

Bilag - beregningseksempler udarbejdet af Envidan

Forord

Dette bilag indeholder beregningseksempler, der illustrerer den praktiske anvendelse af metoden til beregning af samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed. Beregningseksemplerne er udarbejdet af Envidan A/S, som har fungeret som ekstern rådgiver i forbindelse med udviklingen af beregningsmetoden.

Beregningseksemplerne er udarbejdet forud for den endelige fastlæggelse af ordlyden i *Bekendtgørelse nr. 37 af 9. januar 2026 om beregning af samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed ved forsyning af områder med grundvandssænkende foranstaltninger*. Som følge heraf indgår enkelte forhold ikke i beregningseksemplerne. Det gælder eksempelvis spildevandsforsyningsselskabets forpligtelse til at foretage en konkret vurdering af tilskrivning og begrænsning af skadesomkostningerne ifølge § 5, stk. 7, i bekendtgørelsen. Endvidere har Envidan ikke beskæftiget sig med valget af den konkrete grundvandssænkende foranstaltning ifølge § 9 i bekendtgørelsen samt inddragelse af kommunalbestyrelsen og offentliggørelse ifølge § 10, der derfor ikke er behandlet i beregningseksemplerne. Endelig er opstillingen ift. beregningstrinene lidt anderledes i bilaget, end det der fremgår af vejledningen herunder figur 2. De væsentligste forskelle er i den forbindelse, at trin 1 i vejledningen omhandler den geografiske afgrænsning af det relevante projektområde, hvilket ikke fremgår som et trin jf. Envidans beregningseksempler. Derudover er trin 3 og 4 i Envidans fremstilling slået sammen i et samlet trin 4 i vejledningen, og endelig så fremgår grundlaget mht. spændet på 25 procent for spildevandsforsyningsselskabets endelige valg af den grundvandssænkende løsning af trin 6 i vejledningen.

Beregningseksemplerne kan anvendes som inspiration til, hvordan beregningen af samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed kan gennemføres for forskellige typer af grundvandssænkende løsninger i konkrete projektområder.

Beregningseksempel 1 – Markby

Markby Kommune har fastlagt en del af byen til undersøgelse af, om det kan betale sig at lave grundvandssænkende foranstaltninger (Figur 1-1). Området er fælleskloakeret. Markby Forsyning skal derfor beregne, om det er samfundsmæssigt hensigtsmæssigt at lave grundvandssænkende foranstaltninger i området.

I den samfundsøkonomiske analyse af Markby er der udelukkende indregnet skader på bygningsmassen. Området indeholder ikke jernbaner, og skader på veje forventes at være marginal sammenlignet med skader på bygninger.

Informationen om bygningerne i Markby fås fra BBR. Heri findes data om boligens areal samt kælderarealet. Her benyttes det største angivne kælderareal, og der skelnes derfor ikke mellem forskellige arealanvendelser af kælderen. Boligens omkreds (der benyttes til udregning af varighedsbaserede skader) tages direkte fra bygningslaget. Omkredsen på kælderen estimeres ud fra kælderenes areal.

I BBR findes ligeledes information om hver enkelt bygnings opførelsesår og renovering. I tilfælde af renovering bruges dette årstal til at vurdere om bygningen har afværgeforanstaltninger. Det er dog ikke sikkert at en renovering altid vil medføre etableringen af afværgeforanstaltninger, og der er derfor en risiko for at bygninger uden afværgeforanstaltninger ender i kategorien "med afværgeforanstaltninger". Modsat vil der dog også være bygninger fra før 1973, der ender i kategorien "uden afværgeforanstaltninger", men hvor boligejeren har etableret f.eks. omfangsdræn. Dette er kilde til usikkerhed.

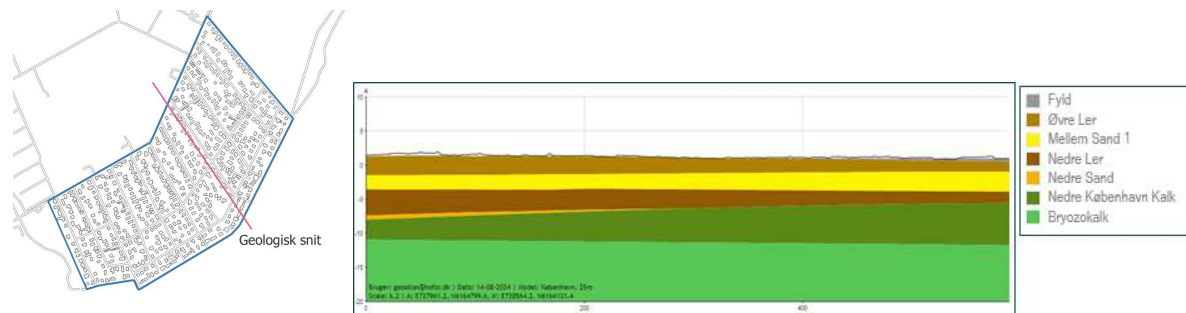
Markby har godt 800 ejendomme, hvoraf 89 % er etableret fra 1973 og frem og kun 3 % har kælder (Figur 1-1).



Figur 1-1. Undersøgt område i Bakkeby samt bygningskategorier.

Grundvandsstanden påvirkes ikke af nærliggende drikkevandsboringer, og der foreligger ikke nærmere informationer om, hvorvidt bygningerne har omfangsdræn.

Geologien i Markby er relativ simpel og har en lagdeling med skiftevis ler og sand (Figur 1-2).



Figur 1-2. Geologisk konceptuel forståelse. Tværsnittet er fra NV til SØ (Geoatlas).

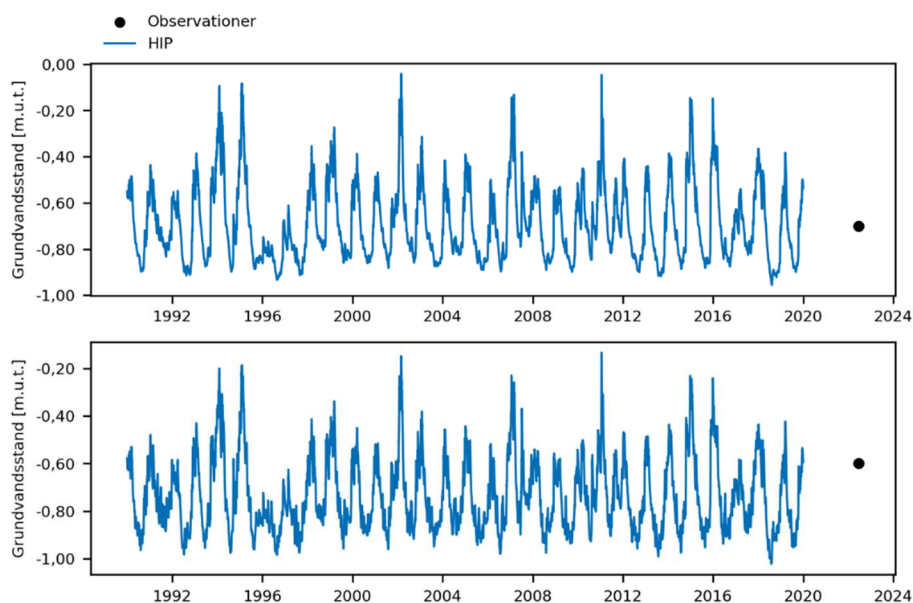
Trin 1: Farekortlægning

Analyseperiode

Det vælges at lave analysen for Markby over en 100 års periode fra 2025 til 2125, idet 100 år ofte anvendes i praksis, og da levetiden på de relevante anlæg og løsninger til håndtering af terrænnært grundvand, hvor der er behov for reinvestering, forventes at være under 100 år.

Grundvandsdata

Der findes to boringer i Markby, hvori grundvandsstanden er pejlet i juli 2022. Disse to boringer er brugt til at vurdere, om HIP-modellen kan benyttes til estimering af det terrænnære grundvandsniveau. Målingerne ligger generelt lidt højere end sommer-resultaterne fra HIP-modellen, hvilket indikerer, at en analyse baseret på HIP vil medføre et konservativt estimat af skadesomkostningerne i statusscenariet.



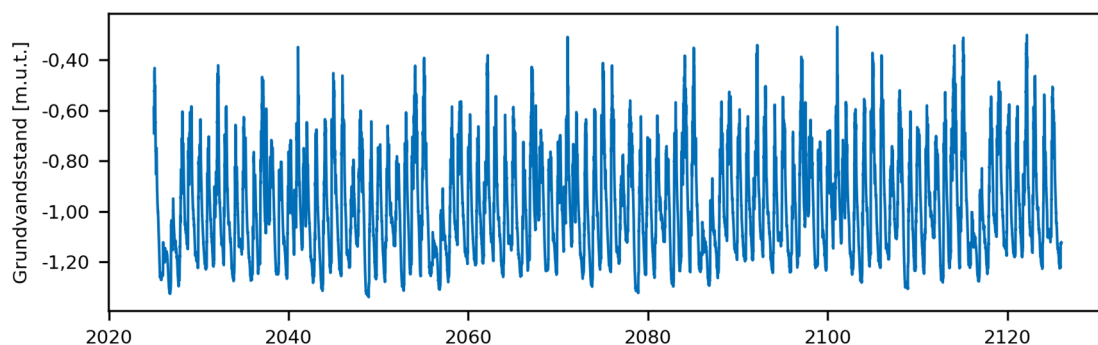
Figur 1-3. Resultater fra HIP-modellen plottet mod data fra to målepunkter.

Konstruktion af tidsserie for grundvandsdybden for 2025-2125

For at opnå en tidsserie for 2025-2125 for hver enkelt bygning i Markby, tages der udgangspunkt i resultater fra HIP-modellen fra 1990-2019. For at opnå et bud på stigningen i grundvandsstanden i fremtiden, benyttes en parameter i HIP¹, der beskriver den forventede totale ændring i grundvandsstanden for de fire årstider mellem 1990-2019 og 2070-2100. Denne parameter er omregnet til en årlig ændring for hver årstid ved at dividere parameteren med 80 år (afstanden mellem midten af de to tidsperioder).

Herefter er resultater fra HIP-modellen fra 1990-2019 kopieret ud i fremtiden, så den samme variation i grundvandsstanden fås i 2020-2049, 2050-2079 og 2080-2109. Slutteligt er grundvandsstanden korrigeret i hvert år med ændringsparameteren, så den årlige stigning for den respektive årstid i det terrænnære grundvandsspejl er repræsenteret i den nye tidsserie.

Et eksempel på den resulterende tidsserie mellem 2025 og 2125 findes i Figur 1-4. Det samme mønster i grundvandsstanden ses repeteret hver 30. år. Grundvandsstanden er langsomt stigende og stiger kun få cm i løbet af analyseperioden.



Figur 1-4. Udviklingen i grundvandsstand for analyseperioden (2025-2125) for bygningsID 483.

Da der ikke er kendskab til andre ændringer, der vil påvirke det terrænnære grundvandsspejl i området (f.eks. lukning af drikkevandsboringer), benyttes de fremkomne tidsserier i den videre analyse.

Analyse af skadevoldende dybder

Hvert år i tidsserien analyseres ved hjælp af de to kriterietabeller (Tabel 1-1 og Figur 1-2). Her tælles antal døgn per år (opgjort fra sommer til sommer), hvor grundvandet står tættere på terræn end hhv. 1 og 2 meter. Alt efter hvilken type bygning der er tale om (med/uden kælder og med/uden afværgeforanstaltninger), vil det aktivere en eller flere kriterier (rækker) i kriterietabellerne (H1 og H2 samt V1-V6). Disse vil i sidste ende bruges til at identificere skader (S1, S2 eller S3).

¹Parameteren - der afhænger af årstiden - hedder for hhv. vinter, forår, sommer og efterår:
dkm_2020_100m_RCP85_ff_median_phreatic_winter_mean, dkm_2020_100m_RCP85_ff_median_phreatic_spring_mean
dkm_2020_100m_RCP85_ff_median_phreatic_summer_mean og dkm_2020_100m_RCP85_ff_median_phreatic_autumn_mean

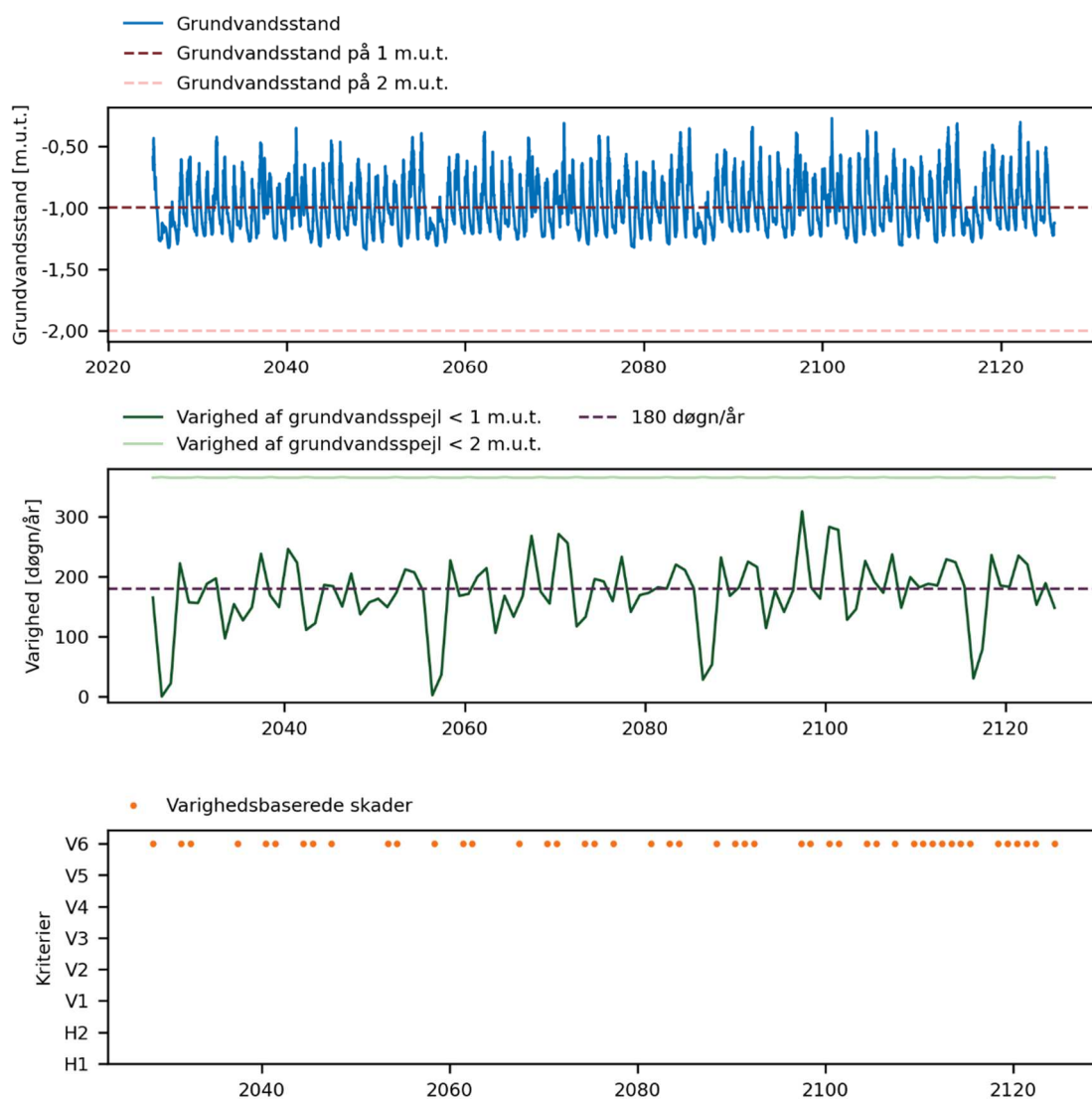
Tabel 1-1 Kriterietabel for hændelsesbaserede skader. S1 henviser til skadesID'er i Tabel 4-3. TGV = terrænnært grundvand. V = varighed [døgn/år].

Kriterie: døgn/år med...			Opfyldt kriterie udløser skade for bygninger...			
ID	TGV < 2 m.u.t	TGV < 1 m.u.t	Med kælder		Uden kælder	
			Uden afværgeforanstaltninger	Med afværgeforanstaltninger	Uden afværgeforanstaltninger	Med afværgeforanstaltninger
H1	-	V > 0	S1			
H2	-	V > 7	S1			

Tabel 1-2. Kriterietabel for varighedsbaserede skader. S2 og S3 henviser til skadesID'er i Tabel 4-3. TGV = terrænnært grundvand. V = varighed [døgn/år].

Kriterie døgn/år med...			Opfyldt kriterie udløser skade for bygninger...			
ID	TGV < 2 m.u.t	TGV < 1 m.u.t	Med kælder		Uden kælder	
			Uden afværgeforanstaltninger	Med afværgeforanstaltninger	Uden afværgeforanstaltninger	Med afværgeforanstaltninger
V1	V > 7	-	S2			
V2	-	V > 7	S2			
V3	V > 30	-	S2			
V4	-	V > 30	S3	S2	S3	
V5	V > 180	-	S2	S2		
V6	-	V > 180	S3	S3	S3	S3

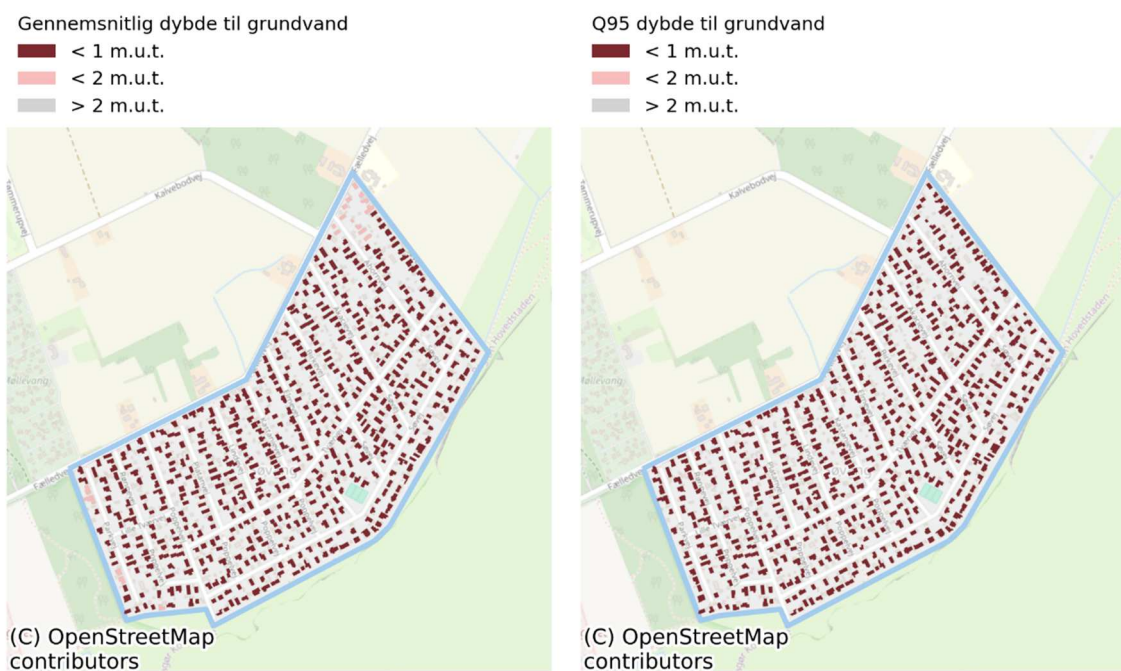
Figur 1-5 viser et eksempel på, hvordan tidsserien for det terrænnære grundvand under en bygning uden kælder og med afværgeforanstaltninger i Markby omsættes til kriterier, som driver beregningen af skader for bygningen. Da der kan være flere af det samme skadesID i samme år, vises dette trin (omsætning af kriterieID til skadesID) ikke i figuren.



