

Bæredygtig vandindvinding ved VandCenter Syds kildepladser

Maria R. Skjerbaek, Troels Kærgaard Bjerre, Torben O. Sonnenborg,
Morten Lauge Fejerskov & Jacob Kidmose

Bæredygtig vandindvinding ved VandCenter Syds kildepladser

Maria R. Skjerbaek, Troels Kærgaard Bjerre, Torben O. Sonnenborg,
Morten Lauge Fejerskov & Jacob Kidmose

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	4
1.1	Baggrund	4
1.2	VandCenter Syds Strategi	6
1.3	Formål	7
2	Indikatorer for bæredygtig vandindvinding	8
2.1	Koncept	8
2.2	Akviferbæredygtighed	9
2.3	Vandløb	10
2.4	Grundvandsafhængig natur	13
2.5	Højstående grundvand i byen	16
3	Data og model	18
3.1	Indvindingsdata	18
3.2	Observationsdata	19
3.3	Klimadata	19
3.4	Tilpasning af BV-modellen	20
4	Scenarier	22
4.1	Scenariegruppe 1: Indvindingsscenarier	23
4.2	Scenariegruppe 2: Eksercermarkenscenarier	24
4.3	Scenariegruppe 3: Konsekvensberegninger på eksisterende kilepladser	26
4.4	Scenariegruppe 4: Konsekvensberegninger for nye kildepladser	26
4.5	Scenariegruppe 5: Fremtidigt klima	27
4.6	Konsekvensberegninger – effekt per mio. kubikmeter indvinding	27
5	Resultater og diskussion	29
5.1	Kalibrering	29
5.1.1	Modellens præcision	29
5.1.2	Diskussion af kalibreringen	32
5.2	Kritiske koter for akviferbæredygtighed	34
5.3	Indikatorberegning	36
5.4	Scenarier	38
5.4.1	Scenariegruppe 1: Indvindingsscenarier	40
5.4.2	Scenariegruppe 2: Eksercermarkenscenarier	43
5.4.3	Scenariegruppe 3: Konsekvensberegninger – Eksisterende kildepladser ..	45
5.4.4	Scenariegruppe 4: Konsekvensberegninger – Nye kildepladser	49
5.4.5	Konsekvensberegninger – effekt per mio. kubikmeter indvinding	51
5.4.6	Scenariegruppe 5: Fremtidsscenarier	53
5.5	Evaluering af indikatorer	55

6	Konklusion	59
6.1	Koncept.....	61
6.2	Scenarier.....	61
6.3	Yderlige udvikling af koncept.....	61
7	Referencer	63
8	Bilag	65
	Bilag 1: Eksempler for fejlagtige trykniveautidsserier	65
	Bilag 2: Indvindingsmængder	68
	Bilag 3: Kalibrerings- og valideringsstatistikker.....	70
	Bilag 4: Antal modelceller for terrænnært grundvand i byen.....	71
	Bilag 5: Påvirkning af medianafstrømningen i vandløbene – plots.....	72

Forord

Følgende rapportering dokumenterer arbejdet gennemført under projektet Bæredygtig vandindvinding ved VandCenter Syds kildepladser i perioden 2023 til 2026 i et samarbejde, primært mellem VandCenter Syd (VCS) og De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). Projektet er en del af partnerskabet Bæredygtig Vandindvinding mellem Odense Kommune, Region Syddanmark, VandCenter Syd og GEUS. Hele partnerskabet har været inkluderet i ideudviklingen og leveret data til opsætning af den hydrologiske model samt bæredygtighedsindikatorer i en følgegruppe.

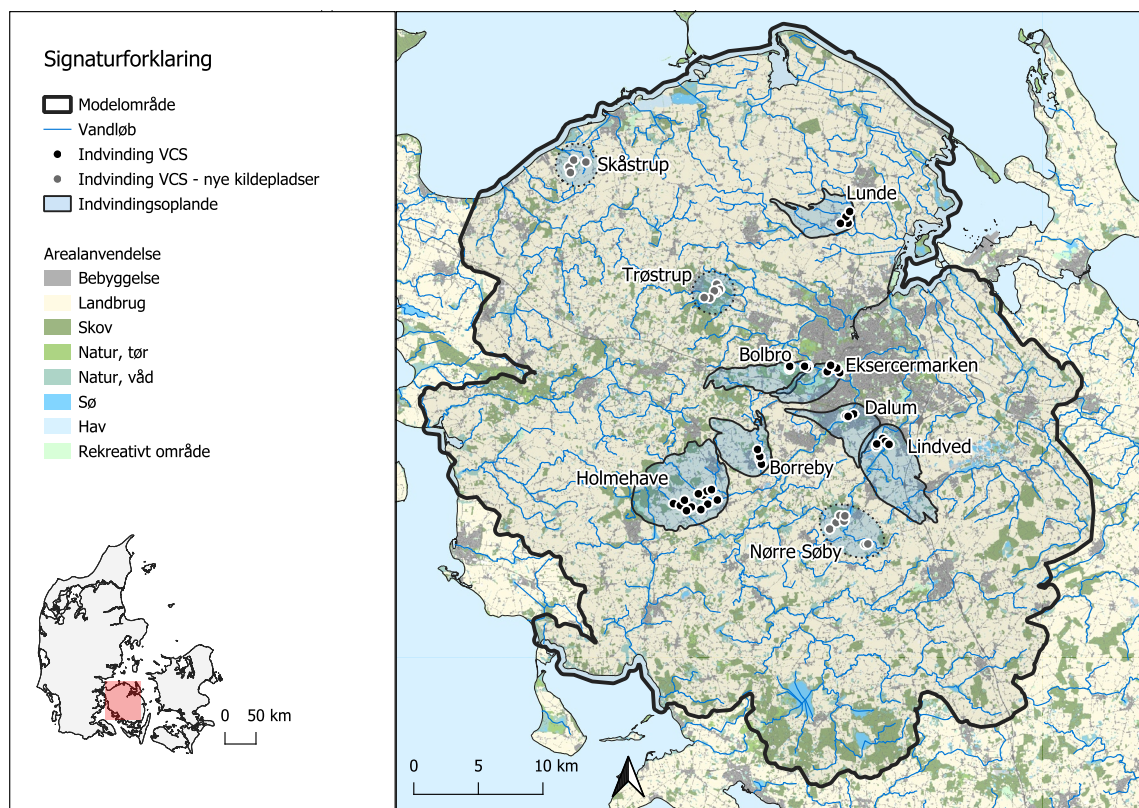
Projektgruppen har løbende søgt vejledning hos henholdsvis følgegruppen, men også en ekspertgruppe bestående af Morten Lauge Fejerskov (NIRAS), samt Lærke Thorling og Hans Jørgen Henriksen (GEUS).

Under projektperioden blev der afholdt henholdsvis en opstartsworkshop et afslutningsseminar hvor vandbranchen i Danmark var bredt repræsenteret.

1 Indledning

1.1 Baggrund

VandCenter Syd (VCS) har en årlig produktion af drikkevand på ca. 10 mio. m³. VCS indvinder grundvand med henblik på produktion af drikkevand på syv kildepladser: Bolbro, Borreby, Dalum, Eksercermarken, Holmehaven, Lindved og Lunde. Derudover har VCS store grundvandsinteresser ved Trøstrup og Skåstrup nordvest for Odense samt ved Nørre Søby syd for Odense, hvor der vurderes at være gode muligheder for at sætte nye kildepladser i drift, når behovet opstår. Placeringen af eksisterende kildepladser og de potentielle nye fremgår af Figur 1.1.



Figur 1.1: Modelområde med aktive kildepladser og deres indvindingsoplande, samt placeringen af potentielle nye kildepladser.

I Tabel 1.1 ses en oversigt over de gældende vandindvindingsstilladelser på VCS' kildepladser samt de indvundne vandmængder i 2021. Det fremgår af tabellen, at der i vandindvindingsstilladelserne generelt er indarbejdet en forholdsvis stor buffer i forhold til de indvundne vandmængder. Hensigten er at skabe fleksible rammer for kildepladsernes drift med henblik på at opretholde en tilfredsstillende forsyningsikkerhed. På længere sigt forventes det dog, at bufferen gradvist mindskes. I henhold til forbrugsprognosen i VCS' Strategiske Asset Management Plan (SAMP), forventes der således at være behov for at indvinde 11,8 mio. m³ grundvand i 2030, 13,6 mio. m³ i 2040 og endelig 15,6 mio. m³ i 2050. Denne stigning

forventes først og fremmest at være drevet af befolkningstilvækst indenfor de nuværende forsyningsområder, konsolidering samt et ændret forbrugsmønster. Det stigende forbrug vil skulle dækkes via en kombination af øget vandindvinding på de nuværende kildepladser, etablering af nye kildepladser (Nr. Søby, Skåstrup og Trøstrup) samt vandindvinding på kildepladser, der inddrages i aktivmassen i forbindelse med konsolidering. Det kan desuden ikke udelukkes, at dele af forbruget dækkes via nyttiggørelse af alternative vandressourcer til andre formål end produktion af drikkevand.

Tabel 1.1: Tabellen viser en oversigt over VCS' kildepladser med angivelse af beliggenhed, indvindingsstilladelsernes størrelse og varighed samt antallet af indvindingsboringer (med tilladelse) tilknyttet kildepladserne og den oppumpede vandmængde i 2021.

Kildeplads	Kommune	Indvindingsstilladelse	Varighed	Antal boringer	Vandindvinding (2021)
Holmehave	Assens	5,5 mio. m ³ /år	31-12-2032	12	4,2 mio. m ³
Lindved	Odense	2,1 mio. m ³ /år	31-12-2048	8	1,2 mio. m ³
Borreby	Odense/Assens	1,6 mio. m ³ /år	01-11-2040	4	0,7 mio. m ³
Bolbro	Odense	1,8 mio. m ³ /år	31-12-2045	6	1,7 mio. m ³
Eksercermarken	Odense	1,2 mio. m ³ /år	31-12-2045	5	1,3 mio. m ³
Dalum	Odense	1,0 mio. m ³ /år	01-11-2032	5	0,3 mio. m ³
Lunde	Nordfyn	1,0 mio. m ³ /år	01-10-2026	4	0,7 mio. m ³
Trøstrup	Nordfyn	0,2 mio. m ³ /år	19-03-2029	4	0,0 mio. m ³
Skåstrup	Nordfyn	0 mio. m ³ /år		0	0,0 mio. m ³
Nr. Søby	Faaborg-Midtfyn	0 mio. m ³ /år		0	0,0 mio. m ³
Total		14,4 mio. m³/år		48	10,1 mio. m³

Det er usikkert, i hvor stort et omfang det stigende forbrug vil kunne dækkes via øget vandindvinding på VCS' eksisterende kildepladser til trods for, at bufferen på mange af kildepladserne er forholdsvis stor. De senere år har forurening af grundvandet med bl.a. desphenyl chloridazon (DPC) således begrænset mulighederne for at udnytte flere af vandindvindingsstilladelseerne fuldt ud – særligt på Dalum og Lindved Kildeplads. VCS har dog introduceret decentral vandbehandling med kulfiltre for at rense vandet fra indvindingsboringerne, der er hårdest ramt af DPC-forurening med henblik på at bruge det i produktionen på vandværkerne – i første omgang på Lindved og Eksercermarken Kildeplads. Det forbedrer forudsætningerne for at udnytte vandindvindingsstilladelseerne fuldt ud. Det kan dog ikke udelukkes at nye vandkvalitetsproblemer i fremtiden på ny vil reducere den mulige udnyttelsesgrad af vandindvindingsstilladelseerne. Størrelsen af bufferen, jf. tabel 1, kan derfor give falsk tryghed med hensyn til den reelle forsyningssikkerhed i forhold til den udnyttelige ressource.

I takt med at et øget forbrug på kort sigt dækkes via øget indvinding på VCS' eksisterende kildepladser, vil bufferen i vandindvindingsstilladelseerne (og dermed forsyningssikkerheden) gradvist mindskes. Det afføder et behov for at se på mulighederne for at ændre/udvide de gældende vandindvindingsstilladelse, sætte nye kildepladser i drift og nyttiggøre alternative vandressourcer.

Umiddelbart vurderes det at være vanskeligt at få udvidet vandindvindingsstilladelseerne. Det fremgår således af vandområdeplanerne for 2021-2027, at grundvandsforekomsterne, som VCS' produktion af drikkevand er baseret på, i forvejen har forholdsvis høje udnyttelsesgrader. Én af grundvandsforekomsterne er tilmed i dårlig kvantitativ tilstand jf. (Henriksen, et al., 2021), hvor GEUS har udarbejdet et grundlag for vandområdeplanernes tilstandsvurdering af grundvandsforekomsterne – nærmere bestemt forekomst nr. 1279, som VCS indvinder fra på Bolbro, Dalum og Eksercermarken Kildeplads. Dermed er der således sat

spørgsmålstegn ved, hvorvidt den nuværende vandindvinding og en evt. udvidelse af de gældende vandindvindingstilladelser vil være bæredygtig.

At opnå tilladelse til at sætte nye kildepladser i drift, vil dog også være vanskeligt. Nye kildepladser ved Nørre Søby, Skåstrup og Trøstrup vil også få negative konsekvenser i form af f.eks. reduceret vandløbsafstrømning og påvirkning af grundvandsafhængig terrestrisk natur. Her vil der også kunne sættes spørgsmålstegn ved, hvorvidt øget vandindvinding vil være bæredygtig. Der er dog ikke kun negative konsekvenser ved vandindvinding i kildepladsernes omgivelser. F.eks. kan indvinding i byområder være med til at begrænse udfordringerne med terrænnært grundvand – udfordringer der kun forventes at blive forværret i fremtiden. Det er f.eks. tilfældet i den vestlige del af Odense i området omkring Eksercermarken Kildeplads.

1.2 VandCenter Syds Strategi

Når der i de kommende år skal træffes beslutninger om, hvilke skridt der skal tages med henblik på gradvist at øge produktionen for at forbedre forsyningssikkerheden i takt med at forbruget stiger, er der derfor særdeles mange hensyn at tage. Men det skyldes ikke kun de eksterne forhold, der er redegjort for ovenfor. Det skyldes i lige så høj grad interne forhold. Det fremgår således eksplicit af VCS' Strategi 2025-2029, at det betragtes som kerneansvar at *"Producere drikkevand med respekt for ressourcen, klima og miljø"*.

Dette ansvar og denne ambition kan være vanskeligt at udleve i praksis, hvis beslutningsgrundlaget er spinkelt. Et udsagn om bæredygtig produktion fordrer derfor, at produktionen i langt højere grad anskues i et livscyklusperspektiv, hvor de afledte konsekvenser af den samlede produktion belyses langt mere helhedsorienteret og systematisk end normal praksis i vandforsyningsbranchen. Det vil bl.a. indebære, at der foretages en analyse af *de afledte konsekvenser* ved øget vandindvinding i hele vandets kredsløb:

- Påvirkning af grundvandsforekomstens kvantitative tilstand (herunder aspekter som sulfatering og påvirkning af grundvandsdannelse og sænkning ved indvinding), sidenhen benævnt som akviferbæredygtighed
- Påvirkning af vandløbsafstrømning (herunder økologisk indeks)
- Påvirkning af grundvandsafhængig natur (her benyttes eksisterende fredningskategorier, f.eks. Natura-2000 områder og lign.)
- Påvirkning af terrænnært grundvand i byområder (herunder om indvinding i byen påvirker områder med kritisk høj terrænnær grundvandsstand i positiv eller negativ retning)

Dertil kommer, at det i et livscyklusperspektiv også vil være relevant at se på nogle af de mindre synlige konsekvenser, der afdækkes i de øvrige impact-kategorier, der er omfattet af en livscyklusanalyse såsom:

- Emission af klimagasser
- Forbrug af naturressourcer

Udledning af klimagasser og forbrug af naturressourcer vurderes dog ønemæssigt udenfor indholdet i nærværende projekt, men bør behandles selvstændigt som en del af bæredygtighedsanalysen for fremtidig vandindvinding.

1.3 Formål

Formålet med dette projekt er at levere én af de væsentligste byggesten, når et robust grundlag for beslutninger om udvidelse af produktionen på den mest bæredygtige måde skal lægges. Fokus er rettet imod kvantificering af de afledte konsekvenser af øget vandindvinding i hele vandets kredsløb, hvor de nuværende og fremtidige kildepladser ses som en del af en helhed fremfor isolerede øer.

Hensigten er at forbedre forudsætningerne for at finde den rette balance (frem for suboptimale løsninger) når produktionen øges og i bedste fald rammer det, der kan betegnes som et "sweet spot" i forhold til bæredygtig produktion af drikkevand med alle de hensyn, der skal tages. Det fordrer at hele produktionen vurderes samlet, da indvinding ved den ene kildeplads kan påvirke mulighed for indvinding på de øvrige kildepladser. Der er behov for et fysisk baseret fælles modelleringsystem, som kan teste effekter af indvindingsændringer på tværs af alle nuværende og fremtidige kildepladser.

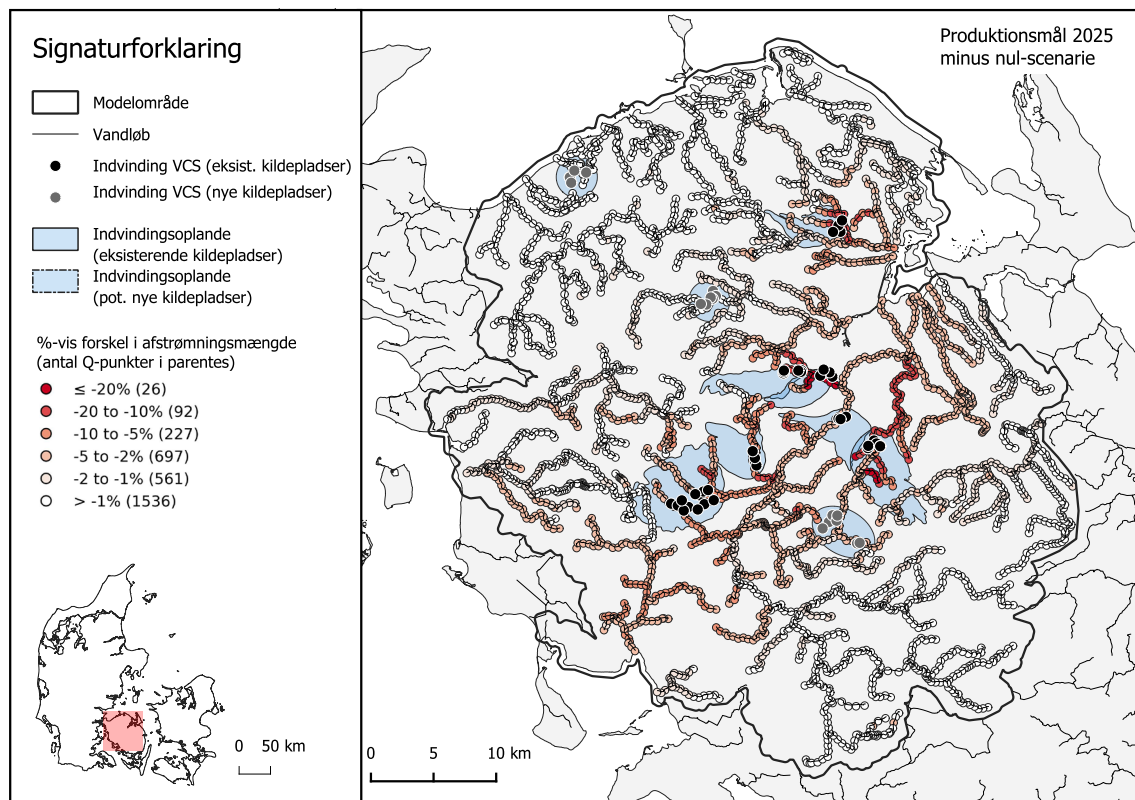
I projektet udvikles en metodik, der først og fremmest bygger på de eksisterende hydrauliske modeller for projektområdet (dels de hydrauliske modeller der er opstillet i forbindelse med grundvandskortlægningen og dels de hydrauliske modeller, der er opstillet i forbindelse med Fælles Grundvand Fælles Ansvar (Kidmose, et al., 2018) og SUBWATER (LaBianca, 2023). Arbejdet i projektet er opdelt i forskellige delopgaver:

1. Konceptudvikling og indikatorer
2. Indsamling og kvalitetssikring af data
3. Hydrologisk modeludvikling
4. Kalibrering af model
5. Scenarier
 - a. Indvindingsscenarier
 - b. Detailstudie af bæredygtig vandindvinding på Eksercermarken
 - c. Konsekvensberegninger
 - d. Fremtidsscenarier

2 Indikatorer for bæredygtig vandindvinding

2.1 Koncept

Effekter fra vandindvinding går på tværs af kildepladser, indvindingsoplande, vandløbsoplande, byområder samt natur og vandløb der påvirkes. Derfor er det vigtigt, at en samlet bæredygtighedsvurdering ikke beror på separate modeller afgrænset af lokale hydrologiske skel, som kun er præcist defineret under specifikke indvindingsituationer. Et eksempel på den dynamiske og geografisk udbredte påvirkning fra indvinding er illustreret i Figur 2.1, der viser hvordan medianafstrømningen i procent er påvirket af vandindvinding fra VCS' 7 eksisterende kildepladser. Her ses med røde farver hvor meget medianafstrømningen er reduceret som resultat af indvindingen fra VCS' 7 eksisterende kildepladser. Påvirkningen er beregnet ud fra to modelkørsler - med og uden den aktuelle indvinding for 2025. VCS' indvinding udgør 50 % af den totale indvinding i modelområdet.



Figur 2.1: Vandløbspåvirkning for produktionsmål 2025. Kortet viser den procentvise forskel i afstrømningen i alle modellens Q-punkter mellem nul-scenariet og indvindingen for produktionsmål 2025.

Fra figuren ses det at påvirkningen af Q50 går langt udover den umiddelbare nærhed af VCS' kildepladser, den lokale påvirkning, men har en regional påvirkning på afstrømningen. Det er eksempelvis tankevækkende, at der ses en påvirkning af Q50 i udløbet af Hårby Å i Det Sydfynske Øhav samt Brænde Å i Lillebælt.

På samme måde som vandløbsafstrømningen er påvirket af vandindvinding langt udover den geografiske nærhed af kildepladserne, vil naturområder, grundvandsafhængige naturtyper og terrænnær grundvandsstand i byområder også være påvirket af indvindingen, potentielt langt væk kildepladsen.

Konceptet for beregning af bæredygtig vandindvinding beror derfor på modellering af fællesområdet for alle VCS' eksisterende kildepladser og eventuelle nye kildepladser (se modelområde Figur 1.1).

Til at beregne påvirkningerne fra indvinding ved alle kildepladserne benyttes derfor en samlet hydrologisk model for hele området. Påvirkningen fra vandindvinding er opdelt i 4 forskellige indikatorer som hver gennemgås i det følgende.

For beregningen af alle indikatorer gælder det, at der trækkes værdier for et såkaldt "nul-scenarie" fra, før selve indikatorværdien beregnes ift. referencescenariet. Referencescenariet er defineret af indvinding fra VCS' produktionsmål for 2025. Nul-scenariet er en modelkørsel, hvor der er slukket for indvindingen på alle VCS' kildepladser. Dette gøres for at få en indikator, der er følsom overfor påvirkningen fra VCS' indvinding og hvor "støjen" fra systemets naturlige tilstand er fjernet. Dermed tydeliggøres effekten af VCS' indvinding. I og med at kun indvinding fra VCS sættes til nul i nul-scenariet, mens de resterende ca. 50 % fastholdes, er der kun tale om en nul-referencetilstand for VCS' indvinding.

Alle indikatorer udregnes for perioden 2019-2023, på nær for klimascenariet. Her bruges der den sidste klimanormalperiode fra 1990-2020 som referenceperiode, mens den fremtidige periode dækker årene 2070-2099.

2.2 Akviferbæredygtighed

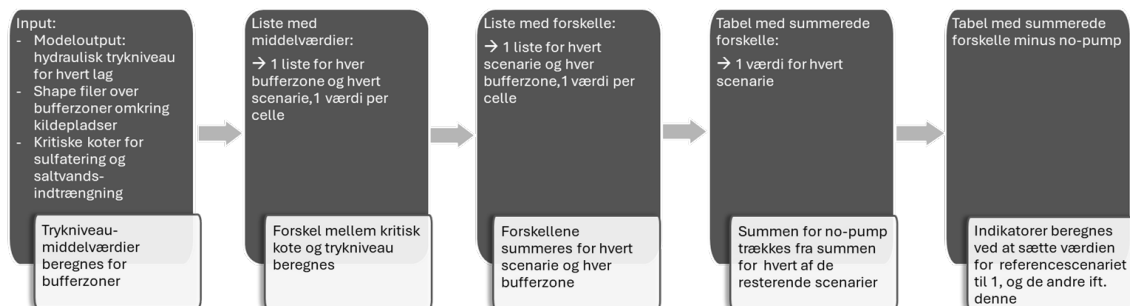
Her undersøges effekten af indvinding på det grundvandsmagasin, som der indvindes fra. Når trykniveauet afsænkes under et erfaringsbestemt niveau, kan der optræde problemer med sulfatering (pga. iltning af jordlag) og/eller saltvandsindtrængning fra havet. Disse to negative effekter på vandkvaliteten i det primære grundvandmagasin undersøges ved indikatoren akviferbæredygtighed.

Niveauerne er defineret som kritiske koter for hver kildeplads, enten for det primære eller det terrænnære magasin, under hvilke trykniveauet ikke må falde, hvis ikke der skal risikeres sulfatering eller saltvandsindtrængning (se afsnit 5.2). Derudover defineres der bufferzoner omkring indvindingsboringerne, som betragtes som relevante ift. afsænkningen. En mulighed ville have været at bruge indvindingsoplandet tilhørende hver kildeplads (Figur 2.2), men den kritiske kote er baseret på lokale driftserfaringer og gælder derfor ikke for et større geografisk område. Da denne er af relativt begrænset rumlig udstrækning, blev det valgt at arbejde med bufferzoner på 500 m rundt om hver indvindingsboring; ved overlap i det samme modellag blev de forskellige cirkler udjævnet til et sammenhængende større areal (Figur 2.2).



Figur 2.2: Kildepladspolygoner på de fleste af VCS' aktive kildepladser (undtagen Lunde, som ligger længere nordpå). Farverne indikerer de forskellige lag, indvindingsboringerne befinder sig i. KS2 og KS3 er kvartære sandlag hvorfra der indvindes grundvand.

Den konkrete fremgangsmåde til beregning af indikatoren er vist i Figur 2.3. Indledningsvis beregnes middel trykniveau for de relevante lag for alle modelceller indenfor bufferzonen. Herefter beregnes forskellen mellem middel trykniveau og kritisk kote for hver celle indenfor den relevante bufferzone, og forskellene summeres, resulterende i en enkelt værdi for hver bufferzone og hvert scenarie (svarende til en volumen under kritisk kote). Summen for nul-scenariet trækkes fra summen for alle scenarier, hvorefter summen for referencescenariet (produktionsmål 2025) sættes til 1, og de resterende ift. denne.



Figur 2.3: Fremgangsmåde for beregning af indikator for akviferbæredygtighed.

2.3 Vandløb

Med denne indikator undersøges effekten af indvinding på økologien i vandløb. Oprindeligt var det påtænkt at gruppere vandløbene efter fysisk tilstand, da fysikken, fx størrelse, afgør hvorvidt et vandløb er sårbart. Det viste sig dog ved indledende modellering, at store vandløb uanset indvindingen kun responderer i begrænset omfang, hvorfor det blev valgt ikke at inkludere en zonerings af forskellige vandløbsstrækninger.

Indvinding af grundvand har historisk set bygget på vejledende krav om maksimal påvirkning af vandløbenes vandføring, svarende til 5, 10-15, 25 og 50 % af vandløbenes oprindelige medianminimumsvandføring for hhv. A/B1, B2, B3 og C-E målsatte vandløb, jf. Miljøstyrelsen (1979) og senere Naturstyrelsen (2012), samt et tilsvarende baggrundsnotat for Vanddistrikt Sjælland (SGAVMST, 2012).

I 2014 udviklede DCE (Nationalt Center for Miljø og Energi) modeller med det formål at vurdere påvirkninger fra vandindvinding, men disse er yderst usikre. DK-modellen, der anvendes til beregning af en række af de parametre, der indgår i modellerne, kan således ikke med tilstrækkelig stor sikkerhed forudsige de hydrologiske variable Fre25, Fre75, Fre1 og DUR3, der indgår i ligningerne, hvilket resulterer i at modellerne er behæftet med stor usikkerhed, både når man ser på middelfejl, R² forklaringsgrad og hældning (Henriksen, et al., 2015). De udviklede modeller giver derfor ikke et retvisende billede af påvirkningen på vandløbenes økologiske tilstand. Ligeledes responderer de udviklede modeller udelukkende på ændringer i dynamikken. Hertil kommer at modellerne indeholder en parameter omkring vandløbets fysiske forhold (sinuositeten) der bevirker at responsen på ændringerne i de hydrologiske variable dæmpes. Dette betyder samlet set, at modeludtrykkene underestimerer betydningen af vandføringsreduktioner som følge af indvindingen, da dynamikken ofte vil være uændret (Baattrup-Pedersen, et al., 2023). Modellerne er derfor ikke velegnede til at vurdere vandløbspåvirkningen fra vandindvinding og dermed heller ikke bæredygtigheden.

De vejledende krav fra Miljøstyrelsen (1979) og de tilsvarende reduktioner der er indarbejdet i vandplansarbejdet, er sammenlignelige med de standarder, der arbejdes med i andre europæiske lande til vurdering af påvirkning fra vandindvinding samt sikring af, at vandindvinding er forenelig med god økologisk tilstand i vandløbene (Kampa, et al., 2024). De anvendte standarder for tilladte reduktioner varierer afhængig af vandløbsstørrelse, klima samt de geomorfologiske forhold. Disse elementer samles til en vurdering af hvor følsomme vandområderne er overfor vandindvinding (UKTAG, 2008 og UK Centre for Ecology&Hydrology, 2025). I England anvendes "*Environmental Flow Indicator*" (EFI) som udgangspunkt for vurderinger af påvirkning ved vandindvinding, hvor EFI er den tilladte procentvise ændring i den naturlige vandføring ved forskellige vandføringsregimer (Tabel 2.1). For at fastsætte EFI tildeles en vandløbsstrækning et "*Abstraction Sensitivity Band*" (ASB) med høj, middel eller lav følsomhed over for indvinding, baseret på oplysninger om fysiske og biologiske forhold (Kampa, et al., 2024). Den procentvise tilladte indvinding ved fire forskellige vandføringer i vandløbet (Q95 – laveste flow, Q70, Q50 (medianen) og Q30 – højeste flow).

Tabel 2.1: Skema der viser tilladte påvirkninger i vandløb med forskellig følsomhed overfor vandindvinding (Abstraction Sensitivity Bands). Tabellen er taget fra UK Centre for Ecology&Hydrology (2025) og vist i en modificeret udgave.

Abstraction sensitivity band (ASB)	Q30	Q50	Q70
ASB3 "high"	24%	20%	15%
ASB2 "moderate"	26%	24%	20%
ASB1 "low"	30%	26%	24%

Reduktioner på over 10–15% af Q95 i vandløb og 15-20% af Q70 anses som værende kritiske i England baseret på Environment Agency (EA) vejledninger. Når vandføringen falder under dette niveau, vurderes der at være risiko for en reduktion i vandstanden og

vandhastigheden, som medfører en risiko for en reduktion i de fysiske levesteder for vandlevende planter og smådyr. Samtidig vurderes der at være en risiko for forlængelse af perioder med lav vandføring, hvilket kan medføre højere temperaturer, lavere iltindhold og ringere vandkvalitet. Ændringerne risikerer at føre til et skifte i artssammensætningen henimod mere stillestående-vand-arter. Påvirkninger i denne størrelsesorden indebærer derfor en risiko for ikke at være forenelig med god økologisk tilstand.

Der er ikke i Danmark tradition for at anvende Q95 og Q70 i vurderinger af påvirkninger fra vandindvinding, hvor Q95 er udtryk for en ekstrem lav vandføring, hvor vandføringen er højere 95% af tiden, mens Q70 er udtryk for en typisk lav vandføring, hvor vandføringen er højere 70% af tiden. Medianminimumsvandføringer, der historisk set er anvendt i Danmark, vil typisk ligge mellem disse to værdier, svarende til medianen af de laveste årlige vandføringer. Hvis man på den baggrund sammenligner med de tidligere definerede kritiske grænser fra Miljøstyrelsen, A/B1 (5%) og B2 (10-15%), samt de af EA definerede kritiske grænser for reduktioner i vandføringen, fremkommer det at reduktioner over 15% typisk vil være kritiske i de fleste danske vandløb. I en række tilfælde vil 10% være kritisk, mens det i enkelte tilfælde, når det vurderes at vandløbet ikke er specielt følsomt overfor påvirkning (dette kan være kunstige, stærkt modificerede eller lignende), kan påvirkningen sandsynligvis sættes højere.

Middelvandføringen er relevant, da reduktioner i middelvandføringen kan omfatte tab af levesteder, idet vandstanden og strømhastigheden typisk vil falde. Reduktioner i middelvandføringen kan også øge varigheden af perioder med lav vandføring. Medianminimumsvandføringen vil både reducere de tilgængelige levesteder, strømhastigheden, og ultimativt vil der være risiko for udtørring af vandløbet. Betragtninger vedrørende reduktioner i forhold til middelvandføringen kan indgå på lige fod med eller som supplement til vurderingerne på de lave vandføringer.

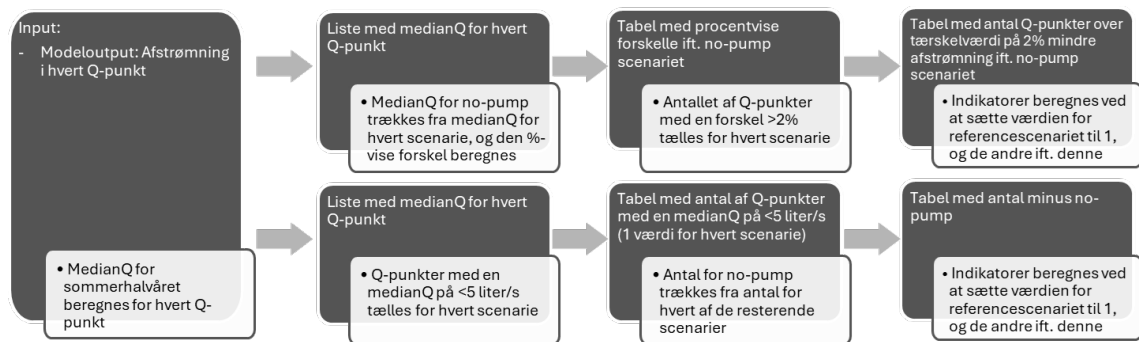
De tilladelige påvirkningsprocenter fra Miljøstyrelsen (1979) og standarderne fra UK Environment Agency anses i dag for at være det bedste bud på at være foreneligt med Vandrammedirektivets krav om god økologisk tilstand. Dog skal det bemærkes at procentsatserne ikke er empiriske verificeret, men er baseret knapt 50 års udvikling af "ecological flows" i forskellige lande, herunder Tyskland, Frankrig, Italien, Canada, USA, UK og Danmark.

Anbefalingen er på baggrund af ovenstående analyse og derfor benyttes Q50 og reduktionen i denne som udgangspunkt for påvirkningen på vandløbenes vandføring. Dette følger af en vurdering af modellens præcision, at Q50 er mest sikkert bestemt med den opstillede model. Alle vurderinger i forhold til vandløb er dermed baseret på en enkelt vandføringsparameter baseret på GEUS vurdering af usikkerheden på modelbestemmelsen (Henriksen, et al., 2023).

Valget af medianvandføringen er således overordnet baseret på 1) ændring af medianvandføring kan generelt beskrive påvirkning af vandløbsøkologi, 2) modellens evne til at estimere ændringer i medianvandføring vurderes robust. 3) Medianvandføring er en generel og robust indikator for vandløbsøkologien.

Der beregnes to indikatorer for vandløb: (1) ændring i median afstrømning (Q50) for sommervandføringen (1. april til 30. september) og (2) udtørring af vandløbsspidser. For sidstnævnte defineres der en grænseværdi på 5 liter per sekund for Q50, hvorunder vandløb anses for udtørret. Figur 2.4 viser fremgangsmåden for beregning af vandløbsindikatorerne. Der startes med at beregne Q50 for sommerperioden i årene 2019-2023 for hvert "Q-punkt" i modeloutputfilen (dvs. de punkter hvor den simulerede afstrømning er udregnet). Q50 er udgangspunktet for beregningen af begge indikatorer.

For Q50-indikatoren trækkes Q50 for nul-scenariet fra Q50 for de resterende scenarier i hvert Q-punkt i modellen, og den procentvise forskel ift. nul-scenariet beregnes for hvert scenarie i hvert Q-punkt. For hvert scenarie tælles Q-punkter med en forskel på >2%, resulterende i en tabel over antal Q-punkter, hvor forskellen er større end denne tærskelværdi. Indikatoren beregnes ved at sætte værdien (dvs. antallet over tærskelværdien) for referencescenariet til 1, og de resterende ift. denne. Q50 indikatoren tæller således antal vandføringspunkter, hvor Q50 ændrer sig mere en 2 % i forhold til nul-scenarie kørslen (VCS' indvinding er sat til 0). For udtørringen af vandløbsspidser tælles alle Q-punkter med en Q50 på <5 liter per sekund. Herefter trækkes antallet for nul-scenariet fra antallet for alle andre scenarier. Til sidst sættes den resulterende værdi for referencescenariet til 1, og de resterende ift. denne.



Figur 2.4: Fremgangsmåde for beregning af indikator for vandløb.

Udover indikatorværdierne genereres der for denne indikator også kort, der viser den rumlige påvirkning af vandløbene. Udgangspunkt for beregningen er den procentvise forskel mellem nul-scenariet og hvert scenarie i hvert Q-punkt. Den endelige påvirkning vises i procentpoint forskel mellem referencescenarie og scenarie i hvert Q-punkt.

2.4 Grundvandsafhængig natur

Denne indikator undersøger effekten af indvindingen på det øverste frie grundvandsspejl i beskyttede naturområder beliggende i udstrømningsområder. Disse områder er defineret ved et overlap af Natura2000 og §3-områder, hvor der også er opadgående strømning. Til formålet har NIRAS lavet et GIS-tema for hele Fyn, hvor områder med våd natur eksisterer ud fra en hydrologisk tolkning af den geologiske model og grundvandsmodellen. Den konceptuelle tolkningsmetode af de hydrologiske strømningsveje er opstillet med henblik på at vurdere og kvalificere en grundvandsmodels forudsigelser af en påvirkning af grundvandsafhængig natur. Metoden benyttes som supplement til numeriske modellers beskrivelse af påvirkningen. Metoden benyttes i en lang række kommuner i forbindelse med vurderinger af ansøgninger om indvinding af grundvand til drikkevand og markvanding. Metoden har den fordel at den ud fra geologien og eksisterende hydrologisk information i grundvandet kan indikere hvor vandet i et givent område kommer fra, dvs. er der tale om god kontakt til underliggende primære magasiner eller kan vandet antages at komme fra et mere terrænnært magasin. Ydermere giver typologien mulighed for at vurdere om vandet i et område strømmer ud ved terræn eller nedsiver.

