

Vurdering af klimaændringers påvirkning af vandmiljøet i forhold til ændringer af grundvandsstanden (NIFA)

Undersøgelse af betydning af klimaforandringer for vandområdeplanens tilstandsvurderinger, overvågning og klimarobusthed af virkemidler i forhold til grundvand i to oplande: Ringkøbing fjord oplandet og Midtsjælland

Hans Jørgen Henriksen, Annesofie Jakobsen
& Torben Sonnenborg

Vurdering af klimaændringers påvirkning af vandmiljøet i forhold til ændringer af grundvandsstanden (NIFA)

Undersøgelse af betydning af klimaforandringer for vandområdeplanens tilstandsvurderinger, overvågning og klimarobusthed af virkemidler i forhold til grundvand i to oplande: Ringkøbing fjord oplandet og Midtsjælland

Hans Jørgen Henriksen, Annesofie Jakobsen
& Torben Sonnenborg

Forord

Forfattere: Hans Jørgen Henriksen, Annesofie Jakobsen og Torben Sonnenborg GEUS.

Udgiver: GEUS (Sammenfattende notat udgivet i form af GEUS rapport 2020/17).

Udgivelsesår: 2020

Redaktion afsluttet: 30. Juni 2020

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse:

Emneord: Klimaændringer, kvantitativ tilstand for grundvand, ændret vandbalance, afstrømning, grundvandstrykniveau, grundvandsstand og økologisk flow. Overvågningsprogram og klimarobusthed af virkemidler relateret til grundvand. Ringkøbing fjord opland og Midtsjælland opland.

Projektet er gennemført som et forskningsprojekt med finansiering fra Landbrugsstyrelsen (tilsagn 33010-NIFA-18-696) og med en følgegruppe for projektet bestående af repræsentanter for GEUS og MFVM (MST Id nr.: 1355134).

Den del af undersøgelsen der har haft særlig fokus på økologisk flow er fremsendt til publicering i Journal of Hydrology, Regional Studies (ERHJ-D-20-00074): Henriksen H.J., Jakobsen A., Pasten-Zapata E., Troldborg L. og Sonnenborg T (submitted 25. Maj 2020 - i review): "Assessing the impacts of climate change on hydrological regimes and ecological flow by hydrological modelling".

Indholdsfortegnelse

Forord	4
1. Formål	7
2. Baggrund	9
3. Metodik	11
3.1 Hydrologiske modeller (AP1).....	14
3.2 Klimascenarier og –modeller (AP2).....	14
3.3 Analyser af klimafølsomhed (AP3)	15
3.4 AP4 Evaluering af overvågningsprogram	18
3.5 AP5 Evaluering af virkemidlers klimarobusthed	19
4. Tematiserede resultater	23
4.1 Ændringer i vandbalancen	23
4.1.1 Klimaeffekt på vandbalancen	23
4.1.2 Overvågningsprogram i forhold til vandbalance	25
4.1.3 Klimarobuste virkemidler der tænker i vandbalancen.....	25
4.2 Ændringer i grundvandsstanden	26
4.2.1 Klimaeffekt på grundvandsstand	26
4.2.2 Overvågningsprogram i forhold til grundvandsændringer.....	29
4.2.3 Virkemidler i forhold til ændret grundvandsstand	29
4.3 Ændringer i udnyttelsesgraden for grundvandsforekomster.....	30
4.3.1 Klimaeffekt på vandbalancer for grundvandsforekomster	30
4.3.2 Overvågningsprogram i relation til udnyttelsesgrad for grundvandsforekomster.....	31
4.3.3 Virkemidler i forhold til udnyttelsesgrad	31
4.4 Ændringer i vandløbsafstrømning	32
4.4.1 Klimaeffekter på vandløbspåvirkning.....	32
4.4.2 Overvågning af afstrømning	34
4.4.3 Virkemidler i forhold til ændret afstrømning	34
4.5 Ændring i økologisk flow	34
5 Konklusion	35
APPENDIX A – DEL 1 Processerede data og klimafremskrivninger	
APPENDIX A – DEL 2 Processerede data og klimafremskrivninger	
APPENDIX B Analyse af pejletidsserier for Ringkøbing Fjord og Midtsjælland	

1. Formål

Det overordnede formål med projektet er at kvantificere, i hvor høj grad klimainducerede ændringer i grundvandsstanden påvirker grundvandstilknyttede akvatiske og grundvandsafhængige terrestriske økosystemer i hhv. Øst- og Vest-danmark. Mere specifikt er formålet med projektet at kvalificere den eksisterende viden om, hvordan klimaforandringer påvirker vandmiljøet, herunder hvordan en øget grundvandsstand som følge af klimaforandringer kan håndteres.

Projektet skal belyse, (a) om klimaforandringer, i forhold til grundvand, vil kunne have betydning for vandområdeplanens tilstandsvurderinger mht. grundvand, (b) om overvågningsprogrammet er sammensat på en måde, der vil kunne øge viden om klimaforandringernes betydning for grundvandsforekomsternes tilstand, og (c) om de virkemidler, der eventuel kommer i spil i grundvandssammenhæng, er "klimarobuste". Vurderingen er fremskrevet til 2050 på basis af RCP 4.5 og 2100 på basis af RCP 8.5. Der er anvendt tre udvalgte klimamodeller til fremskrivningen til 2100.