Figur 1-5. Eksempel på analysen af kriterier for hhv. hændelses- og varighedsbaserede skader for bygningsID 483 (uden kælder, med afværgeforanstaltninger) i Markby. Øverst ses grundvandsstanden, i midten ses antal døgn/år hvor grundvandet står højere end hhv. 1 og 2 m.u.t., og nederst ses hvilke kriterier, der forekommer på baggrund af varighederne.

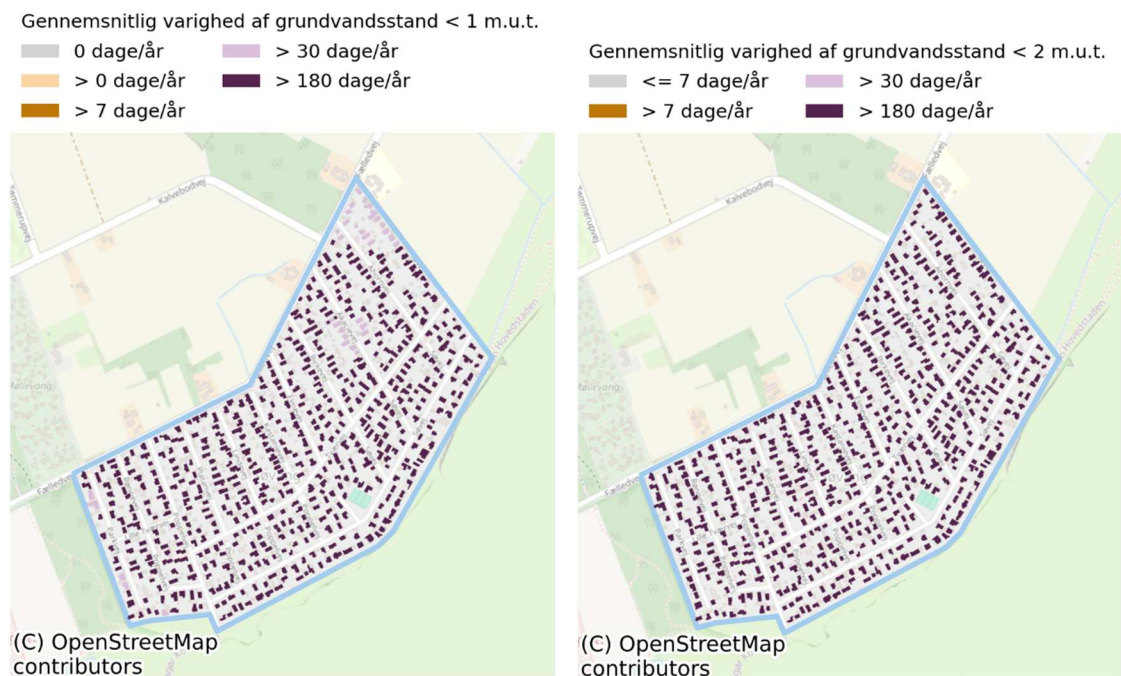
Grundvandsniveau, varigheder og opfyldte kriterier for alle bygninger ses i hhv. Figur 1-6, Figur 1-7 og Figur 1-8. Disse statistiske værdier bruges ikke direkte i beregningerne, men overblikket kan bruges til at skabe bedre forståelse af resultaterne og løsningsmulighederne.

Figur 1-6 viser for alle bygninger den gennemsnitlige dybde til det terrænnære grundvand og 95 %-fraktilen (der siger noget om den ekstreme grundvandsstand). Herfra kan man se, at grundvandet står meget højt i området, og at alle bygninger oplever grundvandet tættere på end 1 m.u.t.



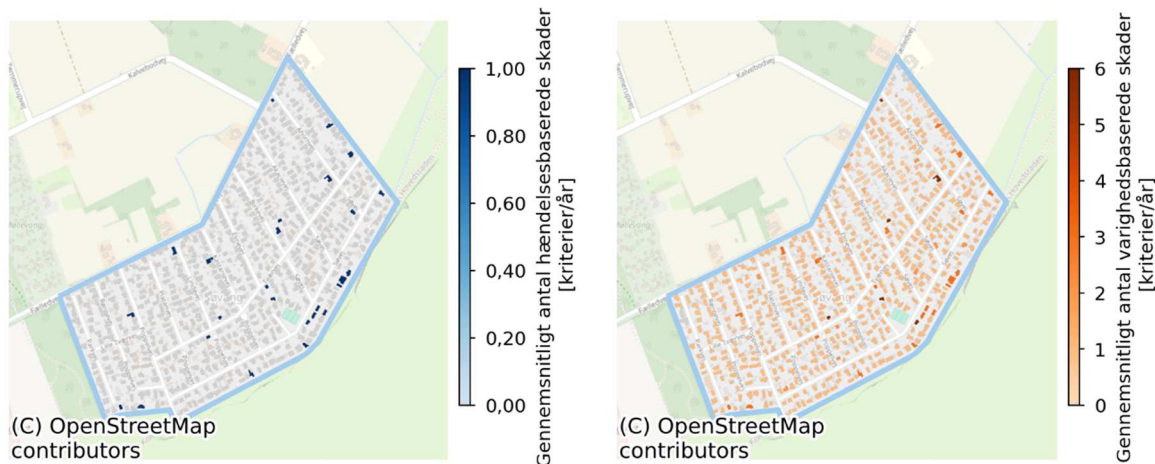
Figur 1-6. Gennemsnitlig dybde og 95 %-fraktilen af terrænnært grundvand før tiltag for analyseperioden (2025–2125).

Figur 1-7 viser den gennemsnitlige varighed, hvor det terrænnære grundvand står tættere på end hhv. 1 m.u.t. og 2 m.u.t. Herfra kan man se, at de skadevoldende dybder overskrides i høj grad i hele oplandet.



Figur 1-7. Gennemsnitlig varighed af terrænnært grundvand over hhv. 1 m.u.t. og 2 m.u.t. pr. år før tiltag for analyseperioden (2025–2125).

Figur 1-8 viser, hvordan hændelses- og varighedsbaserede skader fordeler sig i oplandet. Bygninger med kælder og uden afværgeforanstaltninger har det højeste antal opfyldte kriterier. Der er dog mange bygninger uden kælder og med afværgeforanstaltninger i Markby, som ikke kan få hændelsesbaserede skader, og som maksimalt kan få én årlig varighedsbaseret skade (se Tabel 1-1 og Tabel 1-2).



Figur 1-8. Gennemsnitligt antal kriterier opfyldt pr. år for hændelsesbaserede og varighedsbaserede skader før tiltag for analyseperioden (2025–2125).

Trin 2: Skadeskortlægning

Farekortlægningen er efterfølgende omsat til skadesomkostninger ved hjælp af værdierne fra Tabel 1-3.

Tabel 1-3. Skadestabel med hændelses- og varighedsbaserede skader. Enhedspriser er indekseret til 2025.

ID	Skadetype	Bygninger
	Beskrivelse	Enhedspris
S1	Hændelsesbaseret	Vand er trængt ind i kælderen og forårsager vandskader og/eller ødelagt løsøre
S2	Varighedsbaseret	Længerevarende påvirkning af vand medfører afskalling af puds, skimmel mv. i kælderetage
S3	Varighedsbaseret	Længerevarende påvirkning af vand medfører afskalling af puds, skimmel mv. i stueetage

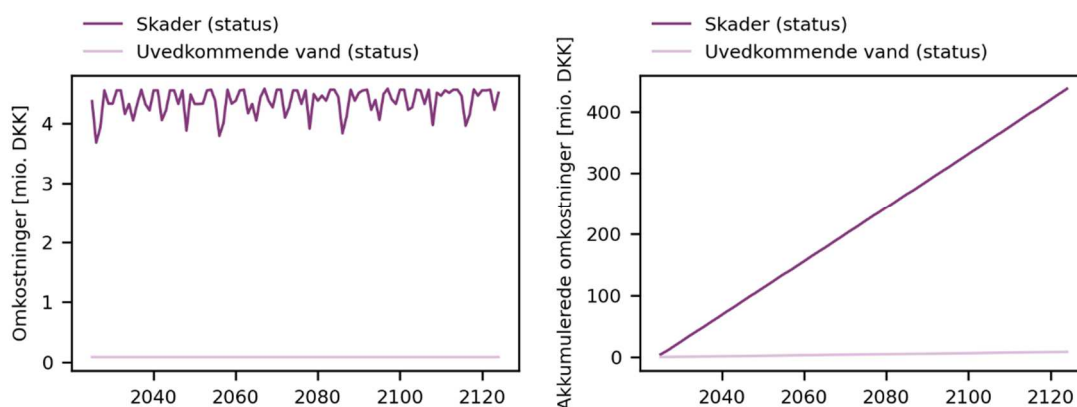
Figur 1-9 viser skadesomkostningen på bygningsniveau. Her ses en klar sammenhæng mellem bygninger der har kælder (se Figur 1-1) – og derfor har flere skader – og årlige skadesomkostninger.



Figur 1-9. Gennemsnitlige skadesomkostninger pr. år og gennemsnitlige skadesomkostninger pr. m² stueareal år pr. år før tiltag for analyseperioden (2025–2125).

Ser man på det samlede område, er der årlige skadesomkostninger på omtrent 4 mio. DKK (Figur 1-10). Det repetitive mønster stammer fra gentagelsen af grundvandsmønsteret fra HIP-modellen. Skadesomkostningerne vokser kun minimalt over analyseperioden. Grunden til dette er, at grundvandsstanden kun stiger i mindre grad (se Figur 1-4). Desuden er der ikke en direkte sammenhæng mellem grundvandsstand og skader, da der først er en effekt på skadesomkostningerne, hvis den højere grundvandsstand også leder til opfyldelsen af yderligere kriterier i kriterietabellerne.

Der er desuden indsigning af grundvand ind i afløbssystemet. Baseret på en indsigningsanalyse foretaget for oplandet er det blevet beregnet, at forsyningens marginalomkostninger til rensning af uvedkommende vand er 84.000 DKK/år.



Figur 1-10. Tidslig udvikling i skadesomkostninger og omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand før tiltag for analyseperioden (2025–2125).

Trin 3: Udarbejdelse af løsningsscenarier

Der skal i udgangspunkt udformes mindst otte scenarier, hvor der varieres på projektafgrænsning, løsninger og investeringstidspunkt. Antallet af scenarier kan dog reduceres, såfremt der argumenteres sagligt herfor.

I Markby er der højtstående grundvand i hele det udpegede område, og alle bygninger bliver skadede i nogenlunde samme grad. Da der ikke er andre argumenter for at indføre projektafgrænsninger eller opdelinger af området, arbejdes der kun videre med én projektafgrænsning, der omfatter hele området (se Tabel 1-4). For denne projektafgrænsning undersøges to løsninger med hver to investeringstidspunkter, dvs. i alt fire scenarier.

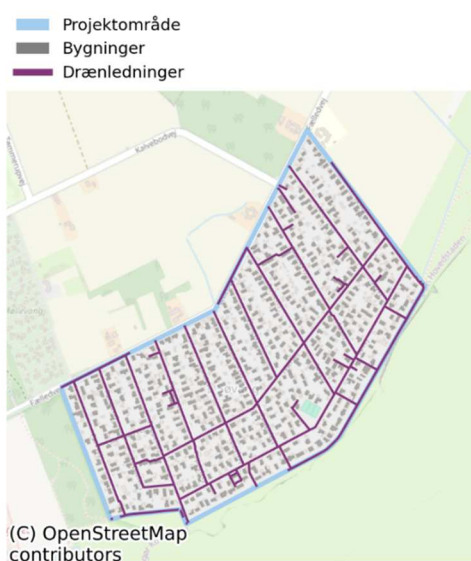
Tabel 1-4. Overblik over scenarier kørt for Markby. Scenarier markeret med rødt undersøges ikke.

Case: Markby								
Projekt-afgrænsning	1: Hele området i kommunens spildevandsplan analyseres				2: Da grundvandet står højt i hele området, og alle bygninger derved har problemer, giver det ikke mening af undersøge forskellige projektafgrænsninger			
Løsning	1A: Der lægges en tredje ledning langs alle eksisterende ledninger		1B: Der etableres fire afværgboringer, ledningssystem og pumper		2A		2B	
Investerings-tidspunkt	1A1: 2026	1A2: 2046	1B1: 2026	1B2: 2046	2A1	2A2	2B1	2B2

Grundvandet i området er ikke forurennet, og de udarbejdede løsninger inkluderer derfor ikke rensning.

Scenarie 1A

I scenarie 1A lægges der en drænledning ("tredje ledning") langs alle eksisterende ledninger samt en pumpe, der leder drænvandet til en eksisterende overløbsledning (Figur 1-11). Løsningen påvirker ikke grundvandsspejlet i en sådan grad, at der kan opstå sætningsskader.



Figur 1-11. Scenarie 1A.

I scenarie 1A1 er investeringstidspunktet 2026, mens investeringen i scenarie 1A2 udskydes til 2046:

- Scenarie 1A1 (investeringsår 2026): Det estimeres, at anlægsomkostningen er 5.000 DKK/m ledning med en reinvestering på 80 % efter 50 år. Anlægget driftes ved spuling hvert andet år til en pris på 15 DKK/m ledning. Derudover kommer der årlige driftsomkostninger til pumpen på 51.000 DKK.
- Scenarie 1A2 (investeringsår 2046): Drænledningen anlægges samtidig med, at området separatkloakeres. Det er dermed kun marginalomkostningen til anlæggelse af drænledningen, der skal medtages, hvorfor anlægsomkostningerne reduceres markant. Disse er anslået til 250 DKK/m ledning. Da drænledninger forventes at have en kortere levetid end regn- og spildevandsledningerne, haves stadig den fulde omkostning på 80 % til reinvestering efter 50 år som i scenarie 1A1. Udgifter til drift er ligeledes det samme som i scenarie 1A1.

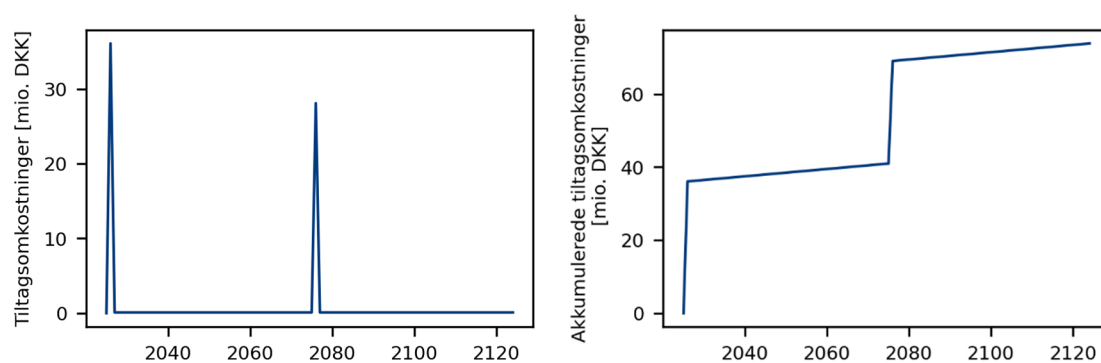
Omkostningerne til de to scenarier ses i Tabel 1-5 og Tabel 1-6. Fordelingen af omkostninger over tid for de to scenarier er visualiseret i Figur 1-12 og Figur 1-13. Fordelene for tiltagsøkonomien ved samgravningsprojektet ses især ved at sammenligne de akkumulerede omkostninger.

Tabel 1-5. Omkostninger forbundet med scenarie 1A1.

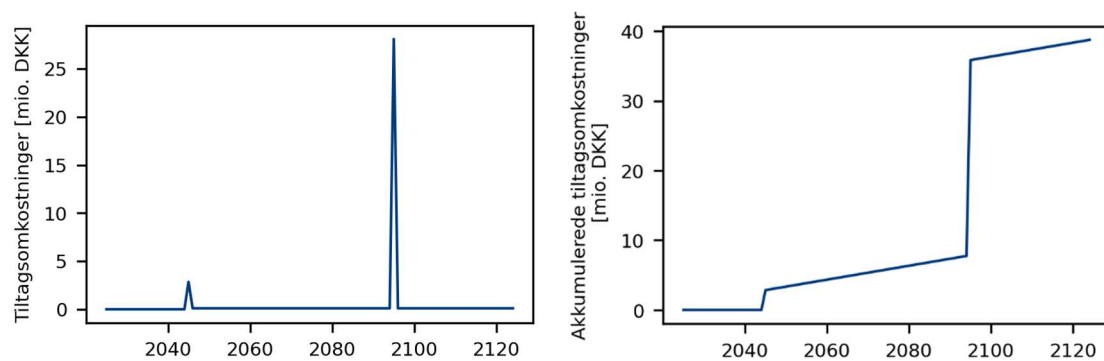
	Etableringsår	Anlæg [DKK]	Drift [DKK/år]	Reinvestering [DKK]	Levetid [år]
Drænledning og pumpestation	2026	36.000.000	101.000	28.000.000	50

Tabel 1-6. Omkostninger forbundet med scenarie 1A2.

	Etableringsår	Anlæg [DKK]	Drift [DKK/år]	Reinvestering [DKK]	Levetid [år]
Drænledning og pumpestation	2046	2.750.000	101.000	28.000.000	50



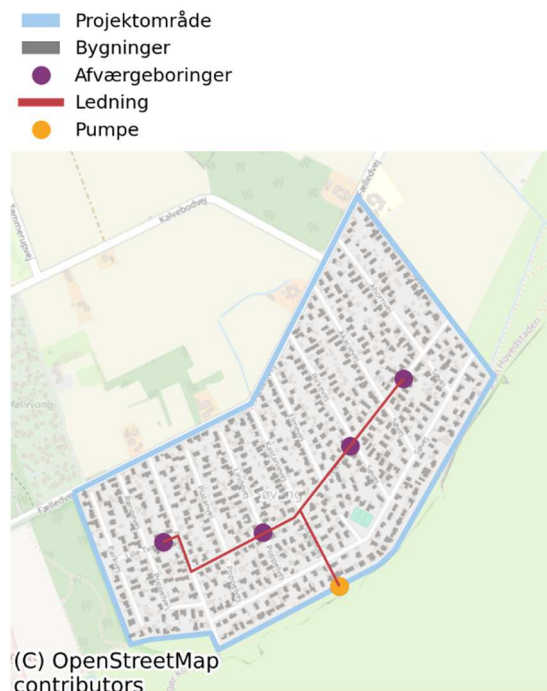
Figur 1-12. Tiltagsomkostninger for scenarie 1A1 (investering i 2026).



Figur 1-13. Tiltagsomkostninger for scenarie 1A2 (investering i 2046).

Scenarie 1B

I scenarie 1B etableres der fire afværgboringer og et ledningssystem, der samler det oppumpede drænvand (Figur 1-14). Løsningen påvirker ikke grundvandsspejlet i en sådan grad, at der kan opstå sætningsskader.



Figur 1-14. Scenarie 1B.

I scenarie 1B1 er investeringstidspunktet 2026, mens investeringen i scenarie 1B2 udskydes til 2046.

I begge scenarier antages det, at afværgboringer og pumper koster 41.320.000 DKK og ledningssystemet koster 29.000.000 DKK. Reinvesteringen er anslået til 7.500.000 DKK hvert 25. år, og driften er sat til 716.000 DKK ud fra en antagelse om, at det koster 1 DKK/m/år at drifte ledningerne og 710.000 DKK/år at drifte boringer og pumper.