Typologien er baseret på en systematiseret tolkning af geologi og potentialer i de berørte områder baseret på den nye geologiske model (FOHM). Herved kan man opnå en viden om strømningsmønstre, som ikke lader sig opløse i den hydrologiske modellering, idet den terrænnære geologi ikke er optimalt opløst i denne, hvilket betyder at beregningen af påvirkningen af naturtyperne i områderne er behæftet med en ikke-kvantificerbar usikkerhed. For at imødegå fejlslutninger baseret på de usikkerheder der er i den hydrologiske models beregninger benyttes den hydrologiske typologi derfor til at afgøre om og hvor der kan være forbindelse mellem indvindingsmagasin og terrænnært magasin samt kvalitativt at vurdere strømningsmønstre i området.

Den hydrologiske typologi er udarbejdet på baggrund af den nyeste geologiske viden fra Fyn. Resultatet af beregningerne benyttes til at vurdere om der i et område sker grundvandsdannelse. Derudover vurderes det om grundvandsdannelsen sker til et terrænnært grundvandsmagasin eller et dybere grundvandsmagasin, samt om der er tale om frie eller spændte grundvandsmagasiner. Denne viden anvendes til en typeinddeling af hydrologien i 9 hydrologiske typologier (Tabel 2.2). Disse typologier kan herefter benyttes i en vurdering af, hvor robust et område er overfor indvindingen. De hydrologiske typologier beskriver strømningsretning i grundvandet (op- og nedadrettet), og baseret på dette kan man vurdere naturlokalitetens kontakt med indvindingsmagasinet og derved robustheden overfor ændringer i grundvandsspejlet.

Tabel 2.2: Hydrologiske typologier.

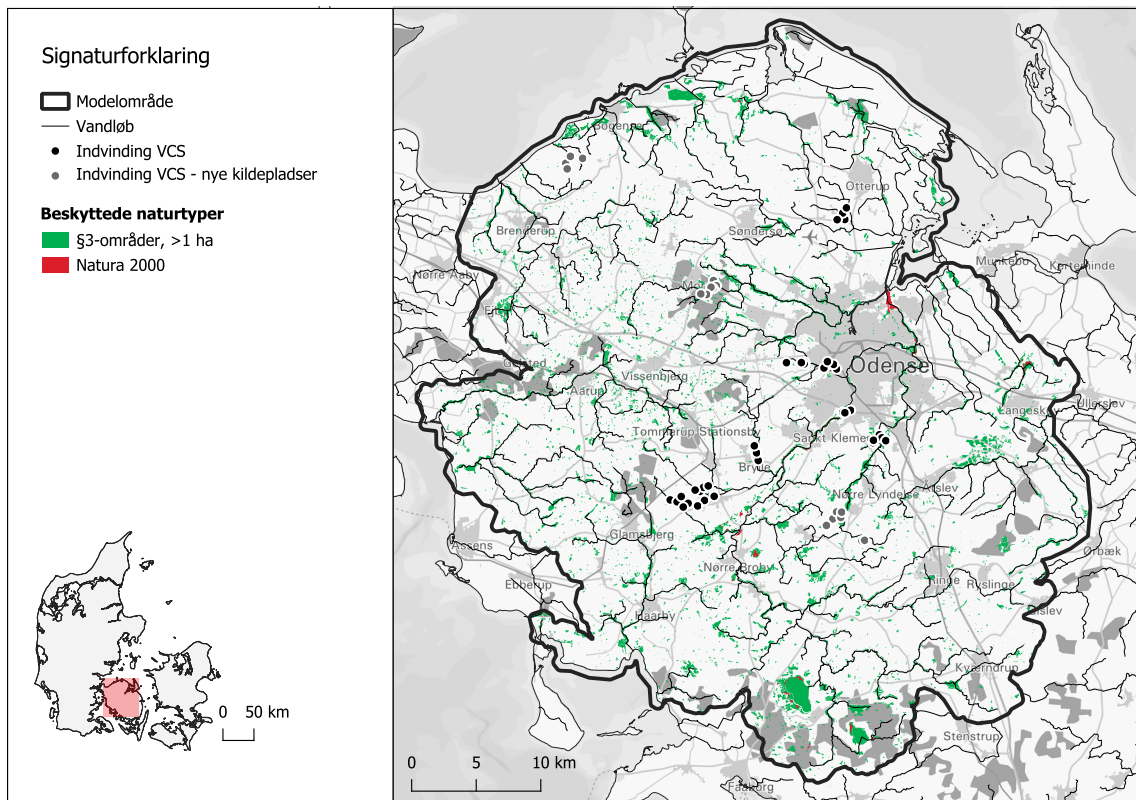
Typologi	Beskrivelse
1	Grundvandsdannelse til sekundært magasin
2	Grundvandsdannelse til frit magasin
3	Grundvandsdannelse til spændt magasin
4	Vældpåvirket natur, frit magasin
5	Vældpåvirket natur, spændt magasin
6	Overrisling fra sekundært magasin
7	Våd natur, god hydraulisk kontakt
8	Våd natur, dårlig hydraulisk kontakt
9	Våd natur på drænet lavbund

Overordnet set opdeler typologien strømninger i tre varianter: 1) områder hvor der er grundvandsdannelse og nedadrettet grundvandsvandstrømning (typologi 1, 2 og 3), 2) områder hvor der sker udstrømning fra grundvandet (typologi 4, 5 og 6), samt områder hvor der er grundvand i terræn og dette kan være eller ikke kan være i kontakt med dybt grundvand (typologi 7, 8 og 9).

Typologi 1, 2 og 3 er alle indikatorer for nedadrettet grundvandsstrømning og dermed vil en reduktion i trykniveauet som beregnet i grundvandsmodellen ikke forplante sig til terræn, da vandet strømmer nedad. Natur i disse områder forventes ikke at blive påvirket ved en indvinding af grundvand.

Overordnet set er type 4 og 5 klare indikatorer på at der er kontakt mellem indvindingsmagasin og terræn. I disse to typologier fødes naturen af dybt grundvand og modellens

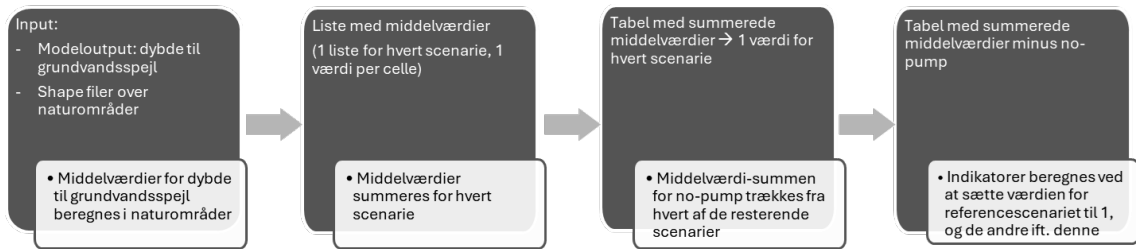
forudsigelser kan antages at være korrekte. Typologi 6 angiver at naturen stadig fødes af grundvand, men fra et højereliggende magasin uden kontakt til det underliggende magasin. Naturen er dog stadig født af grundvand og medtages som påvirkede områder. Typologi 7 angiver en udstrømning hvor der efter al sandsynlighed er kontakt til det dybere grundvand. Det kan ikke afgøres om der er direkte kontakt eller der er tale om forbundne magasiner. Modellens forudsigelser kan antages at være korrekte. Typologi 8 beskriver et område som typisk er beliggende på lavbundsjord i en lagpakke af organiske aflejringer og gytje hvor der er ringe kontakt til grundvandet uden for lavningen / ådalen. Dermed er modellens forudsigelser overestimerede. Typologi nr. 9 er typisk for dræned lavbundsjord omkring vandløb. En reduktion beregnet med modellen tager ikke højde for dræningen og modellen overestimerer sandsynligvis påvirkningen, men der kan ikke helt udelukkes kontakt til det underliggende magasin og dermed til indvindingsmagasinet. Med typologierne og data fra Danmarks Miljøportal vedr. beskyttet natur, er der genereret et kort over potentiel påvirket bevaringsværdig våd natur mm (Figur 2.5). Da modellens gridstørrelse er på 100 m, blev det valgt at fjerne alle naturpolygoner med en størrelse på mindre end 1 ha. Figur 2.5 viser både §3- (grøn) og Natura2000- (rød) områder i modelområdet med både en opadgående strømning og en størrelse på over 1 ha.



Figur 2.5: Kort over §3- og Natura2000-områder i udstrømningsområder.

Figur 2.6 viser fremgangsmåden for beregningen af indikatoren. Til at starte med beregnes middelværdier for det øverste frie grundvandsspejl (i modellen repræsenteret som dybden til "phreatic surface", dvs. dybden til det øverste frie grundvandsspejl) for alle modelceller indenfor det pågældende naturområde. Dette resulterer i en liste med celle-middelværdier for hvert scenarie. Slutmålet er at beregne middelvandstandsændringen for de to naturtypeområder ift. referencescenariet (fratrasket nul-scenariet), og gange denne ændring med det

berørte areal. Da cellerne har en størrelse på 100 x 100 meter, opnås der rent regneteknisk et tilsvarende resultat ved først at summere alle middelværdier (resulterende i én værdi per scenarie) og herefter at normalisere resultaterne ift. referencescenariet.

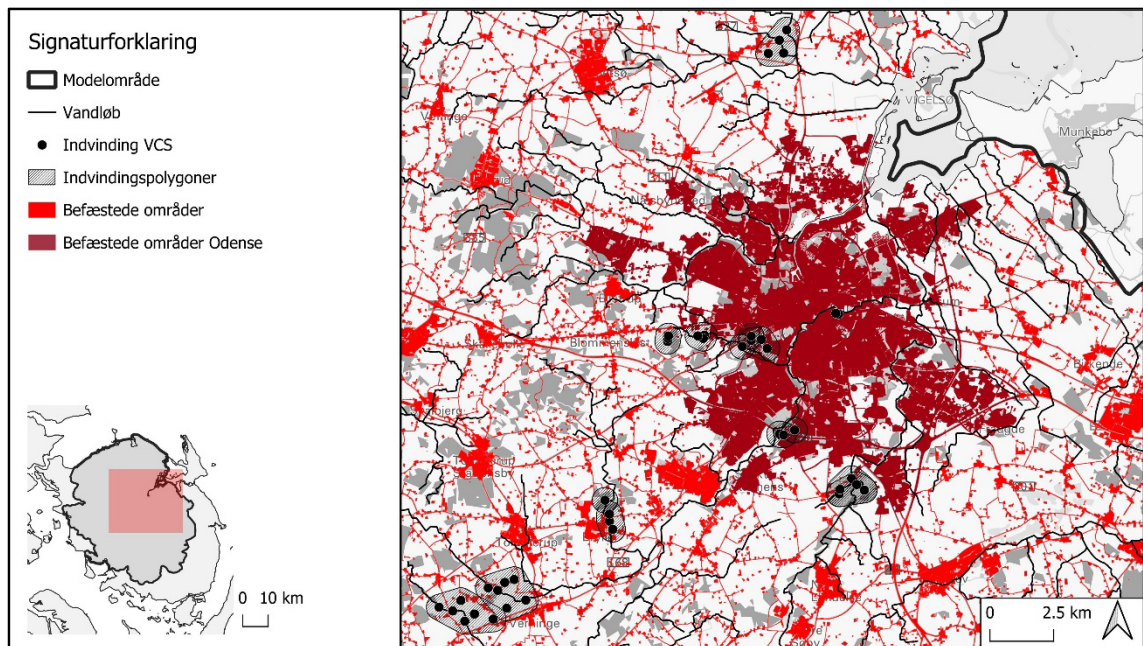


Figur 2.6: Fremgangsmåde for beregning af indikator for grundvandsafhængig natur.

2.5 Højtstående grundvand i byen

Denne indikator undersøger effekten af indvinding på niveauet af det terrænnære grundvand i bebyggede områder. Her kan det, i modsætning til naturområderne, være en fordel med et lavere grundvandsspejl, for at undgå vand i kældre og uvedkommende grundvand i rørsystemer.

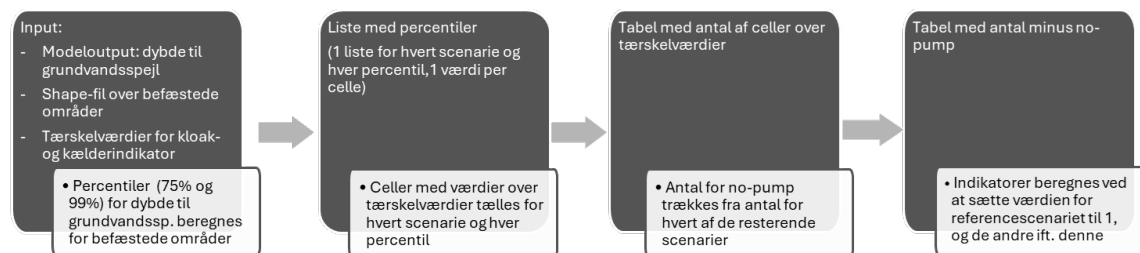
Det blev besluttet, kun at inddrage de befæstede områder i Odense by til beregning af denne indikator (Figur 2.7). Kortet er baseret på det såkaldte "basemap", som er et kort over areal-anvendelsen i Danmark (Levin, 2025).



Figur 2.7: Befæstede områder i Odense by (mørkerød), som er inddraget i beregningen af indikatoren for det terrænnære grundvand i byen.

Figur 2.8 viser fremgangsmåden for udregningen af indikatoren. I modsætning til indikatoren for beskyttede naturområder, hvor der blev beregnet middelværdier for det øverste frie grundvandsspejl, beregnes der for denne indikator hhv. 75%- og 99%-percentiler i hver celle

baseret på daglige simulerede grundvandsstande. 75%-percentilen repræsenterer en typisk vintersituation, mens 99%-percentilen repræsenterer en ekstrem situation. For hvert percentil beregnes hvor meget vand der står over to tærskelværdier, hvor den ene repræsenterer en kloakindikator og er defineret ved en dybde på 3 meter under terræn, og den anden repræsenterer en kælderindikator, som er defineret ved en dybde på 1,5 meter under terræn. Indikatoren udregnes ved at beregne ændringen mellem det givne scenarie og referencescenariet, og standardisere denne forskel ift. referencescenariet. Som for alle andre indikatorer trækkes også her værdierne for nul-scenariet fra værdierne for de resterende scenarier før indikatoren udregnes. Indikatoren tæller således hvor mange grid-celler/arealer hvor den terrænnære grundvandsstand står over hhv. 1,5 og 3 m under terræn i en tilnærmelsesvis ekstrem situation og en typisk vintersituation.



Figur 2.8: Fremgangsmåde for beregning af indikator for højtstående grundvand i byen.

3 Data og model

Der er taget udgangspunkt i den nyeste version af DK-modellen for Fyn (HIP DK3-model2023, i det følgende beskrevet som "DK3-model") (Ondracek, et al., 2023), som er opdateret til at indeholde en mere detaljeret beskrivelse af vandløb end DK-model2019 (Stisen, et al., 2020), samt en cellestørrelse på 100 m i stedet for 500 m. Modellen er sat op i modelleringssoftwaren MikeShe for grundvand og umættet zone og MikeHydro for vandløb. Geologien er baseret på den Fælles Offentlige Hydrologiske Model (FOHM), og indeholder 9 lag (Tabel 3.1), hvor de dybere sandlag ks2 og ks3 samt kalklaget i bunden repræsenterer de tre magasiner der indvindes fra. Modellen blev tilpasset ved at formindske den geografiske udbredelse og ved at integrere nye indvindings- og observationsdata; dette beskrives i sidste afsnit i dette kapitel. Den tilpassede model kaldes i det følgende "BV-modellen" (for **B**æredygtig **V**andindvinding).

Tabel 3.1: Modellag.

Modellag		
Nummer	Navn i modellen	Forklaring
1	top	Øverste 2 m
2	kl1	Kvartært ler 1
3	ks1	Kvartært sand 1
4	kl2	Kvartært ler 2
5	ks2	Kvartært sand 2
6	kl3	Kvartært ler 3
7	ks3	Kvartært sand 3 (inklusive begravet dal)
8	pl1	Palæogent ler
9	kalk	Kalk

Den oprindelige idé var at stille modellen op i modelleringssoftwaren GMS, hvor det er muligt at arbejde med en varierende diskretisering af cellestørrelsen. Dette ville have gjort det muligt at forfine modelgriddet omkring fokusområder såsom indvindingsboringer, vandløb og i byen. Dette viste sig dog at være for beregningstungt med daglige beregningsskridt, hvorfor det blev besluttet at tage udgangspunkt i ovenstående.

3.1 Indvindingsdata

VCS' syv aktive kildepladser har et samlet antal af boringer på 45 (Figur 1.1). Derudover er der potentiale for 18 yderligere boringer på de tre nye kildepladser Trøstrup, Skåstrup og Nørre Søby.

For alle VCS' kildepladser var indvindingsdata med en daglig opløsning i perioden 2014-2023 tilgængeligt, leveret af VCS. For de resterende vandværker i modelområdet blev de årlige data fra DK3-modellen brugt (værdier indberettet til Jupiter).

3.2 Observationsdata

For observationer af det hydrauliske trykniveau blev der ligeledes leveret opdaterede tidsserier af VCS. Der blev nærmere leveret tre dataset, et indeholdende daglige målinger, et indeholdende ugentlige målinger, og et sidste med enkelte målinger på tilfældige tidspunkter. De to førstnævnte tidsserier stammer fra relativt nyligt opsatte dataloggere/transducere, som måler trykniveauet hvert sekund. De daglige værdier er et udtræk af dette datasæt bestående af målinger fra kl. 4 hver morgen, mens de ugentlige værdier stammer fra det samme dataset, men er et udtræk af målinger for kl. 7 hver mandag morgen (dvs. data for hver mandag burde være mere eller mindre éns i de to datasæt). De "tilfældige" målinger er målt vha. et el-pejleapparat, og er kontrolmålinger fra tilhørende manuelle kontrolpejlinger. Datasættene blev kvalitetssikret ved at gennemgå alle tidsserier visuelt. Her var målet at komme frem til et korrekt dataset med daglige værdier for så mange observationsboringer som muligt fra 2013 til og med 2024. For de fleste boringer var data fra alle tre dataset tilgængeligt, hvilket gjorde det muligt at sammenligne dem. Derudover blev der tilføjet det simulerede trykniveau i figurerne. Der viste sig at være forskellige problemer med de leverede data (se figurer i 0 for eksempler):

- Outliers, i form af fx bundpejlinger, og åbenlyst fejlagtige målinger, såsom fx "flat-lines", dvs. den samme værdi gentages mange gange, sandsynligvis fordi transduceren er gået i stå: De blev slettet (se B-Figur 2 og B-Figur 3).
- Daglige og ugentlige værdier forskudt: Dette blev for langt de fleste boringer løst ved at bruge den korrekte pejlepunktskote ved omregning fra nedstik til kote, som i nogle tilfælde viste sig at variere over tid (typisk 1 gang) (se B-Figur 4 og B-Figur 5).
- Derudover viste det sig ved en sammenligning med simulerede trykniveauer, at nogle af tidsserierne var spejlvendte før 2021. Dette kunne tydeligt ses ved boringer omkring Holmehave Kildeplads, hvor der blev gennemført et større renoveringsarbejde i foråret 2020, hvor alle pumper blev slukket, og trykniveauet omkring disse derfor steg markant. I de spejlvendte observationer kunne der ses et fald i stedet for. Problemet blev løst ved at spejlvende de relevante dele af tidsserierne, og rykke dem på plads, så enderne mødtes (se B-Figur 6 og B-Figur 7).
- Nogle få tidsserier var så fejlagtige, at de blev slettet helt.

Udover de daglige tidsserier fra VCS, var 14 tidsserier for det terrænnære grundvandsspejl i Odense by fra SUBWATER-projektet tilgængelige (LaBianca, 2023).

3.3 Klimadata

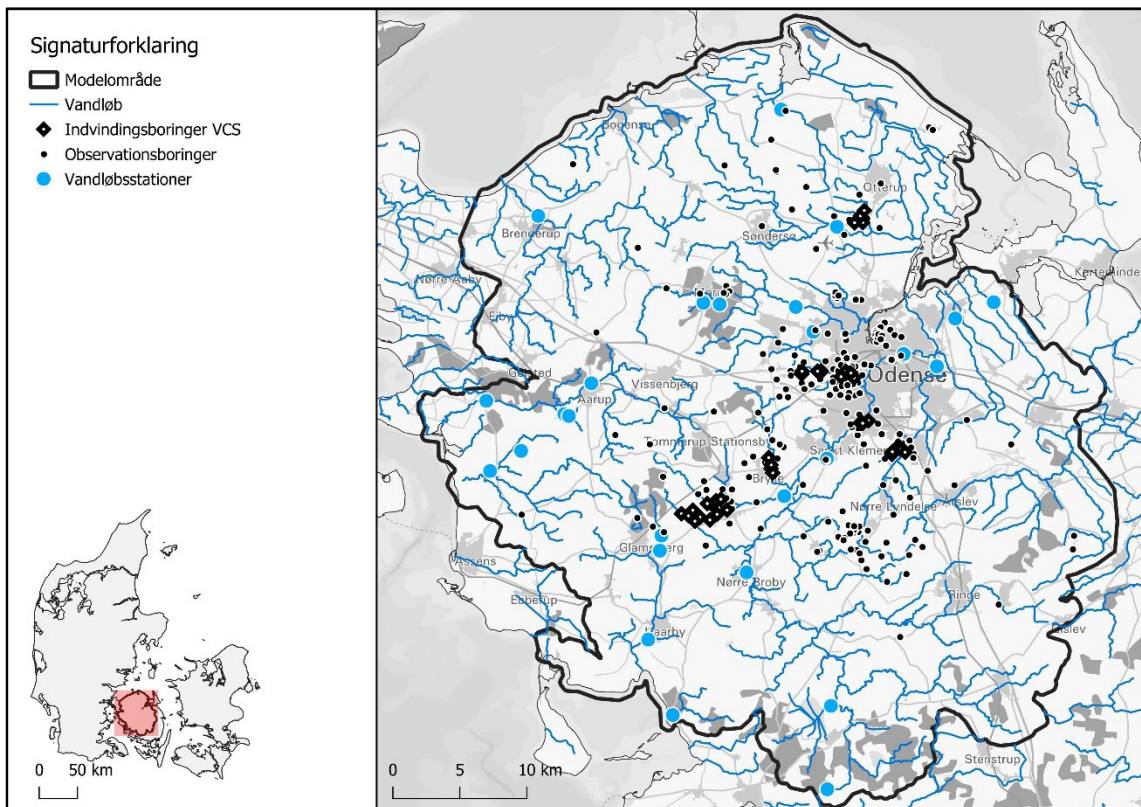
Observerede klimadata såsom korrigeret nedbør, temperatur og evapotranspiration i DK3-modellen stammer fra DMI's klimagrid (DMI, 2025) og blev anvendt i BV-modellen.

For de fremtidige klimascenarier blev der udvalgt data fra tre klimamodeller baseret på ændringen i mængden af nedbør. Ændringen er udregnet for den gennemsnitlige nedbør for perioderne 1980-2010 og 2071-2100 (Seidenfaden, et al., 2022). Der blev valgt den anden vådeste (HadGEM2-ES_HIRHAM5_rcp85) og anden tørreste (MPI-ESM-LR_REMO2009_rcp85_1) model, samt en median model (EC-EARTH_HIRHAM5). Alle tre klimamodeller repræsenterer IPCC AR5's såkaldte høje udledningsscenario (RCP8.5).

Klimamodellerne er kørt på global og regional skala og er bias-korrigeret for at passe på de danske forhold (Pasten-Zapata, et al., 2019).

3.4 Tilpasning af BV-modellen

DK3-modellen dækker hele Fyn samt det Sydfynske Øhav, og er til dette projekt reduceret til at dække VCS' kildepladser og potentielle påvirkningsområde udover de specifikke indvindingsoplande (Figur 1.1), resulterende i et modelområde på 1992 km². Indvindingen i udgangsmodellen er på årsbasis, både for VCS' kildepladser og for de resterende mindre vandværker i området. DK3-modellens kalibrering er baseret på observationsdata som er lagt ind på den Nationale Boringsdatabase Jupiter, som ikke indeholder mere detaljerede målinger fra relativt nyligt installerede dataloggere i mange af VCS' borer, og kun indvindingsdata på årsniveau. Til foreliggende projekt blev der derfor både for indvindingsmængder og trykniveauobservationsdata brugt de opdaterede daglige data fra VCS (afsnit 3.1 og 3.2). Desuden blev de detaljerede terrænnære pejledata for borer i Odense by fra projektet SUBWATER integreret i modellen. Observationer fra DK3-modellen for borer, der ikke er indeholdt i det daglige dataset fra VCS blev overtaget. Vandafstrømningsobservationer blev indhentet fra vandportalen.dk; også disse har en daglig opløsning. Figur 3.1 viser lokaliseringen af både indvindingsboringer samt observationsboringer og vandløbsstationer.



Figur 3.1: Modelområde med VCS' indvindingsboringer (kun aktive), Observationsboringer og vandløbsstationer, som er brugt som kalibreringsmål.

BV-modellen blev re-kalibreret vha. optimeringsprogrammet PEST med de nye observationsdata fra VCS og SUBWATER, samt de opdaterede afstrømningsdata.

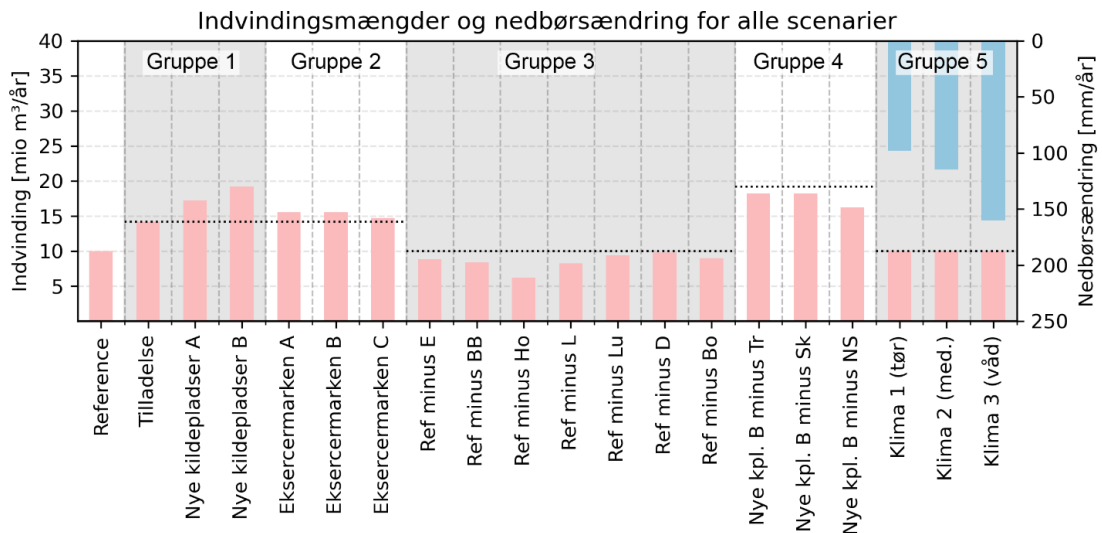
Kalibreringsperioden dækkede årene 2021-2023 med en opvarmningsperiode på to år fra 2019-2020. Der blev kørt en valideringskørsel for perioden 2014-2020. Der blev til kalibrering kun anvendt trykniveau-data fra boringer med tidsserier med mere end 100 observationer, da disse generelt og efter individuel gennemgang, herunder dataopretning, blev vurderet som værende af den højeste kvalitet.

4 Scenarier

Der er blevet kørt i alt 19 scenarier, som er opdelt i fem grupper:

- 1) Indvindingsscenarier
- 2) Eksercermarkenscenarier
- 3) Konsekvensberegninger på eksisterende kildepladser
- 4) Konsekvensberegninger på nye kildepladser
- 5) Klimascenarier

Scenarierne er vist i Figur 4.1 med angivelse af den samlede indvinding på VandCenter Syds kildepladser i de forskellige scenarier samt nedbørsændring for klimascenariernes vedkommende. Indvindingsmængderne varierer fra boring til boring, men i den tidsmæssige dimension er de sat til at være éns (dvs. den årlige middelværdi for hver boring blev divideret med 365 og genbrugt på alle dage i simuleringsperioden).



Figur 4.1: Indvindingsmængder (rød) og nedbørsændring (blå) for alle scenarier. De fem scenariegrupper er markeret med grå/hvid baggrund: (1) Indvindingsscenarier (2) Eksercermarkenscenarier, (3) Konsekvensberegninger for eksisterende kildepladser, (4) Konsekvensberegninger for nye kildepladser og (5) Klimascenarier. Nedbørsændringen for klimascenarierne er fra fortid til fremtid (afsnit 3.3). De stiplede sorte linjer repræsenterer indvindingsmængden for baggrundsscenarioet.

Relevant for alle scenariegrupper er følgende: Som allerede beskrevet i afsnit 2.1, defineres der et referencescenarie og et nul-scenarie. Førstnævnte består af en modelkørsel, hvor indvindingen på VCS' kildepladser er sat til produktionsmålet for 2025, og som afspejler den nuværende indvinding. Referencescenariet danner grundlaget for udregningen af indikatorerne. I nul-scenariet er al indvinding på VCS' kildepladser sat til 0 (se uddybende beskrivelse i afsnit 2.1). Derudover defineres der tre såkaldte "baggrundsscenarier", som er den indvindingsmængde, der er taget udgangspunkt i når der foretages ændringer i indvindingen: for scenariegruppe 1 og 2 er det tilladelsen (uddybes i det følgende), for scenariegruppe 3 og 5 er det produktionsmål 2025, og for scenariegruppe 4 er baggrundsscenarioet indvindingen for "Nye kildepladser A" (uddybes i det følgende). Baggrundsscenariene er vist med stiplede

linjer på Figur 4.1. Grunden til at reference- og baggrundsscenario ikke altid er det samme, er at det er en vigtig pointe i projektet at undersøge effekterne af en maksimal indvinding. De enkelte scenarier som er blevet kørt, tjener de følgende formål:

- Indvindingsscenarierne (Scenariegruppe 1) afspejler dels den nuværende indvinding (Reference), den tilladte indvinding (Tilladelse) og en udvidet produktion med indvinding på nye kildepladser med henholdsvis yderligere 3 mio. m³/år (Nye kildepladser A) og 5 mio. m³/år (Nye kildepladser B). Den nuværende indvinding i Referencescenariet afspejler VCS' forventede produktion i 2025 og skal således afspejle den reelle effekt af indvinding af grundvand på VCS' kildepladser i 2025.
- I Eksercermarkenscenarierne (Scenariegruppe 2) testes øget indvinding på Eksercermarken Kildeplads, som i dag har en tilladelse på 1,2 mio. m³/år. På VCS' øvrige kildepladser er indvindingen sat til den tilladte indvinding jf. de gældende vandindvindingstilladelser. I Eksercermarken A øges indvindingen på Eksercermarken Kildeplads til 2,5 mio. m³/år fra de eksisterende 5 indvindingsboringer. I Eksercermarken B øges indvindingen på Eksercermarken Kildeplads ligeledes til 2,5 mio. m³/år, men med introduktion af en ny indvindingsboring (DGU nr. 145.453) og øget indvinding fra en grundvandsforekomst, der jf. vandområdeplanen ikke er i risiko for at være overudnyttet. I Eksercermarken C fastholdes samme indvindingsstrategi som i Eksercermarken B, men til gengæld indvindes der ikke fra de fire indvindingsboringer, som er filtersat i kvartære grundvandsmagasiner på Dalum Kildeplads, med henblik på at teste i hvilket omfang det påvirker resultatet. På Dalum Kildeplads indvindes der således kun grundvand fra kalkmagasinet (DGU nr. 146.2029) i dette scenario.
- I konsekvensberegninger (Scenariegruppe 3) på eksisterende kildepladser testes effekten af indvinding på VandCenter Syds kildepladser én ad gangen. Den nuværende indvinding benyttes som reference i forbindelse med konsekvensberegningerne.
- I konsekvensberegninger (Scenariegruppe 4) på nye kildepladser testes effekten af indvinding på VandCenter Syds nye kildepladser (Nr. Søby, Skåstrup og Trøstrup Kildeplads) én ad gangen. Bemærk, at baggrunden for denne beregning er Nye Kildepladser B.
- I Klimascenarierne (Scenariegruppe 5) testes effekten af et ændret klima. I de tre scenarier, testes henholdsvis effekten af et forholdsvis tørt fremtidsscenario (Klima 1), et moderat vådt fremtidsscenario (Klima 2) og et vådt fremtidsscenario (Klima 3).

I de følgende afsnit beskrives de forskellige scenarier nærmere. Indvindingsmængderne på borningsniveau er samlet i B-Tabel 1 og B-Tabel 2.

4.1 Scenariegruppe 1: Indvindingsscenarier

I indvindingsscenarierne testes effekten af en øget indvinding på forskellige kildepladser. For det første indvindingsscenarie sættes indvindingsmængden på alle aktive kildepladser op til den tilladte mængde; dette scenario betegnes som "tilladelse" i det følgende. Den samlede indvindingsmængde øges her med næsten en tredjedel fra 9,97 mio. m³ per år til 14,20 mio. m³ per år (se Tabel 4.1 og B-Tabel 1).

Derudover testes der to forskellige scenarier for indvindingen på de tre nye kildepladser Trøstrup, Skåstrup og Nørre Søby – "Nye kildepladser A" og "Nye kildepladser B". For begge

disse scenarier er indvindingen på de resterende kildepladser sat til den tilladte mængde (= "baggrundsscenarioet"). Grunden til dette er, at hvis der skal søges om en fornyet tilladelse, som indbefatter de nye kildepladser, er det vigtigt at kende effekten af den maksimalt tilladte vandmængde. For "Nye kildepladser A" er indvindingen på de nye kildepladser moderat, og der indvindes kun fra fire ud af de seks borer på Trøstrup kildeplads; den samlede indvindingsmængde på de nye kildepladser er her på 3,0 mio. m³ per år, og den samlede indvindingsmængde på alle kildepladser er oppe på 17,2 mio. m³ per år (Tabel 4.1 og B-Tabel 1). For "Nye kildepladser B" skrues der op for indvindingen på alle de tre nye kildepladsers borer, inklusive alle seks borer på Trøstrup. Den samlede indvindingsmængde på de tre nye kildepladser er her oppe på 5 mio. m³ per år; med en samlet indvindingsmængde på alle kildepladser på 19,2 mio. m³ per år, er dette scenariet, hvor der indvindes mest (Tabel 4.1 og B-Tabel 1).

Tabel 4.1: Indvindingsmængder for scenariegruppe 1 på kildepladsniveau.

Indvindingsmængder [mio m ³ /år]				
Kildeplads	Reference	Tilladelse	Nye kildepladser A	Nye kildepladser B
Eksercermarken	1.10	1.20	1.20	1.20
Bolbro	1.60	1.80	1.80	1.80
Holmehave	3.78	5.50	5.50	5.50
Lindved	1.72	2.10	2.10	2.10
Lunde	0.60	1.00	1.00	1.00
Dalum	0.20	1.00	1.00	1.00
Borreby	0.98	1.60	1.60	1.60
Trøstrup	-	-	0.50	1.00
Skåstrup	-	-	0.50	1.00
Nr. Søby	-	-	2.00	3.00
Sum	9.97	14.20	17.20	19.20

4.2 Scenariegruppe 2: Eksercermarkenscenarier

Et af projektets centrale formål er at foretage et detailstudie af Eksercermarken Kildeplads med henblik på at få belyst, hvor meget grundvand der kan indvindes bæredygtigt på kildepladsen. Der er således et ønske i VCS om at få udvidet den gældende vandindvindingsstilladelse i det omfang det vurderes at være bæredygtigt. Baggrunden herfor er en særdeles stor behandlingskapacitet på Hovedværket (hvor grundvandet fra Bolbro og Eksercermarken behandles), hvilket jævnligt medfører, at der i perioder, hvor produktionen på de øvrige vandværker af forskellige årsager er reduceret, er behov for at kompensere ved at øge produktionen på Hovedværket udover de rammer som den nuværende vandindvindingsstilladelse på Eksercermarken sætter. En øget vandindvindingsstilladelse på Eksercermarken vil tilmed forbedre forudsætningerne for at udnytte potentielle synergier mellem øget vandindvinding og afværgeforanstaltninger (kildepladsen er hårdt ramt af DPC-forurening) samt afhjælpning af problemer med terrænnært grundvand i den vestlige del af Odense.

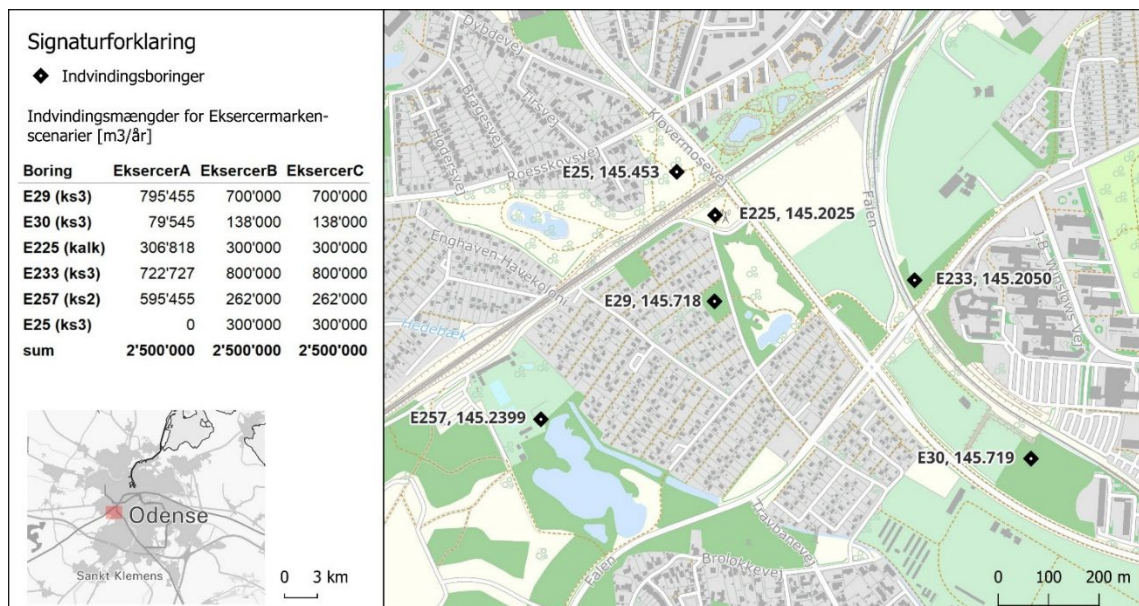
Der testes tre forskellige indvindingsscenarier på Eksercermarken kildeplads: "Eksercermarken A", "Eksercermarken B" og "Eksercermarken C". Tabel 4.2 viser Indvindingsmængderne

på kildepladsniveau, mens Figur 4.2 viser placeringen af de seks boringer på Eksercermarken kildeplads samt indvindingsmængderne på boringsniveau.