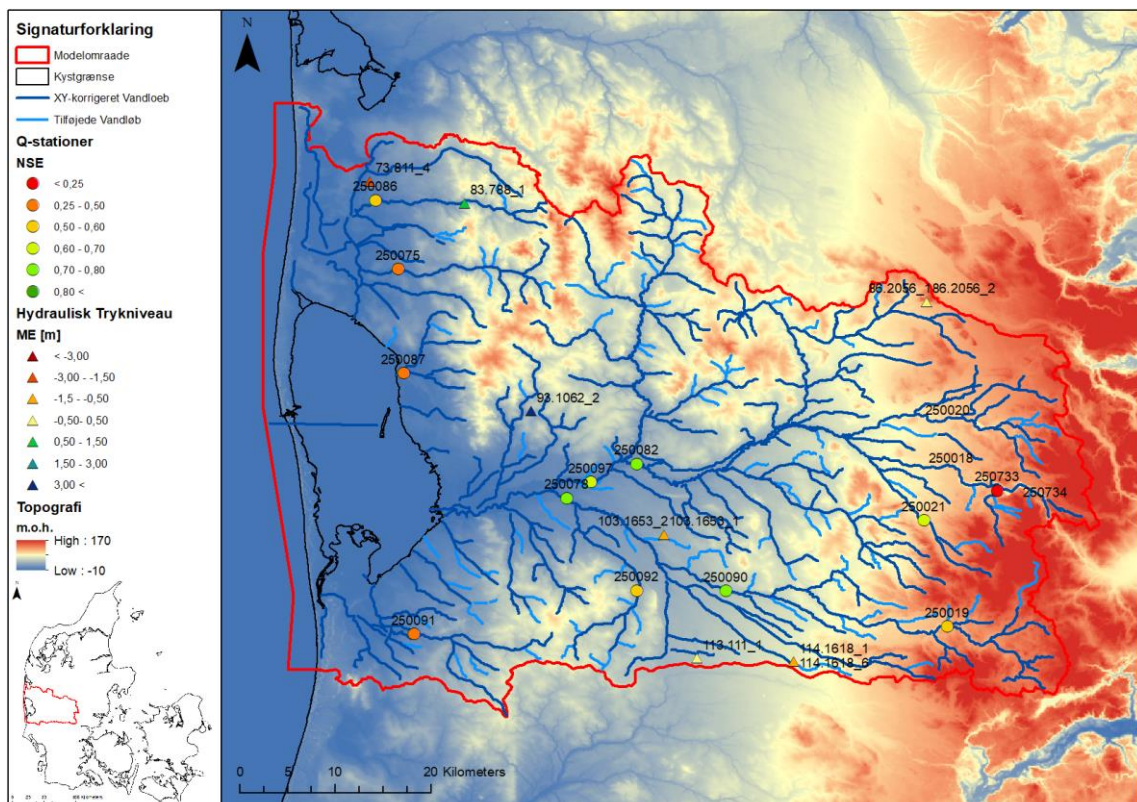
2. Baggrund

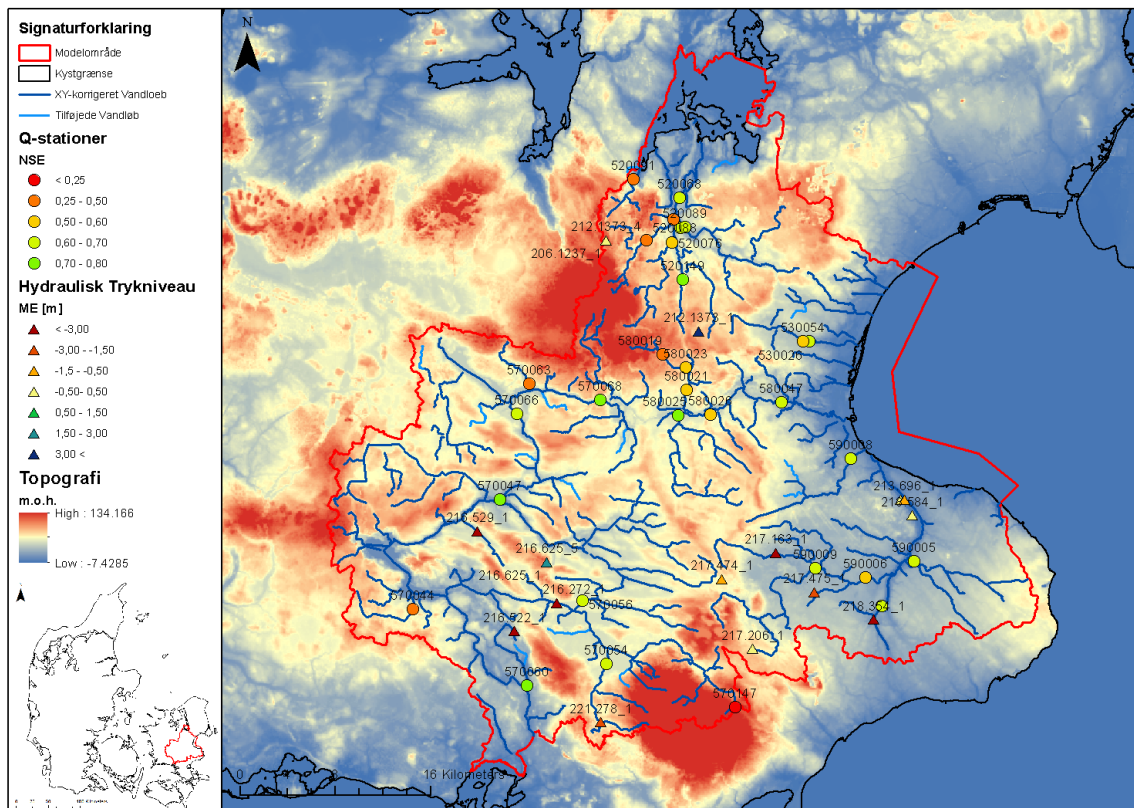
Grundvandsdannelsen forventes ifølge de fleste klimascenarier at ville stige i vinterhalvåret, men samtidig vil hyppigheden og varigheden af tørkeperioder i sommerhalvåret (som sommeren 2018) stige (Henriksen et al. 2014). Det er uvist, om den øgede grundvandsdannelse om vinteren med stigende grundvandsstand og dermed indstrømning til vandløb til følge vil kunne kompensere de nedbørsfattige sommerperioder mht. vandføring og dermed vandstand i vandløb. Balancen mellem øget indstrømning gennem vandløbsbunden, som fødes af store grundvandsforekomster, og reduceret tilstrømning fra terrænnære strømningsveje (f.eks. dræn og sekundære magasiner) om sommeren vil bl.a. afhænge af de geologiske og geografiske karakteristika i et givet område. Da disse forhold varierer markant fra Vest- til Øst-danmark må det forventes, at der vil optræde store geografiske variationer i klimafølsomheden. Der er imidlertid et hul i den nuværende viden om samspillet mellem grundvand og overfladevand i en situation, hvor klimaet ændrer sig og hvor ændringer trækker i hver sin retning i hhv. vinter- og sommerperioden.