Omkostningerne til de to scenarier ses i Tabel 1-7 og Tabel 1-8. Der er i scenarie 1B2 ikke samgravningsfordele med kloakprojektet i 2045, idet trykledningerne fra afværgboringerne til

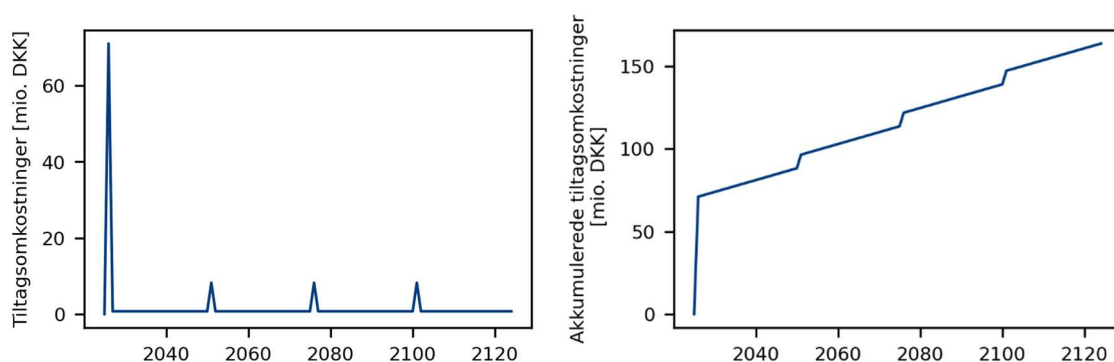
udpumpningen fra området bores under fortovene. Fordelingen af omkostninger over tid for de to scenarier er visualiseret i hhv. Figur 1-15 og Figur 1-16. Da der ikke er samgravningsfordele i scenarie 1B2, ender de akkumulerede omkostninger for de to scenarier i samme niveau.

Tabel 1-7. Omkostninger forbundet med løsnings tiltag 1B1.

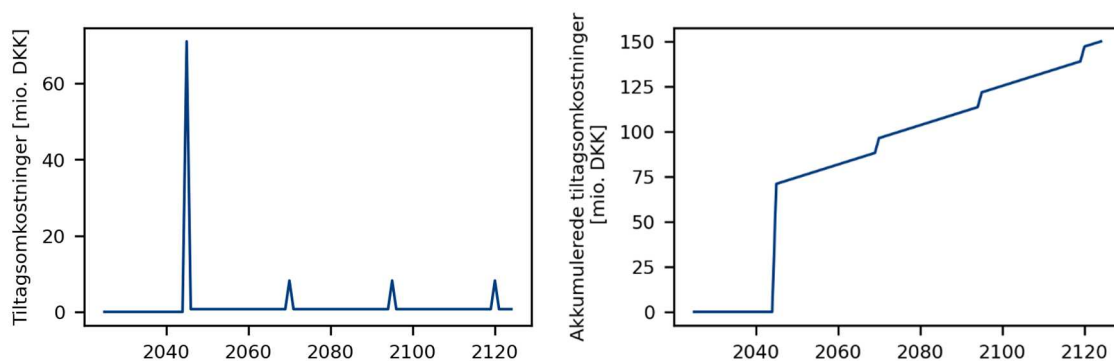
	Etableringsår	Anlæg [DKK]	Drift [DKK/år]	Reinvestering [DKK]	Levetid [år]
Afværgeboringer, ledningssystem og pumper	2026	70.320.000	716.000	7.500.000	25

Tabel 1-8. Omkostninger forbundet med løsnings tiltag 1B2.

	Etableringsår	Anlæg [DKK]	Drift [DKK/år]	Reinvestering [DKK]	Levetid [år]
Afværgeboringer, ledningssystem og pumper	2046	70.320.000	716.000	7.500.000	25



Figur 1-15. Tiltagsomkostninger for scenarie 1B1 (investering i 2026).



Figur 1-16. Tiltagsomkostninger for scenarie 1B2 (investering i 2046).

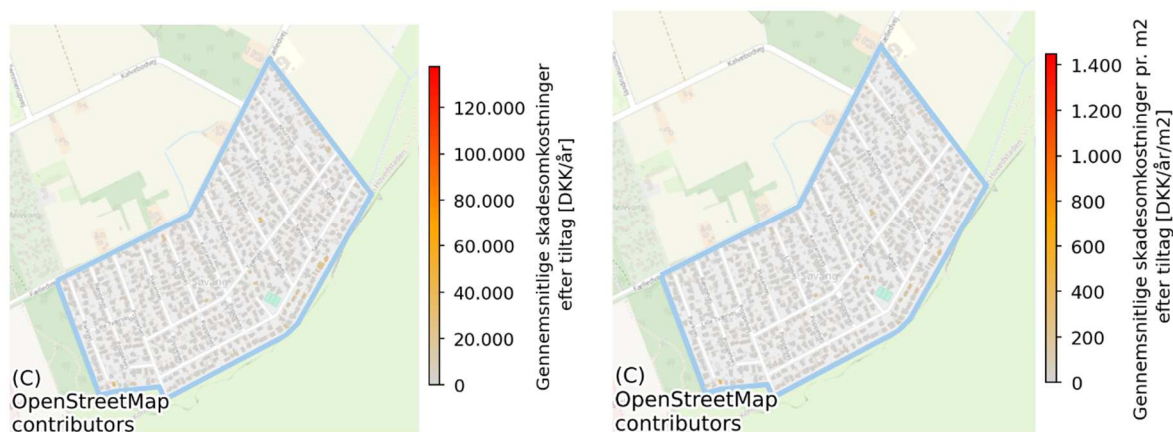
Trin 4: Vurdering af tiltagseffekt og gentagelse af skadesberegninger

Da HIP-modellen er en national model udarbejdet af GEUS, er det ikke muligt at lægge løsninger ind i modellen for at simulere effekten af disse. Derfor laves i stedet en faglig vurdering af løsningernes effekt på skadesomkostningerne. Det er dermed kun Trin 2 (skadeskortlægning), der gentages.

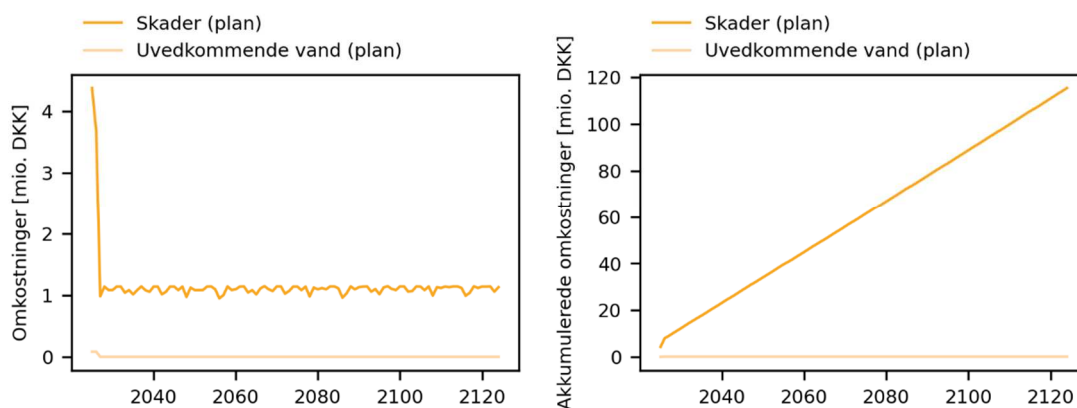
Baseret på tidligere caseberegninger antages det, at løsningerne i både scenarie 1A og scenarie 1B fjerner 75 % af skaderne.

Scenarie 1A1 og Scenarie 1B1

Skadesomkostninger for scenarie 1A1 og 1B1 ses på bygningsniveau i Figur 1-17 mens Figur 1-18 viser den tidlige udvikling i skadesomkostninger. Det antages, at løsningen først har en effekt på skaderne året efter implementering – dvs. fra år 2027. I 2025 og 2026 er der de samme skader som i statusscenariet, hvorefter de falder til omtrent 1 mio. DKK (svarende til 25 % af skaden i statusscenariet). Igen kommer det repetitive mønster fra gentagelsen af det samme grundvandsmønster fra HIP. Det antages desuden, at løsningen fjerner al uvedkommende vand.



Figur 1-17. Gennemsnitlige skadesomkostninger og gennemsnitlige skadesomkostninger pr. m² stueareal efter implementering af scenarie 1A1 og 1B1 for analyseperioden (2025–2125).

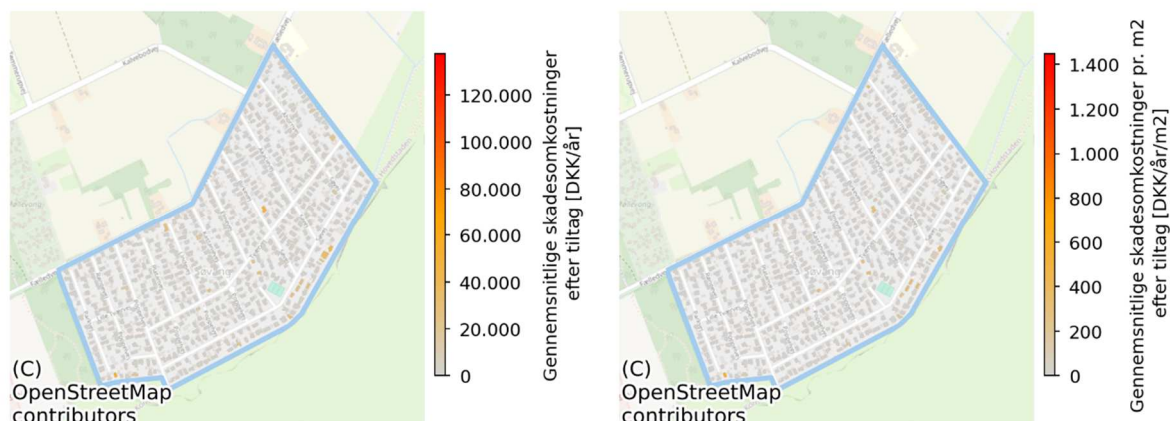


Figur 1-18. Tidlig udvikling i skadesomkostninger og omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand efter implementering af scenarie 1A1 og 1B1 for analyseperioden (2025–2125).

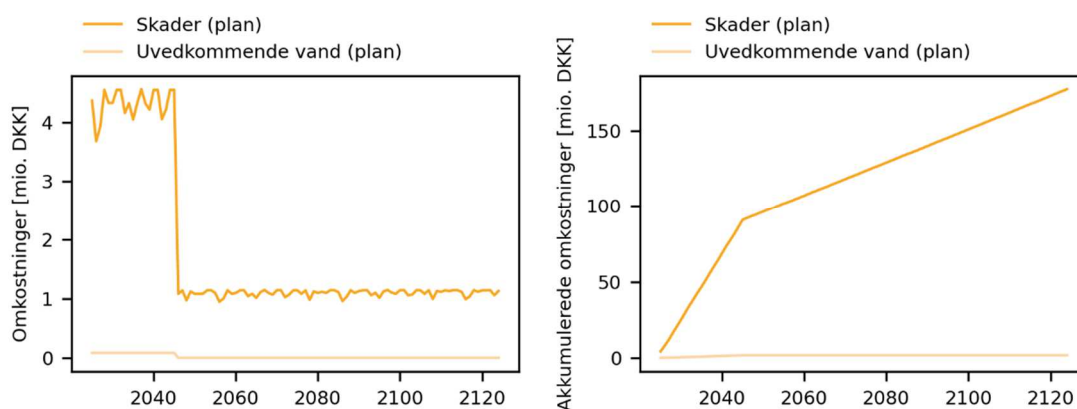
Scenarie 1A2 og scenarie 1B2

Skadesomkostninger for scenarie 1A2 og 1B2 ses på bygningsniveau i Figur 1-19 mens Figur 1-20 viser den tidlige udvikling i skadesomkostninger. Det antages, at løsningen først har en effekt på skaderne året efter implementering – dvs. fra år 2047. I årene op til dette er der de samme skader som i statusscenariet, hvorefter de falder til omtrent 1 mio. DKK (svarende til 25 % af skaden i statusscenariet). Igen kommer det repetitive mønster fra gentagelsen af det samme grundvandsmønster fra HIP. Det antages desuden, at løsningen fjerner al uvedkommende vand. Skaderne er større her end i scenarie 1A1 og 1B1, da løsningen

implementeres senere. Der er derfor flere år med skader. Dette ses især af grafen for akkumulerede omkostninger.



Figur 1-19. Gennemsnitlige skadesomkostninger og gennemsnitlige skadesomkostninger pr. m² stueareal efter implementering af scenarie 1A2 og 1B2 for analyseperioden (2025–2125).



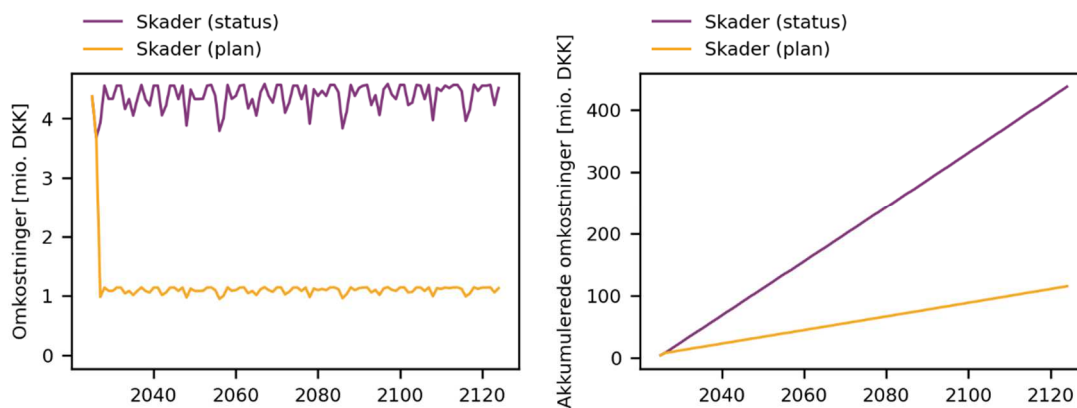
Figur 1-20. Tidlig udvikling i skadesomkostninger og omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand efter implementering af scenarie 1A2 og 1B2 for analyseperioden (2025–2125).

Trin 5: Samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed

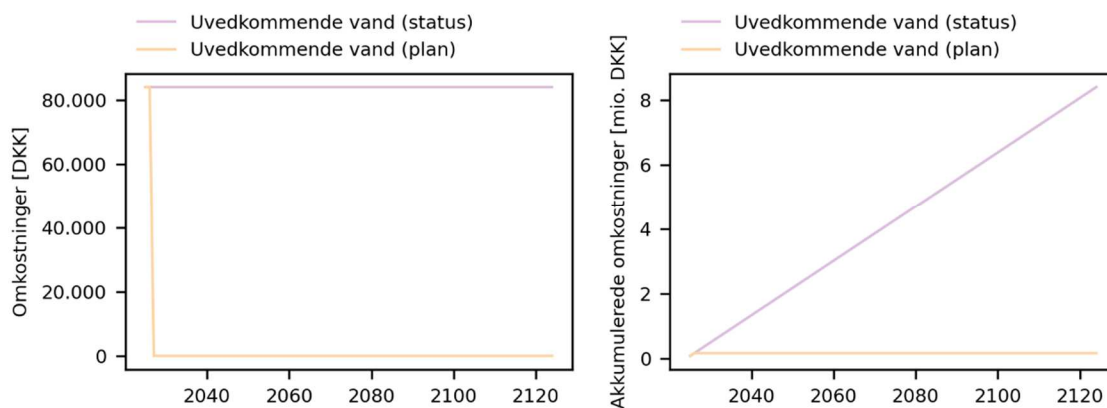
Den samfundsøkonomiske hensigtsmæssighed beregnes ved først at regne gevinsten baseret på status- og planscenarierne, og herefter beregne nettogevinsten ved at sammenholde gevinsten med tiltagsomkostningerne.

Scenarie 1A1

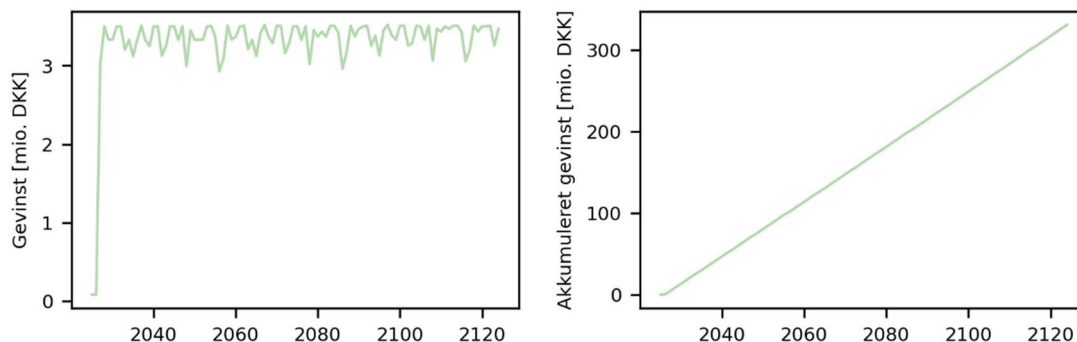
Skadesomkostningerne og omkostningerne til uvedkommende vand er vist for status- og planscenarierne i hhv. Figur 1-21 og Figur 1-22. Herfra ses det, at det største fald i omkostninger fås igennem skadesomkostninger og kun en mindre del fra reduktion i uvedkommende vand. Den totale gevinst er plottet i Figur 1-23.



Figur 1-21. Tidlig udvikling i skadesomkostninger før og efter implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).

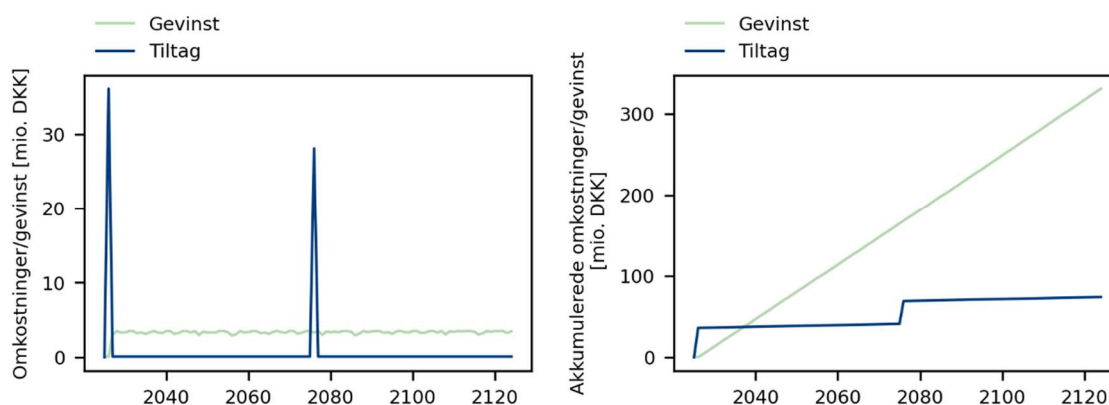


Figur 1-22. Tidlig udvikling i omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand før og efter implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).



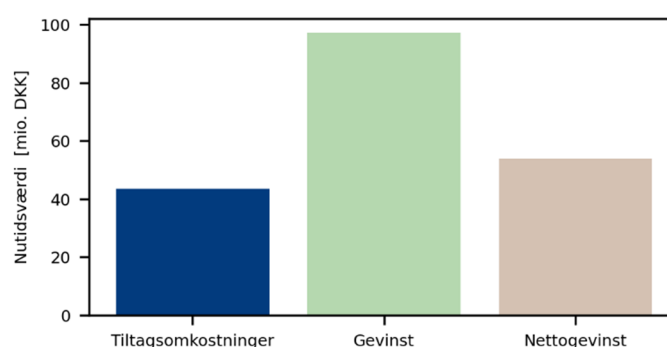
Figur 1-23. Tidlig udvikling i gevinst ved implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125). Gevinsten er summen af skadesreduktion og reduktion af omkostningerne forbundet med uvedkommende vand.

Figur 1-24 viser den tidlige udvikling i gevinst og tiltagsomkostninger. På diagrammet med akkumulerede værdier ses det, at gevinsten krydser tiltagsomkostningerne omkring år 2035, hvilket vil sige at tilbagebetalingstiden er omtrent 10 år.



Figur 1-24. Tidslig udvikling i gevinst og tiltagsomkostninger ved implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).