For "Eksercermarken A" er indvindingsmængden på de fem aktive boringer på Eksercermarken mere end fordoblet ift. tilladelsen – den samlede indvinding på kildepladsen er på 2,5 mio. m³ per år sammenlignet med 1,2 mio. m³ per år i tilladelsen. Svarende til tilladelsessceneriet i scenariegruppe 1, er indvindingsmængden på de resterende aktive kildepladser i dette scenarie sat til den tilladte mængde (Tabel 4.2).

Tabel 4.2: Indvindingsmængder for scenariegruppe 2 på kildepladsniveau. Tilladelsen er taget med, da det er "baggrunden" for de tre scenarier.

Kildeplads	Indvindingsmængder [mio m ³ /år]				
	Reference	Tilladelse	Eksercermarken A	Eksercermarken B	Eksercermarken C
Eksercermarken	1.10	1.20	2.50	2.50	2.50
Bolbro	1.60	1.80	1.80	1.80	1.80
Holmehave	3.78	5.50	5.50	5.50	5.50
Lindved	1.72	2.10	2.10	2.10	2.10
Lunde	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00
Dalum	0.20	1.00	1.00	1.00	0.20
Borreby	0.98	1.60	1.60	1.60	1.60
Trøstrup	-	-	-	-	-
Skåstrup	-	-	-	-	-
Nr. Søby	-	-	-	-	-
Sum	9.97	14.20	15.50	15.50	14.70



Figur 4.2: Indvindingsmængder på Eksercermarken kildeplads på boringsniveau, samt placering af boringerne.

For scenarierne "Eksercermarken B" og "Eksercermarken C" er indvindingen på Eksercermarkens boringer éns (Figur 4.2), og den samlede indvindingsmængde på kildepladsen er den samme som for "Eksercermarken A". I modsætning til sidstnævnte pumpes der dog både for "Eksercermarken B" og "Eksercermarken C" også fra den ellers ikke aktive E25 (DGU 145.453), samtidigt med at indvindingen på de andre fem boringer er lidt mindre. Den eneste

forskel mellem "Eksercermarken B" og "Eksercermarken C" er, at der er helt slukket for indvinding fra fire borer på Dalum kildeplads for "Eksercermarken C" (Tabel 4.2). Dette skyldes, at grundvandsforekomsten i ks3, som både borerne på Eksercermarken og Dalum trækker fra, er udpeget som værende i dårlig kvantitativ tilstand. Mere konkret er ekspertvurderingen i Vandområdeplan 2021-2027, at drikkevandsforekomsten "DK113_dkmf_1279KS", som indvindingen af grundvand på Dalum og Eksercermarken Kildeplads er delvist baseret på, er i dårlig kvantitativ tilstand med lille sikkerhed. Derfor er det interessant at undersøge, hvorvidt indvindingen på de forskellige kildepladser reelt påvirker hinanden.

4.3 Scenariegruppe 3: Konsekvensberegninger på eksisterende kildepladser

For at undersøge hvilken effekt indvindingen fra hver af de aktive kildepladser har på indikatorerne, blev indvindingen for hver kildeplads slukket (sat til 0) én ad gangen. Indvindingsmængden på de øvrige kildepladser er fastholdt på produktionsmålet 2025, og indikatoren udregnes ift. referencescenariet (Tabel 4.3).

Tabel 4.3: Indvindingsmængder for scenariegruppe 3 på kildepladsniveau.

Kildeplads	Indvindingsmængder [mio m3/år]							
	Reference	Ref - E	Ref - BB	Ref - Ho	Ref - L	Ref - Lu	Ref - D	Ref - Bo
Eksercermarken	1.10	-	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Bolbro	1.60	1.60	-	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
Holmehave	3.78	3.78	3.78	-	3.78	3.78	3.78	3.78
Lindved	1.72	1.72	1.72	1.72	-	1.72	1.72	1.72
Lunde	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	-	0.60	0.60
Dalum	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	-	0.20
Borreby	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-
Trøstrup	-	-	-	-	-	-	-	-
Skåstrup	-	-	-	-	-	-	-	-
Nr. Søby	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	9.97	8.87	8.37	6.20	8.25	9.37	9.77	9.00

4.4 Scenariegruppe 4: Konsekvensberegninger for de nye kildepladser

Samme procedure blev også anvendt for de tre nye kildepladser, Trøstrup, Skåstrup og Nørre Søby. Hver af de nye kildepladser blev slukket én ad gangen, alt imens indvindingen på de resterende kildepladser blev fastholdt som ved indvindingsscenario "Nye kildepladser B" (se afsnit 4.1). Indikatorerne udregnes dog også her ift. referencescenariet (Tabel 4.4).

Tabel 4.4: Indvindingsmængder for scenariegruppe 4 på kildepladsniveau.

Kildeplads	Indvindingsmængder [mio m ³ /år]				
	Reference	Nye kildepl. B	Nye kildepl. B - Tr	Nye kildepl. B - Sk	Nye kildepl. B - NS
Eksercermarken	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20
Bolbro	1.60	1.80	1.80	1.80	1.80
Holmehave	3.78	5.50	5.50	5.50	5.50
Lindved	1.72	2.10	2.10	2.10	2.10
Lunde	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00
Dalum	0.20	1.00	1.00	1.00	1.00
Borreby	0.98	1.60	1.60	1.60	1.60
Trøstrup	-	1.00	-	1.00	1.00
Skåstrup	-	1.00	1.00	-	1.00
Nr. Søby	-	3.00	3.00	3.00	-
Sum	9.97	19.20	18.20	18.20	16.20

4.5 Scenariegruppe 5: Fremtidigt klima

Udover en fremtidig kørsel for hvert klimascenarie, blev der kørt en referencekørsel og en nul-kørsel for hvert af dem. Dette er nødvendigt, da det er almen State-of-the-art at benytte output fra klimamodeller også for fortiden, når ændringer skal beregnes. Både i referencekørsel og fremtidig kørsel er indvindingen sat til produktionsmål 2025. Da ændringer i klima sker over længere perioder, køres referencekørslerne for den sidste afsluttede klimanormalperiode 1991-2020 og de fremtidige kørsler for perioden 2070-2099, og indikatorerne udregnes ligeledes baseret på modeloutputtet for disse perioder. Det er for klimakørslerne nødvendigt med lange 30 års kørsler da de enkelte vejrhændelser ikke er ens mellem nutid og fremtid, i modsætning til de "nutidige" scenarier, som alle sammen er baseret på det samme klimainput. Tabel 4.5 viser nedbør og fordampning pr. år for klimascenarierne nutid og fremtid. Under fremtid står ændringen mellem nutid og fremtid i parentes.

Tabel 4.5: Nedbør og fordampning for de tre klimascenarier. Tallene i parentes er forskellen fra fortid til fremtid; det er forskellen for nedbøren, der afgør om scenariet er tørt, median eller vådt.

Scenarie	1991-2020			2070-2099		
	Cl05 (tør)	Cl18 (median)	Cl12 (våd)	Cl05 (tør)	Cl18 (median)	Cl12 (våd)
Nedbør [mm/år]	819	816	814	916 (98)	931 (115)	974 (160)
Fordampning [mm/år]	539	540	534	612 (73)	595 (55)	619 (85)

4.6 Konsekvensberegninger – effekt per mio. kubikmeter indvinding

Med udgangspunkt i resultaterne for scenariegruppe 3 og 4 beregnes der effekt per indvunden mio. kubikmeter vand. Dette gøres ved først at trække de resulterende indikatorværdier for hvert scenarie fra indikatorværdien for det pågældende baggrundsscenario (dvs. indikatorværdien for referencen fra den for scenariegruppe 3 og indikatorværdien for Nye kildepladser B fra den for scenariegruppe 4), og herefter at dividere de resulterende værdier med millioner kubikmeter vand, der indvindes (eller, slukkes for) for hver pågældende kildeplads.

Dette giver kun mening for de indikatorer, der beregner en påvirkning i områder nogenlunde jævnt fordelt på hele modelområdet. Dette gælder især de to vandløbs-delindikatorer og §3-områderne for naturindikatoren. Delindikatoren <1,5 meter under terræn/75%-percentilen for det terrænnære grundvand i byen er også taget med, selvom den kun beregner påvirkning i Odense byområdet er det interessant at se hvilke kildepladser påvirker det terrænnære grundvand i Odense.

5 Resultater og diskussion

5.1 Kalibrering

5.1.1 Modellens præcision

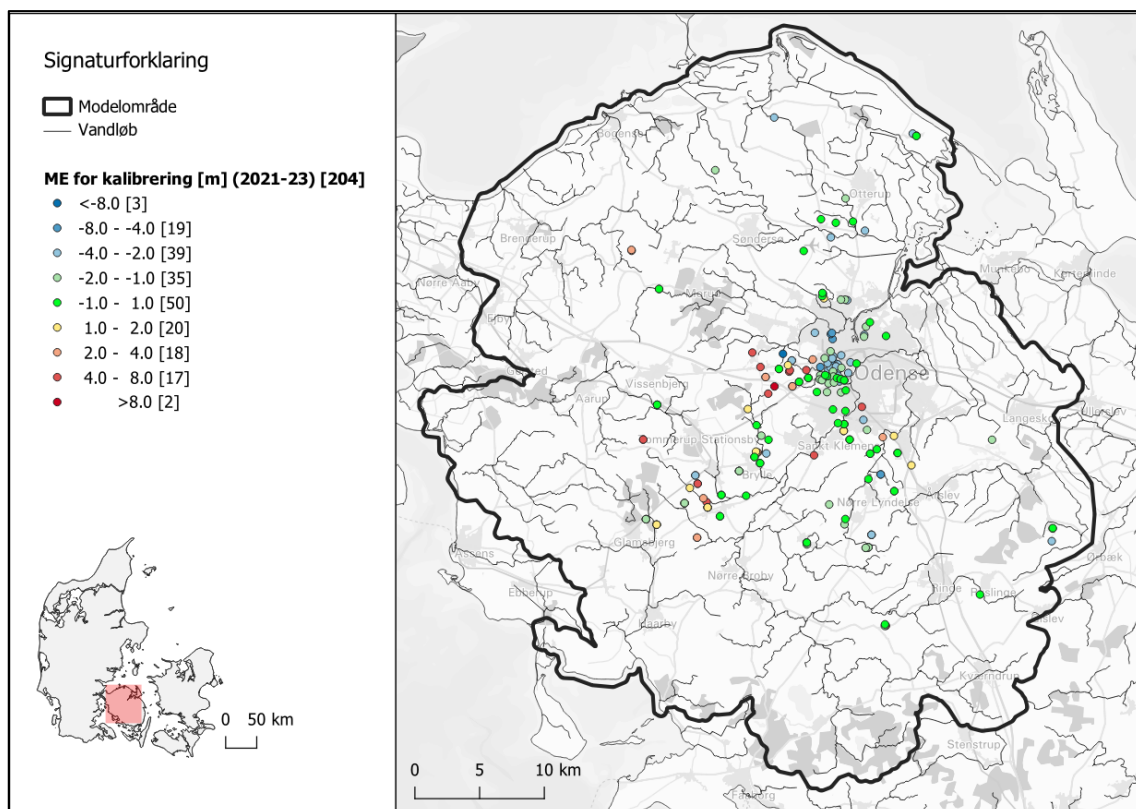
Den opnåede præcision af den kalibrerede BV-model for det gennemsnitlige hydrauliske trykniveau er -0,35 m og 2,63 m for hhv. ME og RMS under den 3-årige kalibreringsperiode 2021-2023 (Tabel 5.1 øverst til venstre), og -0,23 m og 3,03 m for valideringsperioden 2014-2020 (Tabel 5.1 nederst til venstre). Bemærk dog, at antallet af tidsrækker under den tidligere valideringsperiode er mindre end under kalibreringsperioden (hhv. 89 og 201) og dermed er stringent sammenligning mellem resultaterne ikke mulig. Uagtet forskellige datagrundlag, er resultaterne rimelig ens med en middelfejl på ca. -30 cm, hvilket betyder, at modellen i gennemsnit simulerer et 30 cm højere vandspejl end observeret. Med udgangspunkt i manuel outlier-filtrering – de værste outliers er sorteret fra – kan det konstateres, at disse muligvis fejlbehæftede observationer ikke influerer kalibrerings- og valideringsstatistikkerne betydeligt (Tabel 5.1 øverst og nederst til højre). Den rumlige spredning af modelfejle for tidsrækkerne af trykniveau viser en forventet variation i modellens præcision (Figur 5.1).

Tabel 5.1: Hydraulisk trykniveau – middelfejl i alle lag.

Øverst: Kalibreringsperiode (2021-23); nederst: valideringsperiode (2014-20).

Med outliers >10 og < -10				Uden outliers >10 og < -10			
Lag	Antal boringer	ME	RMSE	Lag	Antal boringer	ME	RMSE
kl1	5	-0.49	2.80	kl1	5	-0.49	2.80
ks1	18	-1.80	3.01	ks1	18	-1.80	3.01
kl2	22	-1.74	2.42	kl2	21	-1.32	2.03
ks2	94	-0.35	2.43	ks2	92	-0.38	2.22
kl3	12	2.07	2.57	kl3	11	1.31	1.86
ks3	34	-0.11	3.51	ks3	34	-0.11	3.51
pl1	4	1.41	1.59	pl1	4	1.41	1.59
kalk	12	0.75	1.98	kalk	12	0.75	1.98
Alle	201	-0.35	2.63	Alle	197	-0.36	2.45

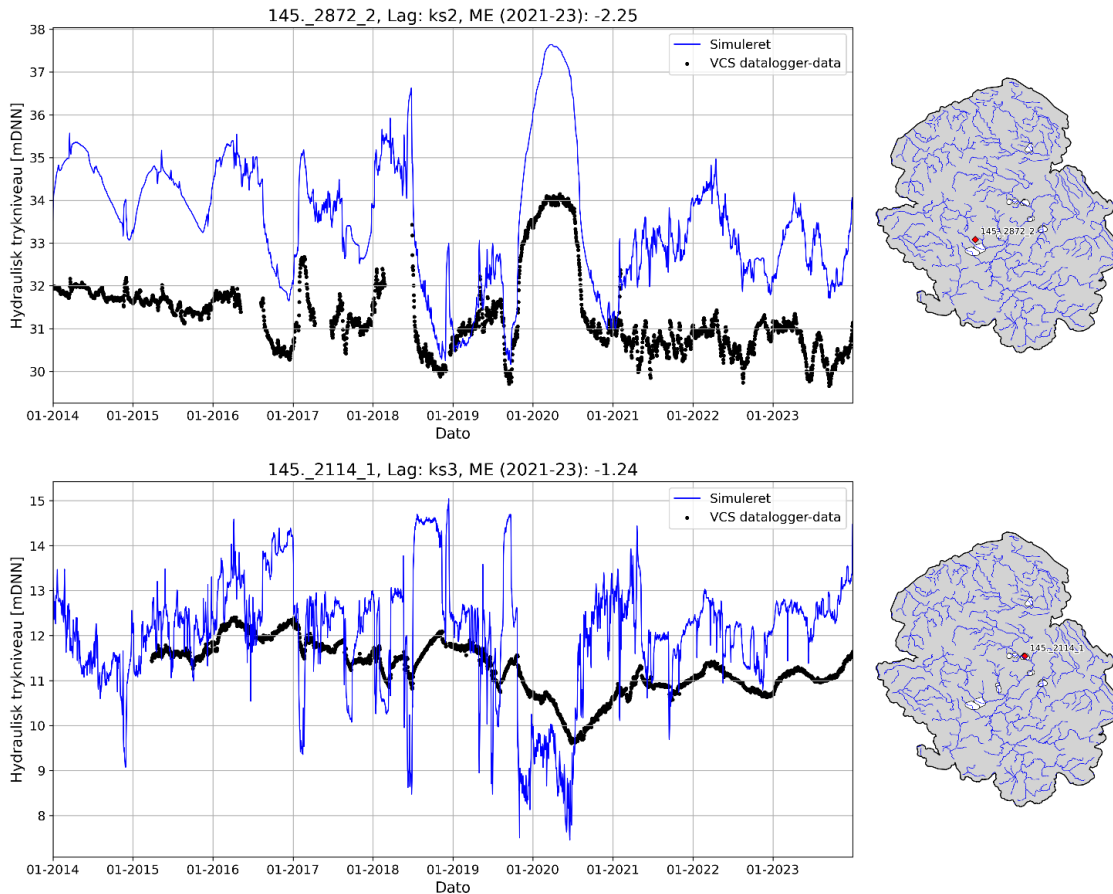
Med outliers >10 og < -10				Uden outliers >10 og < -10			
Lag	Antal boringer	ME	RMSE	Lag	Antal boringer	ME	RMSE
top	1	-1.60	1.96	top	1	-1.60	1.96
kl1	2	-7.33	7.64	kl1	1	-3.10	3.10
ks1	8	-2.47	3.26	ks1	8	-2.47	3.26
kl2	8	-3.89	3.95	kl2	7	-2.89	2.94
ks2	37	0.14	2.45	ks2	37	0.14	2.45
kl3	7	2.67	3.35	kl3	6	1.33	2.12
ks3	18	0.83	3.64	ks3	18	0.83	3.64
pl1	3	1.76	1.96	pl1	3	1.76	1.96
kalk	5	0.84	1.91	kalk	5	0.84	1.91
Alle	89	-0.23	3.03	Alle	86	-0.10	2.74



Figur 5.1: Rumlig fordeling af middelfejl i kalibreringsperioden 2021-2023.

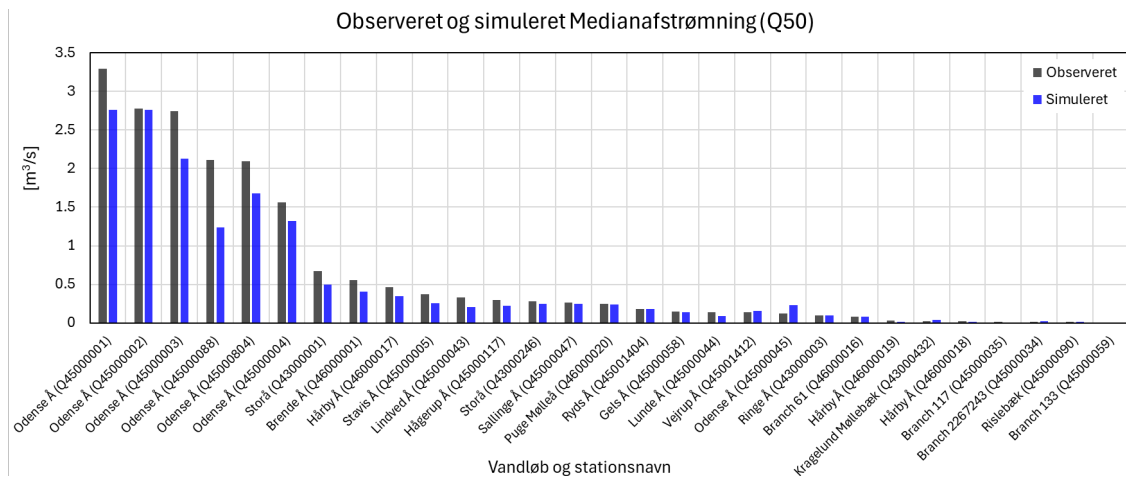
Som det kan ses i Tabel 5.1 (øverst), er størstedelen af trykniveauobservationerne (tidsserier) til kalibrering fra de primære magasiner hvorfra indvindingen foregår, hhv. 94 og 34 fra ks2 og ks3 ud af i alt 201, mens der kun er hhv. 5 og 18 tidsserier for det terrænnære grundvand i lagene kl1 og ks1 (det terrænnære grundvand opfattes ikke som magasinspecifik, men er det øverste frie grundvandsspejl i de øverste jordlag, uagtet om det er sand- eller lerlag). Mens præcisionen for de primære grundvandsmagasiner er sammenlignelig med modellens samlede præcision (ME ks2 -0,35 m, ME ks3 -0,11 m, Tabel 5.1 øverst), er præcisionen for det terrænnære grundvand dårligere (ME -0,49 - -1,8 m) og med en generel bias hvor modellen simulerer et for højt grundvandsspejl. Observationerne for det terrænnære grundvand er primært fra Odense by, hvor det i byområder erfaringsmæssigt er svært at opnå høj præcision uden en specifik urban modelopsætning som i SUBWATER modellen (LaBianca et al. 2024).

Figur 5.2 viser to tidsserier på hydraulisk trykniveau i de primære magasiner ks2 og ks3 for hele perioden. Det øverste plot viser en tidsserie i en observationsboring fra Holmehave, hvor der i slut 2019/start 2020 blev slukket for al indvinding grundet et større renoveringsarbejde. Her ses der en tydelig stigning af trykniveauet både i de observerede og simulerede data. Det nederste plot viser en tidsserie fra Eksercermarken, hvor der i samme periode blev indvundet mere, for at kompensere for den manglende vandmængde fra Holmehave. Her ses der et tydeligt dyk i trykniveauet, både for de observerede og de simulerede data. Derudover ses det, at dynamikken overdrives i simuleringen. Dette kan skyldes den høje tidslige opløsning i indvindingsdata, som er på dagsniveau frem for måneds- eller årsniveau, som det i alle versioner af DK-modellen har været tilfældet indtil videre. Det vurderes dog ikke at være af afgørende betydning for foreliggende projekt, da der til analysen kun bruges gennemsnitlige værdier af trykniveau.



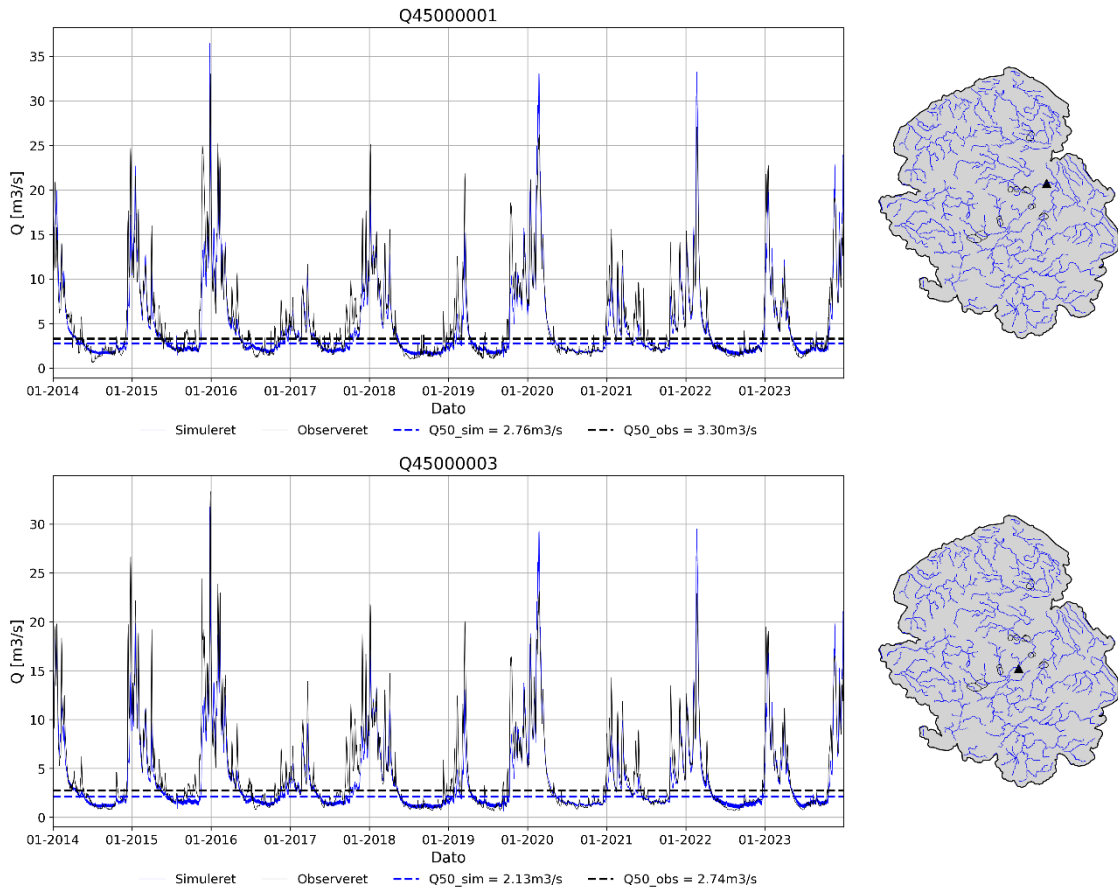
Figur 5.2: Tidsserier for trykniveauet i to observationsboringer: Øverst: på Holmehave kildeplads – pumpestop pga. renovering af kildepladsen i slut 2019/start 2020 ses tydeligt i det forhøjede trykniveau. Nederst: på Eksercermarken kildeplads. Grundet pumpestop på Holmehave blev der her temporært indvundet mere; dette kommer til udtryk i et fald af trykniveauet i slut 2019/start 2020.

Figur 5.3 viser den observerede og simulerede medianafstrømning (Q50) i kalibreringsperioden. Der er en tendens til, at modellen simulerer for lavt, hvilket formodes at være pga. størrelsen af dræn- og lækagekonstanterne. Øges disse, kan der udveksles større mængder vand mellem grundvand og vandløb.



Figur 5.3: Observeret og simuleret medianafstrømning (Q50) for perioden 2014-2023.

Overordnet set vurderes modellens evne til at simulere vandløbsafstrømningen dog til at være ganske tilfredsstillende og tilstrækkelig til projektets formål. Ser man på tidsserieplots for to af de stationer med størst afvigelse mellem Q50, ses der en god overensstemmelse mellem simuleret og observeret afstrømning i hele perioden (Figur 5.4).



Figur 5.4: Observeret og simuleret afstrømning på to Q-stationer. Øverst: Mest nedstrøms station i Odense Å. Nederst: Længere opstrøms i Odense Å.

5.1.2 Diskussion af kalibreringen

Udgangspunktet for nærværende modeloptimering er en blanding af forskellige objektiver. Den styres ikke kun af selve kalibreringsmål i form af observationsdata, men også af modelopsætning, altså de valg der træffes for geologi, opløsning og generel detaljeringsgrad. Vi skal kunne beskrive effekten af oppumpning i grundvandsmagasinerne hvor VCS' kildepladser indvinder vand fra. Dernæst skal modellen kunne simulere et respons fra de dybere forhold i vandføring i vandløb og i det terrænnære grundvand som er i kontakt med den våde natur, og vandspejlet heri og endeligt terrænnære forhold under byområder. Samtidig må modelopløsningen ikke være højere end hvad der er praktisk muligt ved regional modellering ang. beregningstid og modeldetaljeringsgrad. Det var klart før projektets start, at modellens størrelse skulle rumme alle eksisterende kildepladser og tre nye. Figur 2.1 viser fx klart nødvendigheden af den regionale modelstørrelse med udbredelsen af vandløbspåvirkning fra VCS' kildepladser i form af medianafstrømning.

Kalibrering af komplekse modeller er altid et kompromis (trade-off) mellem forskellige formål/objektiver som modellen gerne skal kunne opfylde. Fx kan man ikke opnå en model som er 100 % optimeret imod terrænnære forhold, som det terrænnære grundvand, i samme model der optimalt beskriver dybe grundvandsforhold i primære magasiner. Man veksler præcision ved simulering af terrænnære forhold da man også gerne vil have præcision ved simulering af dybe forhold, eller måske en god simulering af vandføring. Der kan også være et tidsligt trade-off ved kalibrering henimod en model som bedre beskriver gennemsnitsforhold, median vandføring eller gennemsnits trykniveau og en model som bedre kan simulere ekstreme situationer, som når grundvandsstanden står meget højt, eller lavt. En fysisk baseret model, fx en grundvandsmodel, hvor man optimerer parametre som har en fysisk mening i virkeligheden, f.eks. hydraulisk ledningsevne, har heldigvis ved korrekt parametersætning potentialet til at kunne håndtere forskellige objektiver. En modeloptimering, ofte kaldet kalibrering, er dog også stærk begrænset ved de observationer som er tilgængelige. Fx findes der i tilgængelige datasæt meget få vandstandsdata fra våd natur og urbane områder som vi kan benytte til modeloptimering. Derfor kender vi principielt ikke modellens evne til at simulere disse terrænnære forhold.

Tabel 5.2: Initialværdier og estimerede værdier for kalibreringsparametre.

Kalibreringsparametre				
Parametertype	Parameternavn	Initialværdi	Estimeret værdi	Fri (f)/koblet (k)
Horisontal ledningsevne [m/s]	ks1_hc	3.98E-05	4.01E-05	f
	ks2_hc	1.02E-04	1.01E-04	f
	ks3_hc	1.99E-03	2.00E-03	f
	dk_hc	3.64E-05	3.59E-05	f
Vertikal ledningsevne [m/s]	kl1_vc	5.17E-08	5.18E-08	f
	ks1_vc	4.01E-06	3.98E-06	k (ks1_hc)
	ks2_vc	1.02E-05	1.02E-05	k (ks2_hc)
	ks3_vc	2.00E-04	1.99E-04	k (ks3_hc)
	dk_vc	1.64E-06	1.66E-06	k (dk_hc)
	kl2_vc	5.36E-09	5.35E-09	k (kl1_vc)
	kl3_vc	5.36E-09	5.35E-09	k (kl1_vc)
	kl4_vc	5.36E-09	5.35E-09	k (kl1_vc)
Magasintal (spændt magasin) [m]	ks3_ss	1.00E-06	1.01E-06	f
	ks1_ss	2.52E-05	2.50E-05	k (ks3_ss)
	ks2_ss	1.01E-06	1.00E-06	k (ks3_ss)
Detention storage [mm]		1.56E+01	1.56E+01	f
Tidskonstant for dræn [/s]		1.11E-07	1.11E-07	f
Lækage koefficient i vandløb [/s]		3.54E-05	3.56E-05	f

Tidligere modeller, fx Odense Vest med fokus på Eksercermarken og Bolbro kildepladser, var i 50 m opløsning (Kidmose & Sonnenborg 2018), mens det for SUBWATER modellen med fokus på det terrænnære grundvand i byområdet Odense SV var muligt at gå helt ned

til en opløsning på 10 m (LaBianca, et al., 2024) med en bynær og terrænnær opdateret geologi. Dette var muligt grundet modellernes begrænsede geografiske udstrækning. BV-modellens størrelse taget i betragtning, som er defineret af kravet om at inkludere alle VCS' kildepladser samt indvindingsoplande, var det ikke muligt at reducere cellestørrelsen helt så meget. En cellestørrelse på 100 m blev vurderet realistisk både ift. beregningstid og pålidelig til simulering af den specifikke oppumpning ved VCS' kildepladser. Som beskrevet i afsnit 3, er udgangspunkt for BV-modellen DK-modellen for Fyn i 100 m opløsning. Denne model blev skabt og kalibreret under HIP projektet primært imod terrænnære data. Ved opsætning af BV-modellen stod det dog hurtigt klart, at den ikke med parametersætning fra HIP DK-modellen kunne beskrive forholdene i de primære grundvandsmagasiner. Derfor anvendtes parametre fra DK-2019 (DK ressourcemodellen) som initialparametre til optimering af BV-modellen. Tabel 5.2 viser initial- og estimerede værdier for modelparametre før og efter kalibrering. Disse parametre blev ikke signifikant ændret ved kalibrering af BV-modellen. Dette er ikke overraskende, da begge kalibreringer har fokus på en optimering af forholdene i de dybe magasiner.

5.2 Kritiske koter for akviferbæredygtighed

Overudnyttelse af grundvandsressourcen kan føre til en række uønskede effekter som viser sig i form af forringelse af grundvandskvaliteten. Med de grundvandsmagasiner som produktion af drikkevand i Danmark er baseret på, kan overudnyttelse af grundvandsressourcen bl.a. medføre:

- Saltvandsindtrængning: Overudnyttelse af grundvandsressourcen kan medføre saltvandsindtrængning i grundvandsmagasinet. Kilden til salt kan både være havvand og salt formationsvand.
- Sulfatering: Overudnyttelse af grundvandsressourcen kan medføre sulfatering, der opstår som et resultat af iltningprocesser i de øvre jordlag over grundvandsmagasinet, hvor sulfat frigives som et resultat af oxidation af sulfidholdige mineraler. Denne proces kan særligt være udtalt ved iltning af organogene aflejringer.
- Frigivelse af nikkel: Overudnyttelse af grundvandsressourcen kan medføre frigivelse af nikkel til grundvandet. Frigivelsen af nikkel til grundvandet sker ved iltning af de øvre jordlag over grundvandsmagasiner, hvor nikkel frigives i forbindelse med iltning af sulfidholdige mineraler.
- Brunt vand: Overudnyttelse af grundvandsressourcen kan under særlige hydrogeologiske forhold medføre mobilisering af brunt vand. Brunt vand skyldes opløsning af organisk stof og forekommer typisk, hvor grundvandet er gammelt og i kontakt med geologiske lag med et højt indhold af humusstoffer. Det er bl.a. et velkendt fænomen i dybe grundvandsmagasiner i Syd- og Sønderjylland.
- Hårdt vand: Overudnyttelse af grundvandsressourcen kan medføre acceleration af syredannende processer i forbindelse med iltning af de øvre jordlag. Når syren neutraliseres af kalken i de glacielle aflejringer, medfører det opløsning af calcium og dermed stigende hårdhed af grundvandet.

Indvinding af grundvand kan også medføre mange andre ændringer i grundvandets kvalitet, men det er særligt de ændringer, som er beskrevet ovenfor som er meget direkte koblet med overudnyttelse, da processerne i meget vid udstrækning er styret af indvindingsstrategien. I forbindelse med dette projekt er det valgt at udvikle indikatorer, som er relevante for VandCenter Syds kildepladser og derfor styrende i forbindelse med design af en indvindingsstrategi, der sikrer bæredygtig vandindvinding i forhold til akviferbæredygtighed. Med den viden der er om grundvandskemi og de hydrogeologiske forhold i grundvandsmagasinerne, som VandCenter Syds produktion af drikkevand er baseret på, er det i særdeleshed saltvandsindtrængning og sulfatering, der vurderes at være relevante processer at have kendskab til, med henblik på at sikre akviferbæredygtighed. For begge parametre gælder at grundvandspejlets beliggenhed er kritisk i forhold til hvornår der sker en forværring af grundvandskvaliteten, der er affødt af vandindvinding. På flere af kildepladserne er der et godt datagrundlag, der viser sammenhæng imellem grundvandsspejlets beliggenhed og vandkemi i de grundvandsmagasiner, som produktionen er baseret på. Her er der således på baggrund af driftserfaringer mulighed for at fastsætte kritiske koter, der udtrykker, hvornår processerne, der medfører en forringelse af vandkvaliteten initieres. Det gør sig bl.a. gældende på Eksercermarken og Lindved Kildeplads, hvor der begge steder har været perioder, hvor vandindvinding har medført både saltvandsindtrængning og sulfatering. På andre kildepladser er erfaringsgrundlaget mindre, og her er det i nogle tilfælde muligt at fastsætte kritiske koter på baggrund af en konceptuel forståelse af de hydrogeologiske forhold. Et eksempel på det, er at det på flere af kildepladserne er muligt at fastsætte en kritisk kote for afsenkning af det terrænnære grundvandsspejl baseret på beliggenheden af organogene aflejringer i ådale, som kan være en kilde til sulfatering, hvis grundvandsspejlet afsænkes i en grad, hvor iltning af ådalssedimenter bliver et udbredt fænomen.

I Tabel 5.3 og Tabel 5.4 er der vist et overblik over kritiske koter på VandCenter Syds kildepladser for henholdsvis sulfatering og saltvandsindtrængning. For nogle af kildepladserne er der foretaget en underopdeling, da der indvindes grundvand fra forskellige akviferer. Det gør sig gældende på Dalum, Eksercermarken og Lindved Kildeplads, hvor der både indvindes grundvand fra kalkmagasiner og kværtære sand- og grusmagasiner. Det gør sig også gældende på Holmehave Kildeplads, hvor der pga. den geografiske udbredelse af kildepladsen er foretaget en opdeling imellem en vestlig og østlig del af det kværtære sand- og grusmagasin.

For hver kildeplads er der foretaget en risikovurdering, der afspejler om der vurderes at være lille (grøn), moderat (gul) eller stor (rød) risiko for henholdsvis sulfatering og saltvandsindtrængning. Desuden er der en angivelse af om risikovurderingen er forbundet med lille eller stor usikkerhed. I de tilfælde, hvor den kritiske kote er fastsat på basis af driftserfaringer, er usikkerheden på risikovurderingen generelt lille.

I de tilfælde hvor risikovurderingen viser, at der er enten moderat eller stor risiko for, at der som følge af vandindvinding vil ske en overskridelse af den kritiske kote, er der fastsat en kritisk kote, som er ledsaget af en vurdering af usikkerheden, hvormed den kritiske kote er fastsat. I nogle tilfælde er det ikke på det foreliggende grundlag muligt at fastsætte en kritisk kote til trods for at der vurderes at være risiko for enten sulfatering eller saltvandsindtrængning. Det kan f.eks. skyldes, at det ikke hidtil har været muligt at se et klart mønster i sammenhængen mellem vandkvaliteten og grundvandsspejlets beliggenhed. Det gør sig bl.a. gældende på Dalum Kildeplads ved indvinding fra kalkmagasinet. Det gør sig fx også gældende på Trøstrup Kildeplads, hvor den kritiske kote ikke er mulig at fastsætte pga. et begrænset kendskab til de hydrogeologiske forhold i området.

Yderst til høje i tabellerne ses en angivelse af, hvorvidt den kritiske kote er defineret i forhold til det primære eller terrænnære grundvandsspejl. Det terrænnære grundvandsspejl er særligt relevant i forbindelse med sulfatering, da sulfatering i vid udstrækning er foranlediget af iltning af de øvre jordlag.

Tabel 5.3: Kote for maksimal afsænkning på VCS' kildepladser – sulfatering.