3. Metodik

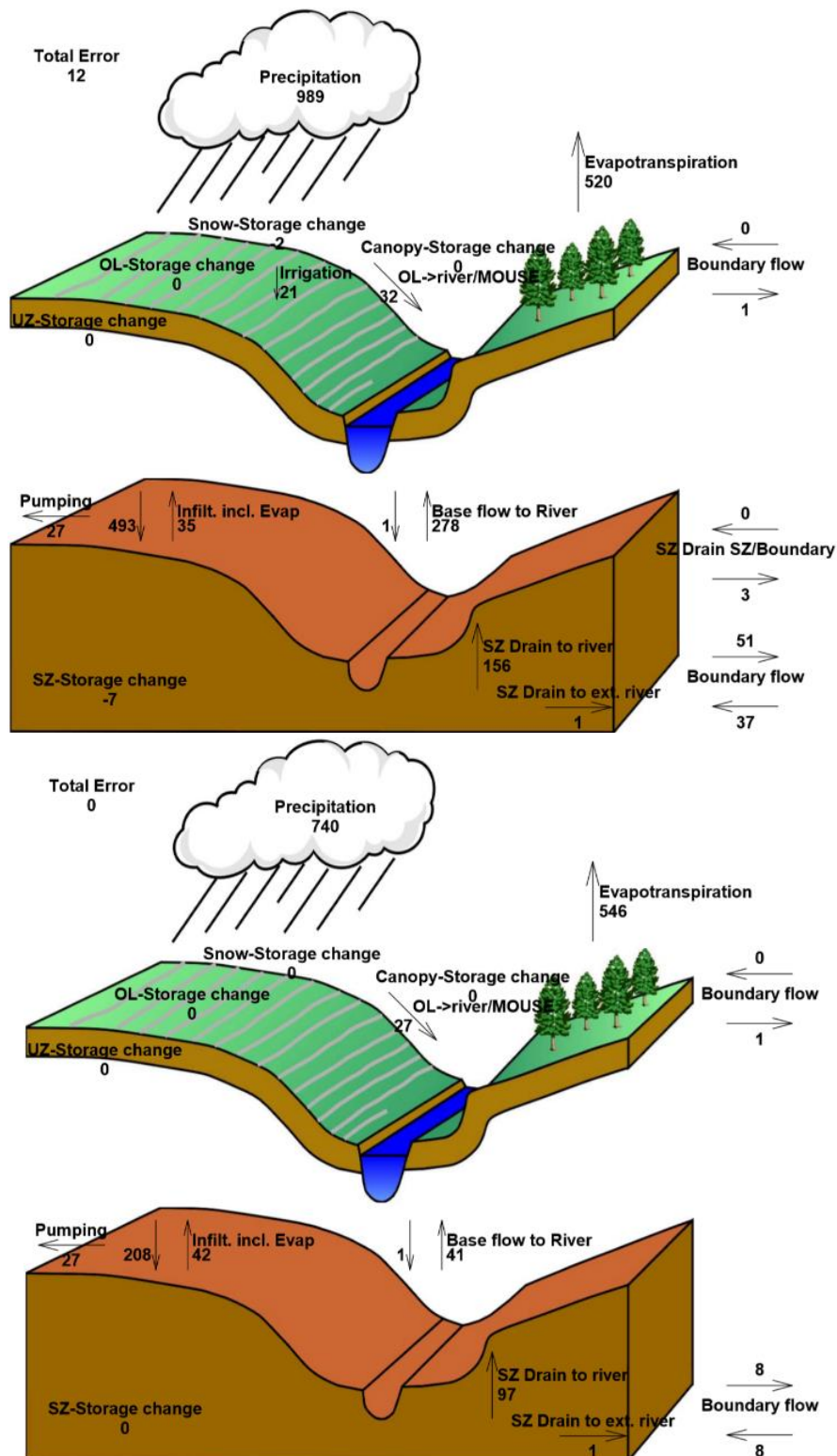
Der er fokuseret på to forskellige oplande i projektet (se Figur 1 og Figur A1): (1) Oplandet til Ringkøbing Fjord og (2) Oplandet til Suså-Tryggevælde å-Køge å-Langvand å i Midtsjælland. De to oplande er velegnede til opgaven, da de opfylder behov for problemstillinger med akvifer bæredygtighed (saltvandsind- og optrængning og andre grundvandskemiske ændringer) samt påvirkning af recipientmæssig bæredygtighed mhp. vandstand og vandføring i grundvandstilknyttede overfladevande (environmental/ecological flow).

Oplandet til Ringkøbing Fjord er karakteriseret ved en stor udstrømning af grundvand til vandløbssystemet, hvor oplandet på Midtsjælland er karakteriseret ved begrænset grundvandsudveksling, mens drænvandskomponenten har relativt stor betydning. Det forventes derfor, at de to projektområder reagerer forskelligt på klimaændringerne (van Roosmalen et al. 2007). Desuden er der store klimatiske forskelle på de to oplande, hvor nedbøren i Vestjylland er signifikant større end nedbøren på Midtsjælland. Samtidig er grundvandsindvinding til husholdning betydeligt lavere i Vestjylland, som dog i tørre år kan have en betydelig indvinding til markvanding (se Figur 2).





Figur 1 De to modellerede oplande. På plot er vist topografi, oplandsafgrænsning, vandløbs-setup (incl. tilføjede små vandløb vist med lyseblåt), placering af vandførings- og pejlemålestationer samt performance (NSE) og middelfejl på trykniveau (ME).



Figur 2 Vandbalancer (i mm/år) for de to oplande baseret på observeret klimainput fra DMI's klimagrid for perioden 1989-2018. Øverst: Vandbalance for Ringkøbing Fjord opland og nederst: Vandbalance for Midtsjælland Alle vandbalancer findes i Appendix A, afsnit A2.

Projektet er organiseret i fem arbejdsplaner (AP1-AP5). I det følgende gives en kortfattet sammenfatning af resultater af de enkelte arbejdsplaner.

3.1 Hydrologiske modeller (AP1)

Modellsystemet MIKE SHE (version 2019), der er et integreret hydrologisk modelsystem, er blevet anvendt i begge oplande. MIKE SHE er i stand til at beskrive interaktionen mellem grundvand og overfladevand. På basis af DK-modell2019¹ er der opstillet mere detaljerede modeller (med 200x200m gridceller) for oplandet til hhv. Ringkøbing Fjord og Midsjælland. Som randbetingelser anvendes fastholdt trykniveau mod havet i øverste lag i grundvandet samt gradientrandbetingelse hvor det har været vurderet påkrævet. Der er i modellerne for de to oplande (i forhold til DK-model2019) tilføjet flere vandløb, og gradient randbetingelser er baseret på analyser af fluxe på tværs af modelgrænser fra DK-model2019 samt resultater fra synkronpejlerunder på Sjælland. Desuden er øvrige inddatafiler detaljeret til 200m f.eks. topografi, markvanding mm. Der er ikke foretaget egentlig modelkalibrering, men parametre er overført fra den kalibrerede DK-model2019 og anvendt. For begge oplande er modellernes prædiktionssevne og fejl vurderet (performance tests) for de opstillede 200 m modeller ved sammenligning med DK-model2019 og på basis af observerede klimadata. For begge modeller blev der gennemført simuleringer for perioden 1989-2018 hvorefter der er udtrukket middelfejl (ME), root mean square error (RMSE), som er et på bud på usikkerheden på den gennemsnitlige prædiktionsfejl) og NashSutcliffe efficiency coefficient (NSE-R2, som mål for modellernes prædiktionssevne).