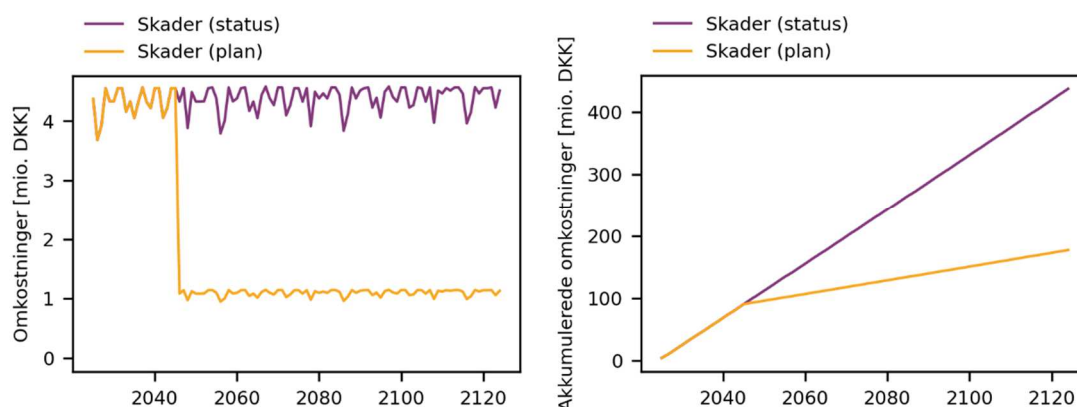
Figur 1-25 viser de totale omkostninger og gevinster ved scenarie 1A1 samt nettogevinsten (regnet som gevinsten fratrasket tiltagsomkostningerne) i nutidsværdi. Det er herfra tydeligt, at der er en positiv nettogevinst ved at implementere scenarie 1A1.



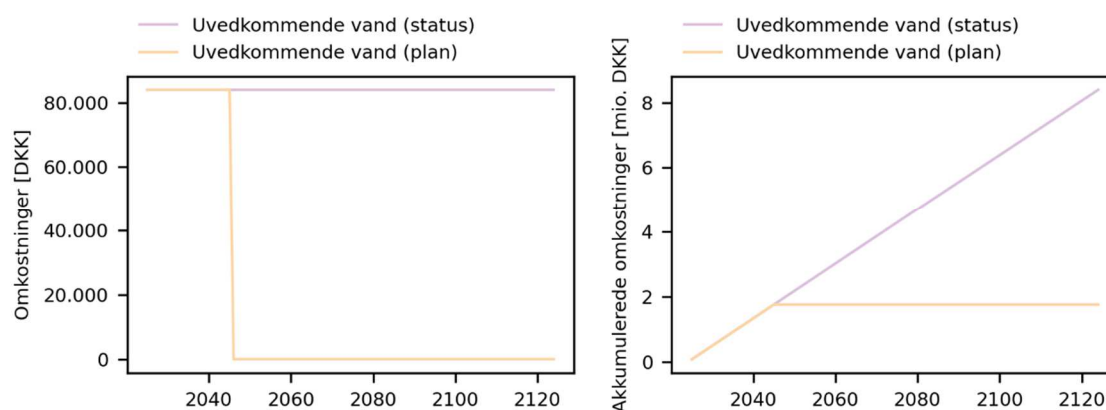
Figur 1-25. Overblik over samfundsøkonomi ved implementering af scenarie 1A1.

Scenarie 1A2

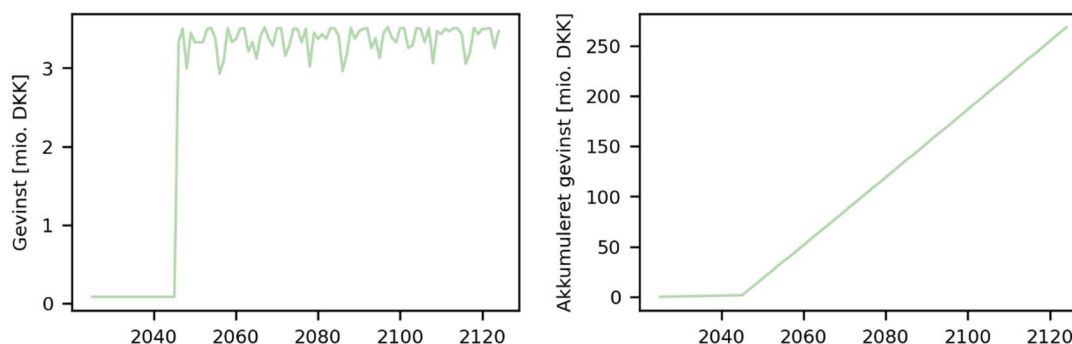
Skadesomkostningerne og omkostningerne til uvedkommende vand er vist for status- og planscenarierne i hhv. Figur 1-26 og Figur 1-27. Herfra ses det, at det største fald i omkostninger fås igennem skadesomkostninger og kun en mindre del fra reduktion i uvedkommende vand. Den totale gevinst er plottet i Figur 1-28.



Figur 1-26. Tidlig udvikling i skadesomkostninger før og efter implementering af scenarie 1A2 for analyseperioden (2025–2125).

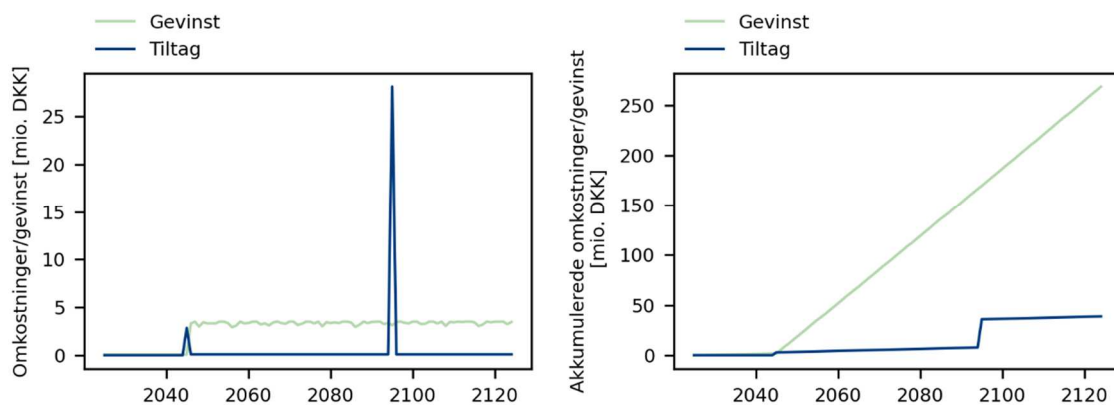


Figur 1-27. Tidlig udvikling i omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand før og efter implementering af scenarie 1A2 for analyseperioden (2025–2125).



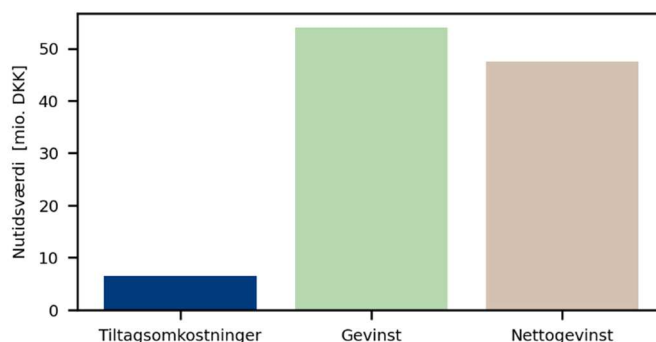
Figur 1-28. Tidlig udvikling i gevinst ved implementering af scenarie 1A2 for analyseperioden (2025–2125). Gevinsten er summen af skadesreduktion og reduktion af omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand.

Figur 1-29 viser den tidlige udvikling i gevinst og tiltagsomkostninger. Sammenlignes med tilsvarende figur for scenarie 1A1 (Figur 1-24), ses de reducerede udgifter til tiltaget, der kommer som resultat af, at det udføres som samgravningsprojekt, men at gevinsten samtidig også kommer senere. På diagrammet med akkumulerede værdier ses det, at gevinsten krydser tiltagsomkostningerne umiddelbart efter at tiltaget er udført. Årsagen til dette er de lave tiltagsomkostninger. Dermed bliver tilbagebetalingstiden meget kort.



Figur 1-29. Tidslig udvikling i gevinst og tiltagsomkostninger ved implementering af scenarie 1A2 for analyseperioden (2025–2125).

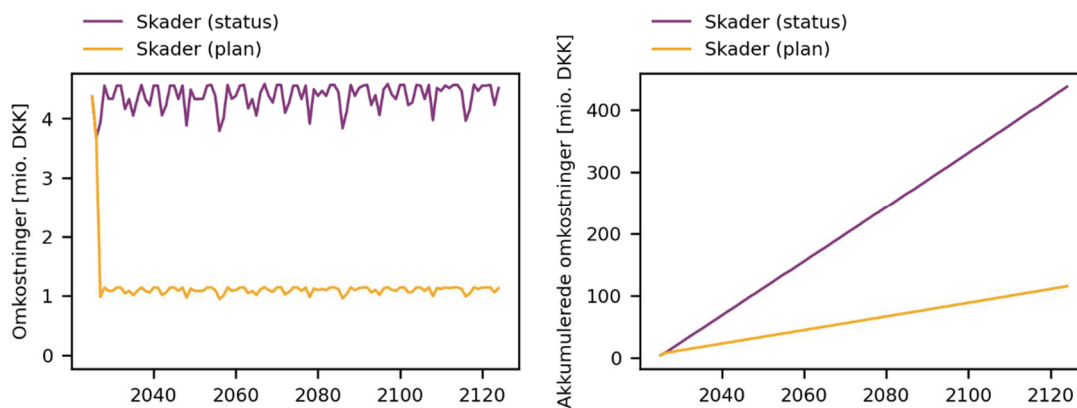
Figur 1-30 viser de totale omkostninger og gevinster ved scenarie 1A2 samt nettogevinsten (regnet som gevinsten fratrasket tiltagsomkostningerne) i nutidsværdi. Det er herfra tydeligt, at der er en positiv nettogevinst ved at implementere scenarie 1A2. Både gevinsten og tiltagsomkostningerne er lavere end i scenarie 1A1 grundet udskydelsen af projektet. Udskydelsen leder til flere skader (og dermed lavere gevinst) men samtidig en lavere tiltagsomkostning, da det udføres som samgravningsprojekt. Desuden medfører udskydningen af investeringen at tiltagsomkostningen reduceres pga. tilbagediskonteringen. Gevinsten falder mere end tiltagsomkostningerne som følge af udskydelsen, og dermed bliver nettogevinsten mindre i scenarie 1A2 end i scenarie 1A1.



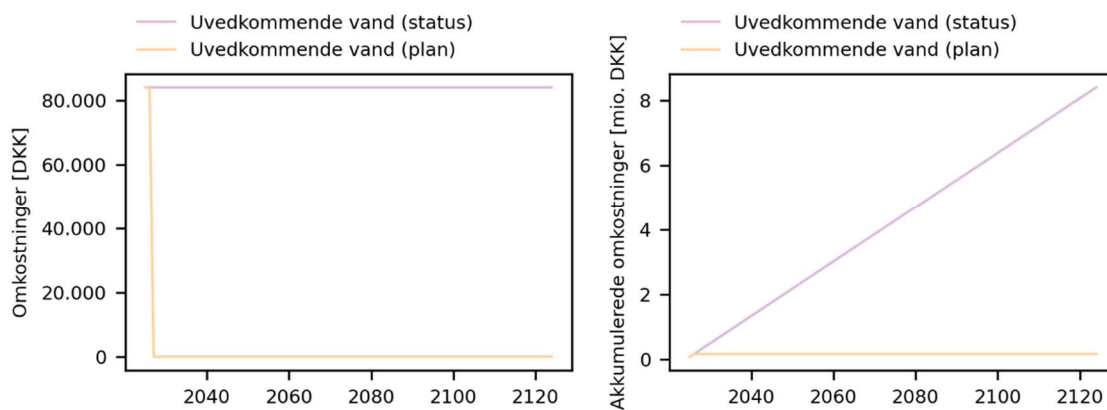
Figur 1-30. Overblik over samfundsøkonomi ved implementering af scenarie 1A2.

Scenarie 1B1

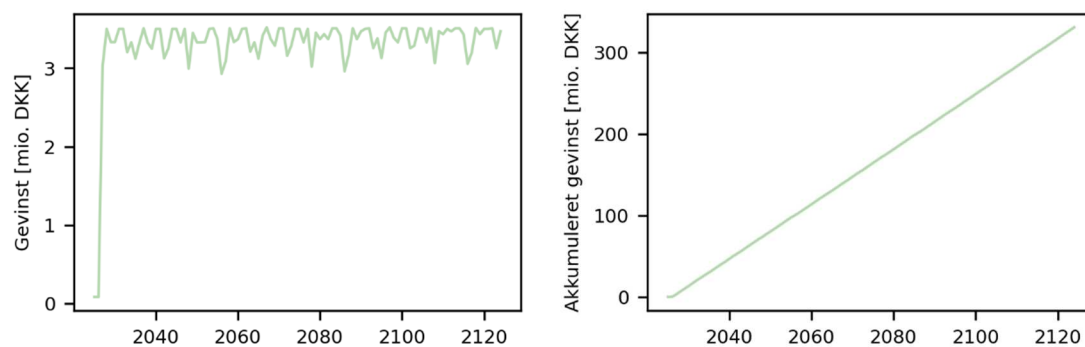
Skadesomkostningerne og omkostningerne til uvedkommende vand er vist for status- og planscenarierne i hhv. Figur 1-31 og Figur 1-32. Herfra ses det, at det største fald i omkostninger fås igennem skadesomkostninger, og kun en mindre del fra reduktion i uvedkommende vand. Den totale gevinst er plottet i Figur 1-33.



Figur 1-31. Tidslig udvikling i skadesomkostninger før og efter implementering af scenarie 1B1 for analyseperioden (2025–2125).

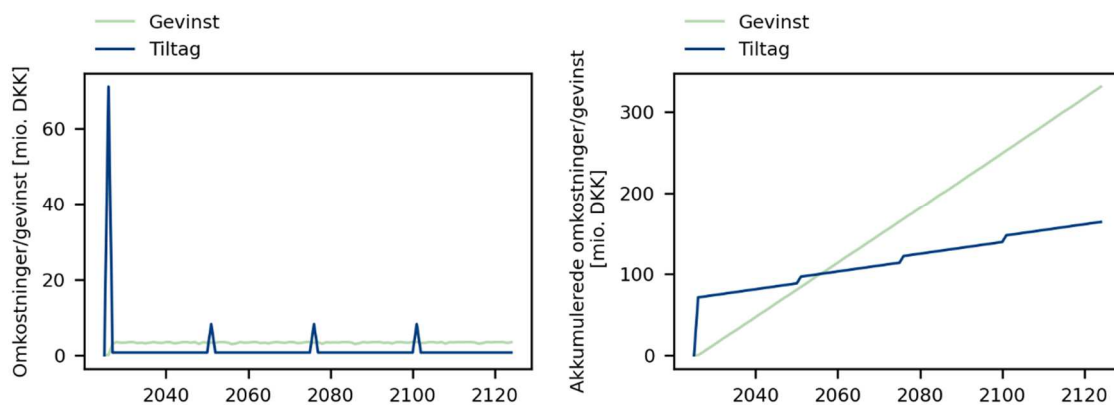


Figur 1-32. Tidslig udvikling i omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand før og efter implementering af scenarie 1B1 for analyseperioden (2025–2125).



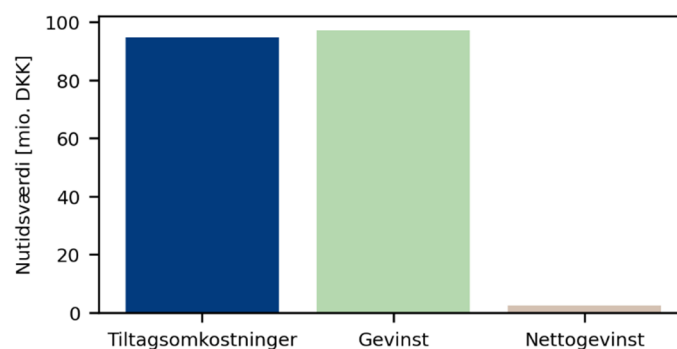
Figur 1-33. Tidslig udvikling i gevinst ved implementering af scenarie 1B1 for analyseperioden (2025–2125). Gevinsten er summen af skadesreduktion og reduktion af omkostningerne forbundet med uvedkommende vand.

Figur 1-34 viser den tidlige udvikling i gevinst og tiltagsomkostninger. På diagrammet med akkumulerede værdier ses det, at gevinsten krydser tiltagsomkostningerne omkring år 2055, hvilket vil sige at tilbagebetalingstiden er omtrent 30 år. Dette er en del længere end for scenarie 1A1 og 1A2.



Figur 1-34. Tidslig udvikling i gevinst og tiltagsomkostninger ved implementering af scenarie 1B1 for analyseperioden (2025–2125).

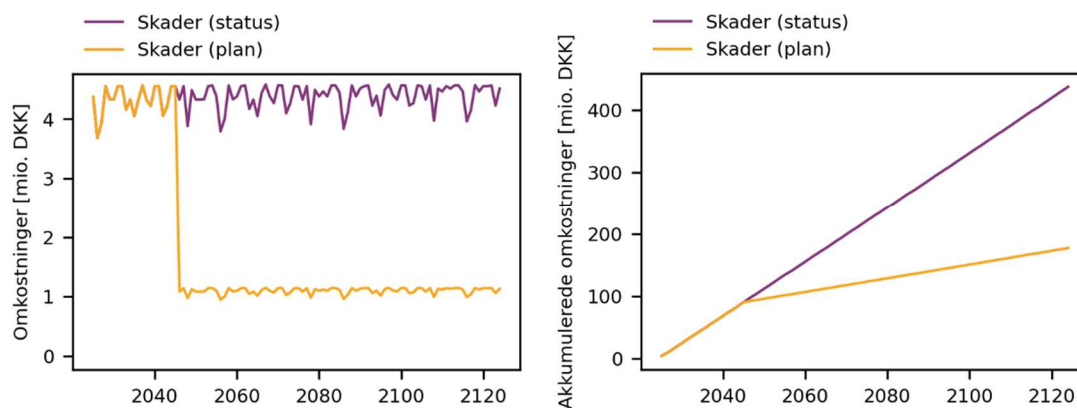
Figur 1-35 viser de totale omkostninger og gevinster ved scenarie 1B1 samt nettogevinsten (regnet som gevinsten fratrukket tiltagsomkostningerne) i nutidsværdi. Det ses, at der kun er en minimal positiv nettogevinst ved at implementere scenarie 1B1. Gevinsten svarer til gevinsten for scenarie 1A1, da scenarierne har samme investeringsår og antager samme reduktion i skader. Tiltagsomkostningerne er dog markant dyrere, hvilket leder til en lille nettogevinst.



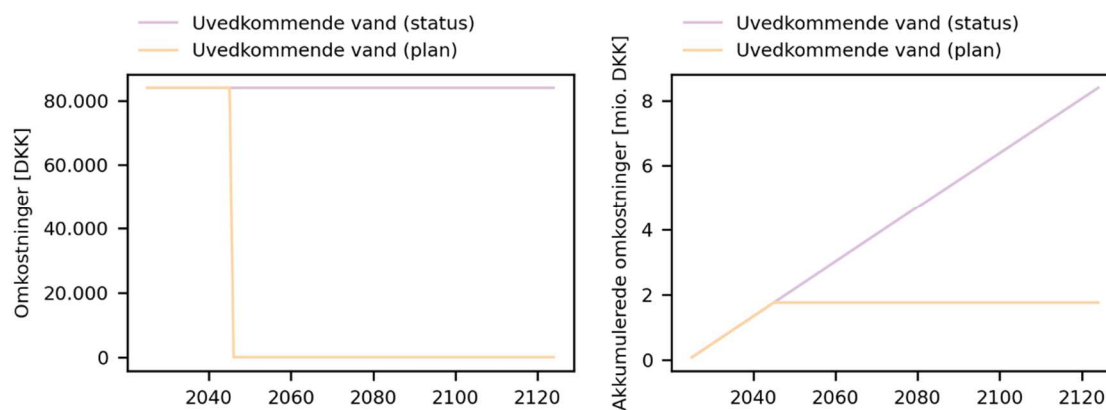
Figur 1-35. Overblik over samfundsøkonomi ved implementering af scenarie 1B1.