Kildeplads	Akvifer	Risiko	Usikkerhed	Max. afsænkingskote	Usikkerhed	Bemærkning
Bolbro	Vest	Sand og grus	Lille			
	Øst	Sand og grus	Stor	17 m	Stor	Primært grundvandsspejl
Borreby		Sand og grus	Lille			
Dalum		Sand og grus	Lille	10 m	Lille	Terrænn. grundvandsspejl
		Kalk	Lille			
Eksercermarken		Sand og grus	Lille	3 m	Lille	Primært grundvandsspejl
		Kalk	Lille			
Holmehave	Vest	Sand og grus	Stor	32 m	Lille	Terrænn. grundvandsspejl
	Øst	Sand og grus	Stor	26 m	Lille	Terrænn. grundvandsspejl
Lindved		Sand og grus	Lille	23 m	Lille	Terrænn. grundvandsspejl
		Kalk	Lille			
Lunde		Sand og grus	Lille			
Nr. Søby		Sand og grus	Lille			
Skåstrup		Sand og grus	Lille			
Trøstrup		Sand og grus	Stor	? m	Stor	

Tabel 5.4: Kote for maksimal afsænkning på VCS' kildepladser – saltvandsindtrængning.

Kildeplads	Akvifer	Risiko	Usikkerhed	Max. afsænkingskote	Usikkerhed	Bemærkning
Bolbro	Vest	Sand og grus	Lille			
	Øst	Sand og grus	Lille			
Borreby		Sand og grus	Lille			
Dalum		Sand og grus	Lille			
		Kalk	Stor	? m	Stor	
Eksercermarken		Sand og grus	Lille	3 m	Lille	Primært grundvandsspejl
		Kalk	Lille	3 m	Lille	Primært grundvandsspejl
Holmehave	Vest	Sand og grus	Lille			
	Øst	Sand og grus	Stor	? m	Stor	
Lindved		Sand og grus	Lille			
		Kalk	Lille	12 m	Lille	Primært grundvandsspejl
Lunde		Sand og grus	Lille	2 m	Lille	Primært grundvandsspejl
Nr. Søby		Sand og grus	Lille			
Skåstrup		Sand og grus	Stor	2 m	Lille	Primært grundvandsspejl
Trøstrup		Sand og grus	Stor	? m	Stor	

5.3 Indikatorberegning

Tabel 5.5 eksemplificerer fremgangsmåden for beregningen af indikatorer på akviferbæredygtighed og scenariet "tilladelse"; der er vist tal for tilladelsesscenariet inklusive nul- og referencescenariet, som bruges til udregning. Kolonnerne 5-7 ("Volumen forskel...") viser forskellen mellem hydraulisk trykniveau og kritiske koter på forskellige kildepladser for de tre scenarier (i 1000 kubikmeter). I kolonne 8 og 9 ("Minus nul-scenarie") er værdien for nul-scenariet trukket fra de to resterende, mens kolonnerne 10 og 11 ("Indikator") viser selve

indikatorværdierne. For saltvandsindtrængning på Lunde (Lu) kildeplads, falder trykniveauet hverken for nul- eller referencescenariet under den kritiske kote, mens den gør det for tilladelsen. Dette betyder, at indikatoren ikke kan beregnes (der kan ikke divideres med 0), samtidigt med at der må antages, at der er en påvirkning når indvindingen øges. Indikatoren sættes derfor til ">>1.00" i sådanne tilfælde.

Tabel 5.5: Eksempel for udregning af indikatoren for akviferbæredygtighed.

Problem	Kildeplads	Lag	Kritisk Kote [m]	Volumen forskel mellem trykniveau og kritisk kote, sum [1000 m ³]			Minus nul-scenarie [1000 m ³]		Indikator	
				Nul-scenarie	Reference	Tilladelse	Reference	Tilladelse	Reference	Tilladelse
saltvand	E	ks3	3	0	0	0	0	0	1.00	1.00
	Sk	ks3	2	0	0	0	0	0	1.00	1.00
	E	ks2(ks3)	3	0	0	0	0	0	1.00	1.00
	Lu	ks2	2	0	0	11	0	11	1.00	>>1.00
	E	kalk	3	0	0	0	0	0	1.00	1.00
	L	kalk	12	0	0	0	0	0	1.00	1.00
sulfatering	Bb-oest	ks3	17	0	4020	5715	4020	5715	1.00	1.42
	E	ks3	3	0	0	0	0	0	1.00	1.00
	L	top(ks2)	23	12	43	100	32	88	1.00	2.79
	D	top(ks3)	10	112	116	119	4	6	1.00	1.81
	Ho-oest	top(ks3)	26	338	352	360	14	22	1.00	1.55
	Ho-vest	top(ks3)	32	1153	1166	1174	14	21	1.00	1.53

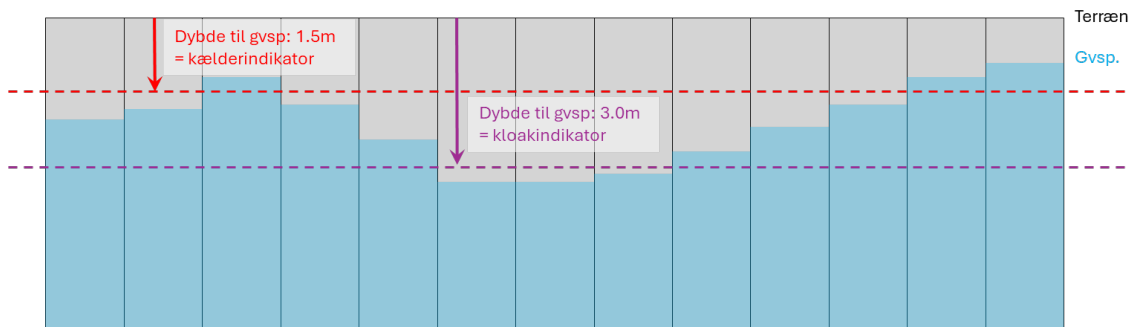
Tabel 5.6 viser et eksempel for udregningen af indikatoren for terrænnært grundvand i byen; også her er der vist tal for tilladelsesscenariet inklusive nul- og referencescenariet, som bruges til udregning. Kolonnerne 3-5 ("Antal celler") viser antallet af celler, hvor hhv. 75%- og 99%-percentilen for grundvandet i Odense by står over et niveau på hhv. 3.0 eller 1.5 meter under terræn. Kolonnerne 6 og 7 ("Antal celler minus nul-scenarie") viser antallene for reference- og tilladelsesscenariet, fratrukket antallet for nul-scenariet. Det ses, at der stort set ikke er forskel mellem reference og tilladelse, taget det store totale antal celler i betragtning. Indikatorværdierne (kolonne 8 og 9, "Indikator") bliver hermed også misvisende – en indikator på 2 tyder intuitivt på en stor forandring fra tilladelse til reference; mens det kun drejer sig om en forskel på to modelceller. Den eneste situation, hvor indikatoren er meningsfuld, er hvor 75%-percentilen står højere end 1.5 meter under terræn. Dette mønster gælder for alle scenarier, ikke kun tilladelsen.

Tabel 5.6: Eksempel for terrænnært grundvand. For langt de fleste situationer ser indikatoren ud til ikke at være særlig følsom.

Scenarie		Antal celler			Antal celler minus nul-scenarie		Indikator	
		Nul-scenarie	Reference	Tilladelse	Reference	Tilladelse	Reference	Tilladelse
75%-percentil	< 3m	11436	11434	11432	-2	-4	1.00	2.00
	< 1.5m	10236	10203	10180	-33	-56	1.00	1.70
99%-percentil	< 3m	11460	11460	11460	0	0	1.00	1.00
	< 1.5m	11094	11085	11088	-9	-6	1.00	0.67

Begge situationer, "vintersituationen", repræsenteret af 75%-percentilen, og "ekstremssituationen", repræsenteret af 99%-percentilen, er ekstremssituationer, hvor grundvandet generelt står højt. Det er derfor for begge situationer meget "nemt" at komme over tærskelværdien på 3 meters dybde. Dette gælder især for 99%-percentilen (se Tabel 5.6). Her ligger grundvandsstanden selv for nul-scenariet i næsten alle befæstede celler, nemlig 11460 ud af 11467, over tærskelværdien på 3 meter. For 75%-percentilen er der til gengæld ikke helt så mange steder hvor grundvandet når over tærsklen på 1.5 m, hvorfor denne kan anses for

mere brugbart (Tabel 5.6). Generelt må der konkluderes, at modellen ikke er tilstrækkeligt følsom overfor denne indikator, hvilket også afspejles af modellens dårlige evne til at reproducere trykniveauet i de øvre lag (Tabel 5.1).



Figur 5.5: Vertikalt tværsnit igennem modelgrid. Vandstanden er vist med blå, og repræsenterer værdien for 75%- eller 99%-percentilen i hver celle.

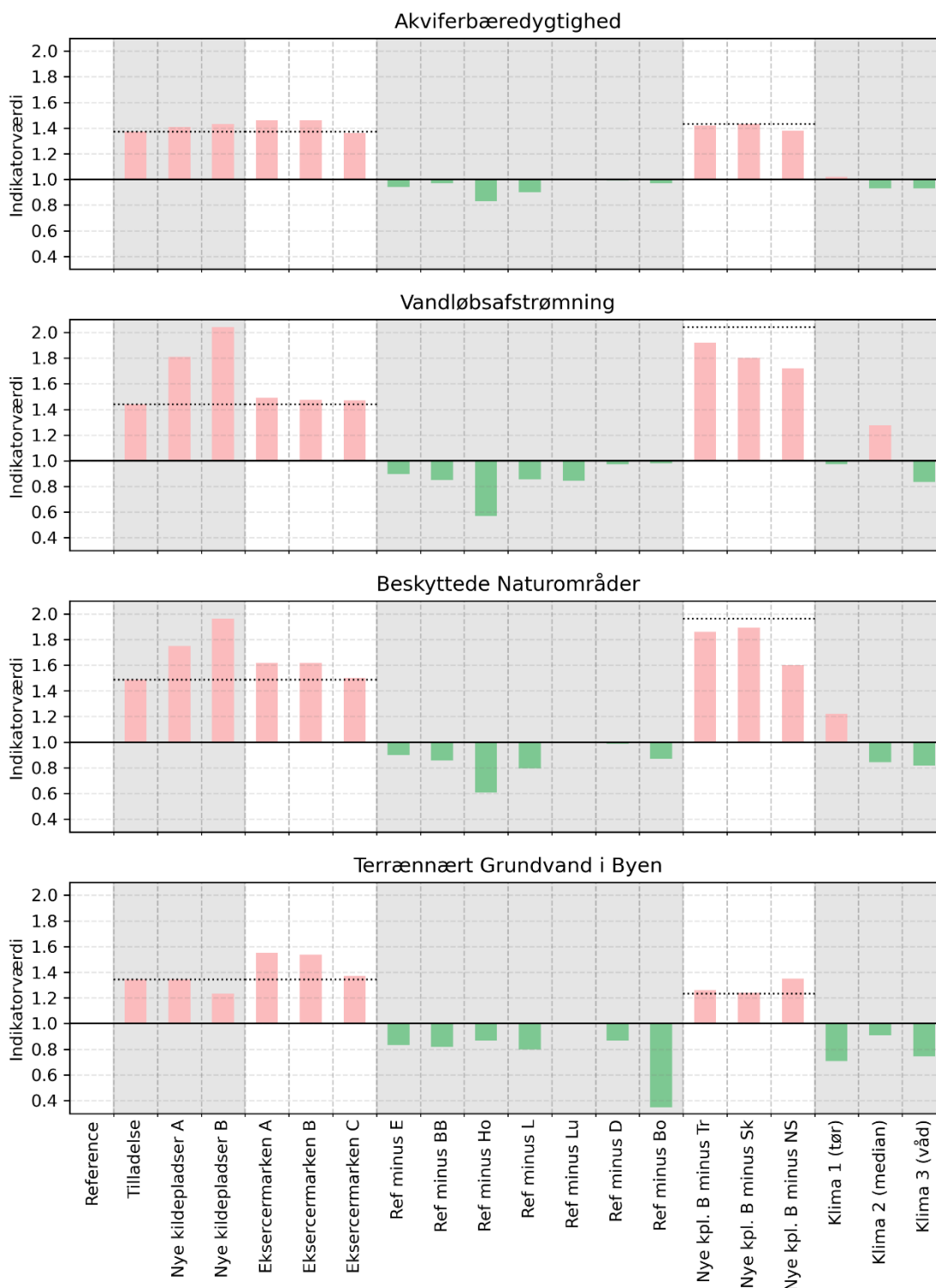
5.4 Scenarier

Figur 5.6 viser gennemsnitlige indikatorværdier for alle scenarier. De fem scenariegrupper er markeret med grå/hvid baggrund. Værdien 1 repræsenterer referenceværdien, røde søjler betyder indikatorværdier over denne, dvs. en større påvirkning af systemet, mens grønne søjler illustrer indikatorværdier lavere end referenceværdien, og dermed en mindre påvirkning af systemet. For alle indikatorer på nær det terrænnære grundvand anses en større påvirkning af systemet for værende negativt. For indikatoren over det terrænnære grundvand i byen er et fald af grundvandsspejlet ønskværdigt, og en større påvirkning klassificeres dermed som værende positivt.

For scenariegruppe 1 og 2 ligger værdierne for alle fire indikatorer over referenceværdien på 1. Dette er ikke overraskende, da indvindingen for alle disse er større end i referenceperioden (Figur 4.1 og Tabel 4.1 og Tabel 4.2). For begge scenariegrupper svarer "baggrundsscenarioet" til tilladelsen, dvs. den indvindingsmængde, der modificeres, er tilladelsen; den stiplede sorte linje viser indikatorværdierne for dette scenarie. For næsten alle scenarier indenfor disse to grupper er indikatorværdierne højere end den for tilladelsen, hvilket er som forventet, da der indvindes mere end for denne. Det eneste sted, hvor indikatorværdien er lavere end for "baggrundsscenarioet" er for det terrænnære grundvand, under scenariet "Nye kildepladser B". Dette må antages at skyldes modellens lave følsomhed overfor denne indikator (se afsnit 5.3).

For scenariegruppe 3, konsekvensberegninger for de eksisterende kildepladser, ligger alle indikatorværdierne derimod under eller meget tæt på 1. Dette er som forventet, da indvindingen her gennemgående er lavere end i referenceperioden (Figur 4.1 og Tabel 4.3). Alt afhængigt af indvindingsmængden på den pågældende kildeplads, som konsekvensberegningen gennemføres for, er effekten større eller mindre. Den største effekt for de tre mest vel fungerende indikatorer, akviferbæredygtighed, vandløb og natur ses således for slukningen af Holmehave kildeplads, hvor den totale indvindingsmængde reduceres med over en tredjedel (Tabel 4.3). Den største effekt for det terrænnære grundvand i byen ses for slukningen af Borreby kildeplads, som ligger over 10 km udenfor Odense by, hvor indikatoren beregnes. Derimod ses der kun en mindre effekt på denne indikator når indvindingen på

Eksercermarken slukkes, hvor man skulle have forventet den største effekt, da denne kildeplads befinder sig i byområdet. Dette må derfor skyldes modellens utilstrækkelige følsomhed overfor indikatoren, grundet dens dårlige repræsentation af terrænnær geologi i bynære områder.



Figur 5.6: Indikatorværdier for hver indikator og alle scenarier. Udover referencescenariet er der fem scenariegrupper, som er markeret med grå/hvid baggrund: (1) indvindingsscenarier nye kildepladser, (2) indvindingsscenarier Eksercermarken, (3) konsekvensberegninger for eksisterende kildepladser, (4) konsekvensberegninger for nye kildepladser og (5) klimascenarier.

Scenariegruppe 4 er konsekvensberegningerne på de nye kildepladser. I modsætning til scenariegruppe 3 svarer "baggrundsscenarioet" her til "Nye kildepladser B" – det scenarie hvor der indvindes både fra alle de eksisterende og alle de nye kildepladser. Den stiplede sorte linje viser indikatorværdierne for dette scenarie. Indikatorværdierne er her i næsten alle tilfælde lavere end dem for "Nye kildepladser B", men højere end for referencescenariet, hvilket er som forventet. Også her ses der dog en undtagelse for det terrænnære grundvand, hvor indikatorværdien for Nørre Søby (NS) ligger over den for baggrundsscenarioet. Igen må forklaringen være modellens begrænsede følsomhed overfor denne indikator.

For den sidste scenariegruppe, gruppe 5, som tester fremtidigt klima, er de fleste indikatorværdier en smule lavere end referenceværdien på 1. Dette er i overensstemmelse med, at der grundet en øget nedbørsmængde er mere vand i systemet (dette gælder også for "klima 1", som betegnes for tør – dette betyder udelukkende, at ændringen i nedbørsmængden fra nutid til fremtid er mindre end for de to resterende, men ikke at der er mere tørt end i referenceperioden). Overordnet set kan det siges, at effekten af ændringen i klima tilnærmelsesvis svarer til effekten af slukningen af en enkel kildeplads.

5.4.1 Scenariegruppe 1: Indvindingsscenerier

Tabel 5.7 viser resultater for indikatorværdierne for de tre indvindingsscenerier – Tilladelse, samt Nye kildepladser A og B. Grønne celler betyder ingen yderligere påvirkning i forhold til reference, mens røde celler betyder, at systemet påvirkes i negativ retning (i forhold til referencen). Indikatoren for højtstående grundvand i byen er inkluderet i tabellen for fuldstændighedens skyld, selvom modellen, som nævnt i afsnit 5.3, ikke er tilstrækkelig følsom overfor denne; værdierne skal derfor tages med forbehold.

Tabel 5.7: Indikatorværdier for de tre indvindingsscenerier.

Indikator		Reference	Tilladelse	Nye kildepladser A	Nye kildepladser B	Modelfejlt*	
Akviferberedtygtheden	saltvand	E_ks3 (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		Sk_ks3	1.00	1.00	1.00	1.00	No data
		E_ks2(ks3) (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		Lu_ks2 (2 m)	1.00	>>1.00	>>1.00	>>1.00	negativ
		E_kalk (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	No data
		L_kalk (12 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	positiv
	sulfatering	Bb-øst_ks3 (17 m)	1.00	1.42	1.45	1.48	positiv
		E_ks3 (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		L_top (23 m)	1.00	2.79	2.98	3.08	No data
		D_top (10 m)	1.00	1.80	1.91	1.97	No data
		Ho-øst_top (26 m)	1.00	1.56	1.58	1.59	No data
		Ho-vest_top (32 m)	1.00	1.53	1.55	1.57	No data
Vandløb	Type	Q50 (>2%)	1.00	1.29	1.62	1.84	
		Udtørret	1.00	1.59	2.00	2.24	
Natur	Naturtype	Natura2000	1.00	1.52	1.69	1.85	
		Paragraf3	1.00	1.45	1.81	2.07	
Terrænnært	75%-percentil	< 3m under terræn	1.00	2.00	2.00	1.50	
		< 1.5m under terræn	1.00	1.70	1.70	1.76	
	99%-percentil	< 3m under terræn	1.00	1.00	1.00	1.00	
		< 1.5m under terræn	1.00	0.67	0.67	0.67	
Indvinding [mio m ³ /år]		9.97	14.20	17.20	19.20		

*"negativ" betyder, at modellen simulerer for højt et trykniveau i laget; dvs. der er mulighed for at indikatoren er mindre følsom end den i virkeligheden er (fordi trykniveauet sjældnere falder under den kritiske kote end

i virkeligheden). "positiv" betyder, at modellen simulerer for lavt et trykniveau i laget; dvs. der er mulighed for at indikatoren er mere følsom end den i virkeligheden er. "No data" betyder, at der er ingen observationer i laget i området.

Generelt kan det siges, at systemet påvirkes i negativ retning i alle tre scenarier, hvilket ikke er overraskende, da der indvindes mindst halvanden gange så meget som i referencescenariet i alle tre scenarier.

5.4.1.1 Akviferbæredygtighed

For akviferbæredygtighed ses en stor stigning i indikatorværdier fra reference til tilladelse, mens stigningen fra tilladelsen til de to scenarier med nye kildepladser er mindre. Dette skyldes, at Skåstrup kildeplads er den eneste af de nye kildepladser, hvor en kritisk kote for saltvandsindtrængning er kendt; dette er ikke tilfældet på de resterende nye kildepladser (Tabel 5.4). For sulfatering mangler viden om kritiske koter på de nye kildepladser endda helt (Tabel 5.3); dvs. at der slet ikke beregnes en effekt på to af de nye kildepladser.

Dykker man ned i påvirkningen på de enkelte kildepladser, ses ingen negativ effekt for saltvandsindtrængning på nær for Lunde kildeplads. For denne kildeplads var der ingen påvirkning i referencescenariet, hvorfor der ikke kunne beregnes en værdi for påvirkningen i scenarierne. Vi kan dog se, at trykniveauet falder under den kritiske kote, hvilket markeres med ">>1.00". På alle kildepladser med problemer med saltvandsindtrængning, hvor der er observationsdata tilgængeligt, har modellen en tendens til at simulere for højt (model fejl = negativ). Dette skal tages i betragtning ved tolkning af resultaterne.

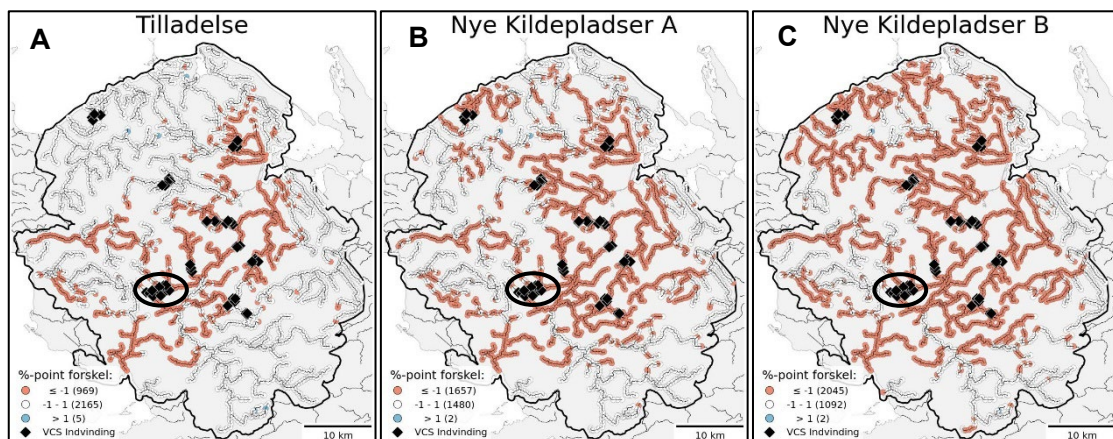
For sulfatering er den eneste kildeplads, hvor der ingen påvirkning er, Eksercermarken. Dette skyldes dels den meget lave kritiske kote, som er baseret på erfaringer fra 1970'erne, hvor der indvandedes 7 gange mere end i dag på denne kildeplads, og trykniveauet derfor faldt betragteligt. Med den nuværende tilladte indvindingsmængde kommer man ikke i nærheden af denne. En anden faktor kunne også være, ligesom for sulfatering, at modellen har en tendens til at simulere for højt (= negativ model fejl). Den største påvirkning ses for det terrænnære grundvandsspejl på Lindved kildeplads, hvor indikatorværdien ligger på 2.79 for tilladelsen og stiger til hhv. 2.98 og 3.08 for de to resterende scenarier. Også værdierne for Dalum er forholdsvis høje, med hhv. 1.80, 1.91 og 1.97. Dette tyder på, at begge kildepladser påvirkes af indvindingen på de nye kildepladser, herunder især Nørre Søby, som ligger geografisk tættest på. Indikatorværdierne for det terrænnære magasin på Holmehave kildeplads derimod ligger relativt stabilt mellem 1.53 og 1.59. Dette tyder på, at denne kildeplads ikke er særlig påvirket af indvindingen på andre kildepladser; indvindingen på selve kildepladsen ligger på 5.50 mio. m³ for alle tre scenarier.

5.4.1.2 Vandløb og natur

Både for Vandløb og Natur ses der en relativt jævn stigning i indikatorværdier for tilladelsen til 1.81/1.75 for Nye kildepladser A og for nye kildepladser B. Dog er stigningen lidt mindre fra Nye kildepladser A til Nye kildepladser B, hvilket er i overensstemmelse med at indvindingen her kun øges med 2 mio. m³ frem for 3 mio. m³ fra tilladelsen til Nye kildepladser A. Den mere jævne stigning kan forklares med den forholdsvis ligelige rumlige fordeling af både vandløb og naturområder i hele modelområdet.

Figur 5.7 viser kort over påvirkningen af medianafstrømningen i vandløbene i hele modelområdet for de tre scenarier ift. referencescenariet. Påvirkningen på vandløbene er tæt knyttet

til hver kildeplads, samtidigt med at der også ses en påvirkning på tværs af vandskel; således er flere å-systemer sydvest for Holmehave (sorte cirkler) påvirket (Figur 5.7 A). Den maksimale indvinding i "Nye kildepladser B" giver tydeligt udslag i påvirkningen af vandløbene; sammenlignet med tilladelsen er næsten alle modelområdet vandløb påvirket, på nær dem i det sydøstlige hjørne, som ligger længst væk fra alle kildepladser (Figur 5.7 C). Den tilnærmelsesvist kun halvt så store indvinding på de nye kildepladser i "Nye kildepladser A" viser en tydelig mindre påvirkning end den maksimale indvinding (Figur 5.7 B).



Figur 5.7: Påvirkningen af medianafstrømningen i vandløbene i hele modelområdet for de tre indvindings-scenarier ift. referencescenariet (procentpoint forskel mellem referencescenarie og scenarie i hvert Q-punkt). Udgangspunkt for beregningen er den procentvise forskel mellem nul-scenariet og hvert scenarie, som danner basis for beregningen af vandløbsindikatoren. Holmehave er markeret med en sort cirkel.

5.4.1.3 Terrænnært grundvand i byen

Indikatorværdierne for det terrænnære grundvand viser umiddelbart en forholdsvis stor påvirkning i begge retninger, i det mindste for tre af underkategorierne. Således ligger de i intervallet mellem 1.5 til 2 for 75%-percentilen, mens de ligger på 1 og 0.67 for 99%-percentilen.

Ses der dog på de bagvedliggende tal (Tabel 5.8 og B-Tabel 4), er indikatorværdierne for de fleste af disse tal baseret på ganske få modelceller. Således er indikatorværdien for <3 meter under terræn/ 75%-percentilen kun baseret på 2 modelceller for referencen og hhv. 4 og 3 celler for de resterende scenarier. Dvs. for referencen er der kun 2 modelceller mindre end for nul-scenariet, hvor det terrænnære grundvandsspejl ligger over tærskelværdien på 3 meter, mens det for tilladelsen og Nye kildepladser A drejer sig om 4 modelceller og for Nye kildepladser B om 3. Ud af de 11467 modelceller, der er dækket af befæstede områder, er dette forsvindende små tal. Indikatorværdien på 1 for 99%-percentilen opstår, fordi det terrænnære grundvandsspejl for alle scenarier, inklusive nul-scenariet, ligger over tærskelværdien på 3 meter under terræn; og for 1.5 meter tærsklen ser det kun lidt anderledes ud. Den del af indikatoren, som giver mest mening, er den for <1.5 meter under terræn/75%-percentilen. I referencescenariet er der her 33 færre celler, hvor grundvandsspejlet ligger over tærskelværdien, sammenlignet med nul-scenariet. For de tre yderligere scenarier er tallene hhv. 56, 56 og 58. Dette er dog stadig kun 0.29, 0.49 og 0.51% ud af det totale antal by-celler på 11467. Det må altså også efter nærmere undersøgelse konkluderes, at denne indikator med nærværende model-setup ikke er særlig følsom.

Tabel 5.8: Forskel af antal modelceller mellem nul-scenarie og scenarie, hvor den terrænnære grundvandsstand er under tærskelværdien, for de to percentiler. Der er mere vand i systemet når der ikke indvindes, hvorfor antal celler for nul-scenariet er større end for de resterende, hvilket fører til en negativ værdi for scenarierne. Det totale antal modelceller under byområder er 11467.

		Reference	Tilladelse	Nye kildepladser A	Nye kildepladser B
75%- percentil	< 3m under terræn	-2	-4	-4	-3
	< 1.5m under terræn	-33	-56	-56	-58
99%- percentil	< 3m under terræn	0	0	0	0
	< 1.5m under terræn	-9	-6	-6	-6

5.4.2 Scenariegruppe 2: Eksercermarkenscenarier

For Eksercermarkenscenarierne er indikatorværdierne for "baggrundsscenariet", som i dette tilfælde er tilladelsen, taget med i resultaterne (Tabel 5.9). Indikatorværdierne er i alle tilfælde udregnet ift. referencescenariet, men farvelægningen for de tre Eksercermarkenscenarier er ift. baggrundsscenariet: røde celler markerer en højere værdi end denne, mens mørkegrønne celler markerer en lavere værdi.

Tabel 5.9: Indikatorværdier for de tre Eksercermarkenscenarier samt "baggrundsscenariet" (= tilladelse).

Indikator			Reference	Tilladelse	Eksercermarken A	Eksercermarken B	Eksercermarken C	Modelfejl*
Akviferbæredygtighed	saltvand	E_ks3 (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		Sk_ks3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No data
		E_ks2(ks3) (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		Lu_ks2 (2 m)	1.00	>>1.00	>>1.00	>>1.00	>>1.00	negativ
		E_kalk (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No data
	sulfatering	L_kalk (12 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	positiv
		Bb-øst_ks3 (17 m)	1.00	1.42	1.86	1.84	1.69	positiv
		E_ks3 (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		L_top (23 m)	1.00	2.79	3.01	3.02	2.69	No data
		D_top (10 m)	1.00	1.80	2.10	2.11	1.51	No data
Vandløb	Type	Q50 (>2%)	1.00	1.29	1.33	1.30	1.29	
		Udtørret	1.00	1.59	1.65	1.65	1.65	
		Natur	Naturtype	Natura2000	1.00	1.52	1.69	1.70
		Paragraf3	1.00	1.45	1.54	1.53	1.47	
Terrænnært	75%- percentil	< 3m under terræn	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
		< 1.5m under terræn	1.00	1.70	2.21	2.15	1.70	
	99%- percentil	< 3m under terræn	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		< 1.5m under terræn	1.00	0.67	1.00	1.00	0.78	
Indvinding [mio m3/år]			9.97	14.20	15.50	15.50	14.70	

*"negativ" betyder, at modellen simulerer for højt et trykniveau i laget; dvs. der er mulighed for at indikatoren er mindre følsom end den i virkeligheden er (fordi trykniveauet sjældnere falder under den kritiske kote end i virkeligheden). "positiv" betyder, at modellen simulerer for lavt et trykniveau i laget; dvs. der er mulighed for at indikatoren er mere følsom end den i virkeligheden er. "No data" betyder, at der er ingen observationer i laget i området.

Både for Eksercermarken A og B indvindes der 1.3 mio. m³ mere end i tilladelsen. Den eneste forskel i indvindingstrategien for de to er en anden fordeling af indvindingen på boringsniveau (Figur 4.2). Overordnet kan det siges, at forskellene på alle indikatorværdier for disse to scenarier er minimale (Tabel 5.9); det ser altså ud til at modellen ikke er følsom nok overfor disse forskelle, mens det i virkeligheden sagtens kan være af betydning. Ser man på

ændringer i indikatorværdier ift. tilladelsen, ses der dog en stigning for alle indikatorer for Eksercermarken A og B.

I det sidste scenarie i denne gruppe, Eksercermarken C, indvindes der kun 0.5 mio. m³ vand mere end i tilladelsesscenariet, dvs. 0.8 mio. m³ mindre end i Eksercermarken A og B. Denne reduktion foregår på Dalum kildeplads, hvor alle borer med et filter i ks3 slukkes, og kun den der er filtersat i kalken bibeholdes.

5.4.2.1 Akviferbæredygtighed

Det overordnede mønster er, at der ikke ses den store effekt for saltvandsindtrængning på nær for Lunde kildeplads, og at der ses en del påvirkning for sulfatering – dette svarer til mønsteret for scenariegruppe 1.

For Eksercermarken A og B ses den største ændring for sulfatering på Bolbro Øst – her stiger indikatorværdien med næsten en tredjedel fra 1.42 i tilladelsen til hhv. 1.86 og 1.84. Derimod sker der ingen ændring ved Eksercermarken – i al fald ikke én, der får trykniveauet ved denne kildeplads til at falde under den kritiske kote. Dette skyldes, at både Bolbro og Eksercermarken trækker grundvand fra samme magasin (ks3), samtidigt med at den kritiske kote ligger dybt ved Eksercermarken, så trykniveauet skal falde meget for at nå under den. Derudover har modellen en tendens til at overestimere trykniveauet ved Eksercermarken og at underestimere ved Bolbro, hvilket forstærker effekten. Udover det primære magasin ved Bolbro Øst, påvirkes også det terrænnære grundvandsspejl ved Lindved og Dalum kildepladser af Eksercermarken A og B, med en stigning i indikatorværdien på hhv. 8 og 17%, mens indikatorværdierne for Holmehave, som ligger i forholdsvis stor afstand, stort set er uændret.

For Eksercermarken C ses det, at reduktionen i indvindingen på Dalum har en forholdsvis stor effekt på akviferbæredygtighedsindikatoren. Den falder således for næsten alle kildepladser, på nær Bolbro Øst, under værdien for tilladelsen. Ikke overraskende er det Dalum selv, der påvirkes mest i en positiv retning, med et fald af indikatorværdien fra 1.80 for tilladelsen til 1.51. For Lindved, som befinder sig geografisk tæt på, falder værdien fra 2.79 til 2.69. For Bolbro Øst er værdien med 1.69 lavere end for Eksercermarken A og B (1.86 og 1.84), men stadig højere end for tilladelsen med 1.42. Dette betyder, at indvinding fra ks3 på Dalum påvirker hele vejen til Bolbro, som indvinder fra samme magasin.

5.4.2.2 Terrænnært grundvand i byen

For delindikator <1.5 meter under terræn/75%-percentil, ses der for begge de første Eksercermarkenscenarier (A og B) en tydelig stigning i indikatorværdien – fra 1.70 for tilladelsen til hhv. 2.21 og 2.15, hvilket svarer til en stigning på hhv. 30 og 26%. Sammenligner man med scenarierne for de nye kildepladser (afsnit 5.4.1), hvor den totale indvindingsmængde er væsentlig større, ses der stort set ingen påvirkning for disse. Dette er ikke overraskende, da Eksercermarken ligger i byområdet, mens de nye kildepladser befinder sig i stor afstand til denne. For Eksercermarken C falder værdien for delindikatoren til 1.70, som svarer til værdien for tilladelsen. Kildepladsen er delvist dækket af byområde (Figur 2.7), og indvindingen her ser ud til at have en effekt på det terrænnære grundvand.

Som beskrevet i afsnit 5.3, skal dog selv denne del-indikator tages med forbehold, da det er et forholdsvis lille antal modelceller, der er påvirket. Dette gælder også for Eksercermarkenscenarierne – her er det stadig kun hhv. 73, 71 og 56 modelceller (0.64, 0.62 og 0.49 % ud af alle 11467 modelceller), der er påvirket af den ændrede indvinding i de tre Eksercermarkenscenarier (Tabel 5.10).

Tabel 5.10: Forskel af antal modelceller mellem nul-scenarie og scenarie, hvor den terrænnære grundvandsstand er under tærskelværdien, for de to percentiler. Der er mere vand i systemet når der ikke indvindes, hvorfor antal celler for nul-scenariet er større end for de resterende, hvilket fører til en negativ værdi for scenarierne. Det totale antal modelceller under byområder er 11467.

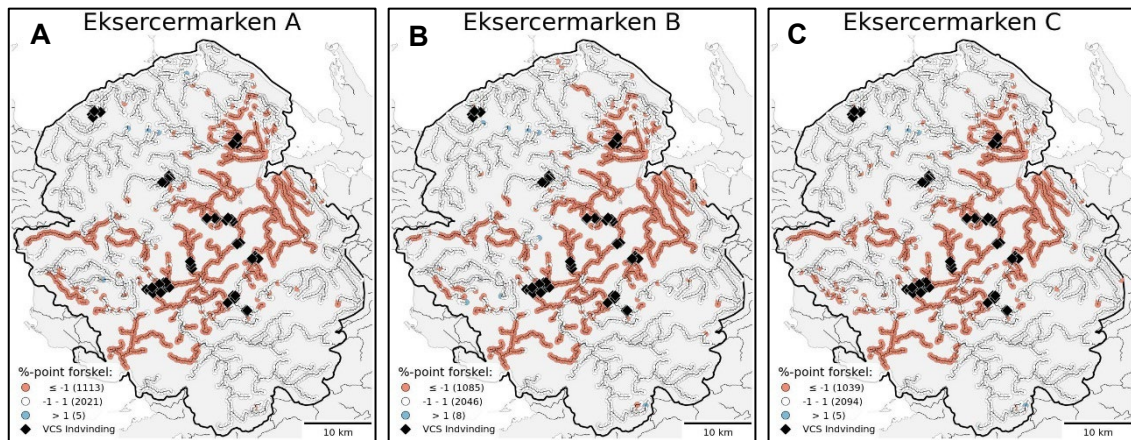
		Reference	Tilladelse	Eksercermarken A	Eksercermarken B	Eksercermarken C
75%- percentil	< 3m under terrænen	-2	-3	-4	-4	-4
	< 1.5m under terrænen	-33	-58	-73	-71	-56
99%- percentil	< 3m under terrænen	0	0	0	0	0
	< 1.5m under terrænen	-9	-6	-9	-9	-7

5.4.2.3 Vandløb og Natur

Både for vandløbs- og Naturindikatorer ses en begrænset effekt af den øgede indvinding på Eksercermarken kildeplads.

For Eksercermarken C er værdien for delindikatoren for Q50 den samme som for tilladelsen (1.29). Dette tyder på, at den øgede indvinding på Dalum, som ligger på 1 mio. m³ per år for de to første Eksercermarkenscenarier, fremfor kun 0.2 mio. m³ per år for tilladelsen og Eksercermarken C, har en relativ stor effekt på vandløbssystemet. Effekten er dog svært at få øje på på kortene over den rumlige fordeling af påvirkningen af medianafstrømningen i vandløbene for de tre scenarier ift. referencescenariet (Figur 5.8 A-C).

Indikatorværdierne for natur stiger også kun begrænset fra tilladelse til de 3 Eksercermarken scenarier. Denne lidt større effekt for natur skyldes muligvis placeringen af de beskyttede naturområder, som er begrænset i byområdet omkring Eksercermarken kildeplads.



Figur 5.8: Påvirkningen af medianafstrømningen i vandløbene i hele modelområdet for de tre Eksercermarkenscenarier ift. referencescenariet (procentpoint forskel mellem referencescenarie og scenarie i hvert Q-punkt). Udgangspunkt for beregningen er den procentvise forskel mellem nul-scenariet og hvert scenarie, som danner basis for beregningen af vandløbsindikatoren.