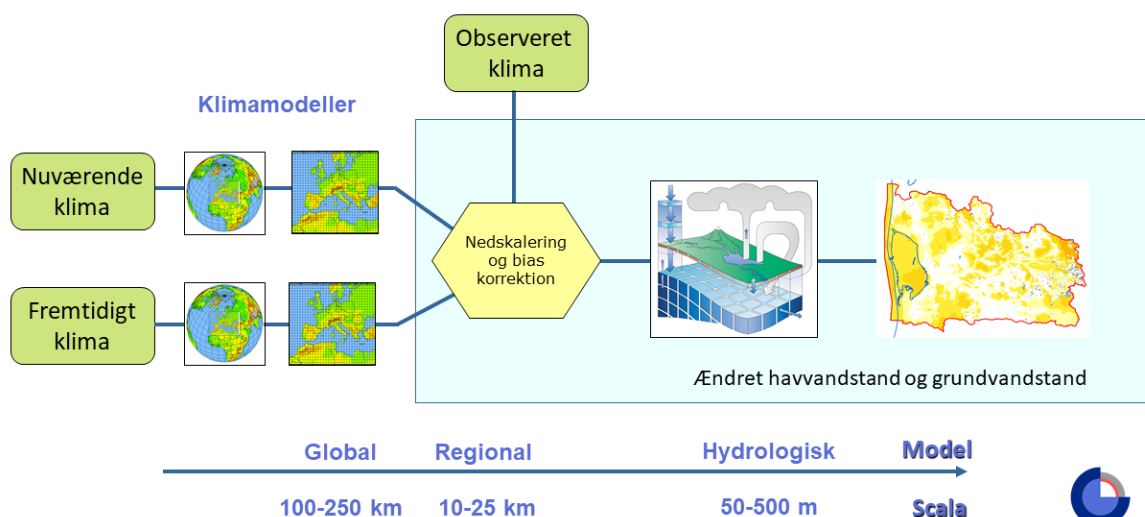
Resultatet af performance testen har vist at der er opnået samme eller forbedret performance i forhold til trykniveauet i monitoringsboringer (nationale pejletidsserier) i de to oplande. Afstrømninger i vandløbene er modelleret på et performanceniveau der svarer til DK-model2019. Der er udvalgt 8-9 vandføringsstationer (Q-stationer) i de to oplande og samtlige nationale pejlestationer er indbygget i setup.

3.2 Klimascenarier og –modeller (AP2)

Der er anvendt i alt fire forskellige scenarier i klimafremskrivningen for det to oplande. Der indgår 2 scenarier mhp. emission af drivhusgasser og tre forskellige klimamodeller. De tre første scenarier anvender RCP8.5 emissions scenariet² og med fremskrivning frem til 2071-2100. RCP8.5 er et højt udledningsscenarie med stigende udledning også efter 2100 ('Business as usual'). Scenarierne er: Scenarie I: RCP8.5 våd klimamodel (IPSL-CMSA-MR/RCA), Scenarie II: RCP8.5 median klima model (ICHEC-EC-EARTH/RACMO), Scenarie III: RCP8.5 tør klimamodel (ICHEC-EC-EARTH/HIRHAM) samt (Scenarie IV) RCP4.5 median klimamodel (ICHEC/HIRHAM) fremskrevet til 2041-2060. RCP4.5 er et rimeligt ambitiøst scenarie hvor CO2 udledningen topper omkring 2040, hvorefter udledningen falder. De fire modeller er udvalgt blandt i alt 16 RCP8.5 forskellige kombinationer af globale (GCM) og regionale (RCM) klimamodeller der er tilgængelige i CORDEX. Samtlige klimamodeller er biaskorrigerede i forhold til observeret klima. Der er anvendt en dual-gamma biaskorrigeringsmodel korrigeret på 10x10 km grid niveau (20x20 km for fordampning). Som reference periode er anvendt 1981-2010 (Se Figur 3).

¹ National Vandressource Model. Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019. GEUS rapport 2019/31 Rapport: http://www.vandmodel.dk/media/21560/geusrapport2019_31_dkmodel2019_web-1.pdf og Bilag: http://www.vandmodel.dk/media/21562/geusrapport2019_31_dkmodel2019_bilag_web-1.pdf

² Se mere: <https://www.klimatilpasning.dk/viden-om/fremtidens-klima/klimascenarier/>



Referencegruppemøde 20. januar 2020



Figur 3 Illustration af beregningsmetodik vedr. klimagenererede effekter på hydrologi og grundvandsstand. Nuværende klima er svarende til referenceperioden 1981-2010. Fremtidigt klima er 2071-2100 (for de tre RCP 8.5 emissionsscenarioer) og 2041-70 for det fjerde RCP4.5 scenarie. Nedskalering sker ved sammenligning med observeret klima jf. DMIs klimagriddata på 10x10/20x20 km for perioden 1990-2009.

Ved modelsimuleringer med MIKE SHE med klimainput for de fire scenarier for hhv. fremtidigt klima og nuværende klima simuleres hydrologien for henholdsvis fremtidigt og nuværende klima. Desuden foreligger der modelsimuleringer for den historiske periode 1990-2018 ud fra observeret klimadata. På figuren er vist et eksempel på beregnet ændring i grundvandsstand for Ringkøbing Fjord oplandet. Ved fremskrivningen er der foretaget en 30-år lang "opvarmningskørsel" for såvel den fremtidige periode som for referenceperioden, hvorefter modellen er "hotstartet" med hhv. aktuelle klimadata og klimadata fra de ovennævnte fire udvalgte klimascenarier. I fremskrivninger er anvendt gennemsnitlige indvindingsdata. Markvanding er modelleret som behovstyret. I praksis betyder det, at indvindingen er ens for alle scenarier fsva. Midtsjælland, mens det for oplandet til Ringkøbing Fjord antages at indvindingen fra markvanding forøges i et fremtidigt klima på grund af den øgede fordampning (fx som resultat af et 3-4 grader varmere klima frem mod 2100 i RCP8.5 scenariet).

