotfredsen J, Ondracek M, van Til M, Jakobsen A, Schneider RJM, Koch J, Troldborg L, Rasmussen P, Pasten-Zapata E og Stisen S (2020a) Sammenfatningsrapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Informationsog Prognosesystem Udarbejdet som en del af den fælles-offentlige digitaliseringsstrategi 2016-2020. Initiativet fælles data om terræn, klima og vand. [https://sdfc.dk/media/2920328/hip4plus\\_sammenfatningsrapport\\_v23feb.pdf](https://sdfc.dk/media/2920328/hip4plus_sammenfatningsrapport_v23feb.pdf)
- [114] Henriksen HJ, Kragh SJ, Gotfredsen J, Ondracek M, van Til M, Jakobsen A, Schneider RJM, Koch J, Troldborg L, Rasmussen P, Pasten-Zapata E og Stisen S (2020b) Dokumentationsrapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Informationsog Prognosesystem Udarbejdet som en del af den fælles-offentlige digitaliseringsstrategi 2016-2020. Initiativet fælles data om terræn, klima og vand. [https://sdfc.dk/media/2920327/hip4plus\\_dokumentationsrapport\\_v23feb.pdf](https://sdfc.dk/media/2920327/hip4plus_dokumentationsrapport_v23feb.pdf)
- [115] Koch J, Gotfredsen J, Schneider R, Troldborg L, Stisen S and Henriksen HJ 2021. High Resolution Water Table Modeling of the Shallow Groundwater Using a Knowledge-Guided Gradient Boosting Decision Tree Model. *Front. Water*, 01 September 2021. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frwa.2021.701726/full>
- [116] Kystdirektoratet 2020. Sådan laver I en risikostyringsplan. Vejledning til udarbejdelse af risikostyringsplan for oversvømmelse. Oversvømmelsesdirektivet. Anden planperiode. Februar 2020. [https://oversvømmelse.kyst.dk/media/273107/saadan-laver-i-en-risikostyringsplan\\_feb-2020.pdf](https://oversvømmelse.kyst.dk/media/273107/saadan-laver-i-en-risikostyringsplan_feb-2020.pdf)
- [117] Mostafavi M and Doherty G 2016. *Ecological urbanism*. Harvard University. Graduate School of Design. Lars Müllers Publishers, Zürich. Revised Edition. ISBN 978-3-03778-467-9. <http://ecologicalurbanism.gsd.harvard.edu/?msclid=21584104c15011ecac13b4f6d3640c83>
- [118] EEA (1999). *Towards Environmental Pressure Indicators for the EU*, 1st edn. European Environment Agency

- [119] OECD. 1993. OECD Core set of indicators for environmental performance reviews: a synthesis report by the Group on the State of the Environment. OECD, Environment Monographs, 83: OECD/GD (93)179
- [120] Henriksen, H.J., Roberts, M.J., van der Keur, P., Harjanne, A., Egilson, D., Alfonso, L. (2018). Participatory early warning and monitoring systems: A Nordic framework for web-based flood risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31 (2018) 1295–1306. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.01.038>
- [121] Van Well, L., van der Keur, P., Harjanne, A., Pagneux, E.P., Perrels, A., Hans Jørgen Henriksen, H.J. (2018). Resilience to natural hazards: An analysis of territorial governance in the Nordic countries. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31 (2018) 1283–1294. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.01.005>
- [122] van Rijswijk, H. F., Edelenbos, J., Hellegers, P., Kok, M., & Kuks, S. (2014). Ten building blocks for sustainable water governance: An integrated method to assess the governance of water. *Water International*, 39(5), 725–742. <https://doi.org/10.1080/02508060.2014.951828>
- [123] Lopez Gunn, E., van der Keur, P., Van Cauwenbergh, N., Le Coent, P. & Giordano, R. (eds.). *Greening Water Risks - Natural Assurance Schemes*. Published in Springer book series: *Water Security in a New World* (forthcoming)
- [124] Eulalia Gómez Martín, Raffaele Giordano, Alessandro Pagano, Peter van der Keur, María Mániz Costa (2020). Using a system thinking approach to assess the contribution of nature-based solutions to sustainable development goals. *Science of the Total Environment* 738 (2020) 139693. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139693>

End of document