Scenarie 1B2

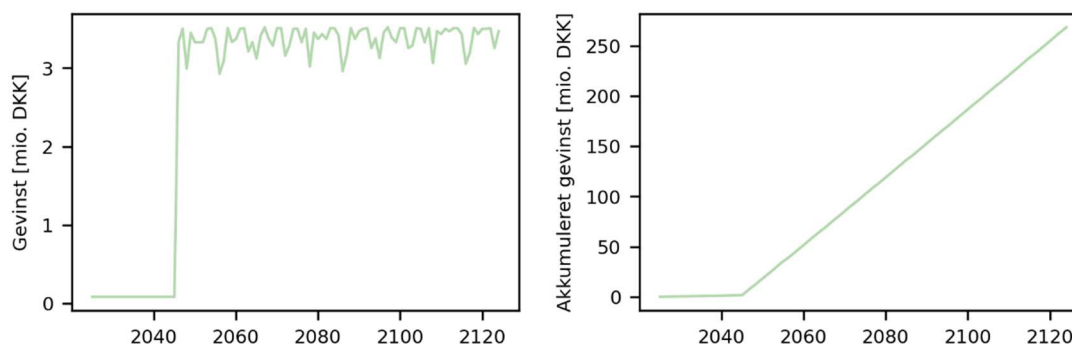
Skadesomkostningerne og omkostningerne til uvedkommende vand er vist for status- og planscenarierne i hhv. Figur 1-36 og Figur 1-37. Ved at sammenholde de to figurer ses det, at det største fald i omkostninger fås igennem skadesomkostninger, og kun en mindre del fra reduktion i uvedkommende vand. Den totale gevinst (dvs. forskellen mellem status- og planscenarierne) er plottet i Figur 1-38.



Figur 1-36. Tidlig udvikling i skadesomkostninger før og efter implementering af scenarie 1B2 for analyseperioden (2025–2125).



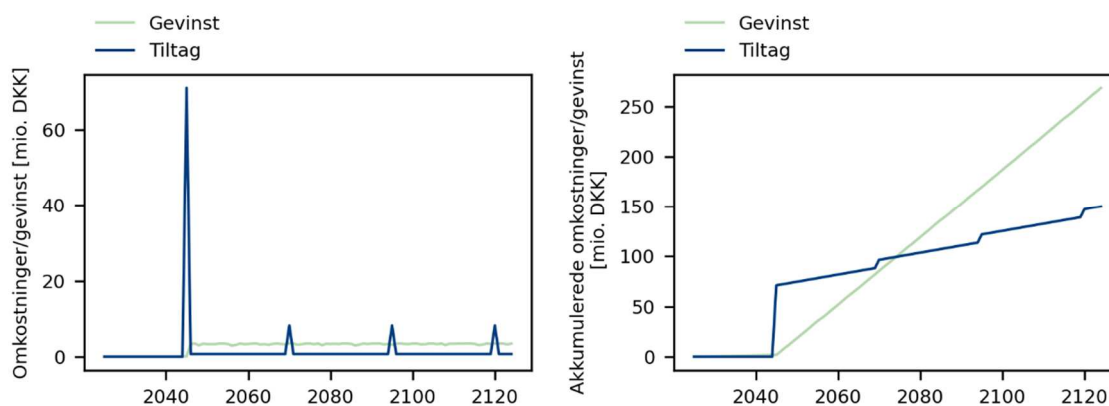
Figur 1-37. Tidlig udvikling i omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand før og efter implementering af scenarie 1B2 for analyseperioden (2025–2125).



Figur 1-38. Tidlig udvikling i gevinst ved implementering af scenarie 1B2 for analyseperioden (2025–2125). Gevinsten er summen af skadesreduktion og reduktion af omkostningerne forbundet med uvedkommende vand.

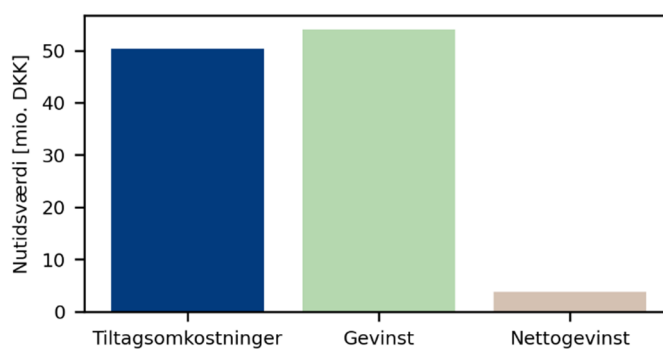
Figur 1-39 viser den tidlige udvikling i gevinst og tiltagsomkostninger. Både scenarie 1B1 og 1B2 har tre reinvesteringer i løbet af analyseperioden. Dog er der færre år med driftsomkostninger forbundet med scenarie 1B2, hvorfor de akkumulerede tiltagsomkostninger er lavere for dette scenarie. På diagrammet med akkumulerede værdier ses det desuden, at gevinsten krydser tiltagsomkostningerne omkring år 2075,

hvilket vil sige at tilbagebetalingstiden er omtrent 30 år. Dette er det samme som for scenarie 1B1 (da der ikke er samgravningsfordele ved scenarie 1B2) og en del længere end for scenarie 1A1 og 1A2.



Figur 1-39. Tidlig udvikling i gevinst og tiltagsomkostninger ved implementering af scenarie 1B2 for analyseperioden (2025–2125).

Figur 1-40 viser de totale omkostninger og gevinster ved scenarie 1B2 samt nettogevinsten (regnet som gevinsten fratrasket tiltagsomkostningerne) i nutidsværdi. Det ses, at der kun er en minimal positiv nettogevinst ved at implementere scenarie 1B2. Både gevinsten og tiltagsomkostningerne er lavere i scenarie 1B2 end i scenarie 1B1 grundet udskydelsen af projektet. Udskydelsen leder til flere skader (og dermed lavere gevinst) men samtidig også en lavere tiltagsomkostning pga. tilbagediskonteringen. Tiltagsomkostningerne falder mere end gevinsten som følge af udskydelsen, og dermed bliver nettogevinsten større i scenarie 1B2 end i scenarie 1B1.



Figur 1-40. Overblik over samfundsøkonomi ved implementering af scenarie 1B2.

Udvælgelse af løsning

Sammenlignes de fire scenarier (Tabel 1-9) ses det, at scenarie 1A1 har den største nettogevinst på 54,1 mio. DKK. Scenarie 1A2 har en nettogevinst, der er ca. 10 % lavere end scenarie 1A1, mens de to 1B-scenarier har lave nettogevinster. Scenarie 1A2 har en benefit-cost-ratio (der regnes som gevinsten divideret med tiltagsomkostningerne), der er over fire gange højere end for scenarie 1A1. Den høje benefit-cost-ratio for scenarie 1A2 betyder, at samfundet får 'mere værdi for pengene' ved dette scenarie.

Tabel 1-9. Overblik over nettogevinsten for scenarier i Markby.

Scenarie	Nettogevinst [mio. DKK]	Benefit-cost-ratio
1A1	54,1	2,2
1A2	48,6	9,6
1B1	2,6	1,0
1B2	4,4	1,1

Udgangspunktet for de nye regler er, at løsningen med størst samfundsøkonomisk nettogevinst skal implementeres, dog med frihed til at vælge blandt flere løsninger, der måtte have sammenlignelige samfundsøkonomiske gevinster. Såfremt de samfundsøkonomiske gevinster for scenarie 1A1 og 1A2 er sammenlignelige, foretrækkes den løsning med størst benefit-cost-ratio. Derfor undersøges det ved hjælp af en følsomhedsanalyse af scenarie 1A2, om scenarie 1A1 og 1A2 med rimelighed må siges at have sammenlignelig samfundsøkonomisk gevinst.

Der foretages en følsomhedsanalyse for at undersøge, om usikkerheden på nettogevinsten for scenarie 1A2 er større end forskellen i nettogevinsten af scenarie 1A1 og 1A2. I givet fald vurderes det overvejende sandsynligt, at den samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed af 1A1 og scenarie 1A2 er sammenlignelige, og at der derfor kan vælges frit mellem de to.

Der justeres på forskellige parametre, der har betydning for resultatet af den samfundsøkonomiske beregning (Tabel 1-10). Det er vurderet, at en følsomhedsanalyse på baggrund af disse parametre tilsammen vil give et retvisende billede af den samfundsøkonomiske analyses udfaldsrum. Følgende parametre indgår i følsomhedsanalysen:

- **Grundvandsstand:** Grundvandsstanden har stor betydning for nettogevinsten. En dybere grundvandsstand (dvs. længere afstand mellem grundvandsspejl og terræn) reducerer skadesomkostningerne i både status- og planscenarierne. Da skaderne i planscenariet regnes som 25 % af skaderne i statusscenariet, bliver gevinsten mindre, når skaderne i statusscenariet bliver mindre. Da udgifterne til løsningstiltaget forbliver de samme, falder nettogevinsten. Den er dog stadig positiv. En højere grundvandsstand (dvs. grundvandet står tættere på terræn) leder til højere skadesomkostninger i statusscenariet, hvilket leder til en højere gevinst og dermed en større nettogevinst.
- **Omfangsdræn:** Indførelsen af private omfangsdræn leder til et fald i nettogevinst. Årsagen er, at bygningerne får færre skader i status- og planscenarierne. Da skaderne i planscenariet regnes som 25 % af skaderne i statusscenariet vil faldet i skadesomkostninger som følge af private omfangsdræn være større i statusscenariet end i planscenariet. Dermed falder gevinsten, og da tiltagsomkostningerne fastholdes, falder nettogevinsten. Jo flere private omfangsdræn, jo lavere nettogevinst. Dog er effekten relativ lille (maks. 7 %), da de fleste bygninger i Markby er fra 1973 eller senere. De må derfor antages allerede at have afværgeforanstaltninger. Det er derfor kun en lille andel af den samlede bygningsmasse, der får færre skader, når disse går fra "uden" til "med" afværgeforanstaltninger i farekortlægningen.

- Effekt af tiltag: En mindre effekt af tiltaget leder til en lavere nettogevinst, da skaderne i planscenariet bliver større og gevinsten dermed falder. Modsat leder en større effekt til en større nettogevinst. Effekten af tiltaget har en stor påvirkning på nettogevinsten. Varierer man effekten med 50 % fås også en ændring i nettogevinst på ca. 50 %. Udgangspunktet er, at tiltaget reducerer skadesomkostningerne med 75 %. Selv om effekten reduceres med 50 % (dvs. til 37,5 %), er der stadig en positiv nettogevinst.
- Tiltagsomkostninger: Lavere tiltagsomkostninger får nettogevinsten til at stige, mens større tiltagsomkostninger får den til at falde. Da tiltagsomkostningerne er små relativt til gevinsten, har denne parameter en minimal påvirkning på nettogevinsten.
- Uvedkommende vand: Hvis omkostningerne forbundet med rensning af uvedkommende vand (før tiltaget er udført) reduceres, bliver gevinsten lavere. Dermed falder nettogevinsten. Modsat stiger nettogevinsten hvis omkostningerne forbundet med rensningen (før tiltaget er udført) stiger. Dette har dog kun en meget lille indflydelse på nettogevinsten, da udgifterne til rensning er meget lave i forhold til skadesomkostningerne.

På tværs af resultaterne i følsomhedsanalysen ses det, at ændringer i nøgleparametre leder til ændringer i nettogevinsten, der overstiger forskellen på nettogevinsten af 1A1 og 1A2 jf. Tabel 1-9. Derfor vurderes det, at den samfundsøkonomiske hensigtsmæssighed af de to scenarier er sammenlignelig, og at det er rimeligt at vælge scenarie 1A2 fremfor scenarie 1A1.

Desuden viser følsomhedsanalysen, at nettogevinsten er positiv i alle tilfælde. Det er derfor overvejende sandsynligt, at det er samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt at anlægge en tredje ledning som samgravningsprojekt i 2046 (scenarie 1A2).

Tabel 1-10. Følsomhedsanalyse.

	Nettogevinst [mio. DKK]	Ændring [%]
Oprindelig analyse	48,6	-
Grundvandsstand 50 cm dybere	14,2	-71
Grundvandsstand 50 cm højere	51,4	6
Omfangsdræn for 25 % af bygninger uden afværgeforanstaltninger	48,4	0
Omfangsdræn for 50 % af bygninger uden afværgeforanstaltninger	47,3	-3
Omfangsdræn for 100 % af bygninger uden afværgeforanstaltninger	45,1	-7
Effekt af tiltag 50 % lavere end oprindelig effekt	22,8	-53
Effekt af tiltag 50 % højere end oprindelig effekt	74,5	53
Tiltagsomkostninger 50 % lavere	51,5	6
Tiltagsomkostninger 50 % højere	45,8	-6
Omkostninger til uvedkommende vand før tiltag er 50 % lavere	47,3	-3
Omkostninger til uvedkommende vand før tiltag er 50 % højere	49,9	3

Beregningseksempel 2 - Bakkeby

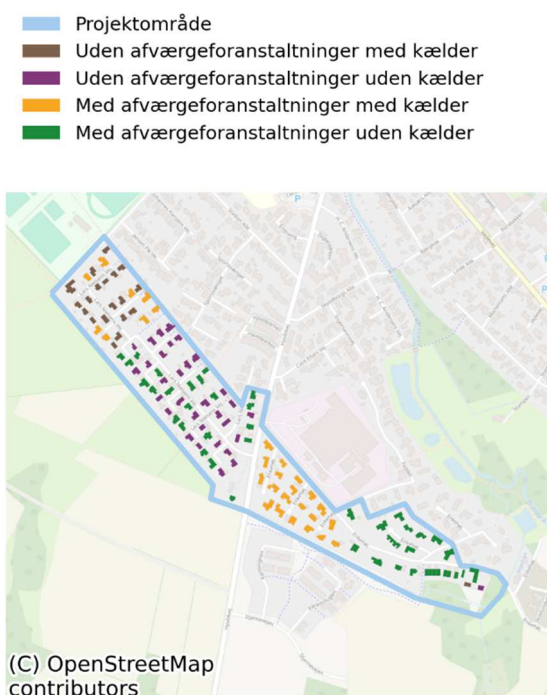
Bakkeby Kommune har fastlagt en del af byen til undersøgelse af, om det kan betale sig at lave grundvandssænkende foranstaltninger (Figur 2-1). Området er fælleskloakeret. Bakkeby Forsyning skal derfor beregne, om det er samfundsmæssigt hensigtsmæssigt at lave grundvandssænkende foranstaltninger i området.

I den samfundsøkonomiske analyse af Bakkeby er der udelukkende indregnet skader på bygningsmassen. Området indeholder ikke jernbaner, og skader på veje forventes at være marginal sammenlignet med skader på bygninger.

Informationen om bygningerne i Bakkeby fås fra BBR. Heri findes data om boligens areal samt kælderarealet. Her benyttes det største angivne kælderareal, og der skelnes derfor ikke mellem forskellige arealanvendelser af kælderen. Boligens omkreds (der benyttes til udregning af varighedsbaserede skader) tages direkte fra bygningslaget. Omkredsen på kælderen estimeres ud fra kælderenes areal.

I BBR findes ligeledes information om hver enkelt bygnings opførelsesår og renovering. I tilfælde af renovering bruges dette årstal til at vurdere om bygningen har afværgeforanstaltninger. Det er dog ikke sikkert at en renovering altid vil medføre etableringen af afværgeforanstaltninger, og der er derfor en risiko for at bygninger uden afværgeforanstaltninger ender i kategorien "med afværgeforanstaltninger". Modsat vil der dog også være bygninger fra før 1973, der ender i kategorien "uden afværgeforanstaltninger", men hvor boligejeren har etableret f.eks. omfangsdræn. Dette er kilde til usikkerhed.

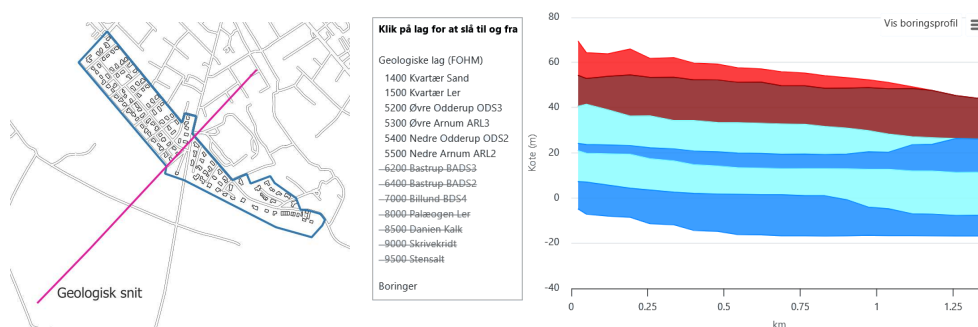
Det undersøgte område i Bakkeby har 125 ejendomme, hvoraf ca. 60 % er etableret fra 1973 og frem og 1/3 har kælder (Figur 2-1).



Figur 2-1. Undersøgt område i Bakkeby samt bygningskategorier.

Grundvandsstanden påvirkes ikke af nærliggende drikkevandsboringer, og der foreligger ikke nærmere informationer om, hvorvidt bygningerne har omfangsdræn.

Geologisk består de øverste knap 10 m i Bakkeby af kvartær sand, hvorunder der ligger et lag af kvartær ler (Figur 2-2).



Figur 2-2. Geologisk konceptuel forståelse. Tværsnittet er fra SV til NØ (FOHM: <https://data.geus.dk/geusmap/?mapname=fohm>).

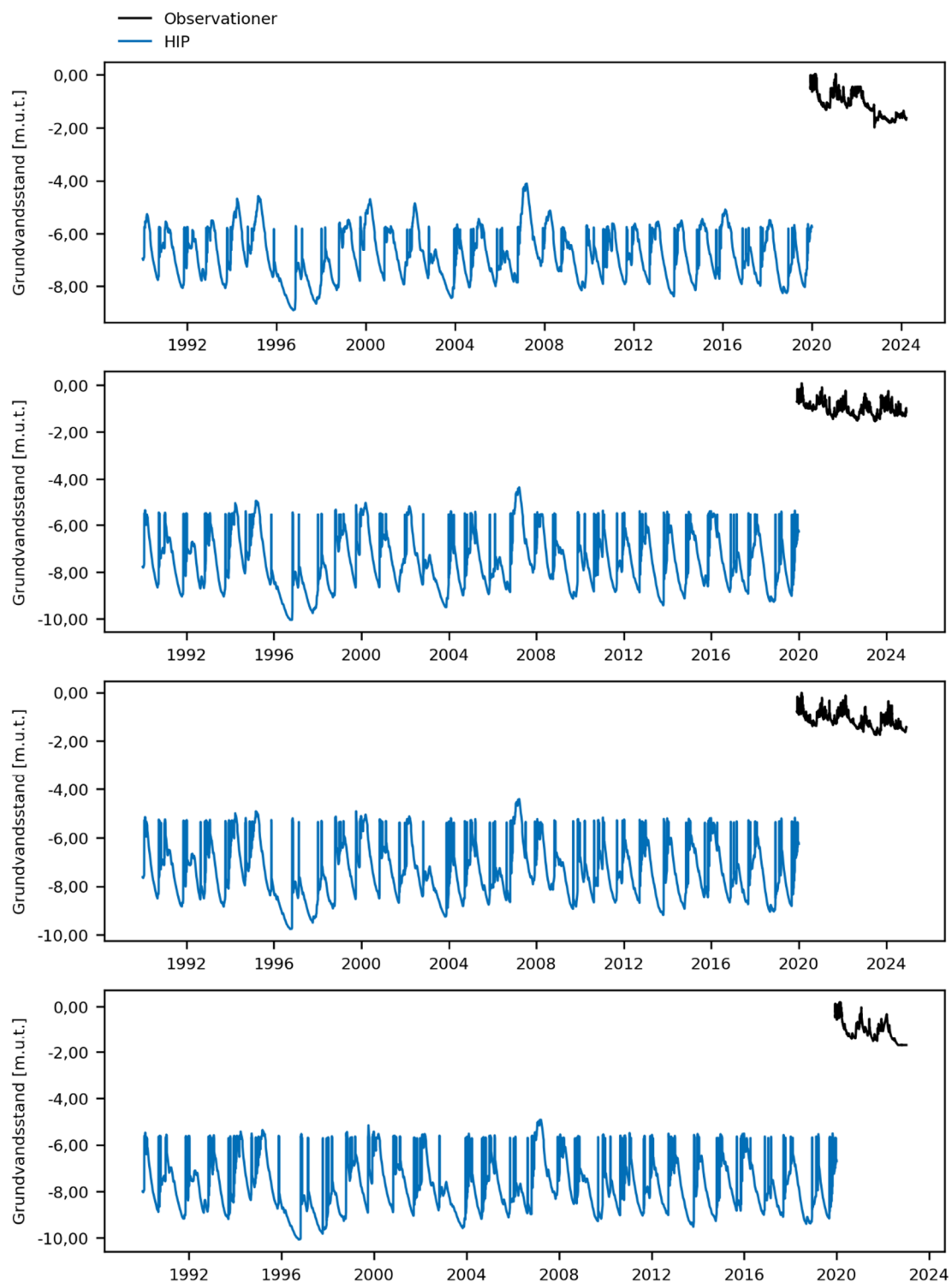
Trin 1: Farekortlægning

Analyseperiode

Det vælges at lave analysen for Bakkeby over en 100 års periode fra 2025 til 2125, idet 100 år ofte anvendes i praksis, og da levetiden på de relevante anlæg og løsninger til håndtering af terrænnært grundvand, hvor der er behov for reinvestering, forventes at være under 100 år.