3.3 Analyser af klimafølsomhed (AP3)

Vurdering af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand omfatter jf. vandrammedirektivet blandt andet analyser i forhold til menneskeskabte saltvandsindtrængning, påvirkning af overfladevand, grundvandsafhængige terrestriske økosystemer og vandbalancepåvirkning. Ved projektet er direkte effekter af klimaændringer belyst. Der er udvalgt karakteristiske hydrologiske og økologiske størrelser/indikatorer (a.) statistisk fsva. daglig vandføring: Q001, Q01, Q1, Q5, Q10, Q25, Q50, Q75, Q90, Q95, middel, max og min, samt b.) ændring af EQR værdier for de biologiske kvalitetselementer DVFI, DVPI og DFFVa). For udvalgte stationer er foretaget analyser af årsmaxima og årminima på både afstrømning og grundvandstandsstand. Påvirkning af grundvandstrykniveau er simuleret (og vurderet i forhold til havvand-

spejlskote som er relevant for bl.a. analyse af potentiel saltvandsindtrængning). Der er vurderet betydning af klimabetingede ændringer i vandbalancer på oplandsniveau og i forhold til udnyttelsesgrad ($\text{grundvandindvinding} / \text{grundvandsdannelse} * 100$) for grundvandsforekomster. Der er desuden foretaget analyser af ændringer på månedsbasis.

Processeringen af data er foretaget i GIS og excel. Der er dels udarbejdet en række kort der viser placering af vandførings- og pejlestationer, fremtidigt trykniveau i forhold til fremtidig havvandstand i de fire scenarier, ændring i grundvandsstand for terrænnært, og dybere regionale magasiner, kort over ændringer af "økologiske flow" for vandløbspunkter (Q-punkter), grafer der viser vandbalancer, månedsværdier for afstrømning og trykniveau, årlige max- og min-værdier af daglig afstrømninger for 30-årige perioder for afstrømning og trykniveau, plot af rå resultater fra klimamodel fremskrivninger af trykniveau og afstrømning (5-døgns/daglige værdier), varighedskurver ud fra 30 årige daglige afstrømninger samt tabeller der sammenfatter hovedresultater.

Udtræk af vandbalancer og grundvandsdannelsen for fremtidige periode divideret med nuværende periode, har resultatet i følgende ændringer udtrykt ved klimafaktorer:

Der er genereret følgende bilag (Se Appendix A Del 1 af 2– Afsnit A1-A20):

1. Modelområderne vest + øst + vandløbsnet (Q-stationer + H-stationer), se A1.
2. Model-performance - Ringkøbing Fjord opland og Midtsjælland modelområde, se A2.
3. Vandbalancer (Ringkøbing Fjord opland og Midtsjælland modelområde), se A3:
 - o Historisk observeret klima 1989-2018
 - o RCP8.5 vådt klima (IPSL-RCA): 2071-2100 og 1981-2010
 - o RCP8.5 median klimamodel (KNMI): 2071-2100 og 1981-2010
 - o RCP8.5 tør klimamodel (HIRHAM): 2071-2100 og 1981-2010
 - o RCP4.5 median klimamodel (HIRHAM): 2071-2100 og 1981-2010
4. Plot af rå-værdier for trykniveau i 30 år (Ringkøbing Fjord og Midtsjælland til de fire scenarier I-IV), se A4.
 - o Målt grundvandstand
 - o Simuleret grundvandstand baseret på observeret klima 1989-2018
 - o Simuleret grundvandstand for fremtidigt klima og havniveau
 - o Simuleret grundvandstand for det nuværende klima og havniveau
5. Plot på 30 års daglig vandføring for udvalgte overvågningsstationer (Ringkøbing Fjord og Midtsjælland, for fire scenarier I-IV), se A5:
 - o Målt udstrømning
 - o Simuleret vandføring baseret på observeret klima 1989-2018
 - o Simuleret vandføring for fremtidig klima
 - o Simuleret grundvandsstand for det nuværende klima
6. Plot med månedlig vandføring for udvalgte overvågningsstationer (Ringkøbing Fjord og Midtsjælland for fire scenarier I-IV), se A6:
 - o Simuleret månedlig vandføring baseret på observeret klima 1989-2018
 - o Simuleret månedlig vandføring baseret på fremtidig klima
 - o Simuleret månedlig vandføring baseret på det nuværende klima
7. Plot af månedlig grundvandstand for valgte overvågningsstationer (Ringkøbing Fjord og Midtsjælland i fire scenarier I-IV), se A7:

- o Simuleret månedlig vandføring baseret på observeret klima 1989-2018
 - o Simuleret månedlig vandføring baseret på fremtidig klima
 - o Simuleret månedlig vandføring baseret på det nuværende klima
8. Årlig maksimal vandføring for udvalgte stationer (Ringkøbing Fjord og Midtsjælland fire scenarier I-IV), se A8:
- o Målt årlig maksimal vandføring
 - o Simuleret årlig maksimal vandføring baseret på observeret klima 1989-2018
 - o Simuleret årlig maksimal vandføring baseret på fremtidig klima
 - o Simuleret årlig maksimal vandføring baseret på det nuværende klima
 - o Målt årlig maksimal vandføring
 - o Simuleret årlig maksimal vandføring baseret på observeret klima 1989-2018
 - o Simuleret årlig maksimal vandføring baseret på fremtidig klima
 - o Simuleret årlig maksimal vandføring baseret på det nuværende klima
9. Årlig minimums udstrømning for udvalgte stationer (Ringkøbing Fjord og Midtsjælland fire scenarier I-IV), se A9:
- o Målt årlig minimums vandføring
 - o Simuleret årlig minimums vandføring baseret på observeret klima 1989-2018
 - o Simuleret årlig minimums vandføring baseret på fremtidig klima
 - o Simuleret årlig minimums vandføring baseret på det nuværende klima
10. Årlige maksima af grundvandsstand for udvalgte grundvandstandstationer (Ringkøbing Fjord og Midtsjælland fire scenarier I-IV), se A10:
- o Målt årlig maksimal grundvandstand
 - o Simuleret årlig maksimal grundvandstand baseret på observeret klima 1989-2018
 - o Simuleret årlig maksimal grundvandstand baseret på fremtidig klima
 - o Simuleret årlig maksimal grundvandstand baseret på det nuværende klima
11. Årlig minimum grundvandstand for udvalgte stationer (Ringkøbing Fjord og Midtsjælland fire scenarier I-IV), se A11:
- o observeret årlig min grundvandstand
 - o simuleret årlig min grundvandstand på observeret klima 1989-2018
 - o simuleret årlig min grundvandstand på fremtidig klima
 - o simuleret årlig min grundvandstand på det nuværende klima
12. Ændring i T = 30 år minimum grundvandstand fra referenceperiode til fremtidig periode for 4 scenarier (Ringkøbing Fjord opland / Midtsjælland), se A12:
- o Det øverste lag i model
 - o Kvartært lag (KS1 / -)
 - o Kvartært lag (KS2 / KS1 + KS2)
 - o Kvartært lag (KS3)
 - o Kvartært lag (KS4)
 - o Kalk / præ-kvartært lag (PS4)
13. Ændring i T = 30 års maksimale grundvandsniveau fra referenceperiode til fremtidig periode for 4 scenarier (Ringkøbing Fjord opland og Midtsjælland), se A13;
- o Det øverste lag i model
 - o Kvartært lag (KS1 / -)