5.4.3 Scenariegruppe 3: Konsekvensberegninger – Eksisterende kildepladser

Tabel 5.11 viser de resulterende indikatorværdier for konsekvensberegningerne på de eksisterende kildepladser. Baggrundsscenariet er referencen, og eftersom det er indvindingen for dette scenarie der formindskes en kildeplads ad gangen, er indikatorværdierne for alle scenarier højest 1 (lysegrønne celler) og mange steder under (mørkegrønne celler). Overordnet set kan det siges, at indikatorværdier falder nogenlunde proportionelt med den indvindingsmængde der bliver slukket for. Således ses det største fald i indikatorværdier for

Holmehave (Ho) kildeplads, hvor indvindingsmængden reduceres med over en tredjedel fra 9.97 til 6.2 mio. m³ per år.

Tabel 5.11: Indikatorværdier for konsekvensberegninger på de syv eksisterende kildepladser.

Indikator		Reference	Ref - E	Ref - BB	Ref - Ho	Ref - L	Ref - Lu	Ref - D	Ref - Bo	Modelfejlt*		
Akviferbæredygtighed	saltvand	E_ks3 (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ	
		Sk_ks3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No data	
		E_ks2(ks3) (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		Lu_ks2 (2 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		E_kalk (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No data
		L_kalk (12 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	positiv
	sulfatering	Bb-øst_ks3 (17 m)	1.00	0.64	1.00	0.93	0.92	0.99	0.97	0.97	positiv	
		E_ks3 (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ	
		L_top (23 m)	1.00	0.94	0.93	0.97	0.01	1.00	0.97	0.99	No data	
		D_top (10 m)	1.00	0.76	0.72	0.84	0.83	1.01	0.94	0.94	No data	
		Ho-øst_top (26 m)	1.00	1.00	0.98	0.15	0.99	1.00	1.00	0.85	No data	
		Ho-vest_top (32 m)	1.00	0.99	0.98	0.12	0.99	1.00	1.00	0.89	No data	
Vandløb	Type	Q50 (>2%)	1.00	0.97	0.88	0.55	0.83	0.93	1.00	0.96		
		Udtørret	1.00	0.82	0.82	0.59	0.88	0.76	0.94	1.00		
Natur	Naturtype	Natura2000	1.00	0.87	0.87	0.60	0.88	0.99	0.99	0.85		
		Paragraf3	1.00	0.93	0.84	0.61	0.71	1.00	0.98	0.89		
Terrænzært	75%-percentil	< 3m under terræn	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50		
		< 1.5m under terræn	1.00	0.82	0.76	0.97	0.70	1.00	0.97	0.97		
	99%-percentil	< 3m under terræn	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.04		
		< 1.5m under terræn	1.00	0.00	0.00	0.89	1.00	0.56	1.00	1.00		
Indvinding [mio m ³ /år]		9.97	8.87	8.37	6.20	8.25	9.37	9.77	9.00			

***"negativ" betyder, at modellen simulerer for højt et trykniveau i laget; dvs. der er mulighed for at indikatoren er mindre følsom end den i virkeligheden er (fordi trykniveauet sjældnere falder under den kritiske kote end i virkeligheden). "positiv" betyder, at modellen simulerer for lavt et trykniveau i laget; dvs. der er mulighed for at indikatoren er mere følsom end den i virkeligheden er. "No data" betyder, at der er ingen observationer i laget i området.*

5.4.3.1 Akviferbæredygtighed

Dykker man ned i delindikatorerne for akviferbæredygtighed, ses et lignende mønster som for de to foregående scenariegrupper: Ingen påvirkning for saltvandsindtrængning, og en relativ stor påvirkning for sulfatering.

Et indvindingsstop på Eksercermarken har den største effekt på Bolbro kildeplads, analogt til en øgning af indvinding i Eksercermarkenscenerierne, denne gang dog i positiv retning – dvs. indikatorværdien falder; fra 1 til 0.64. Dalum påvirkes også af Eksercermarken; her falder indikatorværdien til 0.76. For de resterende kildepladser ses der ingen eller kun en meget lille effekt, med en indikatorværdi på 0.94 på Lindved og 0.99 på Holmehave vest.

Et indvindingsstop på Bolbro resulterer i en indikatorværdi på 1.00 på selve kildepladsen, dvs. en effekt svarende til referencescenariet, som i dette tilfælde er at trykniveauet ligger over den kritiske kote i hele indvindingspolygonet. Kildepladsen med andenstørste påvirkning for sulfatering er Dalum, hvor indikatorværdien falder til 0.72 ved et indvindingsstop på Bolbro. Dette må igen skyldes den hydrauliske forbundethed af magasinerne på de to kildepladser (i modellen). På de resterende kildepladser ses der også her ingen eller kun en meget lille effekt.

Som nævnt ovenfor, ses den største påvirkning ved et indvindingsstop på Holmehave kildeplads, og den allerstørste effekt ses for sulfatering på selve kildepladsen. Her falder indikatorværdierne helt ned til 0.12 på den vestlige del af kildepladsen, og til 0.15 på den østlige del. Dalum er også nogenlunde påvirket, hvor indikatorværdien på trods af den forholdsvis

store afstand falder til 0.84. Det kan tænkes, at dette ligeledes skyldes en forbundethed af magasinet; på begge kildepladser indvindes der fra ks3. På de resterende kildepladser ses der igen ikke den store påvirkning.

Et indvindingsstop på Lindved kildeplads har den langt største effekt på selve kildepladsen; indikatorværdien for sulfatering falder her helt ned til 0.01. Dalum, som ligger i kort afstand, påvirkes ligeledes, indikatorværdien ligger her på 0.83, mens der på de resterende kildepladser ses en minimal eller ingen påvirkning.

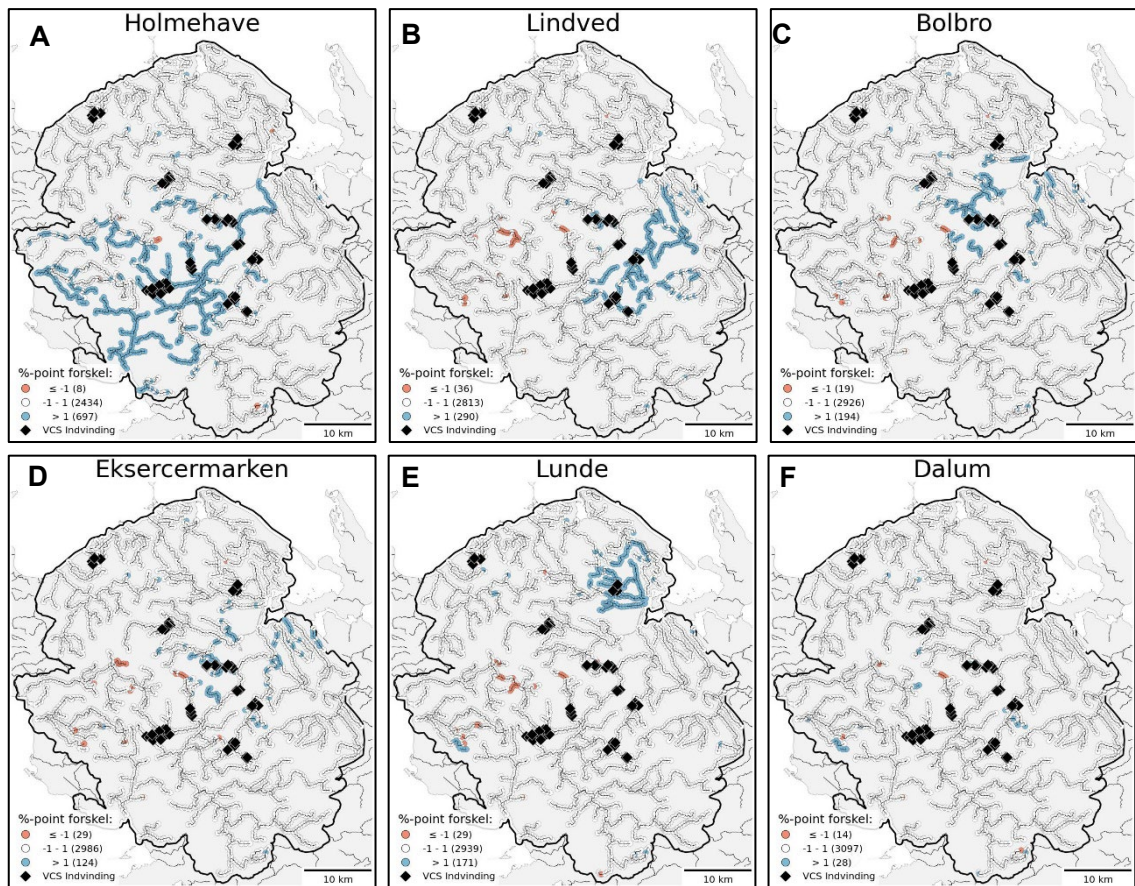
For et indvindingsstop på Lunde kildeplads ses der stort set ingen effekt på akviferbæredygtighedsindikatoren; dette formodes både at skyldes kildepladsens store afstand til de resterende, samt den forholdsvis lille indvindingsmængde på 0.6 mio. m³ per år. Også for Dalum ses ikke en særlig stor effekt; dette må hovedsageligt skyldes den meget lille indvinding på 0.2 mio. m³ på denne kildeplads. Som det blev tydeligt i Eksercermarkenscenerierne, har den øgede indvinding i to af disse scenarier en tydelig effekt både på Bolbro, Lindved og Dalum selv (afsnit 5.4.2.1).

Borreby kildeplads har den tredje mindste indvinding efter de to forrige, som ligger på 0.97 mio. m³ per år. Der ses således en lidt større påvirkning end for Lunde og Dalum; især Holmehave påvirkes, hvor indikatorværdierne for øst og vest falder til hhv. 0.85 og 0.89. De resterende kildepladser påvirkes ikke betydeligt.

5.4.3.2 Vandløb

Værdierne for vandløbs-delindikatoren for Q50 følger mere eller mindre størrelsen på den ikke aktive indvinding. Således er indvindingsmængden for Holmehave, Lindved og Bolbro hhv. 3.77, 1.72 og 1.60 mio. m³ per år; indikatorværdierne falder ved et stop til hhv. 0.55, 0.83 og 0.88 (Tabel 5.11). Den næststørste indvindingsmængde ses på Eksercermarken, med 1.1 mio. m³ per år. Det er dog Lunde, der har den næstlaveste indikatorværdi med 0.93, selvom indvindingsmængden kun er på 0.6 mio. m³ per år, mens indikatorværdien for Eksercermarken er på 0.97, dvs. næsten ingen påvirkning af indvindingsstop. Dette kan skyldes, at Lunde ligger tættere på nogle mindre vandløb, som påvirkes hurtigere af indvindingen. Derimod ligger Eksercermarken ved den mest nedstrøms del af Hedebækken, som er et direkte tilløb til Odense Å. Også Borreby har en lidt lavere indikatorværdi end Eksercermarken, på trods af en lavere indvinding på 0.97 mio. m³ per år. Forklaringen kan være den samme som for Lunde. Et indvindingsstop ved Dalum ser med en indikatorværdi på 1 ud til ikke at have nogen effekt på Q50, hvilket ikke er overraskende, grundet både den meget lille indvinding på 0.2 m³ per år, samt kildepladsens nærhed til Odense Å.

Figur 5.9 viser den rumlige fordeling af påvirkningen på Q50 i vandløbene ift. referencescenariet. Blå cirkler betyder mindre påvirkning end i referencescenariet, mens røde cirkler betyder mere påvirkning end i referencescenariet; hvide cirkler betyder ingen forskel.



Figur 5.9: Påvirkningen af medianafstrømningen i vandløbene i hele modelområdet for konsekvensberegningerne ved de eksisterende kildepladser ift. referencescenariet (procentpoint forskel mellem referencescenarie og scenarie i hvert Q-punkt). Udgangspunkt for beregningen er den procentvise forskel mellem nul-scenariet og hvert scenarie, som danner basis for beregningen af vandløbsindikatoren.

Analogt til den lave indikatorværdi for Holmehave ses der for denne kildeplads den største geografiske udstrækning af påvirkningen, som endda flytter sig på tværs af vandskellene sydvest og nord for kildepladsen (Figur 5.9 A). En slukning af Lindved kildeplads påvirker hovedsageligt Lindved Å og dens tilløb, men også her ses en mindre påvirkning på tværs af vandskel mod sydvest og nordøst for kildepladsen (Figur 5.9 B). Bolbro påvirker både Hede-bækken og Ryds Å nord for kildepladsen, samt dens tilløb (Figur 5.9 C). Som allerede konstateret ovenfor, ser Eksercermarken ud til at have en mindre effekt på vandløbene (Figur 5.9 D).

5.4.3.3 Natur

Ligesom for vandløbene, gælder det også for naturindikatoren, herunder især indikatoren for §3-områder, at indikatorværdierne nogenlunde er proportionale til indvindingsmængderne. Således ses den mindste indikatorværdi for Holmehave, hvor den ligger på 0.61, en indikatorværdi på 0.71 for Lindved, én på 0.84 for Bolbro (Tabel 5.11). For Borreby og Eksercermarken ligger værdierne på hhv. 0.89 og 0.93, mens de for de resterende kildepladser er helt eller næsten lig med 1.

5.4.3.4 Terrænnært grundvand i byen

For det terrænnære grundvand i byen er det, ligesom for scenarierne i de foregående afsnit, meget få modelceller der påvirkes, selv for delindikatoren for <1.5 meter under terræn/75%-percentil. Her reduceres antallet af celler over tærskelværdien til hhv. 23, 25 og 27 for Lindved, Bolbro og Eksercermarken, sammenlignet med 33 for referencen (Tabel 5.12). Dette resulterer i de tre laveste indikatorværdier for denne delindikator, på hhv. 0.70, 0.76 og 0.86 (Tabel 5.11). Indikatorværdierne for de resterende scenarier ligger alle sammen helt eller meget tæt på 1.00 (Tabel 5.11).

Tabel 5.12: Forskel af antal modelceller mellem nul-scenarie og scenarie, hvor den terrænnære grundvandsstand er under tærskelværdien, for de to percentiler. Der er mere vand i systemet når der ikke indvindes, hvorfor antal celler for nul-scenariet er større end for de resterende, hvilket fører til en negativ værdi for scenarierne. Det totale antal modelceller under byområder er 11467.

		Reference	Ref - E	Ref - BB	Ref - Ho	Ref - L	Ref - Lu	Ref - D	Ref - Bo
75%- percentil	< 3m under terræn	-2	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-1
	< 1.5m under terræn	-33	-27	-25	-32	-23	-33	-32	-32
99%- percentil	< 3m under terræn	0	0	0	0	0	0	0	0
	< 1.5m under terræn	-9	0	0	-8	-9	-5	-9	-9

5.4.4 Scenariegruppe 4: Konsekvensberegninger – Nye kildepladser

Baggrundsscenariet for konsekvensberegningerne for de potentielle nye kildepladser er Nye kildepladser B fra scenariegruppe 1; indikatorværdier for dette scenarie er taget med i tabellen (Tabel 5.13).

Tabel 5.13: Indikatorværdier for konsekvensberegninger på de tre nye kildepladser samt "baggrundsscenariet" (=Nye kildepladser B). Farvelægning er ift. baggrundsscenariet "Nye kildepladser B".

Indikator		Reference	Nye kildepl. B	Nye kildepl. B - Tr	Nye kildepl. B - Sk	Nye kildepl. B - NS	Modelfejl*	
Akviferbæredygtighed	saltvand	E_ks3 (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		Sk_ks3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No data
		E_ks2(ks3) (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		Lu_ks2 (2 m)	1.00	>>1.00	>>1.00	>>1.00	>>1.00	negativ
		E_kalk (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No data
		L_kalk (12 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	positiv
	sulfatering	Bb-øst_ks3 (17 m)	1.00	1.48	1.45	1.47	1.45	positiv
		E_ks3 (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		L_top (23 m)	1.00	3.08	3.07	3.09	2.80	No data
		D_top (10 m)	1.00	1.97	1.97	1.98	1.81	No data
Vandløb	Type	Q50 (>2%)	1.00	1.84	1.66	1.60	1.68	
		Udtørret	1.00	2.24	2.18	2.00	1.76	
Natur	Naturtype	Natura2000	1.00	1.85	1.80	1.78	1.57	
		Paragraf3	1.00	2.07	1.93	2.00	1.64	
Terrænnært	75%-percentil	< 3m under terræn	1.00	1.50	1.50	1.50	2.00	
		< 1.5m under terræn	1.00	1.76	1.76	1.79	1.64	
	99%-percentil	< 3m under terræn	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		< 1.5m under terræn	1.00	0.67	0.78	0.67	0.78	
Indvinding [mio m ³ /år]		9.97	19.20	18.20	18.20	16.20		

*"negativ" betyder, at modellen simulerer for højt et trykniveau i laget; dvs. der er mulighed for at indikatoren er mindre følsom end den i virkeligheden er (fordi trykniveauet sjældnere falder under den kritiske kote end i virkeligheden). "positiv" betyder, at modellen simulerer for lavt et trykniveau i laget; dvs. der er mulighed for at indikatoren er mere følsom end den i virkeligheden er. "No data" betyder, at der er ingen observationer i laget i området.

Alle indikatorværdier er udregnet ift. referencescenariet, men farvelægningen varierer: således er den for baggrundsscenariet ift. referencen, mens den for de tre konsekvensberegninger er ift. baggrundsscenariet. Eftersom indvindingen i baggrundsscenariet er højere end i referencen, ses der for de fleste delindikatorer en højere værdi end for denne (røde celler), imens værdierne for de tre scenarier gennemgående er ens eller lavere med baggrundsscenarioet (lysegrønne og mørkegrønne celler).

Ligesom for konsekvensberegningerne for de eksisterende kildepladser, kan det overordnet siges, at indikatorværdierne falder nogenlunde proportionelt med den indvindingsmængde der bliver slukket for. Således ses det største fald i indikatorværdierne for Nørre Søby (NS), hvor indvindingen reduceres med 3.00 mio. m³ per år. Både for Trøstrup (Tr) og Skåstrup (Sk) reduceres indvindingsmængden med 1.00 mio. m³ per år. På trods af dette ses der forskelle i indikatorværdierne; dette må skyldes lokationen af de to kildepladser.

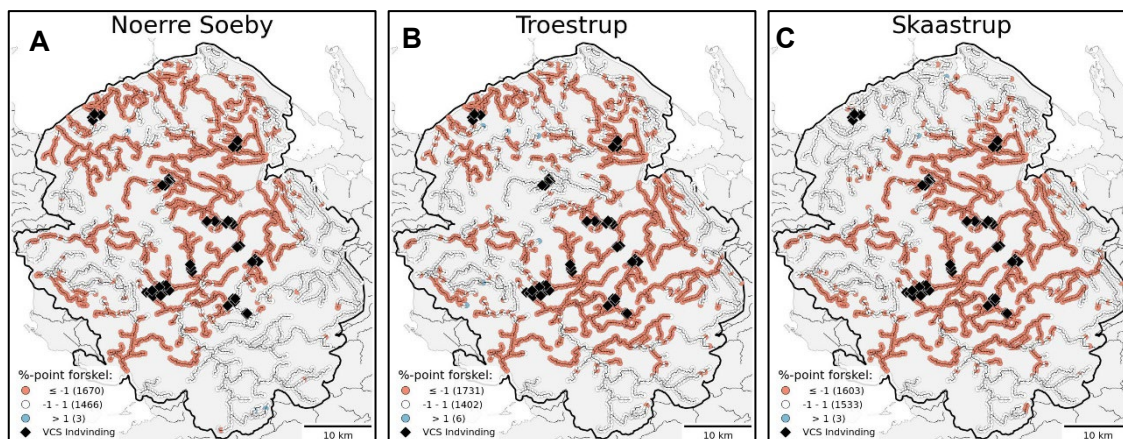
5.4.4.1 Akviferbæredygtighed

Som nævnt ovenfor, ses der et fald i indikatorværdierne proportionelt til indvindingsmængden der slukkes for. Dette gælder også for akviferbæredygtighedsindikatoren, dog er faldet minimal her for de nye kildepladser. Dette gælder især for Trøstrup og Skåstrup. Samtidigt er især Skåstrup og Trøstrup så langt fra de resterende kildepladser, at indvindingen her ikke påvirker dem. Nørre Søby ligger derimod forholdsvis tæt på Lindved og Dalum, som også er dem hvor der ses de største forandringer; indikatorværdierne falder fra hhv. 3.08 og 1.97 i baggrundsscenarioet til hhv. 2.80 og 1.81 når der slukkes for indvinding på Nørre Søby.

5.4.4.2 Vandløb og natur

I modsætning til akviferbæredygtighed har de nye kildepladser en større påvirkning på vandløbene. Således falder alle indikatorværdier, når indvindingen på de tre nye kildepladser slukkes. Denne større påvirkning er grundet i vandløbenes geografisk mere eller mindre jævne fordeling i hele modelområdet, mens akviferbæredygtighed kun fokuserer på de specifikke områder omkring kildepladserne. Dette gælder også for naturområderne.

Figur 5.10 illustrer tydeligt hvordan de tre nye kildepladser påvirker vandløbssystemet. Der ses således en negativ påvirkning omkring hver af kildepladserne på delfigurene A-C.



Figur 5.10: Påvirkningen af medianafstrømningen i vandløbene i hele modelområdet for konsekvensberegningerne ved de nye kildepladser ift. referencescenariet (procentpoint forskel mellem referencescenarie og scenarie i hvert Q-punkt). Udgangspunkt for beregningen er den procentvise forskel mellem nul-scenariet og hvert scenarie, som danner basis for beregningen af vandløbsindikatoren.

5.4.4.3 Terrænnært Grundvand i byen

Ligesom for alle de andre scenarier, er denne indikator også her baseret på forsvindende få modelceller ud af de 11467 modelceller dækket af befæstede områder i Odense by (Tabel 5.14). Samtidigt kan det dog konstateres, at der ikke sker de store ændringer ift. baggrunds-scenariet. Dette er ikke overraskende, da ingen af de tre nye kildepladser befinder sig i by-området.

Tabel 5.14: Forskel af antal modelceller mellem nul-scenarie og scenarie, hvor den terrænnære grundvandsstand er under tærskelværdien, for de to percentiler. Der er mere vand i systemet når der ikke indvindes, hvorfor antal celler for nul-scenariet er større end for de resterende, hvilket fører til en negativ værdi for scenarierne. Det totale antal modelceller under byområder er 11467.

		Reference	Nye kildepl. B	Nye kildepl. B - Tr	Nye kildepl. B - Sk	Nye kildepl. B - NS
75%- percentil	< 3m under terræn	-2	-3	-3	-3	-4
	< 1.5m under terræn	-33	-58	-58	-59	-54
99%- percentil	< 3m under terræn	0	0	0	0	0
	< 1.5m under terræn	-9	-6	-7	-6	-7

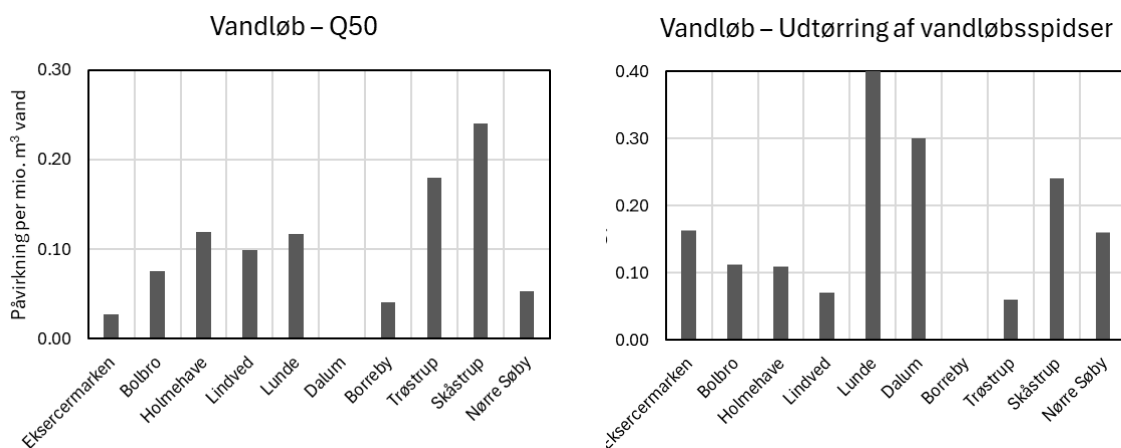
5.4.5 Konsekvensberegninger – effekt per mio. kubikmeter indvinding

Ud fra konsekvensberegningerne er effekten pr. indvunden million kubikmeter for hver kildeplads beregnet med udgangspunkt i resultaterne for hver indikator ved konsekvensberegningen (hvor indvinding ved hver kildeplads er sat til 0, Tabel 5.11 og Tabel 5.13). Figur 5.11 viser effekten på de to vandløbsindikatorer, mens Figur 5.12 viser effekten på §3-områder og delindikatoren <1.5 meter under terræn/75%-percentilen for det terrænnære grundvand i byen. Selve indikatorværdierne kan kun sammenlignes indenfor hver indikator, men ikke på tværs af (del-)indikatorer; det samme gælder effekten, der er vist i figurene.

Der skal tages forbehold for resultaterne i den henseende, at beregningen tager udgangspunkt i simuleringer som slukker for den eksisterende aktuelle indvinding, produktionsmål 2025, for den enkelte kildeplads, hvilket varierer fra 3.77 ved Holmehave til 0.20 mio. m³ ved Dalum kildeplads. Det er sandsynligt, at hvis påvirkningen fra den enkelte kildeplads var

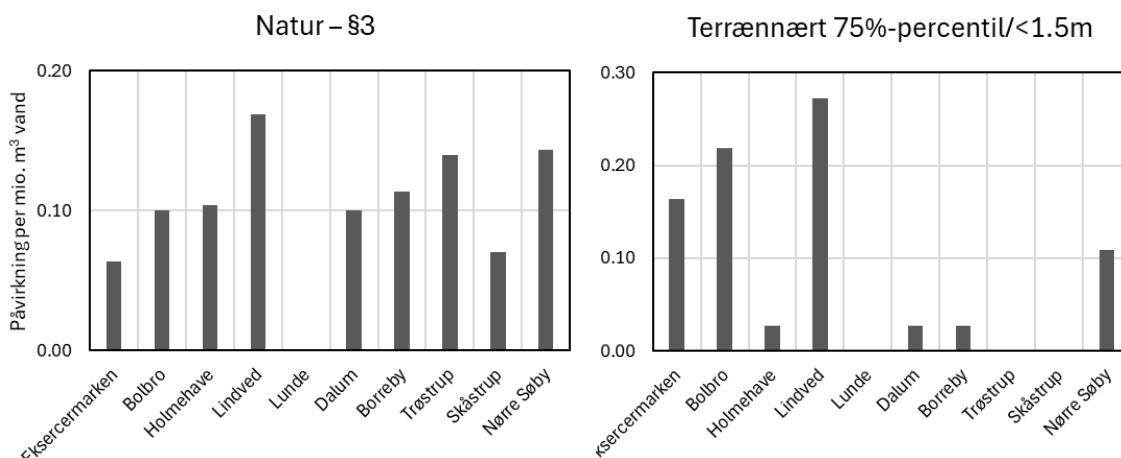
testet anderledes, fx ved at øge indvindingen på hver kildeplads successivt med samme mængde, vil resultatet blive påvirket. For de nye kildepladser indvindes også meget forskelligt med 1.00 mio. m³ ved Trøstrup og Skåstrup, men 3.00 mio. m³ ved Nørre Søby, samtidigt med at baggrundssceneriet her ikke er referencen, men "Nye kildepladser B", som indvinder maksimalt på alle de eksisterende kildepladser.

Med ovenstående taget i betragtning, ses der for Skåstrup, at effekten (eller "omkostningen") per mio. m³ vand er størst for denne kildeplads, og at den er lavest for Dalum. Holmehave er kun tredjestørst, på trods af den største indvinding på denne kildeplads.



Figur 5.11: Effekt per mio. kubikmeter vandindvinding for de to vandløbsindikatorer.

Både for eksisterende og nye kildepladser viser Figur 5.12 at påvirkning af udtørring af vandløbsspidser og median vandføring ikke er ens – Dalum påvirker fx ikke Q50 men derimod udtørring af vandløbsspidser, mens Trøstrup påvirker Q50 mere end udtørring af vandløbsspidser relativt set.



Figur 5.12: Effekt per mio. kubikmeter vandindvinding for paragraf 3 områder og delindikatoren for terrænnært grundvand.

Våd natur i §3 områder har en nogenlunde jævn påvirkning af indvinding selvom der fx fra Lunde ikke ses nogen specifik påvirkning. Det terrænnære grundvand i Odense er medtaget selvom der kun kigges på urbane områder ved Odense og derfor ses også stor effekt fra Bolbro, Lindved, Eksercermarken og til dels Nørre Søby som er nær ved Odense. Tilsyneladende har Dalum ikke nogen effekt på trods af placering tæt ved Odense.

5.4.6 Scenariegruppe 5: Fremtidsscenerier

Tabel 5.15 viser de resulterende indikatorværdier for de tre klimascenerier. Hver af dem har deres egen referencekørsel, ift. hvilken indikatorværdierne er udregnet. Overordnet kan det siges, at indikatorværdierne for det "tørre" klimascenarie stiger for næsten alle indikatorer, mens de falder for de to resterende. Dette kan være overraskende, da nedbøren selv i dette scenarie øges med 98 mm/år, dvs. der er mere vand i systemet. Dog ser det ud til, at den forholdsvis store stigning i fordampningen på 73 mm/år kompenserer for denne stigning i nedbør. Derudover kan det siges at påvirkningen for alle klimascenerier er mindre end for indvindingsscenerierne, hvor indvindingen øges betydeligt, men at indikatorværdierne bevæger sig i en størrelsesorden, der er sammenligneligt med slukningen af en mellemstor kildeplads (se afsnit 4.3 om konsekvensberegninger).

Tabel 5.15: Indikatorværdier for klimascenerierne.

Indikator			1991-2020			2070-2099			Modelfejl*
			CI05 (tør)	CI18 (median)	CI12 (våd)	CI05 (tør)	CI18 (median)	CI12 (våd)	
Akviferbæredygtighed	saltvand	E_ks3 (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		SK_ks3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No data
		E_ks2(ks3) (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		Lu_ks2 (2 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		E_kalk (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No data
	L_kalk (12 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	positiv	
	sulfatering	Bb-øst_ks3 (17 m)	1.00	1.00	1.00	1.02	0.93	0.92	positiv
		E_ks3 (3 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	negativ
		L_top (23 m)	1.00	1.00	1.00	1.09	0.64	0.62	No data
		D_top (10 m)	1.00	1.00	1.00	0.95	0.83	0.83	No data
Ho-øst_top (26 m)		1.00	1.00	1.00	1.08	0.87	0.91	No data	
	Ho-vest_top (32 m)	1.00	1.00	1.00	1.12	0.86	0.92	No data	
Vandløb	Type	Q50 (>2%)	1.00	1.00	1.00	1.09	0.90	0.85	
		Udtørret	1.00	1.00	1.00	1.43	0.73	0.78	
Natur	Naturtype	Natura2000	1.00	1.00	1.00	1.03	0.89	0.90	
		Paragraf3	1.00	1.00	1.00	1.03	0.85	0.87	
Terrænmært	75%-percentil	< 3m under terræn	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	
		< 1.5m under terræn	1.00	1.00	1.00	0.90	0.74	0.54	
	99%-percentil	< 3m under terræn	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		< 1.5m under terræn	1.00	1.00	1.00	0.43	0.90	0.44	
Nedbør 1991-2020/2071-2099 [mm/år]			819	816	814	916 (98)	931 (115)	974 (160)	

*"negativ" betyder, at modellen simulerer for højt et trykniveau i laget; dvs. der er mulighed for at indikatoren er mindre følsom end den i virkeligheden er. "positiv" betyder, at modellen simulerer for lavt et trykniveau i laget; dvs. der er mulighed for at indikatoren er mere følsom end den i virkeligheden er. "No data" betyder, at der er ingen observationer i laget i området.

5.4.6.1 Akviferbæredygtighed

Der ses slet ingen påvirkning for saltvandsindtrængning. Dette er ikke overraskende, da der allerede for indvindingsscenerierne kun var en effekt på en enkel kildeplads. Med mere vand i systemet i fremtiden, grundet øget nedbør, er det derfor kun forventeligt, at trykniveauet stiger over de kritiske koter her.

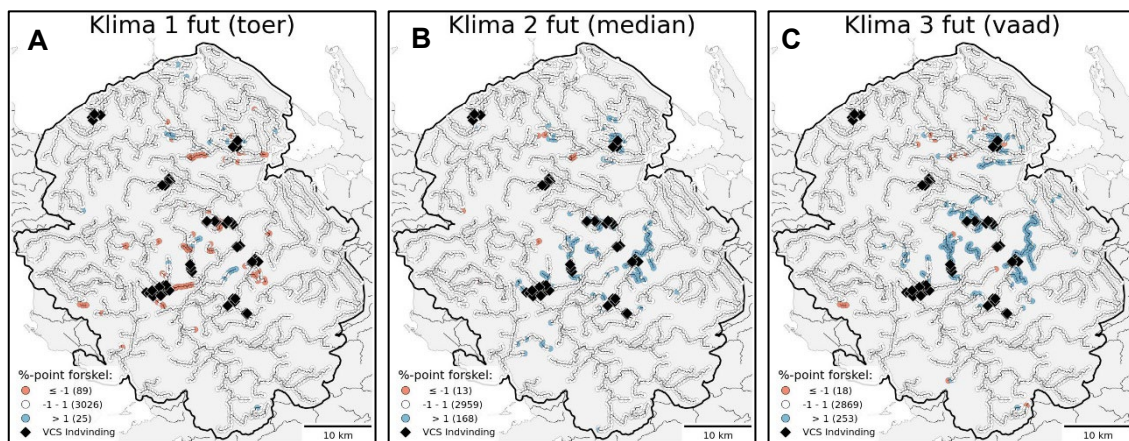
For CI05 stiger indikatorværdierne meget lidt, mens der ses en større påvirkning i positiv retning for de to resterende scenarier, hvor indikatorværdien falder konsekvent. Generelt ses den største påvirkning for akviferbæredygtighed for de områder hvor koten på det terrænnære grundvandspejl er kritisk (Lindved, Dalum og Holmehave); dog ses der på Bolbro kildeplads også en påvirkning på det primære magasin.

5.4.6.2 Vandløb og natur

Ligesom for akviferbæredygtighed ses der for CI05 en større indikatorværdi i fremtiden end i referencen – den stiger helt op til 1.43 for udtørring af vandløbsspidser, mens den for Q50 kun ligger på 1.09. Disse stigninger ses på trods af mere nedbør (98 mm). Igen må det være den forholdsvis store fordampning i fremtiden (Tabel 4.5), der tilsyneladende påvirker systemet i en negativ retning. Dette kunne også tænkes at være en forklaring på den forholdsvis store stigning af forekomsten af udtørrede vandløbsspidser – ved en større fordampning fordampes der antagelsesvist også vand herfra.

For de to resterende scenarier ses gennemgående lavere indikatorværdier i fremtiden. Det kan være overraskende at de er éns, da nedbørsmængden for CI18 stiger til 115 og den for CI12 helt op til 115 og 160 mm. Igen kan det tænkes, at det er fordampningens indflydelse, som ligger på hhv. 55 og 85 mm for de to scenarier (Tabel 4.5).

Tilsvarende indikatorværdierne i Tabel 5.15, ses der en overvægt af Q-punkter med en negativ påvirkning for CI05 (delfigur A), mens der for de to resterende klimascenarier hovedsageligt ses en positiv påvirkning, som er størst for det "våde" scenarie CI12 (Figur 5.3-B og C).



B-Figur 1: Påvirkningen af medianafstrømningen i vandløbene i hele modelområdet for klimascenarierne (tør, median, våd) (procentpoint forskel mellem referencescenarie og scenarie i hvert Q-punkt). Udgangspunkt for beregningen er den procentvise forskel mellem nul-scenariet og hvert scenarie, som danner basis for beregningen af vandløbsindikatoren.

5.4.6.3 Terrænnært grundvand i byen

For det terrænnære grundvand i byen falder værdierne for delindikatoren <1.5 meter under terræn%75%-percentil for alle tre klimascenarier; til hhv. 0.9, 0.74 og 0.54. Dette er et negativt resultat, da mindre værdier i dette tilfælde betyder større problemer med højtstående grundvand i kældre og kloak. Dette er ikke overraskende, og som forventet, når klimaet udvikler sig til at være mere våd i fremtiden end det er nu. Igen, ligesom for de resterende scenarier, må der dog tages hensyn til de meget få modelceller der er berørt af en forandring ift. referencen (Tabel 5.16), hvilket gør indikatoren kun delvist brugbar.

Tabel 5.16: Forskel af antal modelceller mellem nul-scenarie og scenarie, hvor den terrænnære grundvandsstand er under tærskelværdien, for de to percentiler. Der er mere vand i systemet når der ikke indvindes, hvorfor antal celler for nul-scenariet er større end for de resterende, hvilket fører til en negativ værdi for scenarierne. Det totale antal modelceller under byområder er 11467.

		1991-2020			2070-2099		
		Cl05 (tør)	Cl18 (median)	Cl12 (våd)	Cl05 (tør)	Cl18 (median)	Cl12 (våd)
75%- percentil	< 3m under terræn	-4	-2	-2	-2	-2	-2
	< 1.5m under terræn	-40	-34	-41	-36	-25	-22
99%- percentil	< 3m under terræn	0	0	0	0	0	0
	< 1.5m under terræn	-14	-10	-9	-6	-9	-4

5.5 Evaluering af indikatorer

I det følgende afsnit evalueres de udarbejdede indikatorer. Der er endnu ikke udviklet et objektivt og kvantitativt mål for, hvad der udgør en god, dårlig eller meningsfuld indikator. I denne undersøgelse benyttes derfor en mere subjektiv/blød tilgang til at bedømme en indikators egnethed eller utilstrækkelighed. Således betragtes en indikator som værende god eller egnet, når den viser en nogenlunde sensitivitet på ændringer i indvindingsforhold, og dårlig eller utilstrækkelig når der ikke ses nogen sensitivitet/påvirkning ved ændringer i indvindingsforhold. Sensitiviteten påvirkes af en række faktorer og kan således både være et resultat af begrænsninger i indikatorens konceptuelle grundlag og/eller modellens evne til at simulere de givne forhold. Helt konkret evalueres indikatorerne ud fra følgende aspekter:

1. Modelberegning (hydrologiske modellers potentiale for udtræk af relevant data helt generelt)
2. Den specifikke, i foreliggende projekt udviklede, models egnethed (om modellens præcision er egnet til den modelprædiction der benyttes for den enkelte indikator).
3. Indikatorberegning (vurdering af indikatorberegningens koncept og metode – hvor god en beslutningsstøtte giver hver indikator?)