Grundvandsdata

Der findes fire boringer i Bakkeby, som bruges til at vurdere, om HIP-modellen kan benyttes til estimering af det terrænnære grundvandsniveau. Figur 2-3 viser, at der er flere meters forskel mellem HIP-modellen og observationerne. Det vurderes derfor, at HIP ikke er retvisende som grundlag for analysen.



Figur 2-3. Resultater fra HIP-modellen plottet mod data fra fire målepunkter.

Der er for år tilbage opsat en lokal grundvandsmodel for området i MIKE SHE, som derfor bruges.

Den lokale grundvandsmodel er sat op med udgangspunkt i DK-modellen (en forløber til HIP-modellen), ved at udklippe et tilstrækkeligt stort område af denne model. Området er valgt, så det ligger vinkelret på

potentialelinjerne og stopper ved vandløbet, hvor der er et fastholdt trykniveau, og vandet kan løb ud. Randen er defineret som nul-flow. Det resulterende modelområde er ca. 3,5 km langt og knap 2 km bredt.

Den lokale grundvandsmodel består af en umættet og en mættet zone, og parametrene for disse kan ses i hhv. Tabel 2-1 og Tabel 2-2. Modellen er sat op med ét lag i den mættede zone. Det antages, at al transport af terrænnært grundvand sker i sandlaget, og at det underliggende lag af kvartær ler er impermeabelt. Der er simuleret et dræn i 1 m dybde ved at ændre tidskonstanten (til $5 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$). Opløsningen af modellen er 10 m x 10 m. Nedbør, referencefordampning og temperatur er brugt som inputdata.

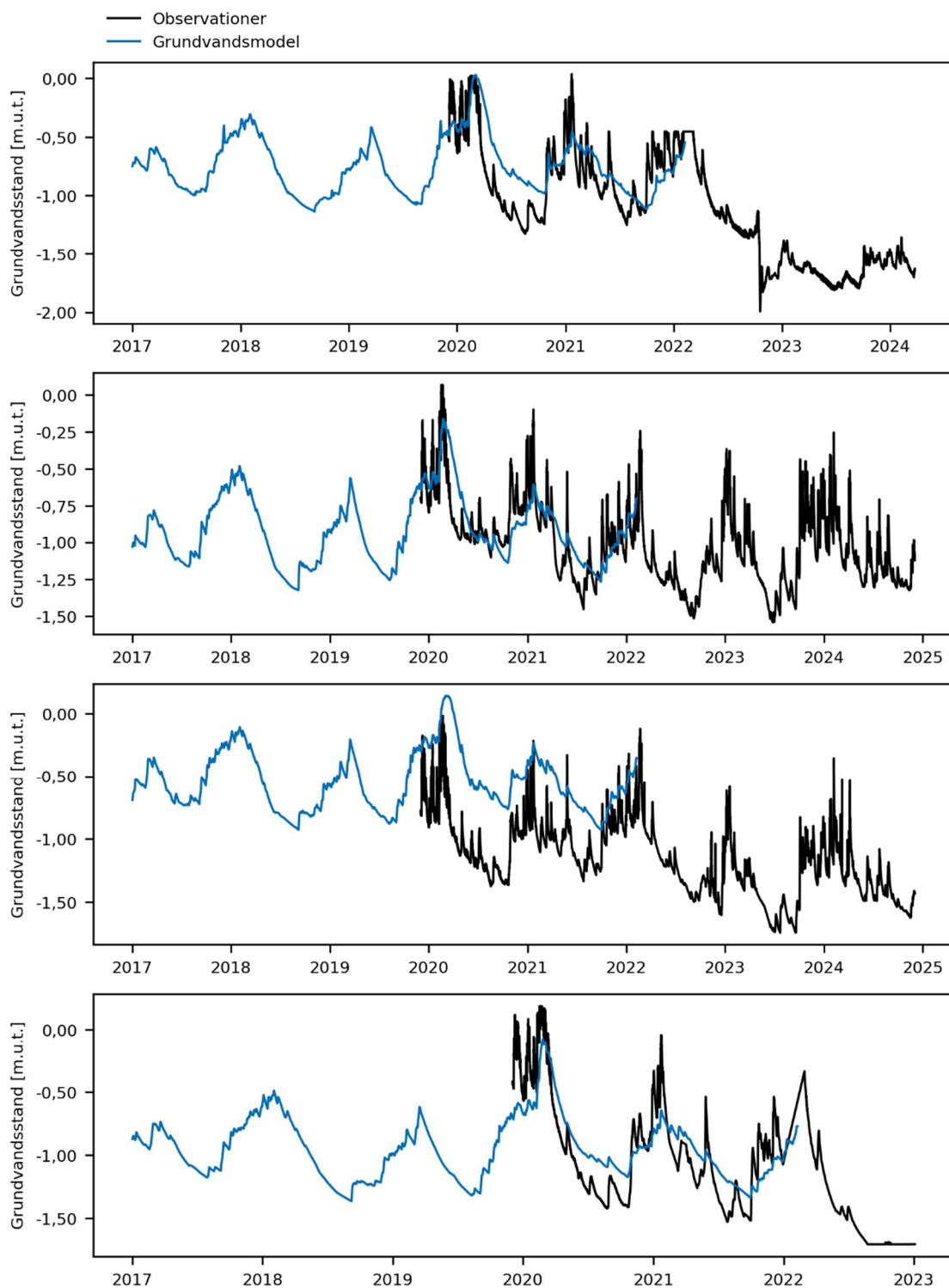
Tabel 1-1. Parametre i den umættede zone i den lokale grundvandsmodel for Bakkeby.

Geologisk lag	Ws [m ³ /m ³]	Wf [m ³ /m ³]	K [m/s]
Grovsandet jord (JB1)	0,44	0,16	6e-6 (uden bypass)

Tabel 1-2. Parametre i den mættede zone i den lokale grundvandsmodel for Bakkeby.

Geologisk lag	Tykkelse [m]	Ks Hor [m/s]	Ks Ver [m/s]	Sy [-]	Ss [m ⁻¹]
Kvartær sand	3 til 20	1,86e-4	1,86e-4	0,2	5e-5

Resultaterne af den opsatte lokale grundvandsmodel svarer godt overens med observationerne (Figur 2-4).



Figur 2-4. Resultater fra den lokale grundvandsmodel plottet mod fire observationspunkter.

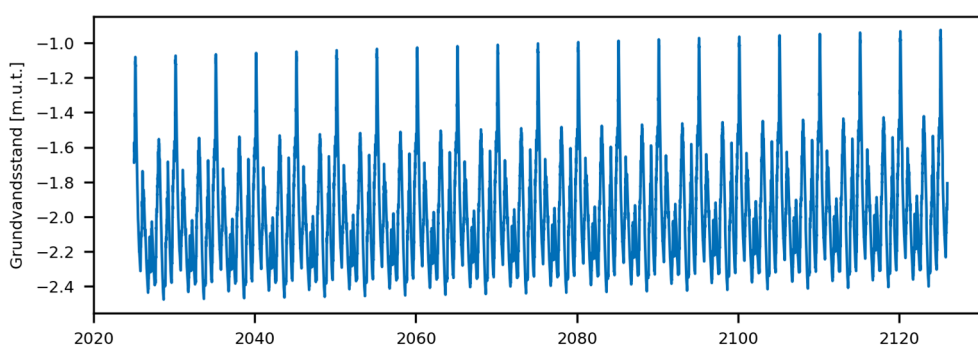
Konstruktion af tidsserie for grundvandsdybden for 2025-2125

For at opnå en tidsserie for det terrænnære grundvand i Bakkeby fra 2025-2125 køres grundvandsmodellen for en 10-årig periode fra 2015-2024. Det vurderes at dette er tilstrækkeligt givet de andre usikkerheder i metoden. Dernæst kopieres grundvandsmodellens data fra 2015-2024 ud i fremtiden, så den samme

variation i grundvandsstanden fås i de efterfølgende år. Dette resulterer i en tidsserie der løber fra 2025 til 2125.

For at korrigere denne tidsserie, så den inkluderer klimaændringer, køres en kort tidsperiode ude i fremtiden ved at bruge en sæsonvarieret klimafaktor på nedbøren. Denne faktor er taget fra klimaatlas² (kommunegennemsnit (scenarie RCP 8,5 for 2071-2100): vinter 20,79 % stigning, forår 16,58 % stigning, sommer -5,27 % stigning og efterår 9,11 % stigning). Forskellen mellem simuleringen af nutidigt og fremtidigt klima bruges til at beregne en årlig ændring for hver af de fire årstider. Slutteligt korrigeres tidsserien af grundvandsstanden i hvert år ved at bruge den forventede årlige stigning for den respektive årstid.

Et eksempel på den resulterende tidsserie mellem 2025 og 2125 findes i Figur 2-5. Det samme mønster i grundvandsstanden ses repeteret, så hele perioden er dækket. Grundvandsstanden er langsomt stigende og stiger ca. 10 cm i løbet af analyseperioden.



Figur 2-5. Udviklingen i grundvandsstand for analyseperioden (2025-2125) for bygningsID 2362.

Da der ikke er kendskab til andre ændringer, der vil påvirke det terrænnære grundvandsspejl i området (f.eks. lukning af drikkevandsboringer), benyttes de fremkomne tidsserier i den videre analyse.

Analyse af skadevoldende dybder

Hvert år i tidsserien analyseres ved hjælp af de to kriterietabeller (Tabel 2-3 og Tabel 2-4). Her tælles antal døgn/år (opgjort fra sommer til sommer), hvor grundvandet står tættere på terræn end hhv. 1 og 2 meter. Alt efter hvilken type bygning, der er tale om (med/uden kælder og med/uden afværgeforanstaltninger), vil det aktivere en eller flere kriterier (rækker) i kriterietabellerne (H1 og H2 samt V1-V6). Disse vil i sidste ende bruges til at identificere skader (S1, S2 eller S3).

Tabel 2-3. Kriterietabel for hændelsesbaserede skader. S1 henviser til skadesID'er i Tabel 4-3. TGV = terrænnært grundvand. V = varighed [døgn/år].

Kriterie: døgn/år med...			Opfyldt kriterie udløser skade for bygninger...			
ID	TGV < 2 m.u.t	TGV < 1 m.u.t	Med kælder		Uden kælder	
			Uden afværgeforanstaltninger	Med afværgeforanstaltninger	Uden afværgeforanstaltninger	Med afværgeforanstaltninger
H1	-	V > 0	S1			

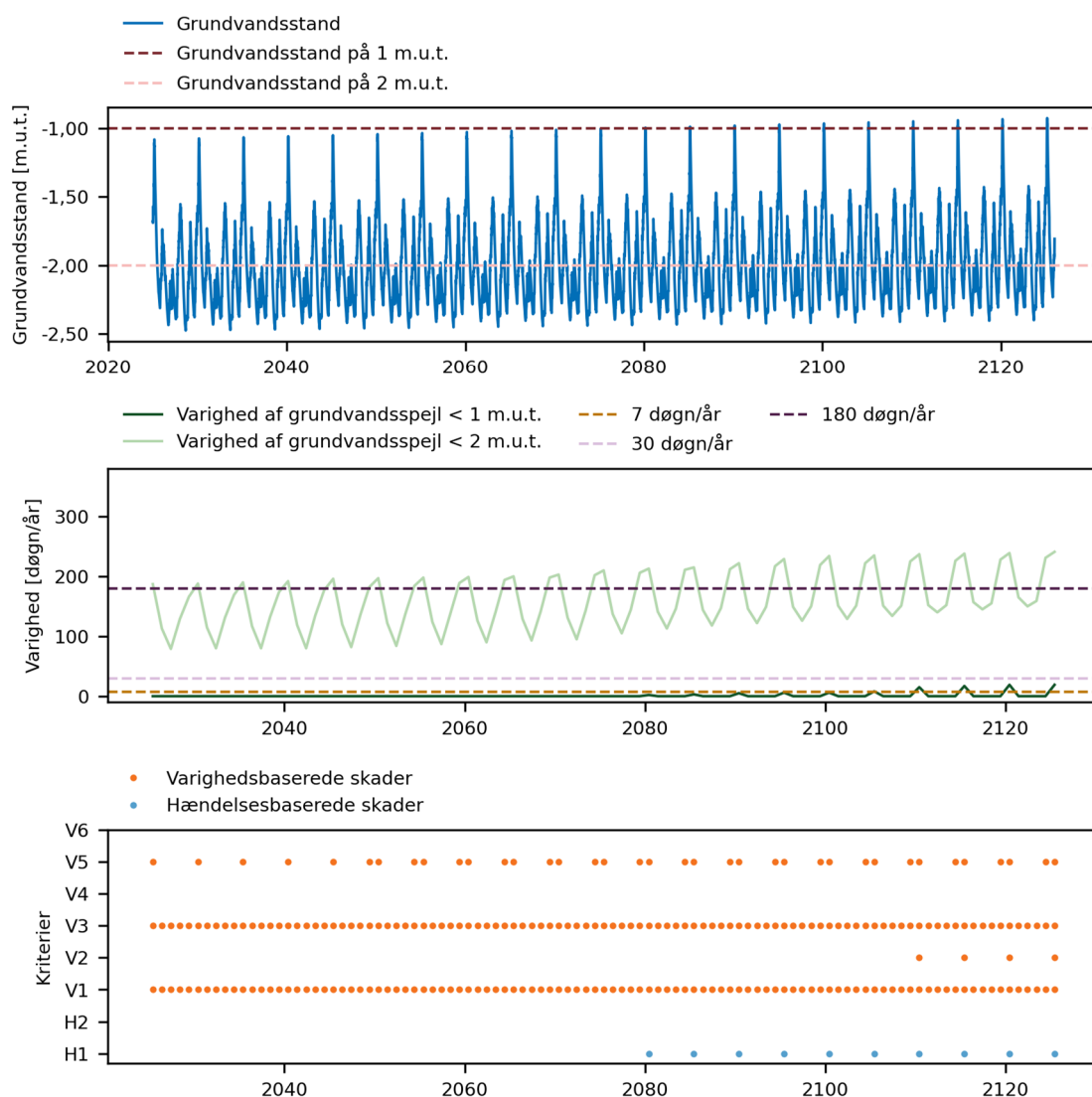
² <https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klima-atlas>

H2	-	V > 7	S1
----	---	-------	----

Tabel 2-4. Kriterietabel for varighedsbaserede skader. S2 og S3 henviser til skadesID'er i Tabel 4-3. TGV = terrænnært grundvand. V = varighed [døgn/år].

Kriterie døgn/år med...			Opfyldt kriterie udløser skade for bygninger...			
ID	TGV < 2 m.u.t	TGV < 1 m.u.t	Med kælder		Uden kælder	
			Uden afværgeforanstaltninger	Med afværgeforanstaltninger	Uden afværgeforanstaltninger	Med afværgeforanstaltninger
V1	V > 7	-	S2			
V2	-	V > 7	S2			
V3	V > 30	-	S2			
V4	-	V > 30	S3	S2	S3	
V5	V > 180	-	S2	S2		
V6	-	V > 180	S3	S3	S3	S3

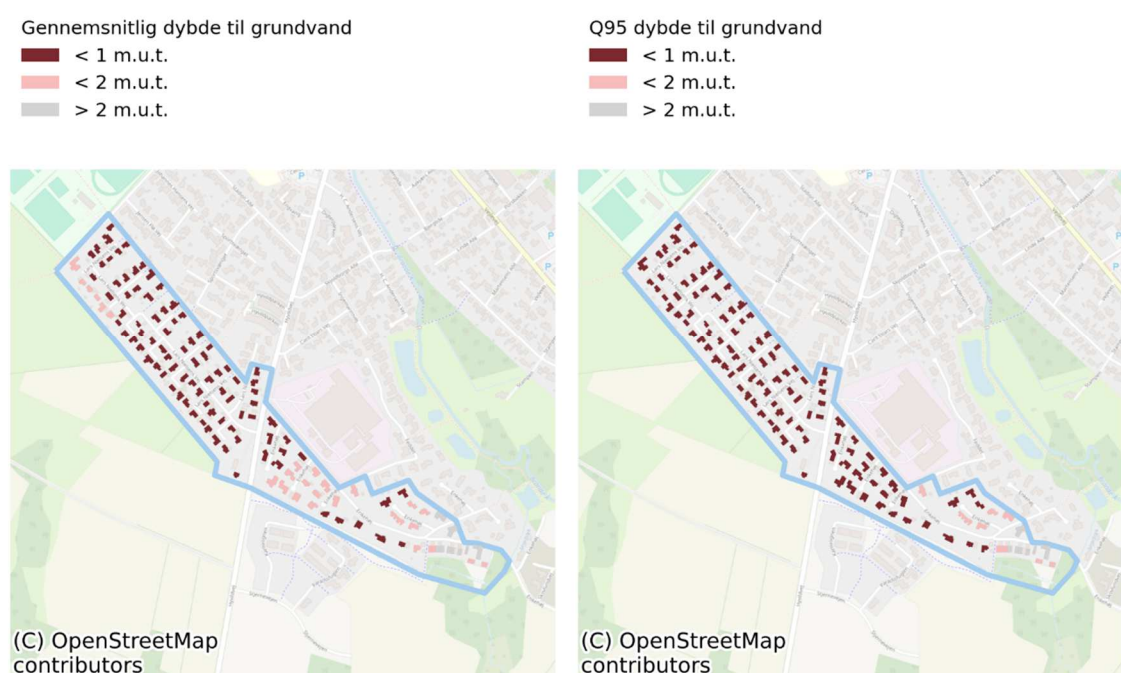
Figur 2-6 viser et eksempel på, hvordan tidsserien for det terrænnære grundvand under en bygning uden kælder og med afværgeforanstaltninger i Bakkeby omsættes til kriterier, som driver beregningen af skader for bygningen. Da der kan være flere af det samme skadesID i samme år, vises dette trin (omsætning af kriterieID til skadesID) ikke i figuren.



Figur 2-6. Eksempel på analysen af kriterier for hhv. hændelses- og varighedsbaserede skader for bygningsID 2362 (med kælder, uden afværgeforanstaltninger) i Bakkeby. Øverst ses grundvandsstanden, i midten ses antal døgn/år hvor grundvandet står højere end hhv. 1 og 2 m.u.t., og nederst ses hvilke kriterier, der forekommer på baggrund af varighederne.