- o Kvartært lag (KS2 / KS1 + KS2)
 - o Kvartært lag (KS3)
 - o Kvartært lag (KS4)
 - o Kalk / præ-kvartært lag (PS4)
14. Ændringer in middel grundvandsstand for reference perioden til fremtidig periode for 4 scenarios (Ringkøbing Fjord opland og Midtsjælland), se A14:
- o Det øverste lag i model
 - o Kvartært lag (KS1 / -)
 - o Kvartært lag (KS2 / KS1 + KS2)
 - o Kvartært lag (KS3)
 - o Kvartært lag (KS4)
 - o Kalk / præ-kvartært lag (PS4)
15. Varighedskurver og fraktilplots af daglig vandføring (Ringkøbing Fjord and Midtsjælland for 4 scenarios), se A15:
- o simuleret daglig vandføring baseret på målt klima for perioden 1989-2010
 - o simuleret daglig vandføring for fremtidigt klima
 - o simuleret daglig vandføring for reference klima
16. Områder med potentiale for indtrængning af saltvand (områder med grundvands-tryk-niveau under havvandsstands-niveau – Ringkøbing fjord / Midtsjælland for 4 scenarier, se A16:
- o Øverst geologisk lag, KS1+KS2 and KS3 / øverste lag, KS1 and KS2
 - o KS4 and PS4 / KS3, KS4 and kalk
17. Indvindingsmængder mod grundvandsdannelse for grundvandsforekomster (Ringkøbing Fjord / Midtsjælland) for 4 scenarier for aktuel og fremtidsklima, se A17:
- o KS1+KS2, KS3, KS4, PS4 / KS1, KS2, KS3, KS4, kalk
18. Ændringer i Q95, Q01 (%) og EQR DFFVa for vandføringsstationer for Ringkøbing Fjord and Midtsjælland for 4 scenarier, se A18:
19. Tabel med ændring af regime variables (vandføring i % og EQR som absolutte værdier) for daglig vandføring for udvalgte stationer: min, max, middel, Q95, Q90, Q75, Q50, Q25, Q10, Q05, Q01, Q001, Median min, DFFVa, DVFI og DVPI, se A19:
20. Dybde til det øverste grundvand I de to oplande Ringkøbing Fjord / Midtsjælland for de fire scenarier, se A20:

3.4 AP4 Evaluering af overvågningsprogram

Ændringer i grundvandsstand og afstrømning er komplekse og afhænger både af topografiske forhold, geologi, drænforhold, klimaændringer og antropogene påvirkninger (f.eks. ændret vandindvinding, lokal nedsivning af grundvand (LAR), tætning af kloakker, ændret dyrkningspraksis, infrastruktur mm). Analysen af overvågningsprogrammet er baseret på både kvantitative og kvalitative beskrivelser der sammenstiller observerede pejlinger og modelsimuleringer ud fra observeret nedbør, med klimaeffekt simuleringer.

Der er desuden udviklet en metodik til analyse af GRUMO pejlestationsnet tidsseriedata, hvorved simuleringresultater fra modellen i de to oplande sammenlignes med monitoringsdata i JUPITER. Der er udarbejdet to plots for samtlige pejlestationer i de to oplande (se Appendiks B):

- Plot af observerede og simulerede pejletidsserie
- Plot af normaliseret observeret og simuleret pejletidsserie (på basis af første pejleobservation)

Der er herefter beregnet en trend (hældning) ud fra tre lineære regressionsanalyser:

- Ud fra modelleret grundvandstrykniveau for perioden 1990-2018 ud fra observeret klima
- Ud fra observerede grundvandstrykniveau for delperiode der er foretaget målinger og hvor der foreligger som minimum månedlige resultater
- Ud fra synkront udvalgte simulerede grundvandstrykniveauer på samme tidspunkter som observationerne i tidsserien

Ud fra de tre modellerede og simulerede trends er der beregnet en 'vægtet' trend. For Ringkøbing Fjord opland er der herved bestemt en vægtet trend der viser stigning af grundvandspejl på ca. 3 cm/år og for Midsjælland ca. 2 cm/år ud fra alle pejlestationer i hvert opland, baseret på såvel modeldata som observationsdata. Resultater indikerer at i områder med markvanding er ændringer små, mens de er større for oplande uden markvanding for perioden 1990-2018 er større.

På basis af trend analyser er der lavet en kvalitativ vurdering af tidlige variationer, herunder vurdering af såvel år-år variationer og sæsonvariationer (amplituden). Data fra boringsdatabase (Jupiter) er i nærværende analyse ikke udtyndet (for outliers).

Der er foretaget en sammenligning af de trends bestemt ud fra perioden 1990-2018 med simulerede ændringer i trykniveau som følge af klimaændringer samt øvrige udtræk fra AP3 (se Appendiks A sektion: A4, A7, A10, A11, A12, A13, A14 og A16) med henblik på en syntese af resultaterne, hvor pejlestationsnetværk relateres til simulerede ændringer i de forskellige oplande.

3.5 AP5 Evaluering af virkemidlers klimarobusthed

Der er taget udgangspunkt i resultater fra AP3 (Sektion A1-A20) sammenholdt med tilgængelig viden om almenlydige virkemidler og virkemidler der afhænger af lokale forhold, som er blevet identificeret ifm. med de gældende vandområdeplaner 2015-2021. De kan anvendes af myndigheder til at sikre, at tilladelser til vandindvinding og en tilhørende påvirkning af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand vil indebære, at fastsatte miljømål kan nås³.

³ <https://mst.dk/media/121326/virkemidler-grundvand-d-05022015.pdf>

Der inddrages i øvrigt tidligere analyser om klimarobuste virkemidler fra litteraturen (Orbicon rapport om klimarobuste virkemidler⁴, projektet om "Landmanden som vandforvalter"⁵, samt forskningsprojekter vedr. naturbaserede klimatilpasningsløsninger (Horizon NAIAD ⁶m.fl.)).