Tabel 5.17, 5.18 og 5.19 giver et overblik over de forskellige aspekter. Hydrologiske modeller baseret på modelleringssoftwaret fra DHI, som er anvendt i foreliggende projekt, er overordnet set velegnet til simulering af de forskellige modeloutput som bruges som grundlag for beregning af indikatorerne (jf. Tabel 5.17). Dog er modellens evne til at simulere korrekt meget afhængig af tilgængeligheden af observationsdata til at kalibrere og validere modellen. Udfordringer med dette er samlet i Tabel 5.18, mens Tabel 5.19 viser et overblik over styrker og mangler i konceptet for hver indikator. I det følgende kommenteres sidstnævnte to tabeller.

Tabel 5.17: Modelberegning generelt.

Tema	Indikator	Modelberegning
Akvifer	Kritisk kote	<ul style="list-style-type: none"> • Modellen simulerer trykniveau i forskellige hydrogeologiske lag i daglige tidsskridt • Meget velegnet output til simulering af trykniveausænkning som følge af indvinding ved kildepladser
Vandløb	Q50	<ul style="list-style-type: none"> • Modellen simulerer afstrømning i daglige tidsskridt i Q-punkter fordelt i hele modelområdet • Meget velegnet output til beregning af Q50 for sommervandføring
	Udtørring	<ul style="list-style-type: none"> • Modellen simulerer afstrømning i daglige tidsskridt i Q-punkter fordelt i hele modelområdet • Meget velegnet output til beregning af Q50 for sommervandføring
Natur	§3	<ul style="list-style-type: none"> • Modellen simulerer terrænnært grundvand i daglige tidsskridt, dvs. med årstidsvariationer • Meget velegnet output som grundlag for beregning af middelvandspejl
	Natura 2000	<ul style="list-style-type: none"> • Modellen simulerer terrænnært grundvand i daglige tidsskridt, dvs. med årstidsvariationer • Meget velegnet output som grundlag for beregning af middelvandspejl
Terrænnært grundvand	Kælder	<ul style="list-style-type: none"> • Modellen simulerer terrænnært grundvand i daglige tidsskridt • Meget velegnet output som grundlag for beregning af 75% og 99% percentiler – typisk og robust modeloutput
	Kloak	<ul style="list-style-type: none"> • Modellen simulerer terrænnært grundvand i daglige tidsskridt • Meget velegnet output som grundlag for beregning af 75% og 99% percentiler – typisk og robust modeloutput

For **akviferbæredygtighed** kan det konkluderes, at der er blevet udviklet en meget velfungerende indikator, der viser potentiel forringelse af vandkvaliteten i grundvandsmagasiner. Den er bedre og mere præcis end bedømmelse alene baseret på grundvandsforekomstniveau, da lokal erfaring og ekspertviden indgår i form af de kritiske koter, der afgør, hvorvidt der er en reel fare for problemer med vandkvaliteten. Denne udpegning af kritiske koter vil mange vandselskaber kunne foretage. Modellens evne til at simulere observerede trykniveauer er dog af stor betydning. Lige meget hvor god modellen er, vil der altid være en vis uoverensstemmelse mellem observeret og modelleret vandspejl, hvilket kan medføre, at grundvandssænkningen ved nogle kildepladser ikke er følsom, da modellen aldrig vil simulere afsænkninger, der overskrider kritisk kote, som det f.eks. er tilfældet på Eksercermarken Kildeplads (afsnit 5.4).

Et mere konceptuelt problem er, at indikatorberegningen kun er meningsfuld, hvis trykniveauet falder under kritisk kote i referencescenariet – sker dette ikke, kan ingen indikatorværdi udregnes, selvom der er en påvirkning i scenariet. En anden udfordring i konceptet er, at en meget lille påvirkning i referencescenariet kan få små ændringer i øvrige indvindings-scenarier til at fremstå voldsomme, selvom det ikke nødvendigvis er tilfældet i virkeligheden. Det kunne evt. være mere meningsfuldt at udregne indikatoren for alle kildepladser samlet, i stedet for hver kildeplads; dette ville give et mere overordnet billede og gøre det muligt at udregne en specifik indikator (påvirkning pr. m³), svarende til vandløbs- og naturindikatoren (afsnit 5.4.5). Sidst men ikke mindst, er afgrænsningen af de anvendte kildepladspolygoner forholdsvis arbitrær og bygger på en antagelse om, at dårlig vandkvalitet forårsaget af afsænkning under en kritisk kote er et lokalt fænomen på kildepladsen. En lokal tilpasning af

polygonen, der bedre afspejler de hydrogeologiske forhold vil i princippet give et mere retvisende resultat.

Tabel 5.18: Den konkrete models egnethed.

Tema	Indikator	Den konkrete models egnethed
Akvifer	Kritisk kote	<ul style="list-style-type: none"> • Delvist relativ stor middelfejl ift. trykniveauobservationer – her er modellen mindre egnet til at simulere afsænkninger, der overskrider kritisk kote. • F.eks. tilfældet på Eksercermarken
Vandløb	Q50	<ul style="list-style-type: none"> • Modellen er god til at simulere Q50 (jf. Figur 5.3 og Figur 5.4).
	Udtørring	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen målinger af udtørring af vandløb → ukendt om modellen er egnet til simulering af udtørring af vandløbsspidser • Modellen vurderes alligevel egnet da den generelle simulering af vandføring er meget tilfredsstillende, og specielt medianvandføringen (Figur 5.3), som udtørring baseres på
Natur	§3	<ul style="list-style-type: none"> • Terrænnært grundvandsspejl simuleres generelt for højt (afsnit 5.1) • Grundet manglende observationer er det uklart om det også gælder for udstrømningsområder ifm. Naturområder • Selvom modellen har en bias imod at simulere for højt, kan den godt være tilstrækkelig god til at simulere påvirkning fra indvinding (hvilket en nogenlunde følsom indikator også viser)
	Natura 2000	<ul style="list-style-type: none"> • Terrænnært grundvandsspejl simuleres generelt for højt (afsnit 5.1) • Grundet manglende observationer er det uklart om det også gælder for udstrømningsområder ifm. Naturområder • Selvom modellen har en bias imod at simulere for højt, kan den godt være tilstrækkelig god til at simulere påvirkning fra indvinding (hvilket en nogenlunde følsom indikator også viser)
Terrænnært grundvand	Kælder	<ul style="list-style-type: none"> • Terrænnært grundvandsspejl simuleres generelt for højt (afsnit 5.1) • Problemer med terrænnært grundvand (og dermed betydningen af indvindingsstrategien på VCS' kildepladser) undervurderes • Modelcellestørrelsen på 100 m er sandsynligvis utilstrækkeligt til korrekt gengivelse af kompleks urban geologi
	Kloak	<ul style="list-style-type: none"> • Terrænnært grundvandsspejl simuleres generelt for højt (afsnit 5.1) • Problemer med terrænnært grundvand (og dermed betydningen af indvindingsstrategien på VCS' kildepladser) undervurderes • Modelcellestørrelsen på 100 m er sandsynligvis utilstrækkeligt til korrekt gengivelse af kompleks urban geologi

For **vandløbsafstrømningen** er mange observationsdata af høj kvalitet tilgængelige, både i den rumlige og den tidlige dimension (Figur 1.1 og Figur 5.4). Disse integrerer hydrologiske processer i hele oplandet opstrøms for vandføringsstationerne. Samtidigt vurderes påvirkning af Q50 for sommervandføringen i modellens Q-punkter at være et velegnet udtryk for sammenhængen imellem indvindingsbetinget reduktion af vandføringen og vandløbets "biologiske respons". Dette resulterer i både en meget tilfredsstillende simulering samt en følsom indikator. Dette gælder især for Q50, mens der er større usikkerhed ift. hvorvidt modellen er egnet til simulering af udtørring af vandløbsspidser, da der ikke findes specifikke og kontinuerede målinger af udtørring af vandløb. Dette gør det umuligt at kvantificere hvorvidt modellen er god til at efterligne en reel udtørring. I modsætning til akviferbæredygtighed, som ser på hver kildeplads særskilt, er indikatorberegningen for vandløbsindikatoren baseret på den samlede påvirkning fra alle VandCenter Syds kildepladser, hvilket gør det muligt at beregne

en specifik indikator (påvirkning pr. m³), og dermed at sammenligne påvirkningen af indvindingen på de forskellige kildepladser.

Tabel 5.19: Indikatorberegning, koncept og metode.

Tema	Indikator	Indikatorberegning, koncept og metode
Akvifer	Kritisk kote	<ul style="list-style-type: none"> • Kun meningsfuld, hvis der sker påvirkning under kritisk kote i referencescenariet • Meget lille påvirkning i referencescenariet får små ændringer i andre scenarier til at fremstå voldsomme • Evt. mere meningsfuldt at udregne indikatoren for alle kildepladser samlet • Arbitrær afgrænsning af kildepladspolygoner – bygger på antagelse om, at dårlig vandkvalitet pga. afsækning under kritisk kote er et lokalt fænomen på kildepladsen • Evt. lokal tilpasning af polygonen, som afspejler de hydrogeologiske forhold
	Q50	<ul style="list-style-type: none"> • Påvirkning af Q50 for sommervandføring er et velegnet udtryk for sammenhængen imellem indvindingsbetinget reduktion af Q og vandløbets "biologiske respons". • Beregningen er baseret på den samlede påvirkning fra alle VandCenter Syds kildepladser, som bidraget fra den enkelte kildeplads kan relateres til • Der kan beregnes en specifik indikator (påvirkning pr. m³), der gør det muligt at sammenligne kildepladser. • Indikatorberegningen vurderes at være meget velegnet.
Vandløb	Udtørring	<ul style="list-style-type: none"> • Udtørring defineret som Q50 for sommervandføringen på mindre end 5 L/s relaterer til reelle vandføringsniveauer som kan repræsentere udtørring af vandløb. • Beregningen er baseret på den samlede påvirkning fra alle VandCenter Syds kildepladser, som bidraget fra den enkelte kildeplads kan relateres til • Der kan beregnes en specifik indikator (påvirkning pr. m³), der gør det muligt at sammenligne kildepladser. • Indikatorberegningen vurderes at være meget velegnet.
	§3	<ul style="list-style-type: none"> • Overlap mellem §3-områder og udstrømningsområder som grundlag for modeludtræk vurderes at være et robust og godt grundlag for en overordnet vurdering af den indvindingsbetingede påvirkning af §3-områder • Modellens årstidsvariationer er ikke inkluderet da eksakt viden for enkelte naturtypers tålegrænser ikke er tilgængeligt systematisk. Den kunne dog potentielt udnyttes • Beregningen er baseret på den samlede påvirkning fra alle VandCenter Syds kildepladser, som bidraget fra den enkelte kildeplads kan relateres til • Der kan beregnes en specifik indikator (påvirkning pr. m³), der gør det muligt at sammenligne kildepladser • Indikatorberegningen vurderes at være meget velegnet
Natur	Natura 2000	<ul style="list-style-type: none"> • Overlap mellem N2000-områder og udstrømningsområder som grundlag for modeludtræk vurderes at være et robust og godt grundlag for en overordnet vurdering af den indvindingsbetingede påvirkning af N2000-områder • Modellens årstidsvariationer er ikke inkluderet da eksakt viden for enkelte naturtypers tålegrænser ikke er tilgængeligt systematisk. Den kunne dog potentielt udnyttes • Beregningen er baseret på den samlede påvirkning fra alle VandCenter Syds kildepladser, som bidraget fra den enkelte kildeplads kan relateres til • Der kan beregnes en specifik indikator (påvirkning pr. m³), der gør det muligt at sammenligne kildepladser • Indikatorberegningen vurderes at være meget velegnet
		<ul style="list-style-type: none"> • Overlap mellem §3-områder og udstrømningsområder som grundlag for modeludtræk vurderes at være et robust og godt grundlag for en overordnet vurdering af den indvindingsbetingede påvirkning af §3-områder • Modellens årstidsvariationer er ikke inkluderet da eksakt viden for enkelte naturtypers tålegrænser ikke er tilgængeligt systematisk. Den kunne dog potentielt udnyttes • Beregningen er baseret på den samlede påvirkning fra alle VandCenter Syds kildepladser, som bidraget fra den enkelte kildeplads kan relateres til • Der kan beregnes en specifik indikator (påvirkning pr. m³), der gør det muligt at sammenligne kildepladser • Indikatorberegningen vurderes at være meget velegnet

Terrænnært grundvand	Kælder	<ul style="list-style-type: none"> • Det valgte niveau for kælderindikatoren (1.5 m.u.t.) og anvendelse af 75% og 99% percentiler til simulering af henholdsvis vinter- og ekstremssituation er velbegrunderet • Der ses kun på indvindingsbetinget påvirkning af terrænnært grundvand i befæstede områder i Odense – mindre byer indenfor modelområdet er ikke repræsenteret • Alligevel stor nok rumlig udbredelse, til at der kan beregnes en specifik indikator (påvirkning pr. m³), der gør det muligt at sammenligne kildepladser • Indikatorberegningen vurderes at være meget velegnet
	Kloak	<ul style="list-style-type: none"> • De valgte niveau for kloakindikatoren (3.0 m.u.t.) og anvendelse af 75% og 99% percentiler til simulering af henholdsvis vinter- og ekstremssituation er velbegrunderet • Der ses kun på indvindingsbetinget påvirkning af terrænnært grundvand i befæstede områder i Odense – mindre byer indenfor modelområdet er ikke repræsenteret • Alligevel stor nok rumlig udbredelse, til at der kan beregnes en specifik indikator (påvirkning pr. m³), der gør det muligt at sammenligne kildepladser • Indikatorberegningen vurderes at være meget velegnet

For det **terrænnære grundvand i byen** er kun et meget begrænset datasæt med observationer af trykniveau tilgængeligt. Dette har ført til en model, der har en tendens til at simulere det terrænnære grundvand for højt. Derudover er det også sandsynligt, at en modelcellestørrelse på 100 m er utilstrækkeligt til en korrekt gengivelse af forholdene i et komplekst urbant område. Der er tidligere vist større følsomhed for påvirkning fra stor indvinding fra Eksercermarken Kildeplads på det terrænnære grundvand i 50 m modelopløsning (Odense Vest modellen beskrevet i Kidmose, et al., 2018).

I forhold til konceptet kan det siges, at selvom de valgte niveauer for kælder- og kloakindikatorerne og anvendelse af 75% og 99% percentiler til simulering af henholdsvis vinter- og ekstremssituation vurderes til at være et typisk og robust modeloutput, repræsenterer de situationer, hvor vandet per definition står højt. Derudover er niveauet for kloakindikatoren på 3 m forholdsvis lavt, hvilket fører til at grundvandet næsten altid står over dette niveau både i en typisk vintersituation (75%-percentilen) og en typisk ekstremssituation (99%-percentilen). Dette har, som vist ovenfor, ført til en indikator med kun minimale forskelle imellem scenarierne, især for de tre delindikatorer med højest vandspejl, og i lidt mindre grad for den fjerde (vintersituation/kælderindikator; se afsnit 5.3 og 5.4). Dette medfører, at problemer med det terrænnære grundvand i byen – og dermed betydningen af indvindingsstrategien på Vand-Center Syds kildepladser – undervurderes.

En anden overvejelse ift. konceptet kunne være, hvorvidt det giver mening kun at se på den indvindingsbetingede påvirkning af det terrænnære grundvand i befæstede områder i Odense by, men ikke i de mindre byer i modelområdet. Dette faktum kunne også lede til spørgsmålstejn ift. hvorvidt det er meningsfuldt at udregne en specifik indikator (påvirkning pr. m³), som det blev gjort for den mest meningsfulde delindikator. Det blev dog vurderet at den rumlige udbredelse af Odense by er stor nok til at dette er meningsfuldt.

Indikatorberegningen vurderes på denne baggrund at være velegnet.

For den **grundvandsafhængige natur** gælder det, at indikatoren tilsyneladende kan vise påvirkning på denne (afsnit 5.4). Samtidigt må der dog have i mente, at der, ligesom som for det terrænnære grundvand i byen, kun er begrænset (eller ingen) adgang til observationsdata for det terrænnære grundvand i naturområder, hvilket resulterer i en forholdsvis stor usikkerhed ift. hvor god modellen er til at simulere disse grundvandsstande. Anvendelsen af overlap mellem §3-/Natura2000-områder og udstrømningsområder som grundlag for

modelberegningen, vurderes at være forholdsvis robust og et godt grundlag for en overordnet vurdering af den indvindingsbetingede påvirkning af §3-områder. Modellens årstidsvariationer er ikke inkluderet, da eksakt viden for enkelte naturtypers tålegrænser ikke er tilgængeligt systematisk. Den kunne dog potentielt udnyttes. Konceptuelt set må det tages i betragtning, at indikatoren er meget afhængig af den pletvise udbredelse af §3- og Natura2000-områder, hvilket påvirker konceptets følsomhed. Indikatoren er derfor klart mest følsom overfor §3-områderne, som er spredt nogenlunde jævnt ud over hele modelområdet, mens der kun eksisterer tre små pletter af Natura2000 indenfor dette. Med den erkendelse, at indikatoren kun evaluerer indvindingens påvirkning på de udpegede naturområder (§3- og Natura2000), er den manglende følsomhed ikke problematisk. Grundet den nogenlunde jævne rumlige fordeling af §3-områder i modelområdet antages det at være meningsfuldt at udregne en specifik indikator (påvirkning pr. m³), der gør det muligt at sammenligne indikatorerne scenarierne i mellem.

6 Konklusion og perspektivering

6.1 Koncept

Gennemgangen i afsnit 5.5 viser at 3 af de 4 opstillede indikatorer er robuste og direkte anvendelige til vurdering af påvirkning fra vandindvinding hvilket kan opsummeres således:

- **Akviferbæredygtighed:** Kritisk kote er erfaringsbestemt og bunder i solid viden. Dog eventuelt endnu mere meningsfuldt når indikatoren udregnes for alle kildepladser samlet.
- **Vandføring:** Q50 er en meget robust indikator. Udtørring baseret på medianvandføring < 5 l/s er også en robust indikator. Her er der dog ingen konkrete valideringsdata tilgængelige for udtørring.
- **Natur:** §3 er en robust indikator da der findes udpegede områder tæt på alle kildepladser. Natura 2000 findes modsat kun enkelte steder i det samlede kildepladssområde og nogle kildepladser har ingen påvirkning på vandstand i disse områder. Relevant for begge naturindikatorer er dog at der findes meget få tilgængelige valideringsdata af den modellerede terrænnære grundvandsstand.
- **Terrænnært grundvand:** Denne indikator fejler delvist som følge af en model, hvis evne til simulering af de forskellige situationer for højtstående terrænnært grundvand er begrænset. Anvendelsen af indikatoren vil derfor blive mere meningsfuld, hvis modellen er bedre til at simulere terrænnært grundvand.

Det kan konkluderes, at projektet er nået frem til tre indikatorer med et fungerende koncept og en model, der er tilstrækkelig sensitiv for at kunne simulere data til kvantificering af disse. Konceptet er specielt godt til relativ sammenligning af scenarier og kildepladser med indikatorer som indebærer flere forskellige aspekter af en påvirkning.

6.2 Scenarier

Resultaterne for scenariegruppe 1, hvor der testes forskellige indvindingsscenarier, er som forventet. Der indvindes mere, hvilket fører til en gennemgående højere indikatorværdi for alle scenarier i denne gruppe end for referencen.

For Eksercermarkenscenarierne må det konkluderes, at modellen ikke er i stand til at fange meget af de forskelle der opstår når man flytter indvindingen fra en boring til en anden (stort set éns indikatorværdier for Eksercermarken A og B). Den største påvirkning ses, når der slukkes for alle boringer i ks3 på Dalum kildeplads (Eksercermarken C). Der er ingen scenarier, hvor trykniveauet falder under den kritiske kote på Eksercermarken, dog påvirker den øgede indvinding på Eksercermarken trykniveauet på Bolbro kildeplads, grundet det sammenhængende grundvandsmagasin i ks3.

Konsekvensberegningerne gør det muligt at få et mål for, hvad det "koster" at indvinde 1 m^3 vand, hvilket kan tjene som beslutningsstøtte når nye kildepladser skal udpeges og/eller indvindingsmængden på en kildeplads øges.

Klimascenarierne påvirker mindre end indvinding og resultaterne er en koblet effekt af ændret nedbør samt fordampning. Generelt kan det siges "at klimaforandringer har potentiale til at påvirke indikatorerne svarende til at slukke en mindre regional kildeplads".

De gennemførte scenarier ses som en inspiration til mere konkrete scenarier for fremtidens vandforsyning, og det er håbet at projektet kan inspirere andre vandforsyningsselskaber til at gennemføre lignende undersøgelser og benytte sig af dem som beslutningsstøtte.

6.3 Yderlige udvikling af koncept

Ovenstående konklusioner for de enkelte indikatorer viser følgende udviklingspotentialer af konceptet for vurdering af bæredygtig vandindvinding:

- Bedre modelbeskrivelse af det terrænnære grundvand i byen, herunder drænforhold og urban geologi.
- Flere observationer af det terrænnære grundvand både i byområder, men også i våde naturområder, hvor dette projekt har haft meget begrænset adgang til relevant data.
- Mulig simplificering af koncept for det terrænnære grundvand i byen. De 4 fire indikatorer for det terrænnære grundvand er sandsynligvis stærkt korreleret med områder for højtstående middel grundvandsstand, og derfor bør det undersøges, om en mere gennemsnitlig model prædiktion, som median trykniveau af det terrænnære urbane grundvand, vil danne baggrund for en mere robust indikator.
- For akviferbæredygtighedsindikatoren må det antages, at det ville være mere meningsfuldt at udregne indikatorværdierne for alle kildepladser/kildepladspolygoner samlet, i stedet for kun én ad gangen. Dette ville gøre det nemmere at sammenligne indikatorværdierne scenarierne i mellem.

7 Referencer

- Baatrup-Pedersen, Annette, et al. 2023.** Økologisk tilstand og biodiversitet i genoprettede vandløb. 2023, Årg. 30. årgang, 4.
- DHI. 2025.** DHI. [Online] 2025.
<https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mike-she>.
- DMI. 2025.** DMI Frie Data. [Online] 2025. <https://www.dmi.dk/friedata/observationer/>.
- Henriksen, H. J., et al. 2021.** *Konsolidering af kvantitativ tilstandsvurdering for danske grundvandsforekomster i potentiel ringe tilstand på basis af ekspertvurdering. Supplerende vurderinger af kvantitativ tilstand for 90 grundvandsforekomster med modelberegnet udnyttelsesgrad større.* København : GEUS. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser, 2021. Rapport Bind 2021 Nr. 2.
- Henriksen, H. J., et al. 2015.** *Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvinding. Konceptuel tilgang og validering samt tilstandsvurdering af grundvandsforekomster.* København : Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, 2015. Bind 2014, Nr. 74.
- Henriksen, H.J., Ondracek, M. og Troldborg, L. 2023.** *Baggrundsrapport til Miljøstyrelsens samlede afrapportering omkring forvaltning af fremtidens drikkevandsressource.* København : Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, 2023. Rapport 2023/8.
- Kampa, E., et al. 2024.** *GOVAQUA policy matrix Part B – Review of national eflows policies in six Eu-ropean countries.* Berlin : Ecologic Institute, Berlin, 2024.
- Kidmose, J. og Sonnenborg, T. O. 2018.** *Fælles grundvand - Fælles ansvar: WP2 Hydrologisk model.* København : GEUS. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, 2018. Rapport Bind 2018 Nr. 33.
- LaBianca, A, et al. 2024.** Machine learning for predicting shallow groundwater levels in urban areas. *Journal of Hydrology.* 2024.
- LaBianca, Ane. 2023.** Shallow Urban Groundwater Dynamics - Exploring the impact of the urban subsurface and infrastructure and modeling techniques at city scale. *Ph.D. Thesis.* 2023.
- Levin, Gregor. 2025.** Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet. [Online] 2025.
<https://envs.au.dk/om-instituttet-1/faglige-omraader/samfund-miljoe-og-ressourcer/arealanvendelse-og-gis/basemap>.
- Miljøstyrelsen. 1979.** *Vejledning fra Miljøstyrelsen, Vandforsyningsplanlægning 2. del.* København : Miljøstyrelsen, 1979. Vejledning.
- Naturstyrelsen. 2012.** *Retningslinjer for udarbejdelse af indsatsprogrammer, Vandplaner 2010 - 2015; Bilag 9.* København : Naturstyrelsen, 2012. Vejledning.
- Ondracek, Maria, et al. 2023.** *Tilpasning DK-model med VP3 målsatte vandløb og søer.* København : GEUS, 2024. 85 s. (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport; Nr. 52, Bind 2023)., 2023.
- Pasten-Zapata, Ernesto, Sonnenborg, Torben O. og Refsgaard, Jens Christian. 2019.** Climate change: Sources of uncertainty in precipitation and temperature projections for Denmark. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin, 43: e2019430102–01-e2019430102–06.* 2019.

Seidenfaden, Ida K. , et al. 2022. Quantification of climate change sensitivity of shallow and deep groundwater in Denmark. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2022, s. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101100>.

SGAVMST. 2012. *Baggrundsnotat om beregningsgrundlag og kravværdier*. København : Naturstyrelsen/Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø, 2012. Notat.

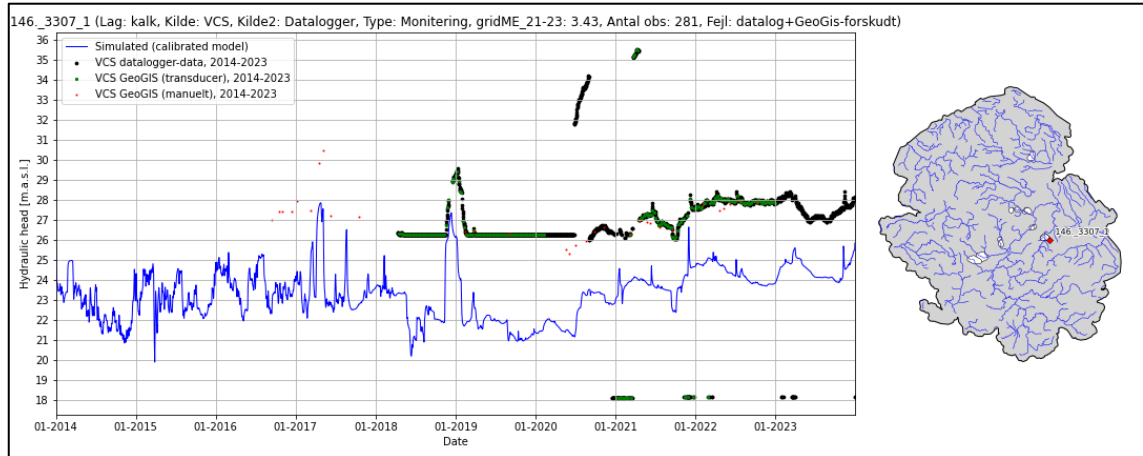
Stisen, Simon , et al. 2020. *National Vandressource Model. Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019*. Copenhagen : GEUS, 2020. 271 s. (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport; Nr. 31, Bind 2019)., 2020.

UK Centre for Ecology&Hydrology. 2025. About the Threshold Environmental Flows. *environment.data.gov.uk*. [Online] 2025. <https://environment.data.gov.uk/future-water/eflows/about>.

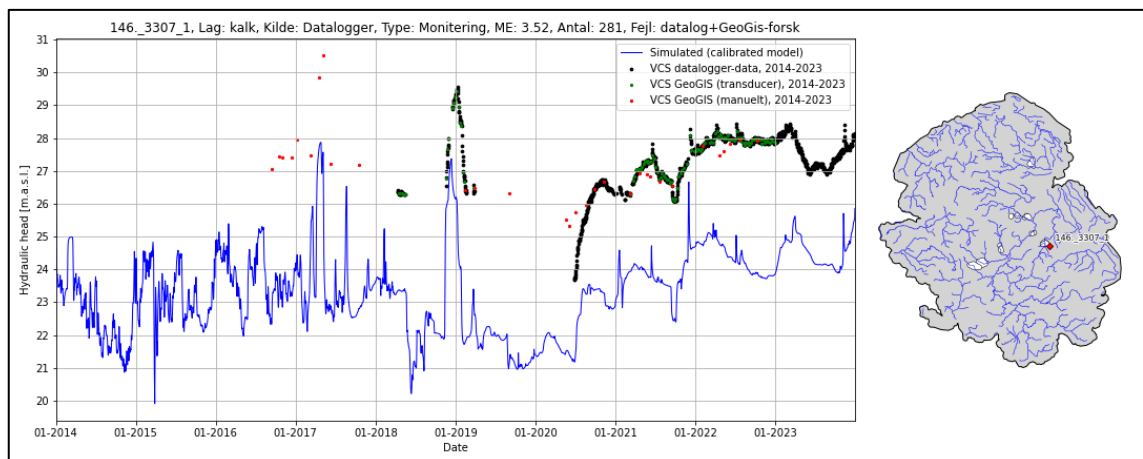
UKTAG. 2008. *UK Technical Advisory Group - Environmental Standards and Conditions (phase 1)*. s.l. : WFD UK TAG, 2008.

8 Bilag

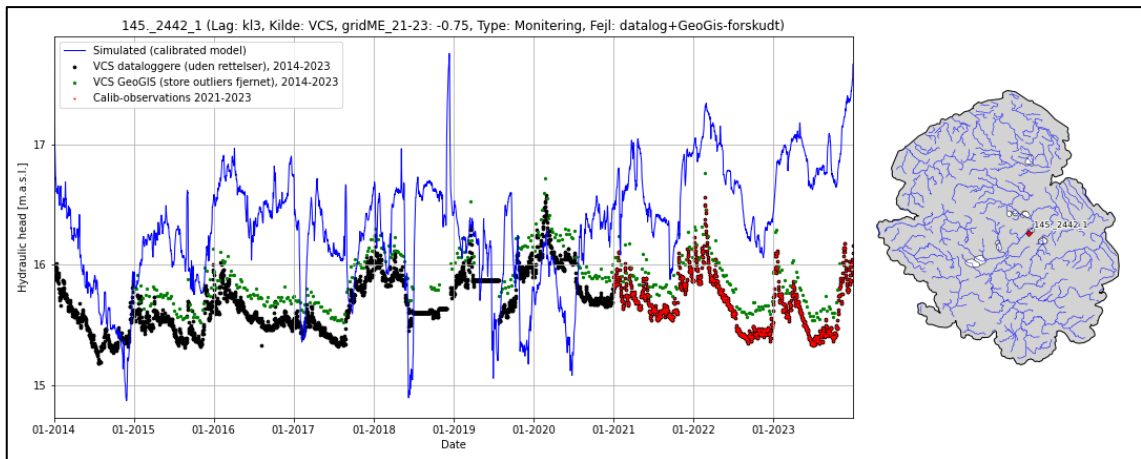
Bilag 1: Eksempler for fejlagtige trykniveautidsserier



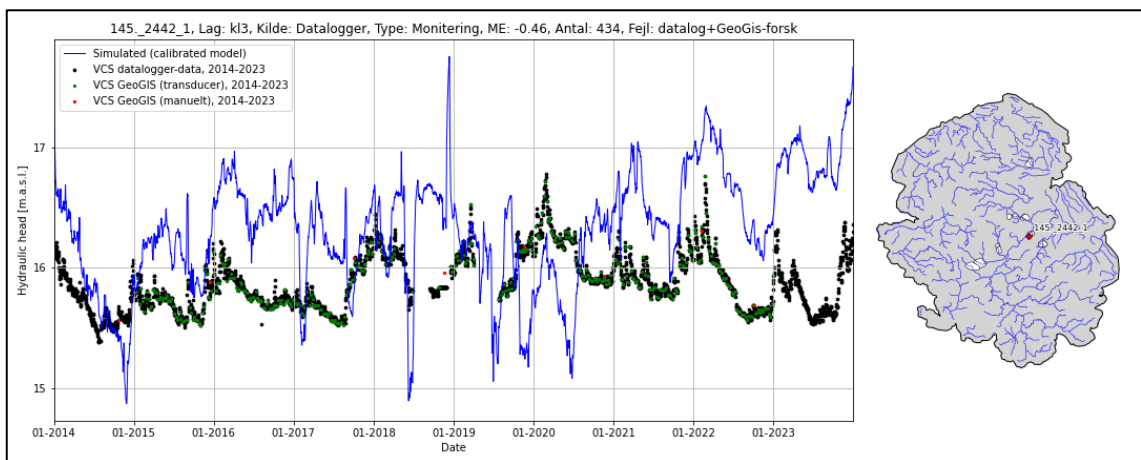
B-Figur 2: Flatlines (før rettelse).



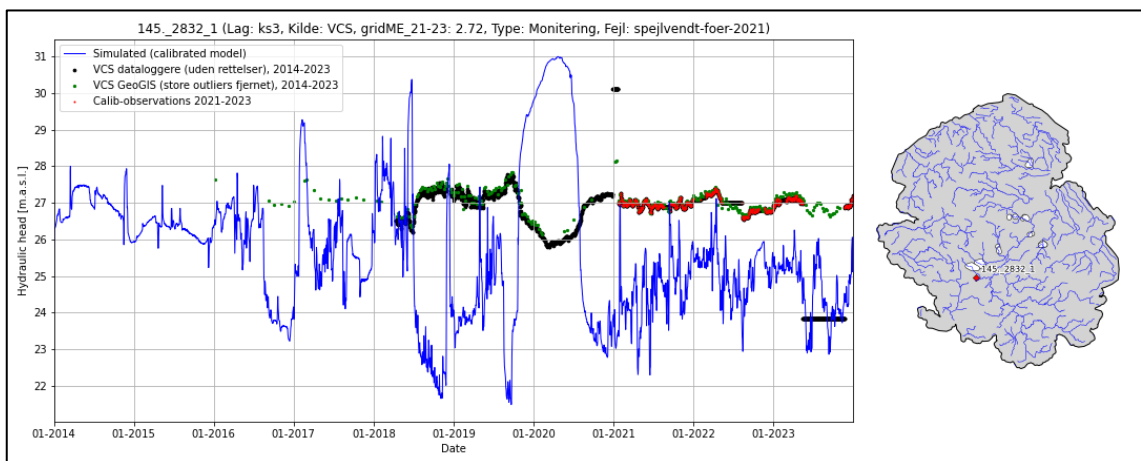
B-Figur 3: Flatlines (efter rettelse).



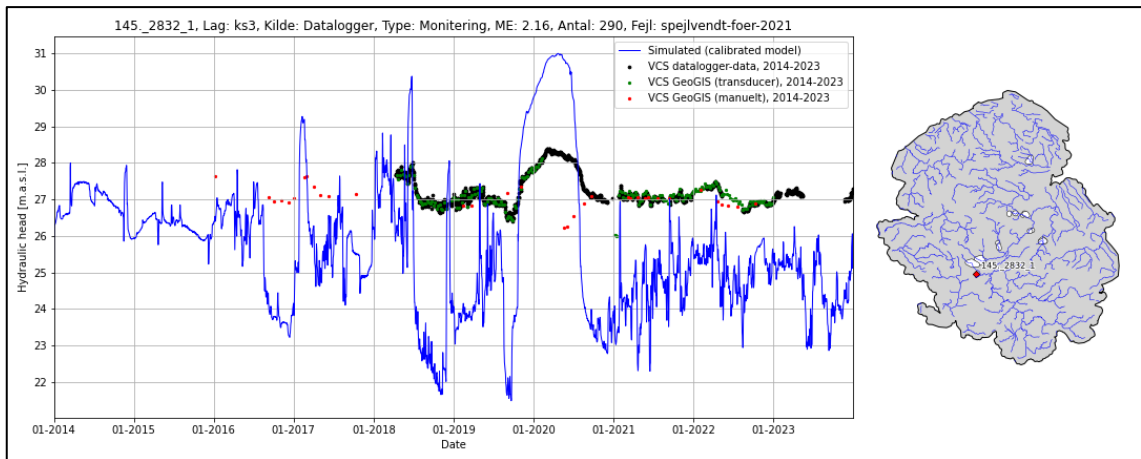
B-Figur 4: Daglige og ugentlige værdier forskudt; før rettelse.



B-Figur 5: Daglige og ugentlige værdier forskudt; efter rettelse.



B-Figur 6: Spejlvendt før 2021 – før rettelse.



B-Figur 7: Spejlvendt før 2021 – efter rettelser.

Bilag 2: Indvindingsmængder

B-Tabel 1: Indvindingsmængder for indvindingsscenarierne.

	Kildeplads	Indvindingsboring		m ³ /år				
		Navn	DGU nr.	Produktionsmål2025	Tilladelse	Nye kildepladser A	Nye kildepladser B	
Hovedværket	Eksercermarken	E29	145.718	350'000	381'818	381'818	381'818	
		E30	145.719	35'000	38'182	38'182	38'182	
		E225	145.2025	135'000	147'273	147'273	147'273	
		E233	145.2050	318'000	346'909	346'909	346'909	
		E257	145.2399	262'000	285'818	285'818	285'818	
		E25	145'453	0	0	0	0	
	Bolbro Øst	BB288	145.2552	300'000	337'500	337'500	337'500	
		BB317	145.2739	350'000	393'750	393'750	393'750	
		BB318	145.2740	350'000	393'750	393'750	393'750	
	Bolbro Vest	BB346	145.3083	350'000	393'750	393'750	393'750	
		BB347	145.3084	125'000	140'625	140'625	140'625	
		BB348	145.3085	125'000	140'625	140'625	140'625	
Holmehave-Værket	Øst	HO192	145.437	450'000	655'629	655'629	655'629	
		HO203	145.668	400'000	582'781	582'781	582'781	
		HO214	145.842	175'000	254'967	254'967	254'967	
		HO215	145.1516	475'000	692'053	692'053	692'053	
		HO216	145.1515	150'000	218'543	218'543	218'543	
		HO249	145.2212	350'000	509'934	509'934	509'934	
	Vest	HO208	145.689	125'000	182'119	182'119	182'119	
		HO217	145.2019	225'000	327'815	327'815	327'815	
		HO218	145.2020	325'000	473'510	473'510	473'510	
		HO219	145.2021	200'000	291'391	291'391	291'391	
		HO220	145.2022	400'000	582'781	582'781	582'781	
		HO250	145.2176	500'000	728'477	728'477	728'477	
		Volderslev	V5	146.490	175'000	213'167	213'167	213'167
			V7	146.492	262'000	319'142	319'142	319'142
V351	146.3143		150'000	182'715	182'715	182'715		
Lindvedværket	Lindved	L15	146.483	275'000	334'977	334'977	334'977	
		L17	146.525	225'000	274'072	274'072	274'072	
		L244	146.2103	262'000	319'142	319'142	319'142	
		L345	146.2986	175'000	213'167	213'167	213'167	
		L350	146.3144	200'000	243'619	243'619	243'619	
Lundeværket	Nord	LU253	136.907	130'000	216'667	216'667	216'667	
		LU256	137.884	160'000	266'667	266'667	266'667	
	Vest	LU251	136.891	180'000	300'000	300'000	300'000	
		LU255	136.914	130'000	216'667	216'667	216'667	
Dalumværket	Dalum	D231	146.2029	200'000	200'000	200'000	200'000	
		D4	145.717	0	200'000	200'000	200'000	
	Søparken	D5	145.746	0	200'000	200'000	200'000	
		D245	145.2195	0	200'000	200'000	200'000	
		D338	145.2682	0	200'000	200'000	200'000	
	Borreby	BR2	145.326	200'000	328'205	328'205	328'205	
		BR4	145.471	200'000	328'205	328'205	328'205	
BR227		145.2026	175'000	287'179	287'179	287'179		
		BR372	145.5412	400'000	656'410	656'410		
Nye kildepladser	Trørstrup	GT4	136.218	0	0	25'000	100'000	
		GT7	136.222	0	0	50'000	100'000	
		GT8	136.285	0	0	175'000	200'000	
		GT9	136.735	0	0	250'000	300'000	
		PB1	136.XXX	0	0	0	150'000	
		PB2	136.XXX	0	0	0	150'000	
	Skåstrup	U378	135.1095	0	0	125'000	250'000	
		U379	135.1096	0	0	125'000	250'000	
		PB3	135.XXXX	0	0	125'000	250'000	
		PB4	135.XXXX	0	0	125'000	250'000	
	Nr. Søby		145.2097	0	0	250'000	416'667	
			145.2128	0	0	250'000	416'667	
			145.2813	0	0	250'000	416'667	
			145.2814	0	0	250'000	416'667	
			145.2815	0	0	250'000	416'667	
			145.2816	0	0	250'000	416'667	
		155.1081	0	0	250'000	250'000		
		155.1333	0	0	250'000	250'000		
Sum				9'974'000	14'200'000	17'200'000	19'200'002	

B-Tabel 2: Indvindingsmængder for indvindingsscenarier på Eksercermarken.