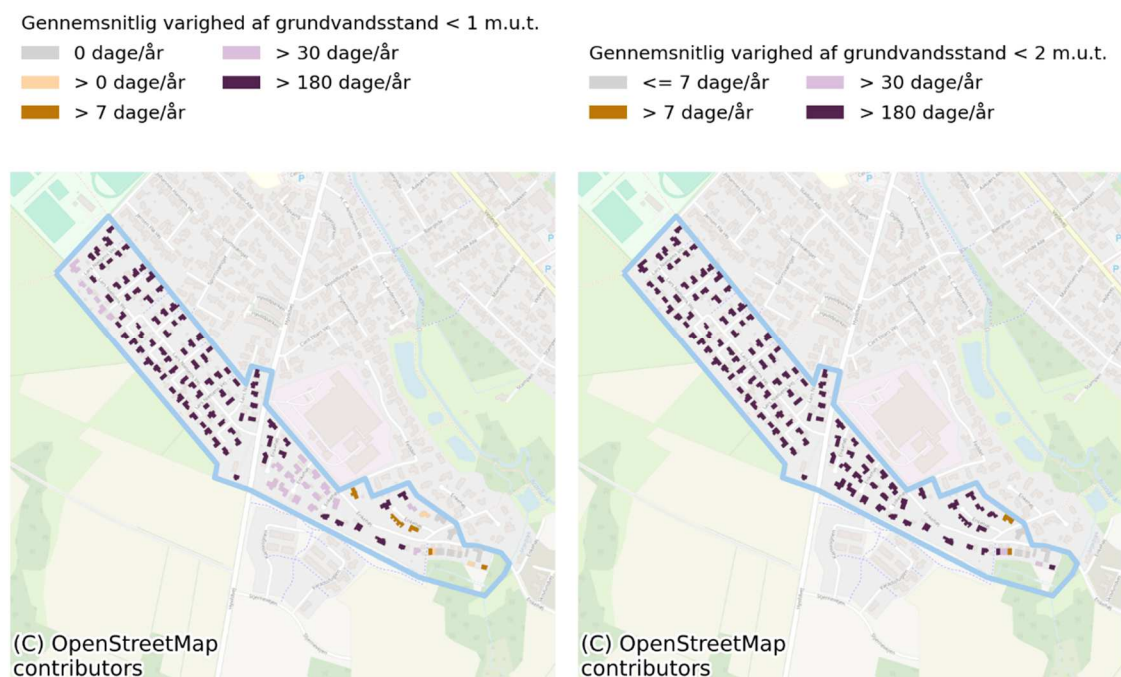
Grundvandsniveau, varigheder og opfyldte kriterier for alle bygninger ses i hhv. Figur 2-7, Figur 2-8 og Figur 2-9. Disse statistiske værdier bruges ikke direkte i beregningerne, men overblikket kan bruges til at skabe bedre forståelse af resultaterne og løsningsmulighederne.

Figur 2-7 viser den gennemsnitlige dybde til det terrænnære grundvand og 95 %-fraktilen (der siger noget om den ekstreme grundvandsstand). Herfra kan man se, at grundvandet generelt står højt i området – især mod nordvest.



Figur 2-7. Gennemsnitlig dybde og 95 %-fraktilen af terrænnært grundvand før tiltag for analyseperioden (2025–2125).

Figur 2-8 viser den gennemsnitlige varighed, hvor det terrænnære grundvand står tættere på end hhv. 1 m.u.t. og 2 m.u.t. Mere end halvdelen af bygningerne har i gennemsnit mere end 180 dage/år med en grundvandsstand højere end 1 m.u.t., og næsten alle bygninger har i gennemsnit mere end 180 dage/år med en grundvandsstand højere end 2 m.u.t.



Figur 2-8. Gennemsnitlig varighed af terrænnært grundvand over hhv. 1 m.u.t. og 2 m.u.t pr. år før tiltag for analyseperioden (2025–2125).

Figur 2-9 viser hvordan hændelses- og varighedsbaserede skader fordeler sig i oplandet. Bygninger med kælder og uden afværgeforanstaltninger har det højeste antal opfyldte kriterier.



Figur 2-9. Gennemsnitligt antal kriterier opfyldt pr. år for hændelsesbaserede skader og varighedsbaserede skader før tiltag for analyseperioden (2025–2125).

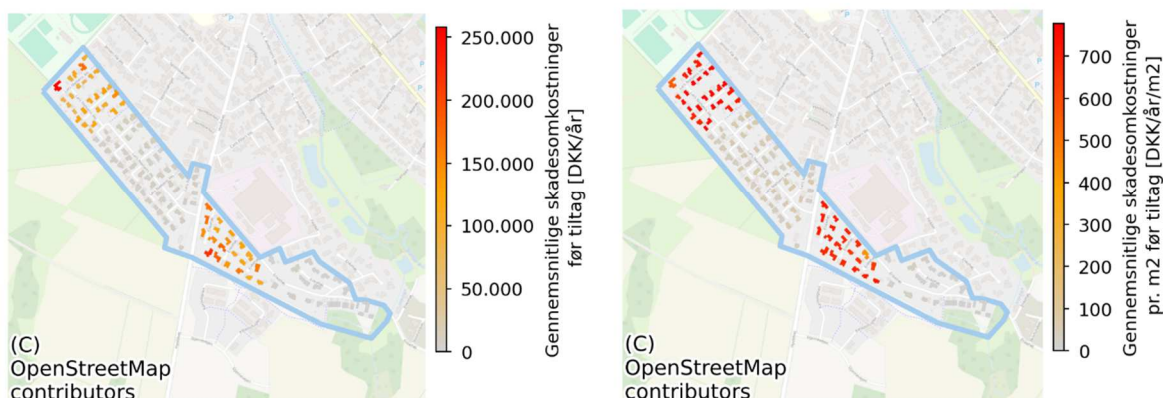
Trin 2: Skadeskortlægning

For at komme fra skadesID'er til skadesomkostninger bruges enhedspriserne fra Tabel 2-5.

Tabel 2-5. Skadestabel med hændelses- og varighedsbaserede skader. Enhedspriser er indekseret til 2025.

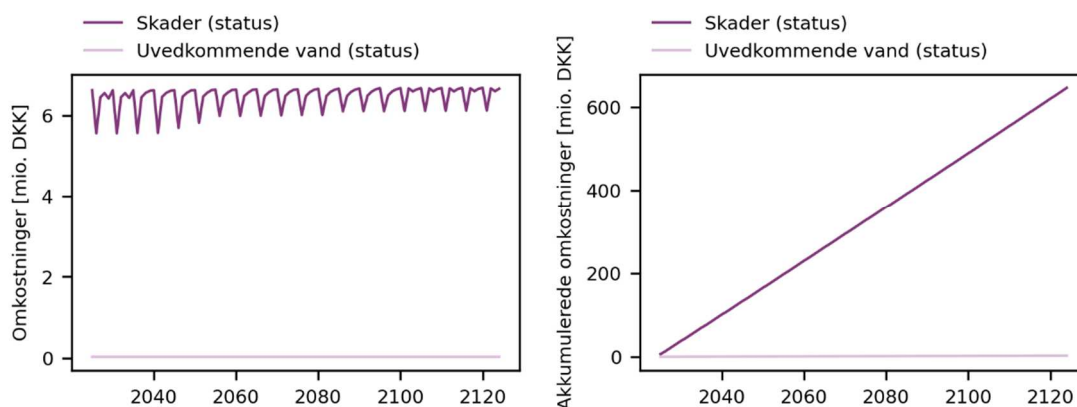
ID	Skadetype	Bygninger	
	Beskrivelse		Enhedspris
S1	Hændelsesbaseret	Vand er trængt ind i kælderen og forårsager vandskader og/eller ødelagt løsøre	652 DKK/m ²
S2	Varighedsbaseret	Længerevarende påvirkning af vand medfører afskalling af puds, skimmel mv. i kælderetage	84 DKK/m kælderetage
S3	Varighedsbaseret	Længerevarende påvirkning af vand medfører afskalling af puds, skimmel mv. i stueetage	84 DKK/m stueetage

Figur 2-10 viser skadesomkostningen på bygningsniveau. Her ses en klar sammenhæng mellem bygninger der har kælder (se Figur 2-1) – og derfor har flere skader – og årlige skadesomkostninger.



Figur 2-10. Gennemsnitlige skadesomkostninger pr. år og gennemsnitlige skadesomkostninger pr. m² stueareal pr. år før tiltag for analyseperioden (2025–2125).

Ser man på det samlede område, er der årlige skadesomkostninger på omtrent 6,5 mio. DKK (Figur 2-11). Det repetitive mønster stammer fra gentagelsen af grundvandsmønsteret fra den lokale grundvandsmodel. Der er desuden indsvivning af grundvand ind i afløbssystemet. Baseret på en indsvivningsanalyse foretaget for oplandet er det blevet beregnet, at forsyningens marginalomkostninger til rensning af uvedkommende vand er 100.000 DKK/år.



Figur 2-11. Tidslig udvikling i skadesomkostninger og omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand før tiltag for analyseperioden (2025–2125).

Trin 3: Udarbejdelse af løsningsscenarier

Der skal som udgangspunkt udformes otte scenarier, hvor der varieres på projektafgrænsning, løsninger og investeringstidspunkt. Antallet af scenarier kan dog reduceres, såfremt der kan argumenteres sagligt herfor.

I Bakkeby er der højtstående grundvand i hele det udpegede område, og alle bygninger bliver skadede. Der er derfor ikke nogen umiddelbar fordel ved kun at lave en løsning for en delmængde af bygningerne. Der undersøges derfor kun én projektafgrænsning (se Tabel 2-6).

Der findes en løsning, som kan udføres som en del af et andet kloakeringsprojekt i 2026. Fordi løsningen udføres som en del af kloakprojektet, er tiltaget omkostningseffektivt, og det vurderes muligt at opnå samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed med dette tiltag.

På baggrund af de samlede skader i området, og deraf følgende maksimale investering i et samfundsøkonomisk hensigtsmæssig tiltag, er det vurderet urealistisk at etablere løsninger, der ikke udføres som en del af et grave-/infrastrukturprojekt. Der er ikke planer om andre grave-/infrastrukturprojekter i projektområdet, som tiltag kan udføres i sammenhæng med. Der undersøges derfor ikke yderligere løsninger.

Endvidere er det ikke realistisk at etablere den pågældende løsning afkoblet i tid fra kloakeringsprojektet, hvorfor der også kun undersøges ét tidspunkt for etablering.

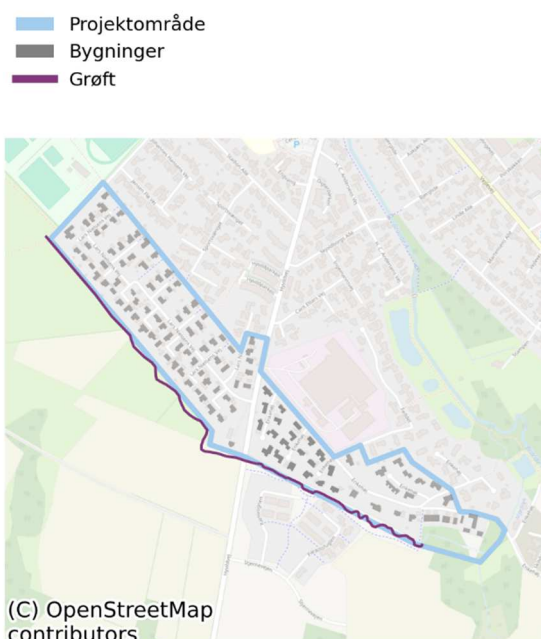
Tabel 2-6. Overblik over scenarier kørt for Bakkeby. Scenarier markeret med rødt undersøges ikke.

Case: Bakkeby								
Projekt-afgrænsning	1:				2:			
	Hele området i kommunens spildevandsplan analyseres				Da grundvandet står højt i hele området, og alle bygninger derved har problemer, giver det ikke mening af undersøge forskellige projektafgrænsninger			
Løsning	1A:		1B:		2A		2B	
	Der anlægges en drængrøft i kanten af den eksisterende by		En drængrøft vurderes at være eneste tiltag, der er samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt, og der undersøges derfor ikke andre tiltag					
Investerings-tidspunkt	1A1:	1A2:	1B1	1B2	2A1	2A2	2B1	2B2
	2026	Grøften etableres ifm. planlagt byggemodning, og der undersøges derfor ikke andre investeringsår						

Grundvandet i området er ikke forurennet, og den udarbejdede løsning inkluderer derfor ikke rensning.

Scenarie 1A

I scenarie 1A etableres en drængrøft i udkanten af oplandet i forbindelse med en planlagt byggemodning af det tilstødende markareal (Figur 2-11). Løsningen påvirker ikke grundvandsspejlet i en sådan grad, at der kan opstå sætningsskader.



Figur 2-12. Scenarie 1A1.

I scenarie 1A1 er investeringstidspunktet 2026.

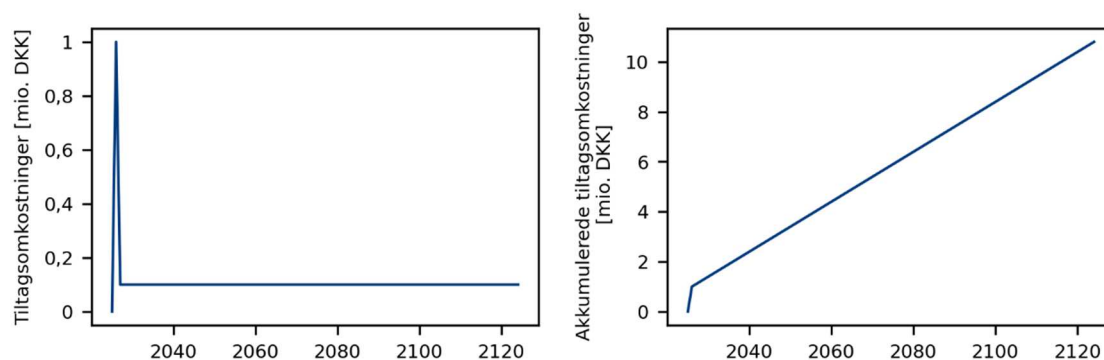
Drængrøft etableres i to etaper på hhv. 485 og 736 m med en anlægsbredde på 6 m til en samlet anlægssum på 900.000 DKK. Den opgravede jord vil kunne spredes på de omkringliggende arealer. Den årlige drift består af grødeskæring og oprensning med gravemaskine, hvilket anslået vil koste 100.000 DKK/år. Med løbende vedligehold via driften skal der ikke påregnes en egentlig reinvestering og dermed ikke en begrænset levetid af grøften.

Udgangspunktet for fastlæggelse af analyseperioden er anlæggets levetid. Da der ikke er en begrænset levetid for dette anlæg, anvendes en analyseperiode på 100 år.

Omkostningerne til scenariet ses i Tabel 2-7. Fordelingen af omkostninger over tid for scenariet er visualiseret i Figur 2-13.

Tabel 2-7. Omkostninger forbundet med scenarie 1A1.

	Etableringsår	Anlæg [DKK]	Drift [DKK/år]	Reinvestering [DKK]	Levetid [år]
Drængrøft	2026	900.000	100.000	-	-



Figur 2-13. Tiltagsomkostninger for scenarie 1A1.

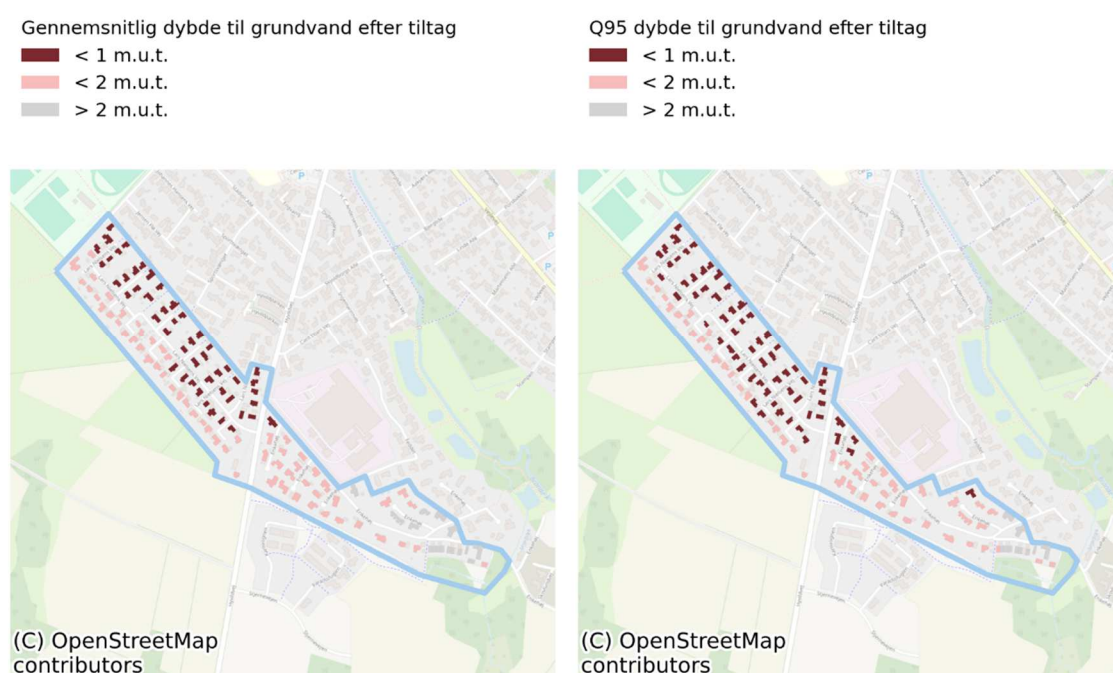
Trin 4: Vurdering af tiltagseffekt og gentagelse af skadesberegninger

Løsningstiltaget antages først at have en effekt på skaderne året efter implementering – dvs. fra år 2027. Der er derfor stadig fuld skade i implementeringsåret. Da der findes en grundvandsmodel, lægges scenarie 1A1 ind i denne, og grundvandsstanden simuleres på ny. Grøften lægges ind i modellen ved at ændre drænkonsanten til $1e-4 \text{ s}^{-1}$ i en dybde af 1,5 m under terræn i de beregningsceller, hvor grøften ligger. Dette repræsenterer, at der graves en grøft med en dybde på 1,5 m og med skråninger i grøft sand eller grus.

Scenarie 1A1

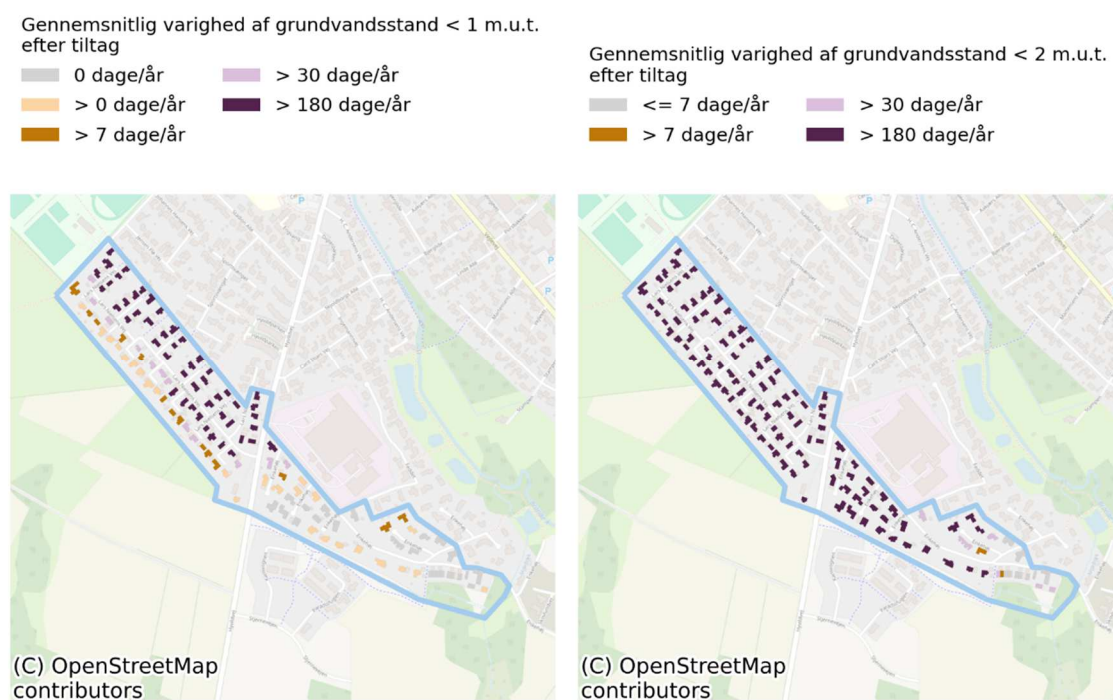
Det nye grundvandsniveau, varigheder og opfyldte kriterier efter implementering af scenarie 1A1 for alle bygninger ses i hhv. Figur 2-14, Figur 2-15 og Figur 2-16. Figur 2-17 viser skadesomkostningerne i planscenariet, mens Figur 2-18 viser den tidlige udvikling i skader.