Eksempler på almengyldige virkemidler er f.eks. flytning af vandindvinding (nye borer/ hele kildepladser) af hensyn til vandløb, søer, terrestriske naturtyper (rigkær) og udpumpning af grundvand. Ved lokale forhold kan virkemidler f.eks. være: Udledning af rensset spildevand (med henblik på udledning af spildevand lokalt for at få forbedret vandføring, kræver rensning til højt niveau); forøgelse af grundvandsdannelse ved øget infiltration (indtrængning af saltvand, nedsivning fra fx opstemmede søer mm.); udledning af magasineret overfladevand, fra vandløb, søer, vådområder, dræn eller vinterafstrømning (fra reservoirer i byområder), af hensyn til vandløb og søer eller evt. skovrejsning som i visse tilfælde kan forsinke drænafstrømning hvis dræning indrettes derefter. Endelig kan nævnes andre tiltag f.eks. vandbesparende tiltag; markvanding/forbedret vandingsteknik/-styring-/prognosereguleret mm.

Der er udvalgt følgende virkemidler (A-H) der vil blive vurderet i forhold til resultater fra AP3 og AP4 jf. Tabel 1.

⁴ https://mst.dk/media/121343/92-klimarobuste_virkemidler_i_vandplanerne_-_teknisk-rapport-orbicon.pdf

⁵ <https://dce2.au.dk/pub/TR42.pdf>

⁶ <https://cordis.europa.eu/project/id/730497>

Tabel 1 Oversigt over virkemidler der diskuteres

Virkemiddel	Effekt	Appendix A sektion der indgår
A. Ændret arealanvendelse og grundvandsdannelse	Modvirkning af ændringer i vandbalancen	A3, A7, A12, A13, A14, A16, A17 og A20
B. Vådområder (søer, vådområder)	Forsinkelse/Udjævning af afstrømning	A6, A8, A9, A12, A13, A14, A16, A18, A19 og A20
C. Flytning af kildepladser	Modvirkning af reduceret trykniveau og/eller afstrømning	A12, A13, A14, A16, A17, A18 og A19
D. Udpumpning af grundvand til overfladevandsforekomster	Modvirkning af reduceret trykniveau og/eller afstrømning	A9, A11, A12, A13, A14, A18, A19 og A20
E. Ændret vandløbsvedligeholdelse	Betydning for vandføringsevnen i vandløb og i situationer med ekstremt store vinterafstrømninger	A6, A8, A10, A13, A14, A15, A18, A19 og A20
F. Fjernelse af fysiske/infrastruktur spærringer/barrierer i ådale	Øget vandføringsevne i ådal	A6, A8, A10, A13, A14, A15, A18, A19 og A20
G. Vandparkering i oplandet (kunstige 'waterbodies') for midlertidig magasinering	Udnyttelse af magasiner i lavtliggende områder langs vandløb (i ådalen) der kan oversvømmes efter aftale	A12, A13, A14, A16, A18 og A20
H. Adaptiv og integreret vandressourceforvaltning	<i>Participatory early warning and monitoring systems (øget resilience ved bedre information om kommende oversvømmelser og tørke events)</i>	AP4 + all themes A1-A20

Det er mht. til beskrivelse af resultater valgt en tematisk inddeling i fire hovedemner. Under hvert tema beskrives hovedresultater mht. klimaeffekter ved RCP8.5 (3 realisationer: våd, median og tør klimamodel) og RCP4.5 emissionsscenariet (median klimamodel), vurdering af overvågningsprogram og klimarobusthed af virkemidler:

- Tema 1 - Vandbalancen
- Tema 2 - Grundvandsstand
- Tema 3 - Udnyttelsesgrad på grundvandsforekomst niveau
- Tema 4 - Vandløbspåvirkning
- Tema 5 - Økologisk kvalitet i vandløb

4. Tematiserede resultater

4.1 Ændringer i vandbalancen

4.1.1 Klimaeffekt på vandbalancen

Samtlige vandbalancer fremgår af Appendix A – Sektion 3. I nedenstående tabel er vist en oversigt over klimaforandringernes indflydelse på den vandbalance (middelværdier for vandføring for de fire forskellige realisationer (RCP8.5 våd, median og tør samt RCP4.5 median) omregnet til klimafaktor (klima faktor_{nedbør} = nedbør fremtidig klima / nedbør aktuel klima etc.) for oplandet til Ringkøbing Fjord og oplandet i Midtsjælland. Desuden er resultaterne for den historiske periode vist baseret på modelberegning ud fra observerede klimainput (mm/år) for 1989-2018. Klimafaktor angiver, hvordan ændret klima i fremtiden vil kunne føre til ændring af vandbalancekomponenter. Således vil nedbør jf. "scenariet RCP8.5 Våd" stige med 27% i Ringkøbing Fjord oplandet (se tabel 2, hvor der angives en klimafaktor på 1,27 i det relevante felt).

Tabel 2: Overordnede resultater mhp. effekter af ændret klima (klimafaktorer) på oplandsniveau for vandkredsløbets hovedkomponenter (baseret på vandbalance udtræk med modellerne for Ringkøbing Fjord opland og Midtsjælland). Med kursiv er angivet vandbalance på basis af modellering med input i form af observeret klima (mm/year) for 1989-2018 (jf. Figur 2). Vandbalancer findes i Appendix A. Sektion A3. Bemærk klimafaktorer er her en indikator for hvor meget klima og vandbalance ændrer sig i forhold til referenceperioden (når hydrologisk model fremskrives med biaskorrigerede input baseret på dual gamma korrektion for 1991-2010).