Vandværk	Kildeplads	Indvindingsboring		m ³ /år				
		Navn	DGU nr.	Produktionsmål2025	EksercermarkenA	EksercermarkenB	EksercermarkenC	
Hovedværket	Eksercermarken	E29	145.718	350'000	795'455	700'000	700'000	
		E30	145.719	35'000	79'545	138'000	138'000	
		E225	145.2025	135'000	306'818	300'000	300'000	
		E233	145.2050	318'000	722'727	800'000	800'000	
		E257	145.2399	262'000	595'455	262'000	262'000	
		E25	145'453	0	0	300'000	300'000	
	Bolbro Øst	BB288	145.2552	300'000	337'500	337'500	337'500	
		BB317	145.2739	350'000	393'750	393'750	393'750	
		BB318	145.2740	350'000	393'750	393'750	393'750	
	Bolbro Vest	BB346	145.3083	350'000	393'750	393'750	393'750	
		BB347	145.3084	125'000	140'625	140'625	140'625	
		BB348	145.3085	125'000	140'625	140'625	140'625	
Holmehave-Værket	Øst	HO192	145.437	450'000	655'629	655'629	655'629	
		HO203	145.668	400'000	582'781	582'781	582'781	
		HO214	145.842	175'000	254'967	254'967	254'967	
		HO215	145.1516	475'000	692'053	692'053	692'053	
		HO216	145.1515	150'000	218'543	218'543	218'543	
		HO249	145.2212	350'000	509'934	509'934	509'934	
	Vest	HO208	145.689	125'000	182'119	182'119	182'119	
		HO217	145.2019	225'000	327'815	327'815	327'815	
		HO218	145.2020	325'000	473'510	473'510	473'510	
		HO219	145.2021	200'000	291'391	291'391	291'391	
		HO220	145.2022	400'000	582'781	582'781	582'781	
		HO250	145.2176	500'000	728'477	728'477	728'477	
Lindvedværket	Volderslev	V5	146.490	175'000	213'167	213'167	213'167	
		V7	146.492	262'000	319'142	319'142	319'142	
		V351	146.3143	150'000	182'715	182'715	182'715	
	Lindved	L15	146.483	275'000	334'977	334'977	334'977	
		L17	146.525	225'000	274'072	274'072	274'072	
		L244	146.2103	262'000	319'142	319'142	319'142	
		L345	146.2986	175'000	213'167	213'167	213'167	
Lundeværket	Nord	LU253	136.907	130'000	216'667	216'667	216'667	
		LU256	137.884	160'000	266'667	266'667	266'667	
		LU251	136.891	180'000	300'000	300'000	300'000	
	Vest	LU255	136.914	130'000	216'667	216'667	216'667	
		Dalum	D231	146.2029	200'000	200'000	200'000	200'000
		Søparken	D4	145.717	0	200'000	200'000	0
D5	145.746		0	200'000	200'000	0		
D245	145.2195		0	200'000	200'000	0		
D338	145.2682		0	200'000	200'000	0		
Borreby	BR2	145.326	200'000	328'205	328'205	328'205		
	BR4	145.471	200'000	328'205	328'205	328'205		
	BR227	145.2026	175'000	287'179	287'179	287'179		
	BR372	145.5412	400'000	656'410	656'410	656'410		
Nye kildepladser	Trøstrup	GT4	136.218	0	0	0	0	
		GT7	136.222	0	0	0	0	
		GT8	136.285	0	0	0	0	
		GT9	136.735	0	0	0	0	
		PB1	136.XXX	0	0	0	0	
		PB2	136.XXX	0	0	0	0	
		U378	135.1095	0	0	0	0	
	Skåstrup	U379	135.1096	0	0	0	0	
		PB3	135.XXXX	0	0	0	0	
		PB4	135.XXXX	0	0	0	0	
	Nr. Søby		145.2097	0	0	0	0	
			145.2128	0	0	0	0	
			145.2813	0	0	0	0	
			145.2814	0	0	0	0	
			145.2815	0	0	0	0	
			145.2816	0	0	0	0	
		155.1081	0	0	0	0		
	155.1333	0	0	0	0			
Sum				9'974'000	15'500'000	15'500'000	14'700'000	

Bilag 3: Kalibrerings- og valideringsstatistikker

B-Tabel 3: Observeret og simuleret median afstrømning (Q50) på alle vandløbsstationer.

Station	Q50 obs [m3/s]	Q50_sim [m3/s]
Q43000001	0.67	0.49
Q43000003	0.10	0.09
Q43000246	0.28	0.25
Q43000432	0.02	0.04
Q45000001	3.30	2.75
Q45000002	2.77	2.74
Q45000003	2.74	2.10
Q45000004	1.56	1.30
Q45000005	0.37	0.25
Q45000034	0.01	0.02
Q45000035	0.01	0.01
Q45000043	0.33	0.21
Q45000044	0.14	0.09
Q45000045	0.12	0.21
Q45000047	0.27	0.25
Q45000058	0.14	0.14
Q45000059	0.00	0.00
Q45000088	2.11	1.22
Q45000090	0.01	0.01
Q45000117	0.30	0.22
Q45000804	2.09	1.67
Q45001404	0.18	0.18
Q45001412	0.14	0.16
Q46000001	0.56	0.40
Q46000016	0.08	0.08
Q46000017	0.46	0.35
Q46000018	0.02	0.02
Q46000019	0.03	0.02
Q46000020	0.25	0.24

Bilag 4: Antal modelceller for terrænnært grundvand i byen

B-Tabel 4: Antal modelceller med terrænnært grundvandsspejl over tærskelværdi for Scenarie-gruppe 1.

15

		Antal modelceller med terrænnær gv-spejl over tærskelværdi (antal by-celler total: 11467)				
		Nul-scenarie	Reference	Tilladelse	Nye kildepladser A	Nye kildepladser B
75%- percentil	< 3m under terræn	11436	11434	11432	11432	11433
	< 1.5m under terræn	10236	10203	10180	10180	10178
99%- percentil	< 3m under terræn	11460	11460	11460	11460	11460
	< 1.5m under terræn	11094	11085	11088	11088	11088

B-Tabel 5: Antal modelceller med terrænnært grundvandsspejl over tærskelværdi for Scenarie-gruppe 2.

		Antal modelceller med terrænnær gv-spejl over tærskelværdi (antal by-celler total: 11467)				
		Nul-scenarie	Reference	Eksercermarken A	Eksercermarken B	Eksercermarken C
75%- percentil	< 3m under terræn	11436	11434	11432	11432	11432
	< 1.5m under terræn	10236	10203	10163	10165	10180
99%- percentil	< 3m under terræn	11460	11460	11460	11460	11460
	< 1.5m under terræn	11094	11085	11085	11085	11087

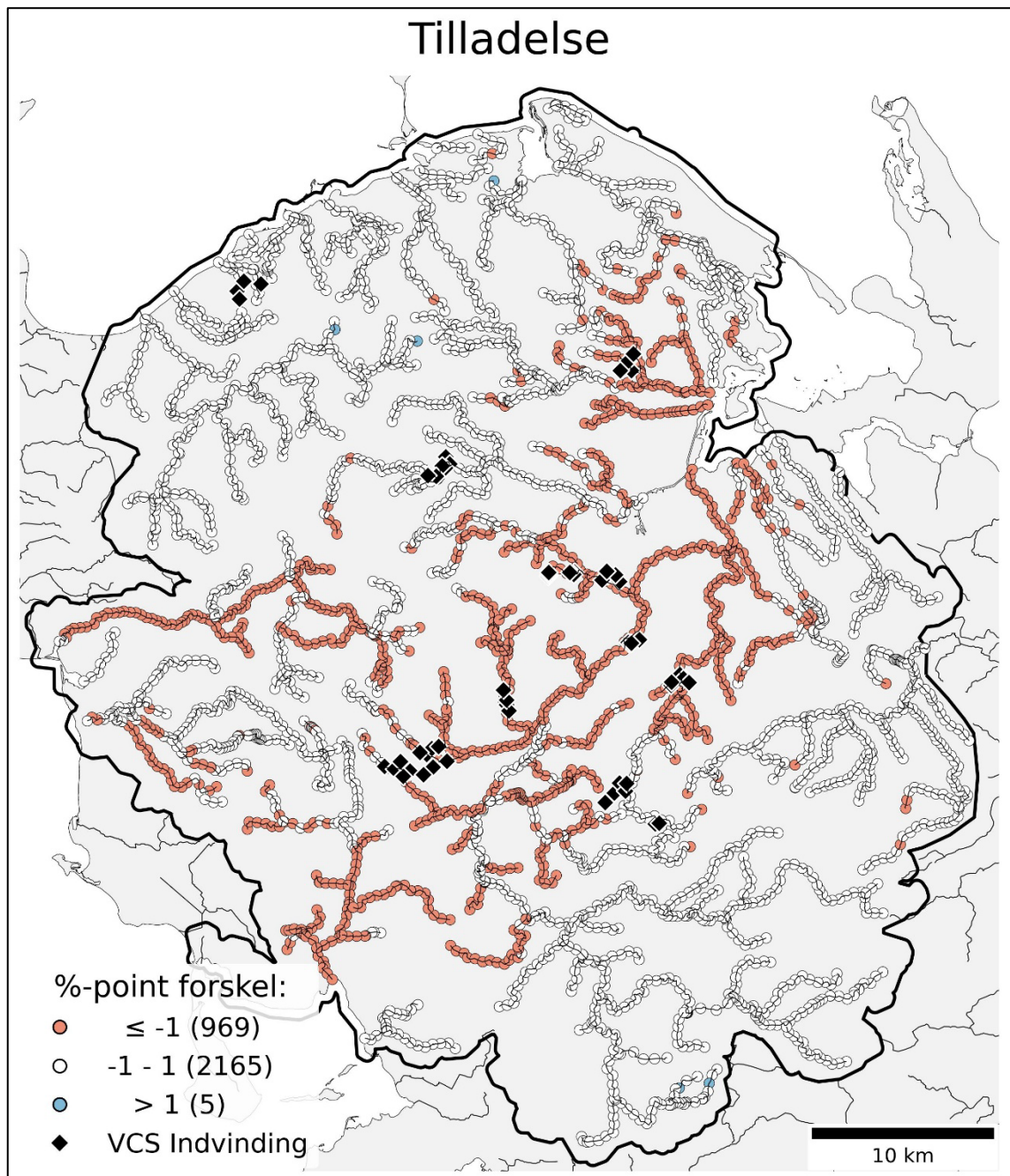
B-Tabel 6: Antal modelceller med terrænnært grundvandsspejl over tærskelværdi for Scenarie-gruppe 3.

		Antal modelceller med terrænnær gv-spejl over tærskelværdi (antal by-celler total: 11467)									
		Nul-scenarie	Reference	Ref - E	Ref - BB	Ref - Ho	Ref - L	Ref - Lu	Ref - D	Ref - Bo	
75%- percentil	< 3m under terræn	11436	11434	11435	11435	11435	11435	11434	11435	11435	
	< 1.5m under terræn	10236	10203	10209	10211	10204	10213	10203	10204	10204	
99%- percentil	< 3m under terræn	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	
	< 1.5m under terræn	11094	11085	11094	11094	11086	11085	11089	11085	11085	

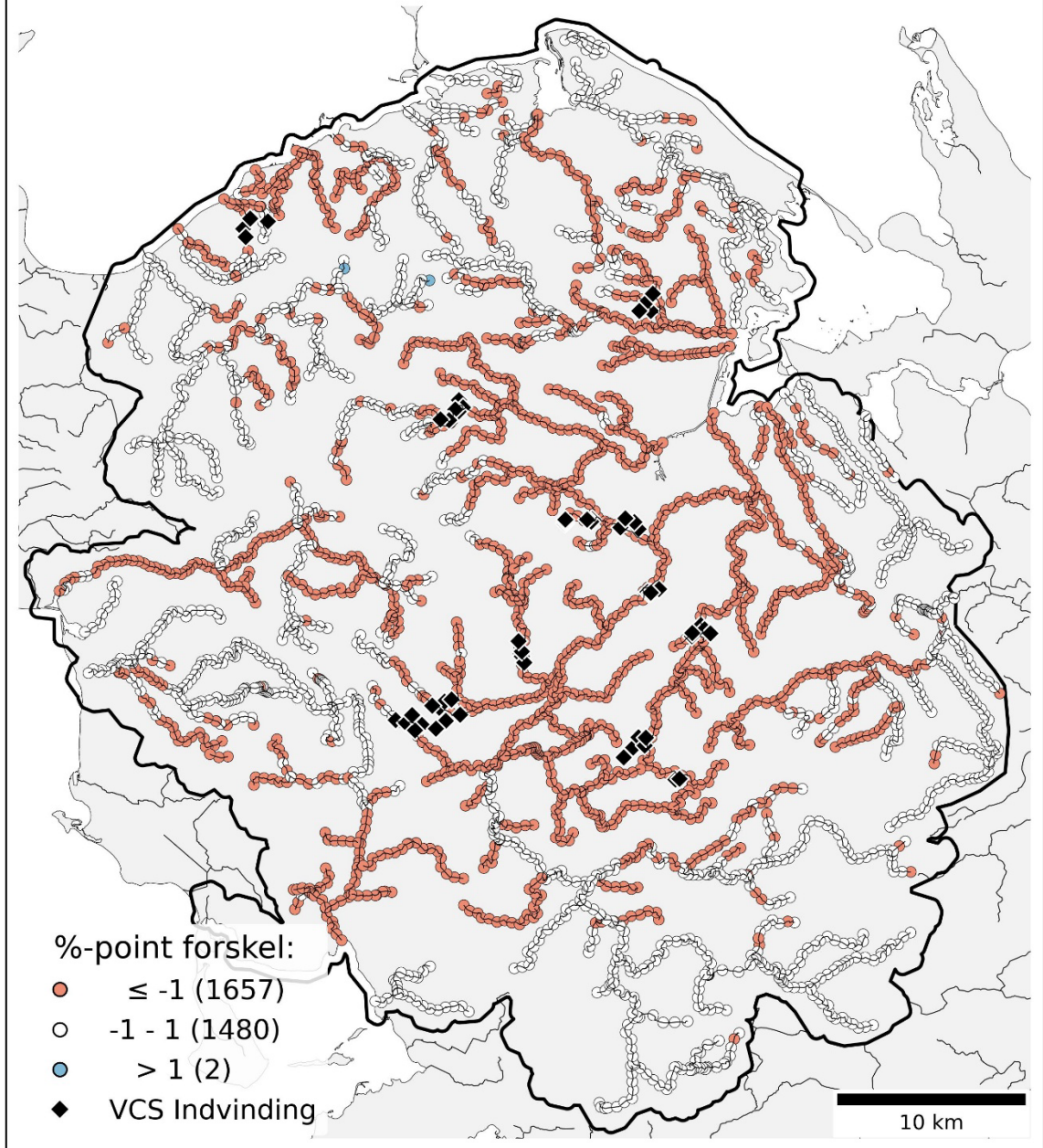
		Antal modelceller med terrænnær gv-spejl over tærskelværdi (antal by-celler total: 11467)					
		Nul-scenarie	Reference	Nye kildepl. B	Nye kildepl. B - Tr	Nye kildepl. B - Sk	Nye kildepl. B - NS
75%- percentil	< 3m under terræn	11436	11434	11433	11433	11433	11432
	< 1.5m under terræn	10236	10203	10178	10178	10177	10182
99%- percentil	< 3m under terræn	11460	11460	11460	11460	11460	11460
	< 1.5m under terræn	11094	11085	11088	11087	11088	11087

Bilag 5: Påvirkning af medianafstrømningen i vandløbene – plots

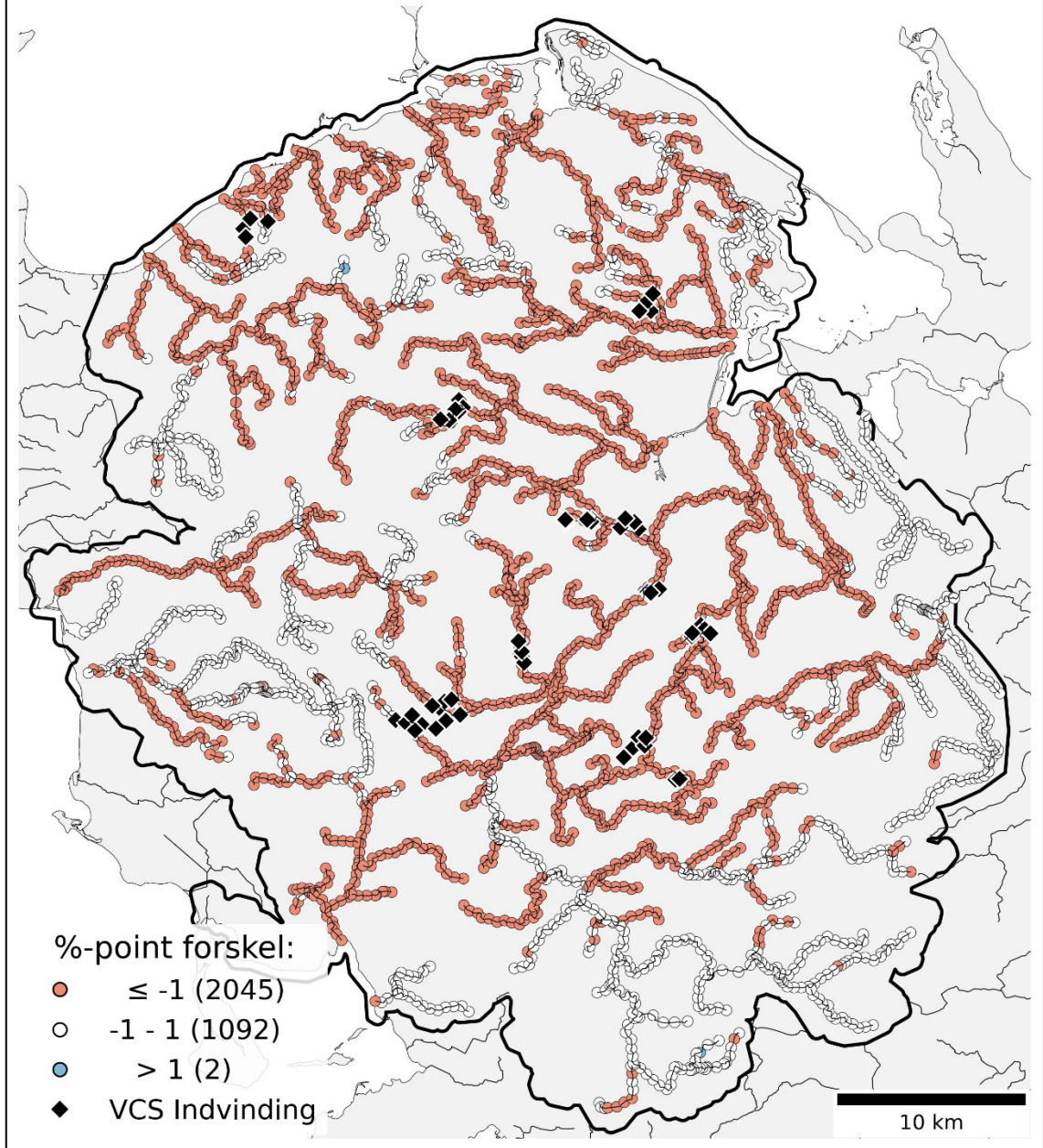
Scenariegruppe 1: Indvindingsscenarier



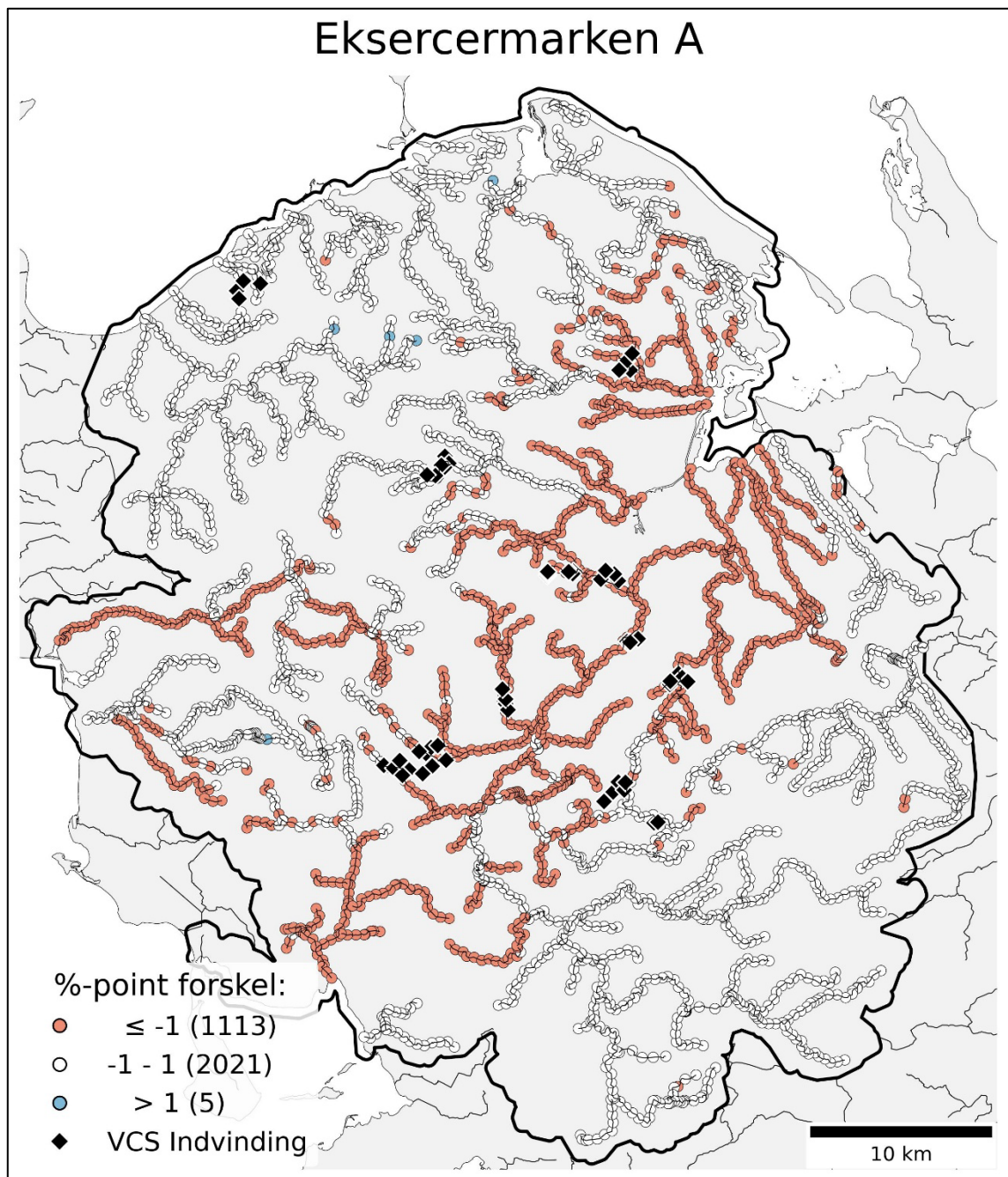
Nye Kildepladser A



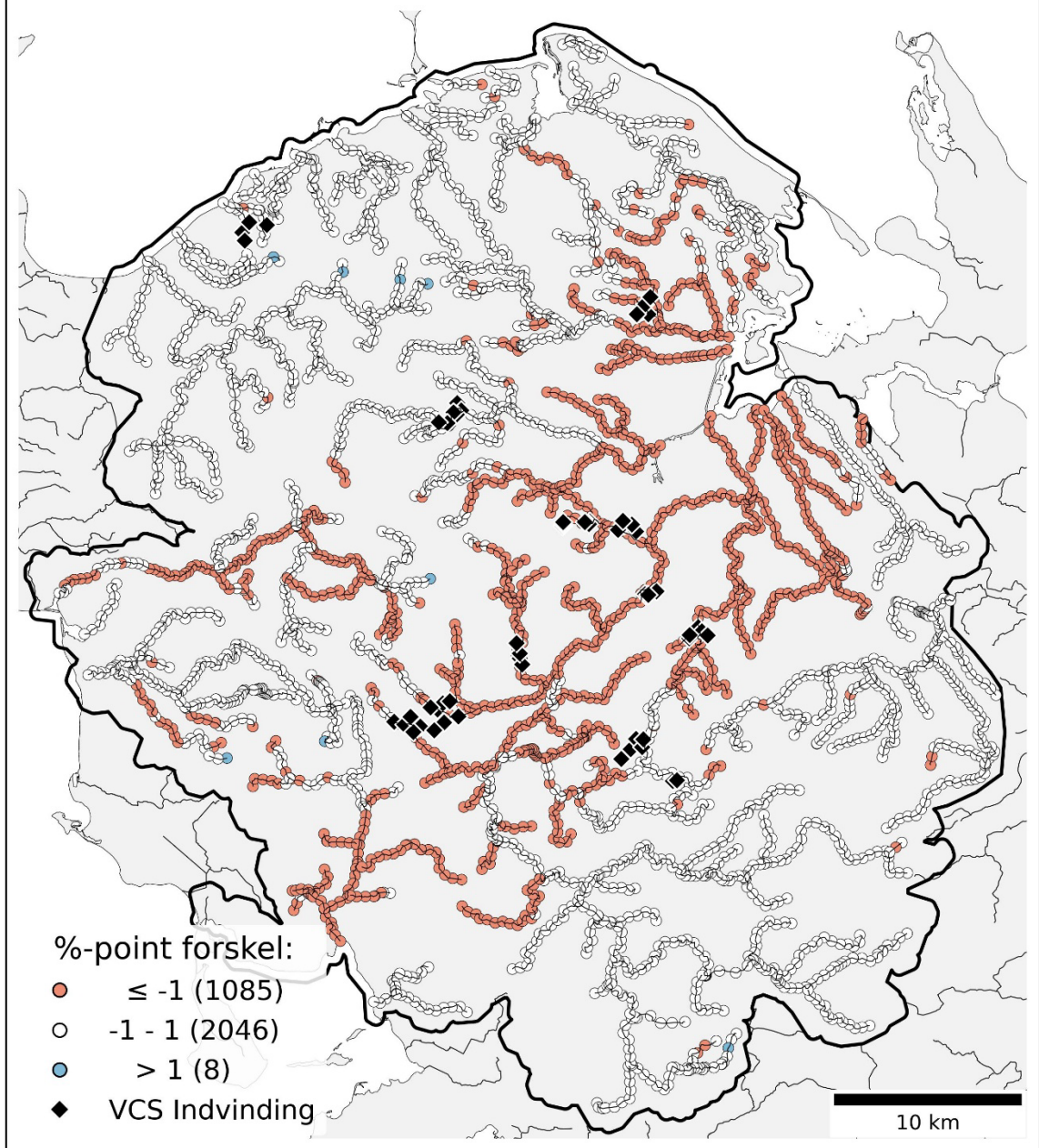
Nye Kildepladser B



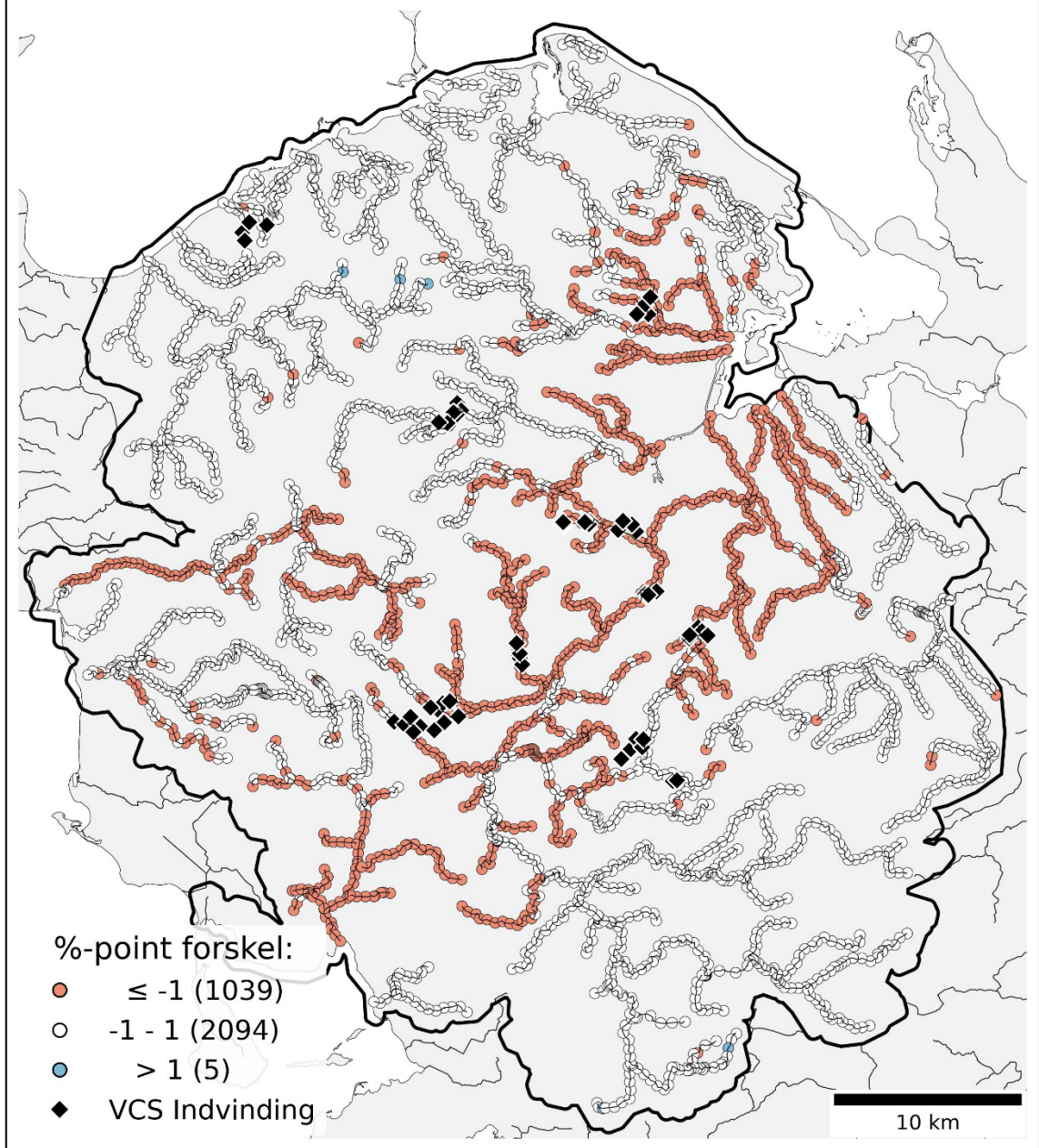
Scenariegruppe 2: Eksercermarkensscenarier