Figur 2-14 viser den gennemsnitlige dybde til det terrænnære grundvand og 95 %-fraktilen (der siger noget om den ekstreme grundvandsstand) over hele analyseperioden. Sammenholdes dette med statusscenariet (Figur 2-7) ses det, at grundvandsstanden sænkes for bygningerne, der ligger tættest på grøften.



Figur 2-14. Gennemsnitlig dybde og 95 %-fraktile af det terrænnært grundvand efter implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).

Figur 2-15 viser den gennemsnitlige varighed, hvor det terrænnære grundvand står tættere på end hhv. 1 m.u.t. og 2 m.u.t. Sammenholdes dette med statusscenariet (Figur 2-8) ses det, at især varigheden af terrænnært grundvand højere end 1. m.u.t. falder kraftigt for bygninger tættest på grøften.



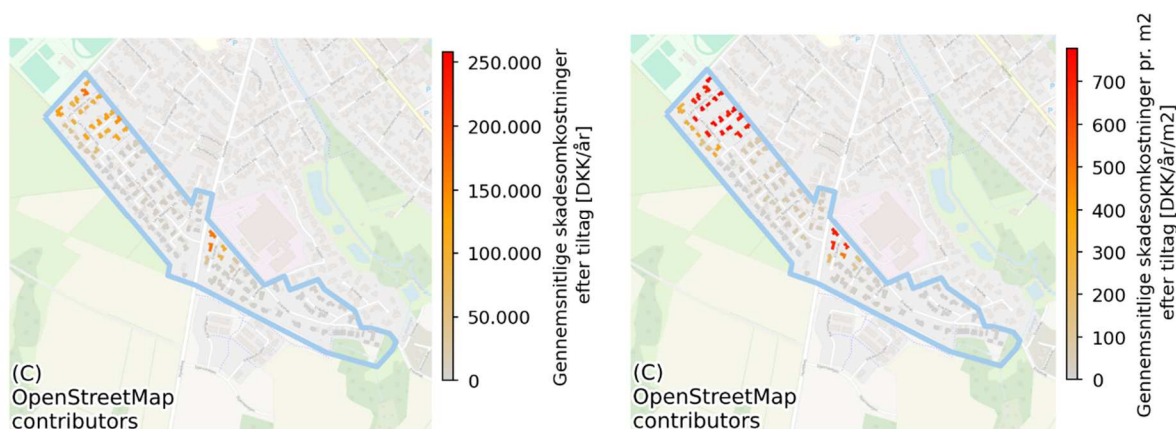
Figur 2-15. Gennemsnitlig varighed af terrænnært grundvand over hhv. 1 m.u.t. og 2 m.u.t efter implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).

Figur 2-16 viser hvordan hændelses- og varighedsbaserede skader fordeler sig i oplandet. Sammenholdes dette med statusscenariet (Figur 2-9) ses det, at tiltaget især reducerer antallet af kriterier for bygningerne i den østlige del af oplandet og i relativt mindre grad i den nordvestlige del.



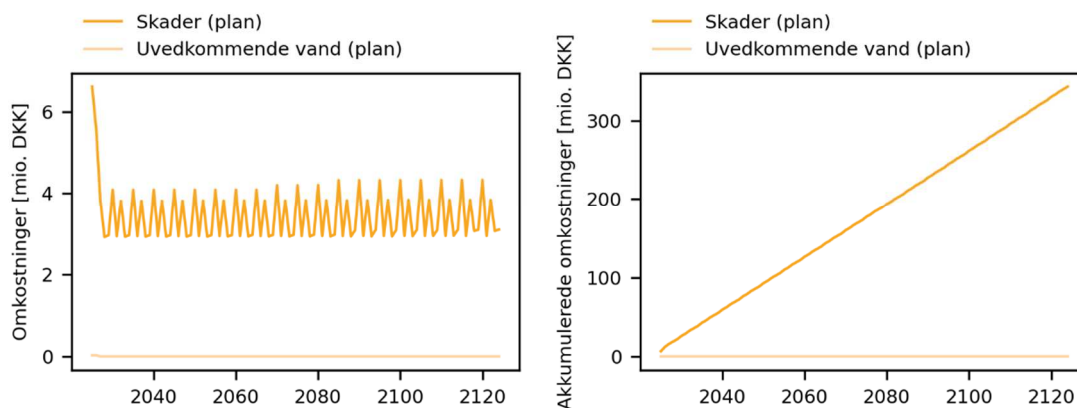
Figur 2-16. Gennemsnitligt antal kriterier opfyldt for hændelsesbaserede skader og varighedsbaserede skader efter implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).

Skadesomkostninger for scenarie 1A1 ses på bygningsniveau i Figur 2-17. Sammenholdes dette med skadesomkostningerne i statusscenariet (Figur 2-10) ses det samme billede, som for antallet af opfyldte kriterier. Skaderne reduceres især for bygningerne lige øst for hovedvejen og i mindre grad i den nordvestlige del af området.



Figur 2-17. Gennemsnitlige skadesomkostninger og gennemsnitlige skadesomkostninger pr. m² stueareal efter implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).

Figur 2-18 viser den tidlige udvikling i skadesomkostninger for scenarie 1A1. Det antages, at løsningerne først har en effekt på skaderne året efter implementering – dvs. fra år 2027. I 2025 og 2026 er der de samme skader som i statusscenariet, hvorefter de falder til omtrent 3,5 mio. DKK. Igen kommer det repetitive mønster fra gentagelsen af det samme grundvandsmønster fra grundvandsmodellen. Det antages desuden, at løsningen fjerner al uvedkommende vand.



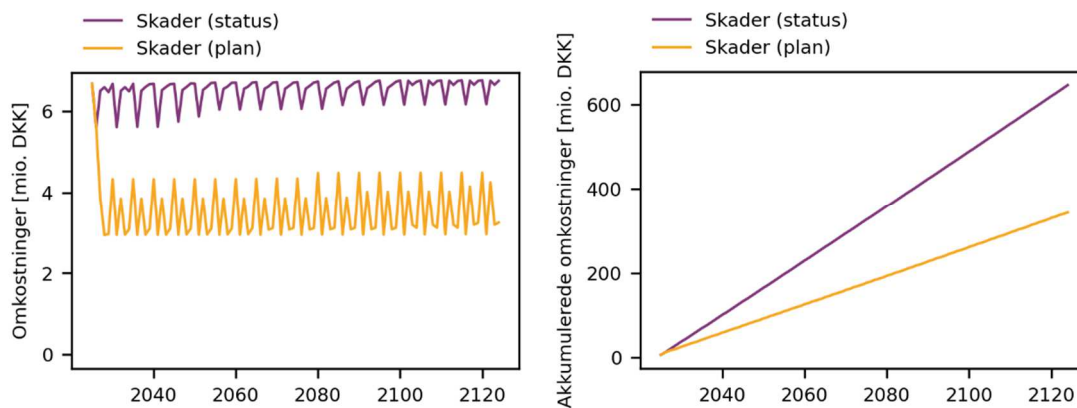
Figur 2-18. Tidslig udvikling i skadesomkostninger og omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand efter implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).

Trin 5: Samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed

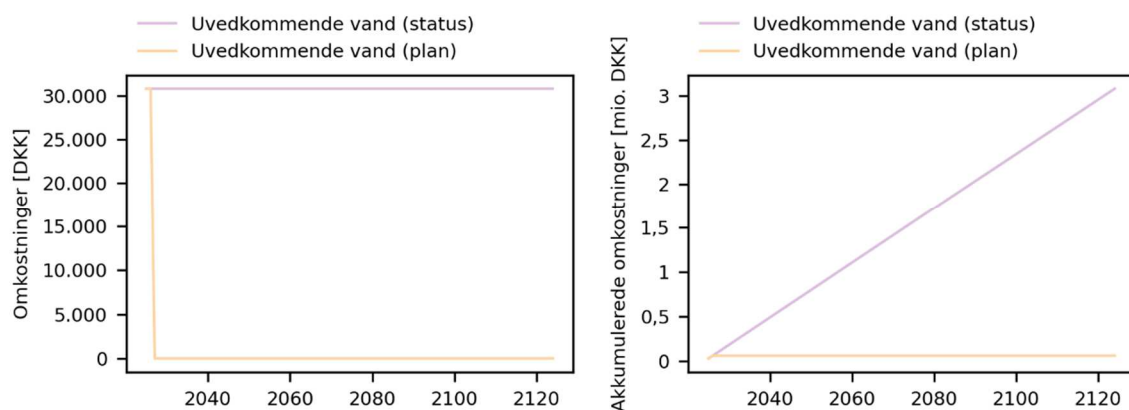
Den samfundsøkonomiske hensigtsmæssighed beregnes ved først at regne gevinsten baseret på status- og planscenarierne og herefter beregne nettogevinsten ved at sammenholde gevinsten med tiltagsomkostningerne.

Scenarie 1A1

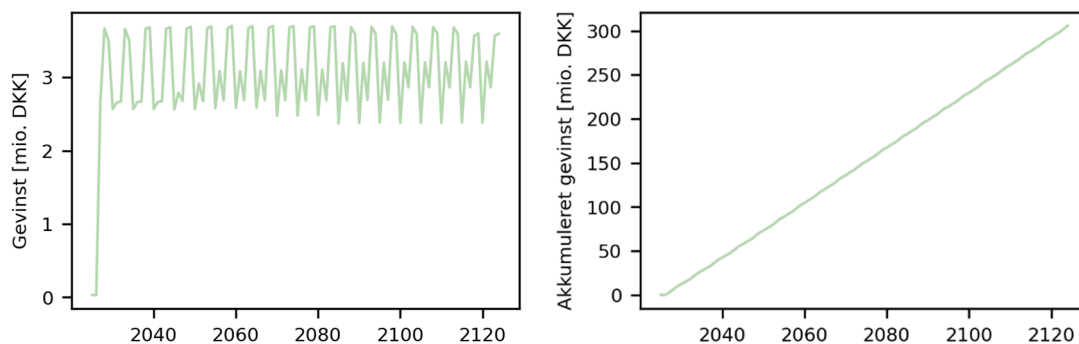
Skadesomkostningerne og omkostningerne til uvedkommende vand er vist for status- og planscenarierne i hhv. Figur 2-19 og Figur 2-20. Herfra ses det, at det største fald i omkostninger fås igennem skadesomkostninger og kun en mindre del fra reduktion i uvedkommende vand. Den totale gevinst er plottet i Figur 2-21.



Figur 2-19. Tidslig udvikling i skadesomkostninger før og efter implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).

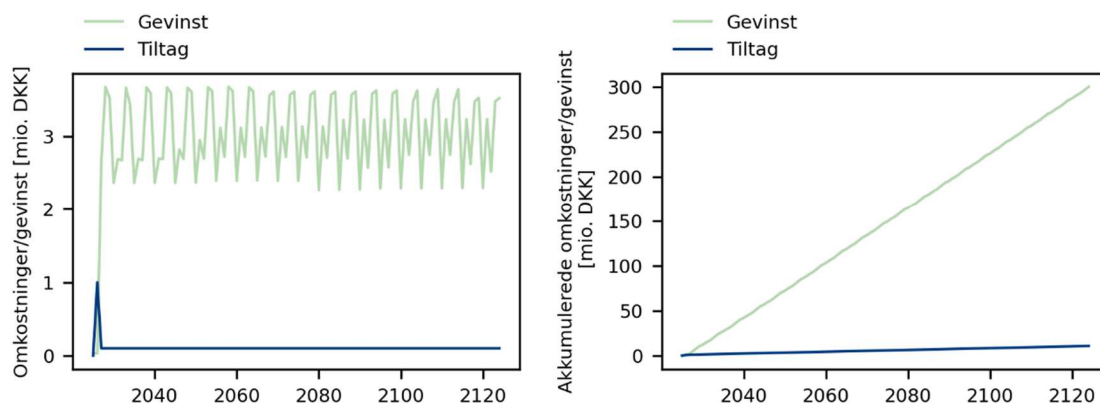


Figur 2-20. Tidslig udvikling i omkostningerne forbundet med det uvedkommende vand før og efter implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).



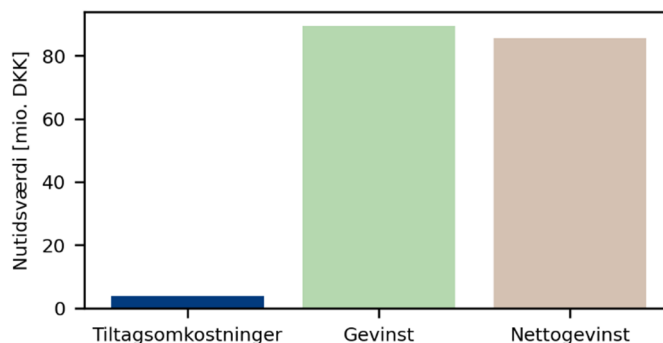
Figur 2-21. Tidslig udvikling i gevinst ved implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125). Gevinsten er summen af skadesreduktion og reduktion af omkostningerne forbundet med uvedkommende vand.

Figur 2-22 viser den tidlige udvikling i gevinst og tiltagsomkostninger. På diagrammet med akkumulerede værdier ses det, at gevinsten krydser tiltagsomkostningerne umiddelbart efter at tiltaget er udført. Dermed bliver tilbagebetalingstiden meget kort.



Figur 2-22. Tidslig udvikling i gevinst og tiltagsomkostninger ved implementering af scenarie 1A1 for analyseperioden (2025–2125).

Figur 2-23 viser de totale omkostninger og gevinster ved scenarie 1A1 samt nettogevinsten (regnet som gevinsten fratrasket tiltagsomkostningerne). Det er herfra tydeligt, at der er en positiv nettogevinst ved at implementere scenarie 1A1.



Figur 2-23. Overblik over samfundsøkonomi ved implementering af scenarie 1A1.

Udvælgelse af løsning

Scenarie 1A1 har en nettogevinst på 85,8 mio. DKK og en benefit-cost-ratio (der regnes som gevinsten divideret med tiltagsomkostningerne) på 23,2 (Tabel 2-9). Da scenariet har en positiv nettogevinst, vælges denne løsning.

Tabel 2-8. Overblik over nettogevinsten for scenarier i Bakkeby.

Scenarie	Nettogevinst [mio. DKK]	Benefit-cost-ratio
1A1	85,8	23,2

Der foretages en følsomhedsanalyse for at verificere, at scenarie 1A1 overvejende sandsynligt vil være samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt at gennemføre. Der justeres på forskellige parametre, der har betydning for resultatet af den samfundsøkonomiske beregning. Det er vurderet, at en følsomhedsanalyse på baggrund af disse parametre tilsammen vil give et retvisende billede af den samfundsøkonomiske analyses udfaldsrum. Følsomhedsanalysen for scenarie 1A1 ses i Tabel 2-9 og viser:

- **Grundvandsstand:** Grundvandsstanden har stor betydning for nettogevinsten. En dybere grundvandsstand (dvs. længere afstand mellem grundvandsspejl og terræn) reducerer skaderne i både status- og planscenarierne. Reduktionen af skadesomkostningerne er større i statusscenariet end i planscenariet, og dermed bliver gevinsten mindre. Da udgifterne til løsningstiltaget forbliver de samme, falder nettogevinsten. Den er dog stadig positiv. En højere grundvandsstand (dvs. grundvandet står tættere på terræn) leder i dette tilfælde til en endnu lavere nettogevinst. Stigningen i skadesomkostningerne er større i planscenariet end i statusscenariet, og dermed bliver gevinsten mindre. Årsagen til, at skadesomkostningerne i planscenariet stiger relativt meget, er, at varigheden af grundvandsstanden krydser tærskelværdierne i kriterietabellerne i højere grad.
- **Omfangsdræn:** Indførelsen af private omfangsdræn leder til et fald i nettogevinst. Årsagen er, at bygningerne får færre skader i status- og planscenarierne. Da skaderne som følge af private omfangsdræn falder mere i statusscenariet end i planscenariet, falder gevinsten. Tiltagsomkostningerne fastholdes, og dermed falder nettogevinsten. Jo flere private omfangsdræn,

jo lavere nettogevinst. Dog er effekten påvirket af, at 60 % af bygningerne er fra 1973 eller senere og derfor allerede har afværgeforanstaltninger. Desuden har kun under halvdelen af disse kælder Ser man på kriterietabellerne, er det især disse bygninger med kælder og uden afværgeforanstaltninger, hvor skaden vil blive markant reduceret, hvis bygningen flytter kategori til ”med afværgeforanstaltninger”, da der er tre S2-skader til forskel på de to. I modsætning er der kun én S3-skade til forskel på med/uden afværgeforanstaltning, hvis bygningen ikke har kælder.

- **Effekt af tiltag:** En mindre effekt af tiltaget leder til en lavere nettogevinst, da skaderne i planscenariet bliver større og gevinsten dermed falder. Modsat leder en større effekt til en større nettogevinst. Effekten af tiltaget har en stor påvirkning på nettogevinsten. Varierer man effekten med 50 % fås også en ændring i nettogevinst på ca. 50 %. Selv om effekten reduceres med 50 %, er der stadig en positiv nettogevinst. Desuden er nettogevinsten også stadig positiv selvom der laves ændringer i parametre relevante for tiltagets effekt i den lokale grundvandsmodel.
- **Tiltagsomkostninger:** Lavere tiltagsomkostninger får nettogevinsten til at stige, mens større tiltagsomkostninger får den til at falde. Da tiltagsomkostningerne er små relativt til gevinsten, har denne parameter en minimal påvirkning på nettogevinsten.
- **Uvedkommende vand:** Hvis omkostningerne forbundet med rensning af uvedkommende vand (før tiltaget er udført) reduceres, bliver gevinsten lavere. Dermed falder nettogevinsten. Modsat stiger nettogevinsten hvis omkostningerne forbundet med rensningen (før tiltaget er udført) stiger. Dette har dog kun en meget lille indflydelse på nettogevinsten, da udgifterne til rensning er meget lave i forhold til skadesomkostningerne.

Følsomhedsanalysen viser, at nettogevinsten er positiv i alle tilfælde. Det er derfor overvejende sandsynligt, at det er samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt at anlægge en grøft 2026 (scenarie 1A1).

Tabel 2-9. Følsomhedsanalyse.

	Nettogevinst [mio. DKK]	Ændring [%]
Oprindelig analyse	85,8	-
Grundvandsstand 50 cm dybere	52,2	-39
Grundvandsstand 50 cm højere	30,8	-64
Omfangsdræn for 25 % af bygninger uden afværgeforanstaltninger	82,5	-4
Omfangsdræn for 50 % af bygninger uden afværgeforanstaltninger	77,6	-10
Omfangsdræn for 100 % af bygninger uden afværgeforanstaltninger	74,0	-14
Effekt af tiltag 50 % lavere end oprindelig effekt	41,4	-52
Effekt af tiltag 50 % højere end oprindelig effekt	130,1	52
Effekt af tiltag korrigeres ved at ændre drænkote med +50 cm i den lokale grundvandsmodel (drænkote på 1 m.u.t.)	84,5	-1
Effekt af tiltag korrigeres ved at ændre drænkosten med en faktor 10 i den lokale grundvandsmodel (drænkostant på $1\text{e-}5\text{ s}^{-1}$)	53,1	-38

Tiltagsomkostninger 50 % lavere	87,7	2
Tiltagsomkostninger 50 % højere	83,9	-2
Omkostninger til uvedkommende vand før tiltag er 50 % lavere	86,3	1
Omkostninger til uvedkommende vand før tiltag er 50 % højere	85,3	-1