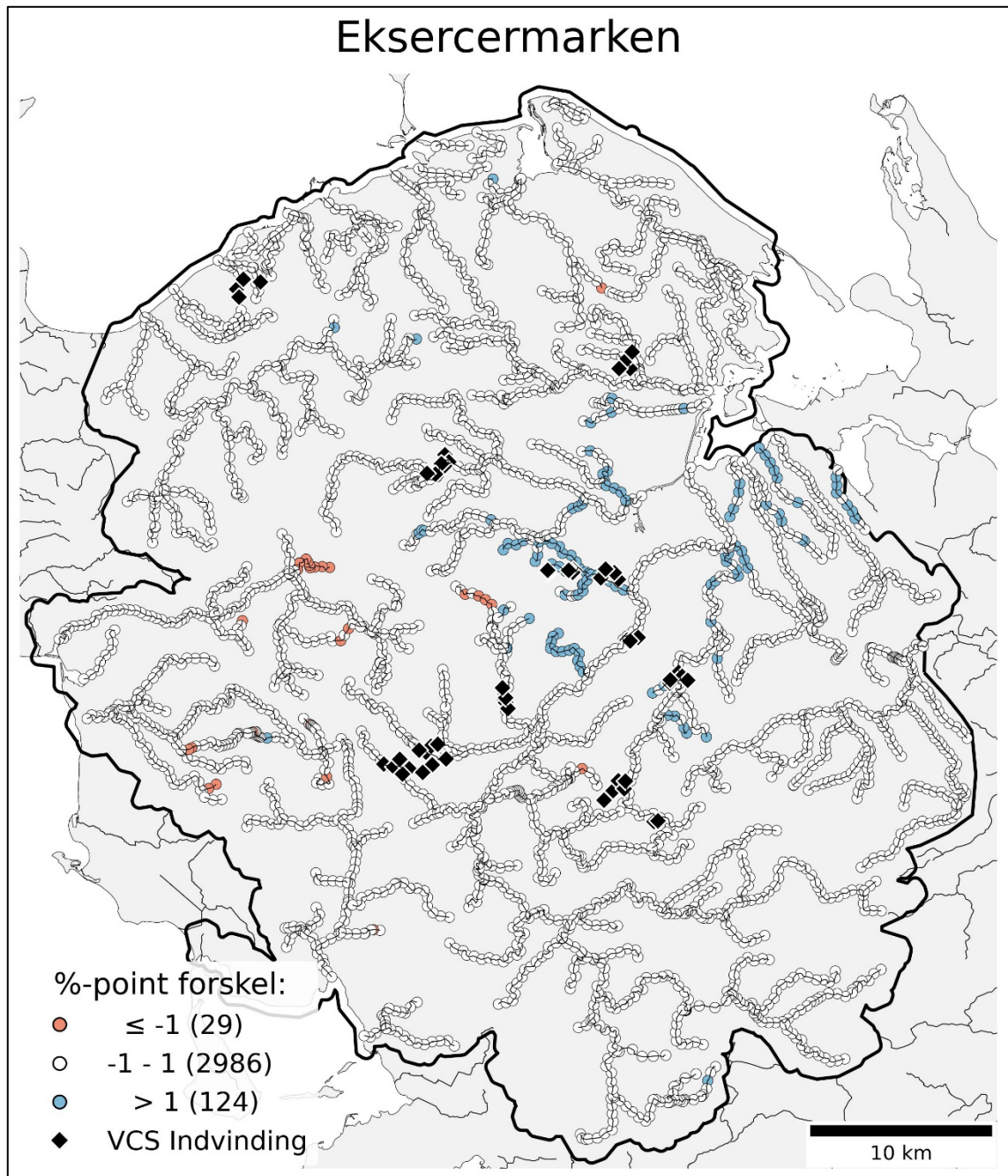
Eksercermarken B



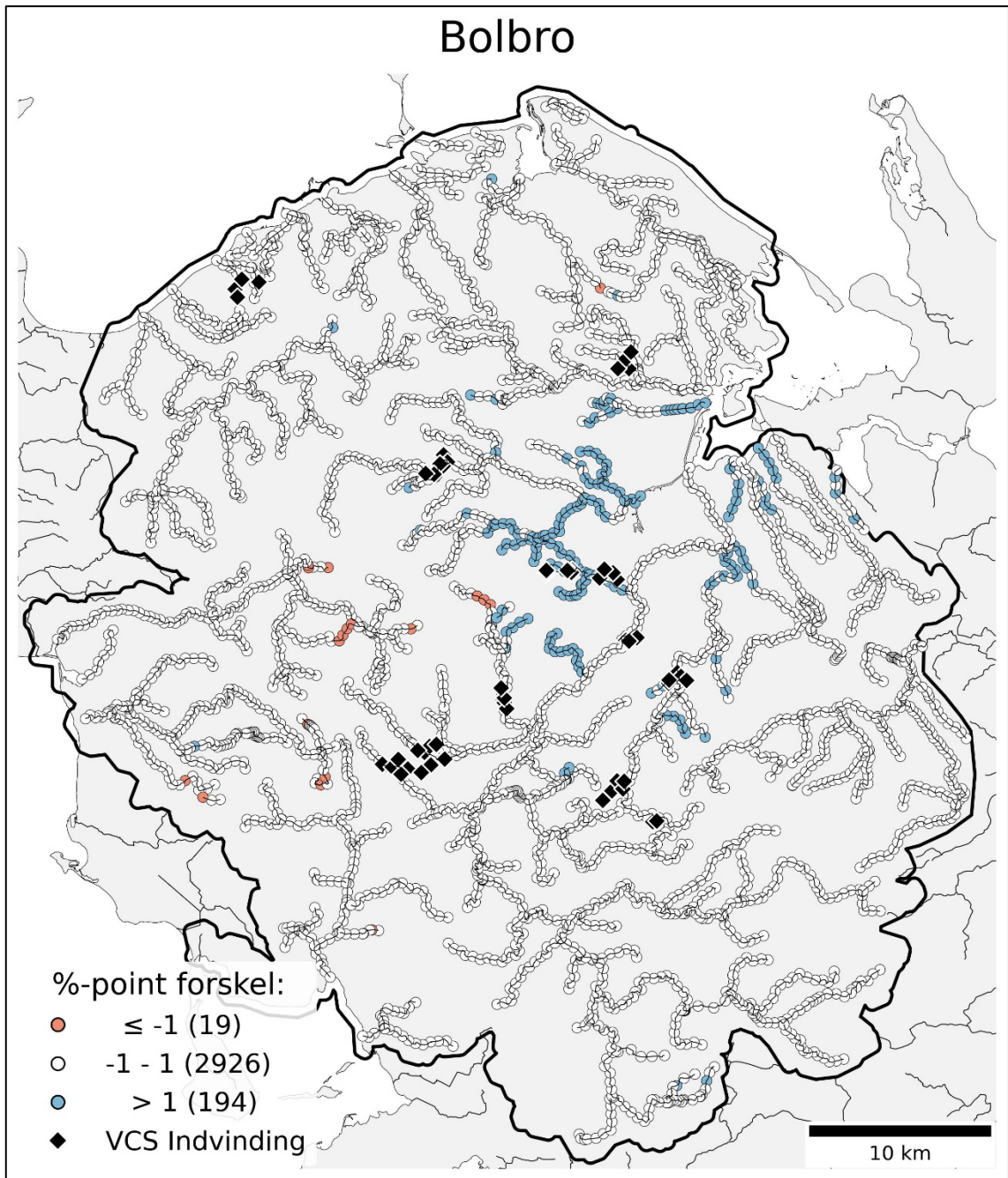
Eksercermarken C



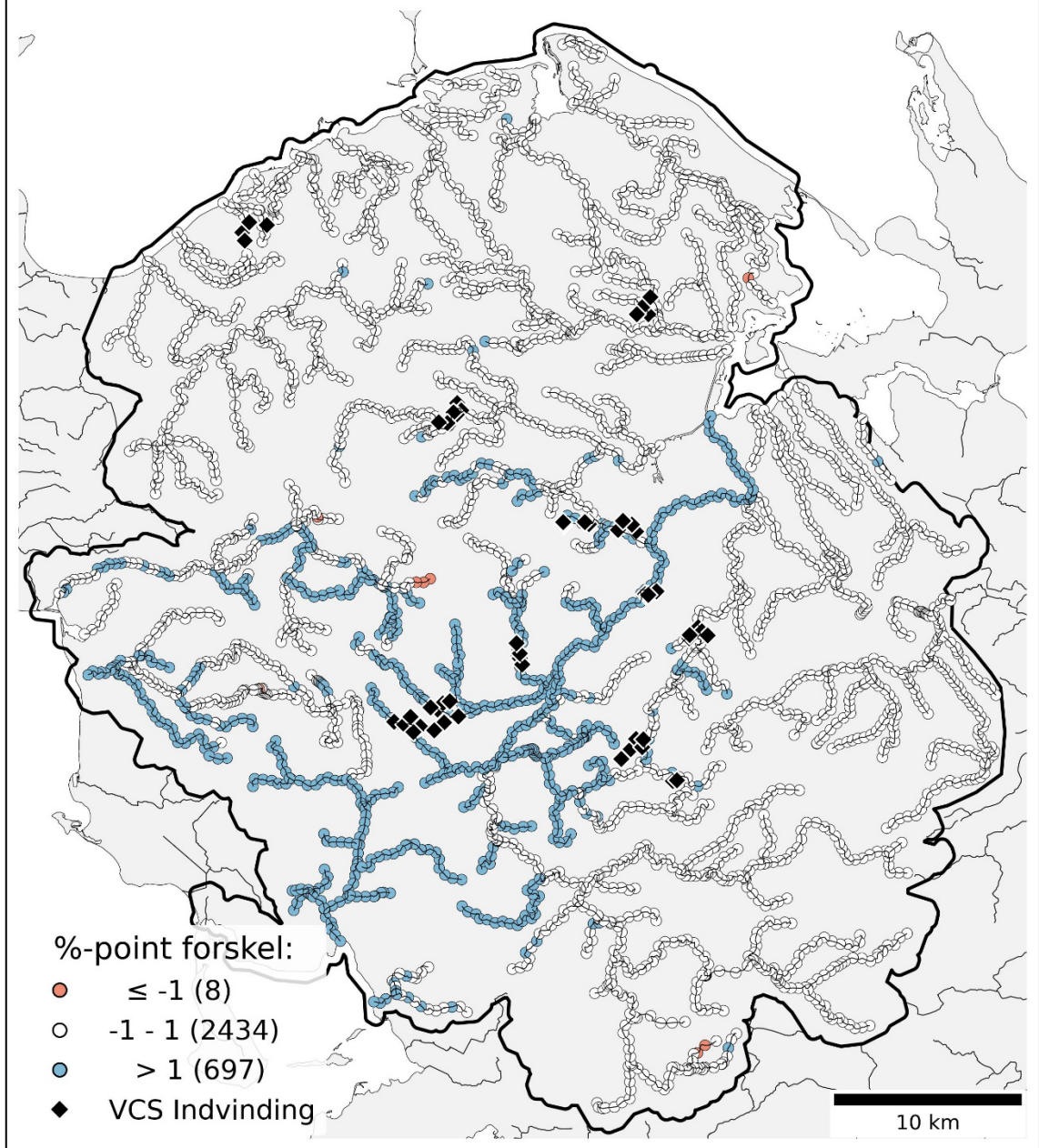
Scenariegruppe 3: Konsekvensberegninger

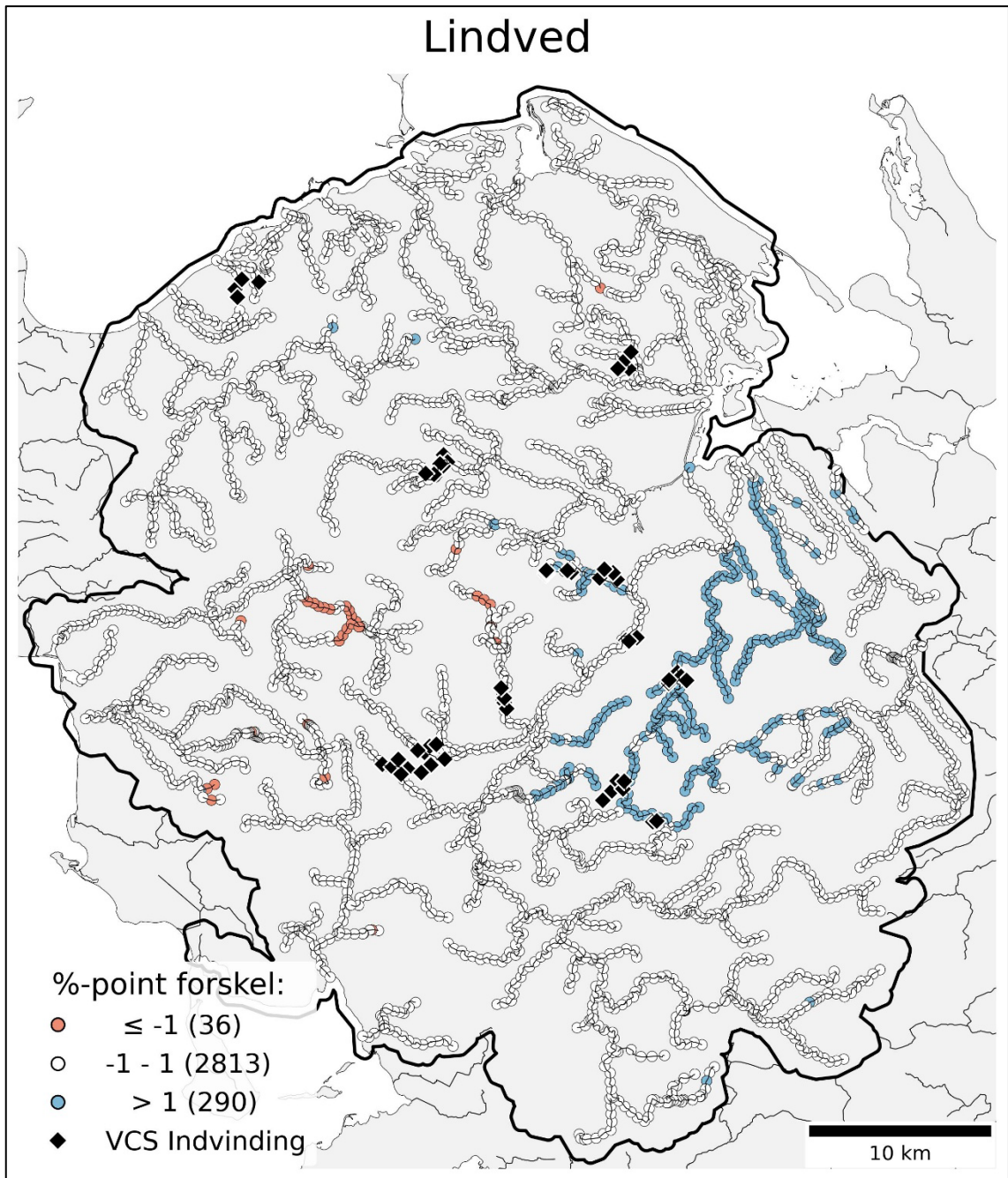


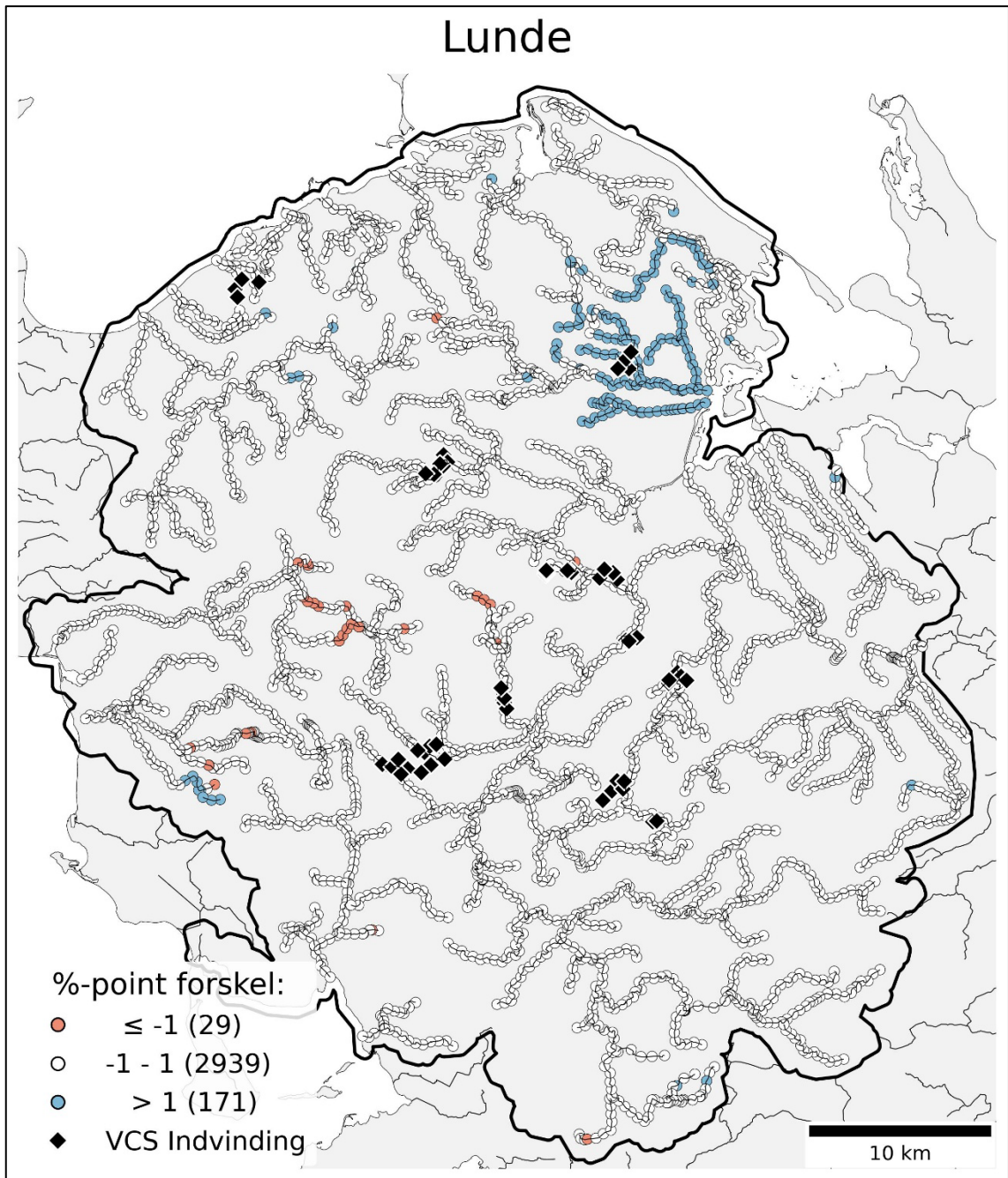
Bolbro

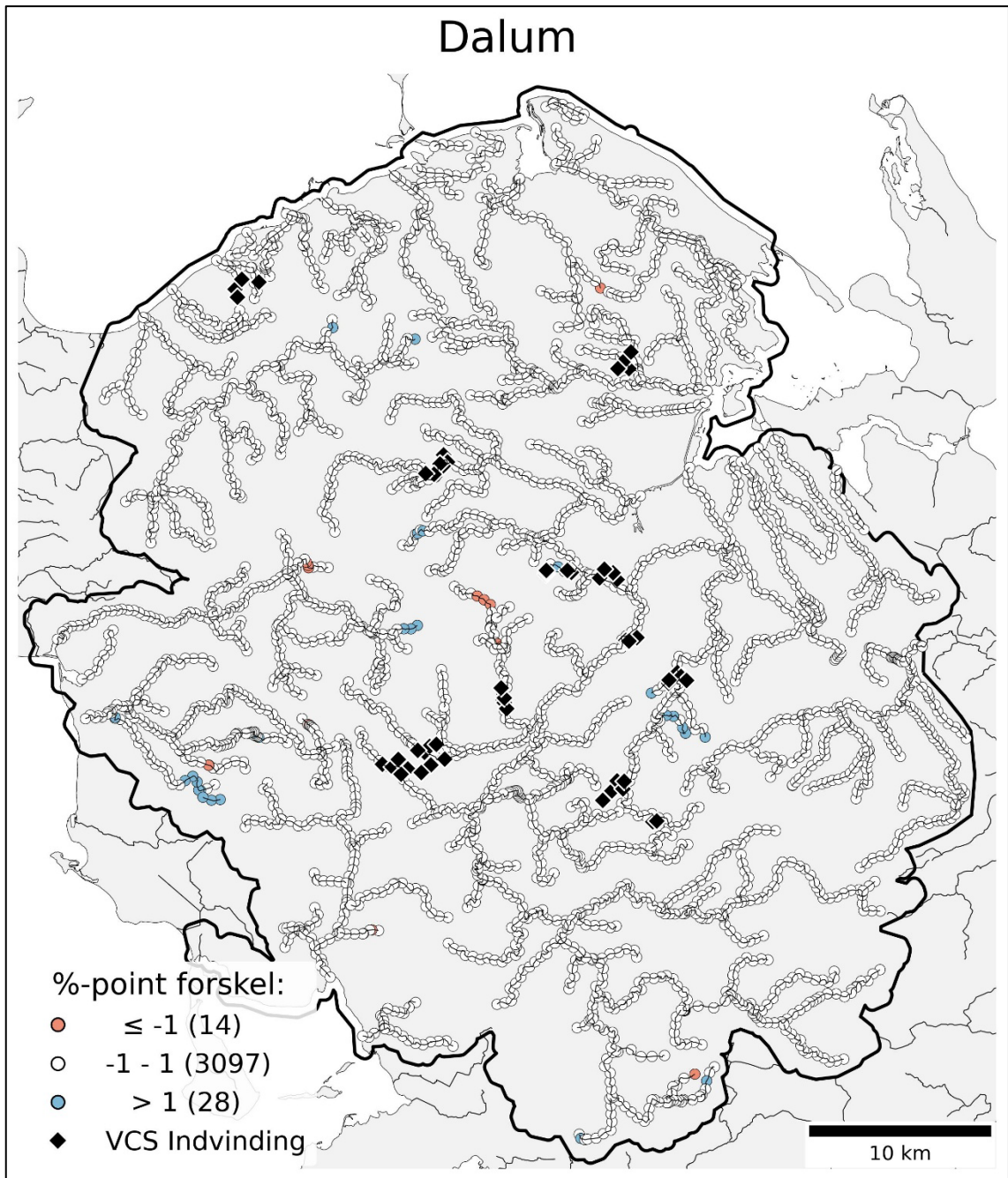


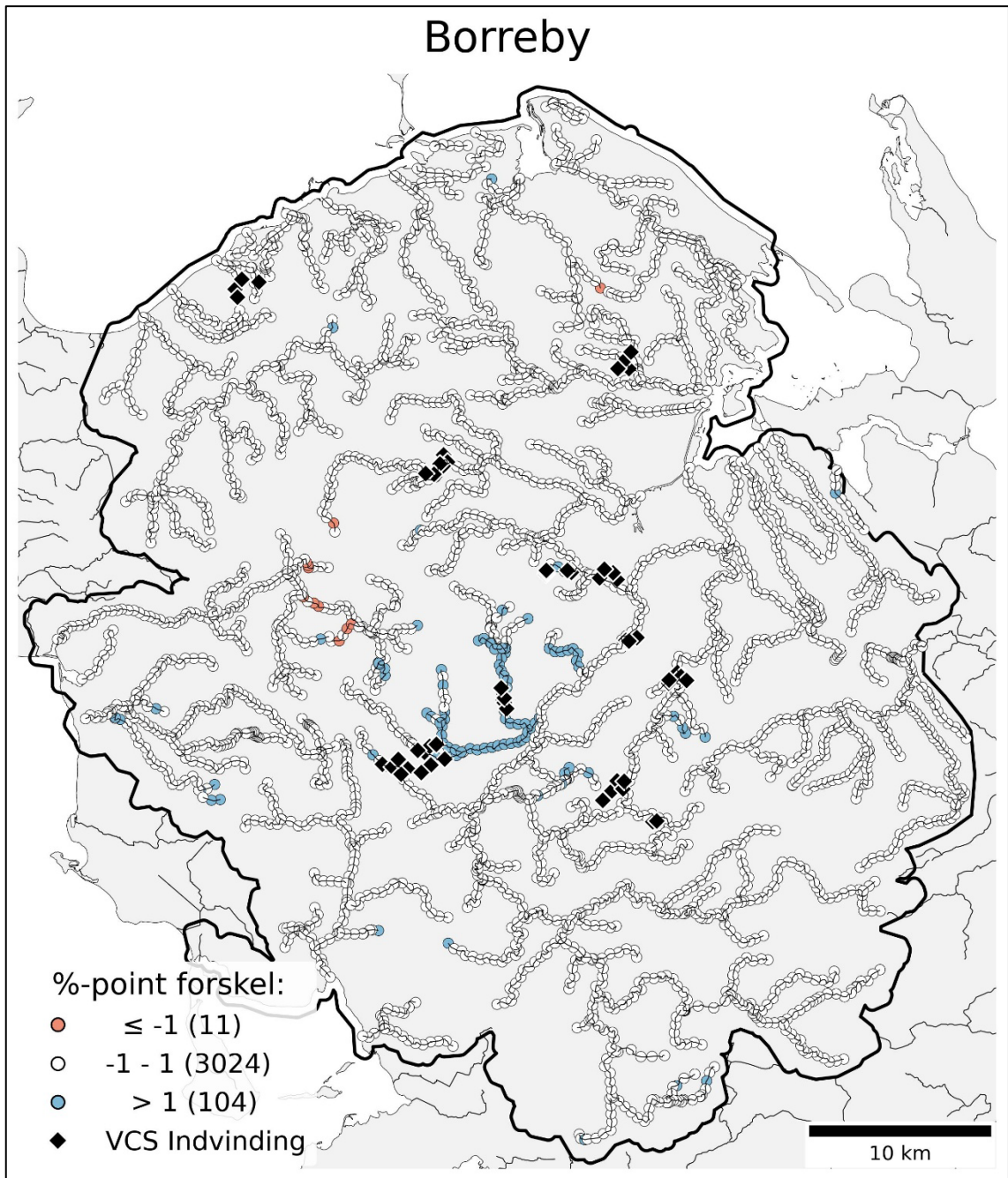
Holmehave



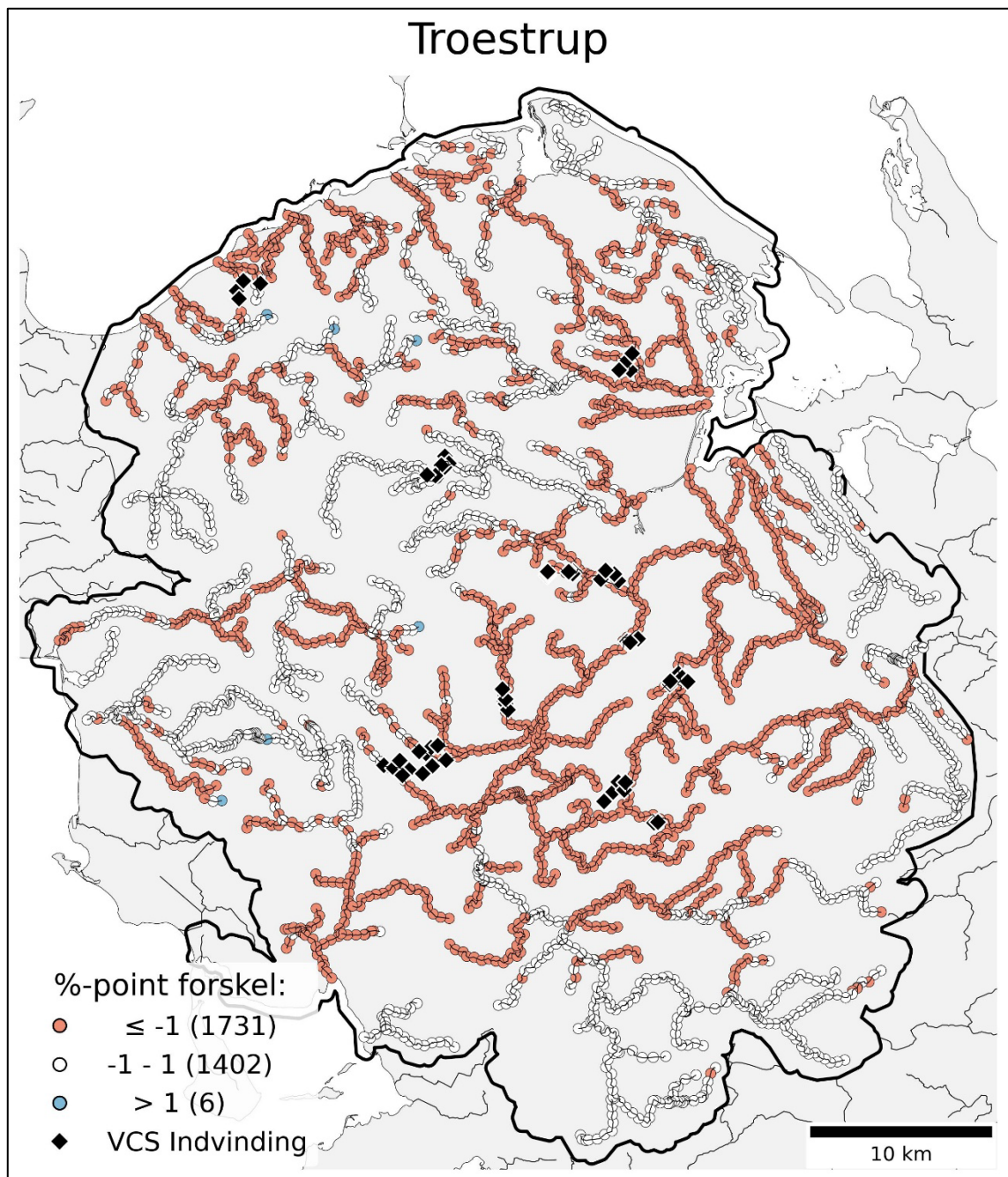




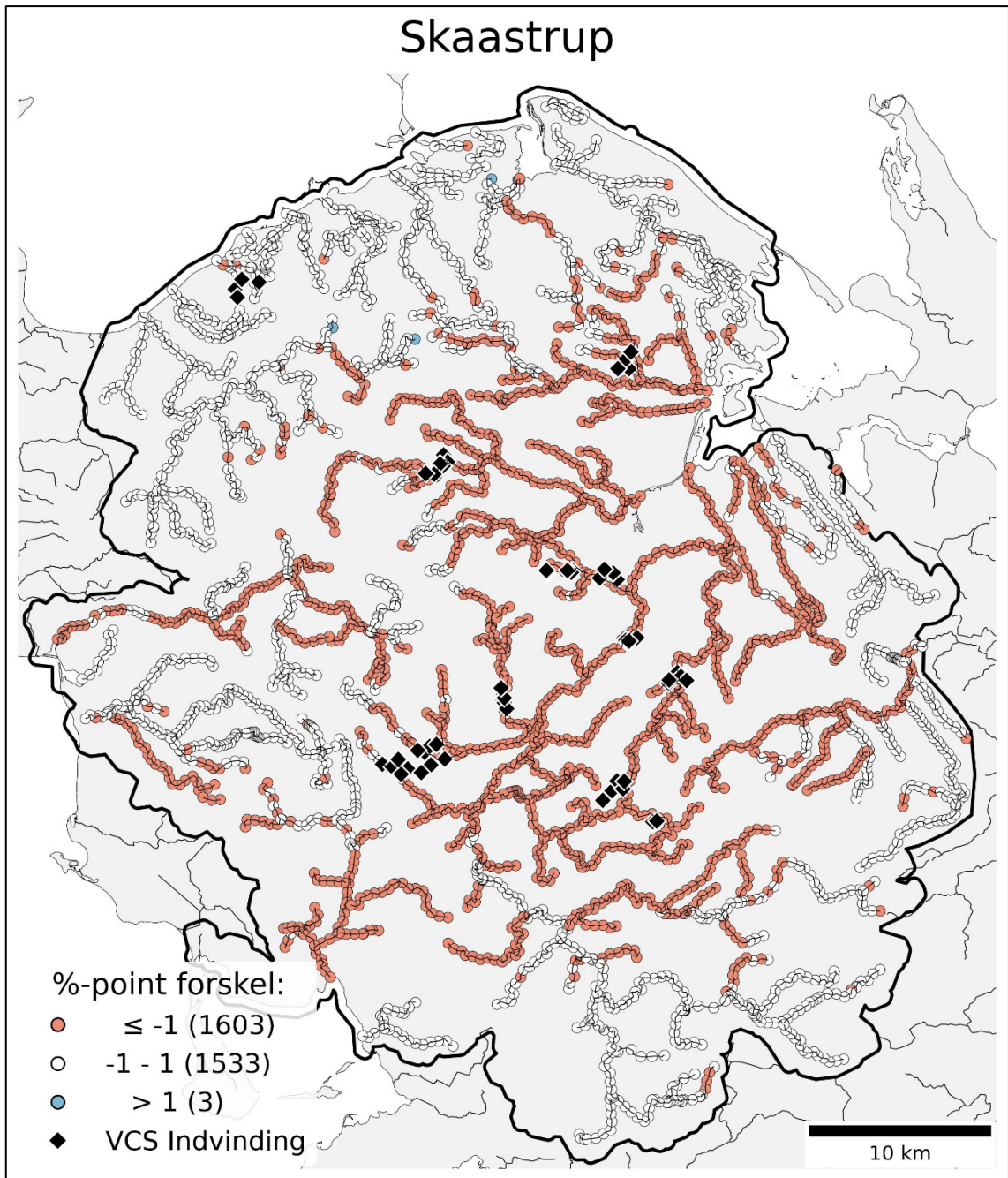




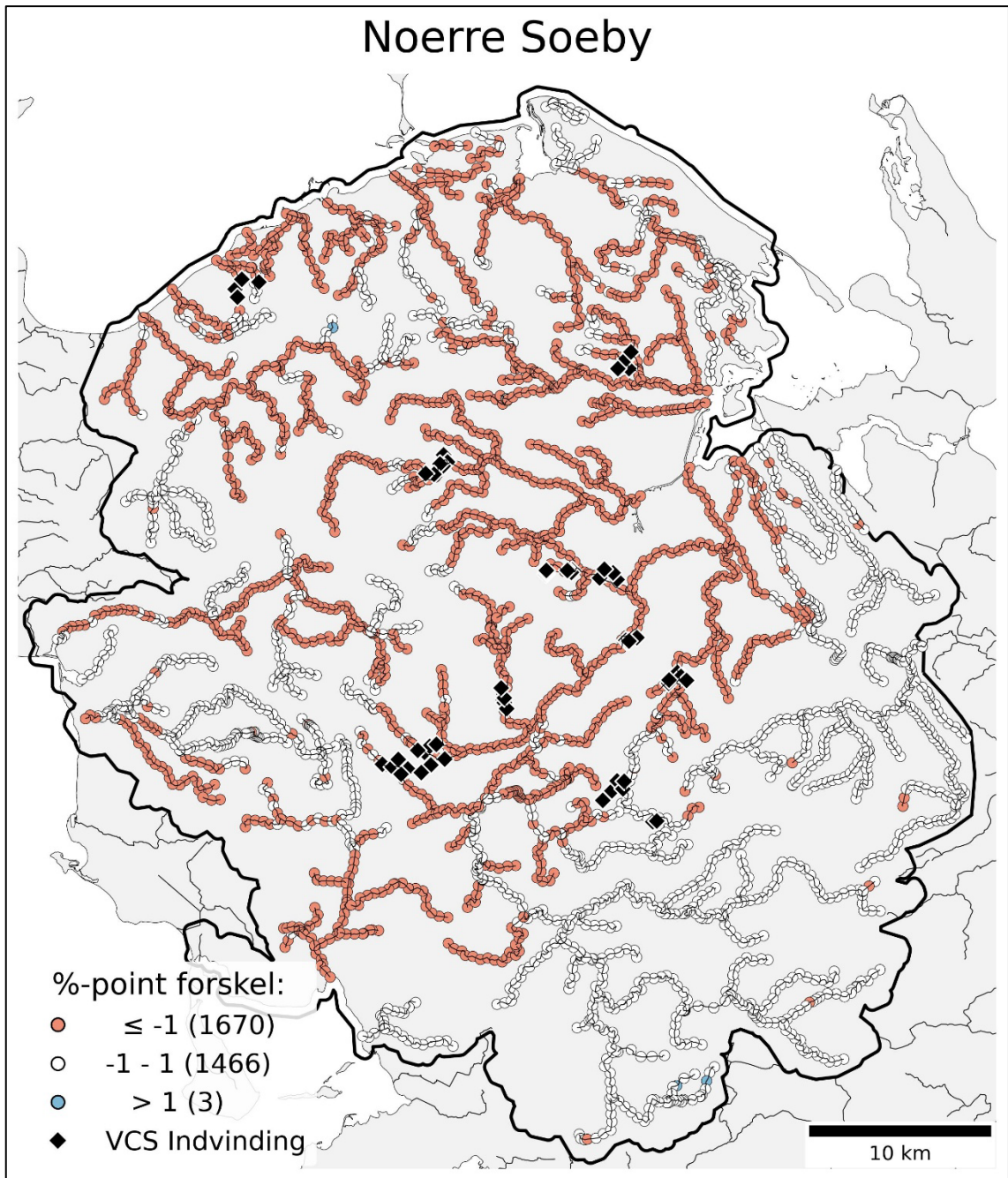
Scenariegruppe 4: Konsekvensberegninger nye kildepladser

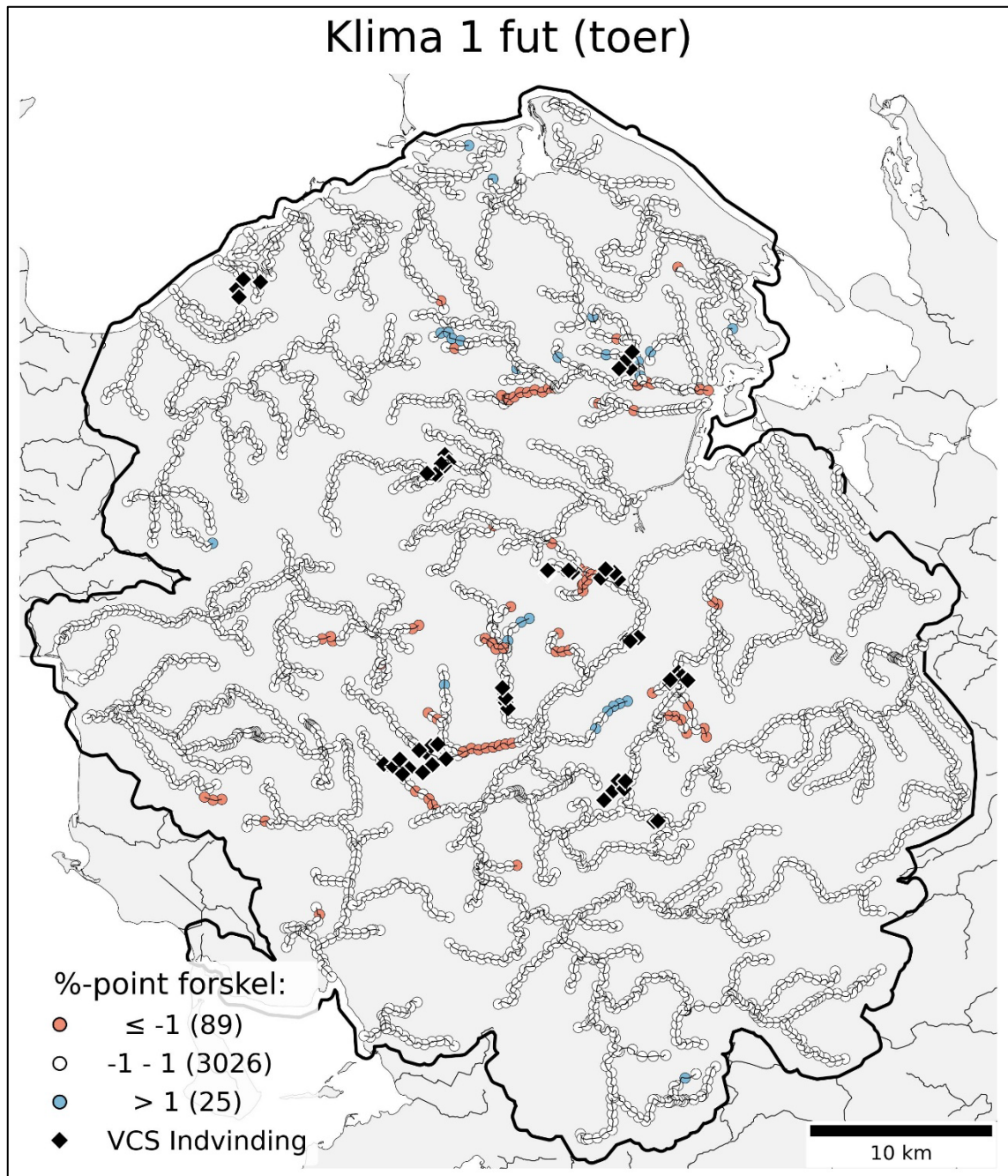


Skaastrup

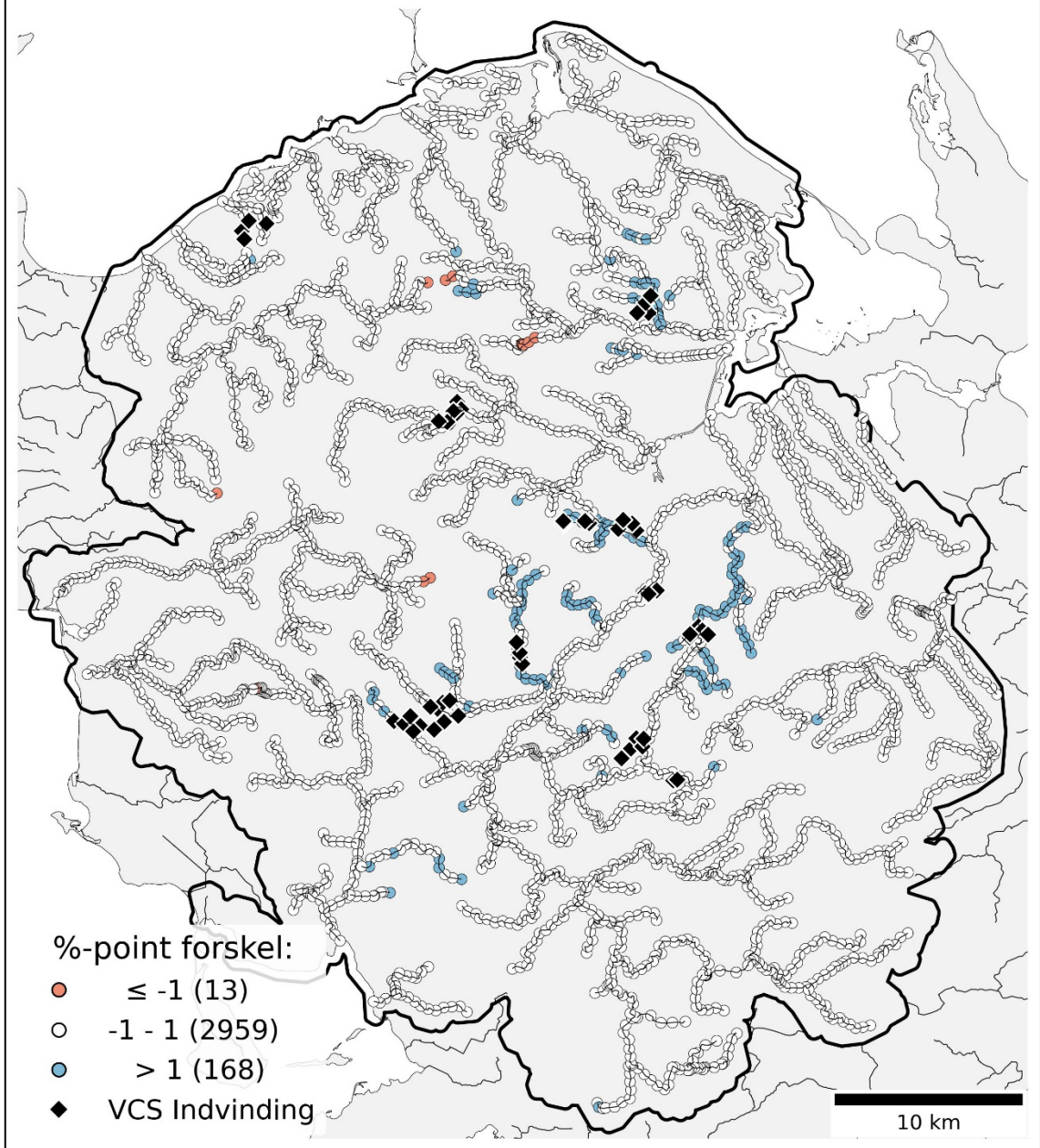


Noerre Soeby





Klima 2 fut (median)



Klima 3 fut (vaad)