Model simuleret klimafaktor for vandkredsløbskomponent							
Realisation	Nedbør	Fordampning	Grundvandsdannelse	Indvinding (markvanding)	Dræn-afstrømning	Grundvandsafstrømning	Overfladisk afstrømning
Ringkøbing – klimafaktorer for klimafremskrivning							
RCP8.5 Våd	1.27	1.17	1.49	1.71(2.23)	1.90	1.21	3.81
RCP8.5 Median	1.12	1.14	1.20	1.61(1.93)	1.37	1.07	3.09
RCP8.5 Tør	1.07	1.16	1.07	1.56(1.87)	1.12	1.00	1.31
RCP4.5 Median	1.03	1.08	1.00	1.23(1.36)	1.02	1.01	1.44
Ringkøbing – absolutte værdier for historiske kørsel 1989-2018							
<i>Ringkøbing 1989-2018 (mm/year)</i>	989	520	493	27 (21)	162	278	32
Midtsjælland – klimafaktorer for klimafremskrivning							
RCP8.5 Våd	1.24	1.16	1.44	1.00	1.60	1.19	2.21
RCP8.5 Median	1.16	1.13	1.25	1.00	1.32	1.09	1.71
RCP8.5 Tør	1.10	1.13	1.02	1.00	1.03	1.00	1.26
RCP4.5 Median	1.04	1.08	0.96	1.00	0.94	0.98	1.08
Midtsjælland – absolutte værdier for historiske kørsel 1989-2018							
<i>Midt-Sjælland 1989-2018 (mm/year)</i>	740	546	208	27	101	41	27

Klimafaktor = (klima^{fremtid} / klima^{aktuel}). I parentes under indvinding for Ringkøbing Fjord er vist klimafaktor for markvandsbehov

- Nedbør øges fra 7-27 % i de to oplande for RCP8.5 business as usual scenariet. I det mere ambitiøse RCP4.3 øges nedbøren for median model blot med 3-4 %. Middelnedbøren for den historiske periode (1989-2018) er væsentlig større for Ringkøbing Fjord: 989 mm/år end for Midtjylland: 740mm/år, og ændringer opgjort i mm/år i nedbøren er derfor tilsvarende større for Ringkøbing Fjord som for Midtjylland. Indbyrdes forskelle på våd, median og tør RCP8.5 er betydelig.
- Aktuell fordampning øges med 13-17 % i de to oplande for RCP8.5, RCP 4.5 giver 8% øget aktuell fordampning. Den aktuelle fordampning er større for Midtjylland: 546 mm/år end for Ringkøbing Fjord: 520mm/år, og ændringer når angivet i mm/år er derfor i samme størrelsesorden i de to oplande da oplandet til Ringkøbing Fjord (3896 km²) er større end oplandet for Midtjylland(1892 km²). Indbyrdes forskelle for våd, median og tør RCP8.5 er små.
- Grundvandsdannelsen øges fra 7 – 49 % jf RCP8.5 i de to oplande. RCP4.5 giver uændret (Ringkøbing Fjord opland) eller 4 % reduceret grundvandsdannelse (Midtjylland). Grundvandsdannelsen er mere end dobbelt så stor for Ringkøbing Fjord oplandet (493 mm/år) end for Midtjylland (208 mm/år). Ændringer i mm/år er derfor mere end dobbelt så store for Ringkøbing Fjord end for Midtjylland. Indbyrdes forskelle på RCP 8.5 våd, RCP 8.5 median og RCP 4. 5 tør er markant, men har samme rangordning som nedbøren
- Vandindvinding øges i Ringkøbing Fjord som følge af øget markvandning. Markvandsbehovet øges ved RCP8.5 med 87-123 %. RCP4.5 giver forøgelse på 36 % (behovsbestemt markvandning indgår ikke på Midtjylland, udgør meget lille del af samlede vandindvinding her). Indbyrdes forskelle mellem våd, median og tør RCP8.5 er forholdsvis begrænset.
- Drænastrømning øges med 3-90% i de to oplande ved RCP8.5. Ved RCP 4.5 er den stort set uændret (2 % forøgelse for Ringkøbing Fjord og 6 % reduktion for Midtjylland). Indbyrdes forskelle på våd, median og tør RCP8.5 er betydelig uden at være kompleks, pga. samme rangordning som våd, median og tør (udvalgt ud fra vinternedbøren). Drænastrømning er relativt set størst for Midtjylland (ca. 50% af samlede afstrømning), mens den kun udgør knap 1/3 af den samlede afstrømning for Ringkøbing Fjord. Indbyrdes forskelle mellem våd, median og tør RCP8.5 er meget store.
- Baseflow øges med 0 – 21 % i de to oplande ved RCP8.5. Uændret ved RCP4.5 (øges 1% for Ringkøbing Fjord, reduceres 2 % for Midtjylland). Forskellen på våd, median og tør RCP8.5 er betydelig, er dog ikke kompleks, følger rangordningen i våd, median og tør (dvs. følger vinternedbøren).
- Overfladisk afstrømning øges 26-281 % i de to oplande ved RCP8.5. Ved RCP4.5 øges den 8-44 %. Forskellen mellem tør og median og våd RCP8.5 er meget stor. Overfladisk afstrømning udgør en relativt større del af samlede afstrømning for Midtjylland som for Ringkøbing Fjord. Forøgelsen i overfladisk afstrømning er meget betydelig for vådt og median RCP8.5 for Ringkøbing Fjord, hvor den er forøget over 200 %.
- Modelmæssigt skal fordeling på afstrømningskomponenter tages med et vist forbehold, stor usikkerhed bevirker at det kan være svært at skelne mellem f.eks. drænastrømning og baseflow da det afhænger af modelopsætningen hvordan disse komponenter håndteres i modellen og dermed vandbalancen.

4.1.2 Overvågningsprogram i forhold til vandbalance

- Hydrologiske modeller kan være vigtige værktøjer når det gælder overvågning af grundvand, idet disse kan sammenstille de forskellige komponenter af det hydrologiske kredsløb. Der monitoreres typisk på nedbør, fordampning, grundvandsindvinding, drænafstrømning, grundvandsstand og samlet afstrømning, typisk baseret på diskrete og/eller kontinuerlige tidsserier.
- Der er for de 2 modeller (hhv. Ringkøbing Fjord og Midsjælland), der indgår i projektet opnået omtrent samme performance (prædiktionssevne) som for DKmodel2019 for såvel trykniveau som for afstrømning i begge oplande, ved en ren parameteroverføring uden yderligere kalibrering af evt. skalaafhængige parametre, efter detaljering af DKmodel2019 i 200x200m grid (afvigelser mellem model og målinger skyldes såvel usikkerheder på inputdata, usikkerhed på modelstruktur og modelparametre, samt usikkerhed på overvågningsdata). Modellens performance fremgår af Appendix A – Sektion A2.
- Det vurderes, at et forbedret nedbørsinput (flere nedbørsstationer og evt. inddragelse af radardata; specielt et problem efter 2005), forbedret modelstruktur (bedre hydrogeologisk kortlægning af terrænnært grundvand), og et systematisk net af terrænnære pejleobservationer (tidsserier) er den mest effektive måde hvorpå vandbalanceovervågningen, baseret på modellen, kan forbedres.

4.1.3 Klimarobuste virkemidler der tænker i vandbalancen

- Kan man sikre at emissionsscenario RCP4.5 følges, vil der kun være moderate ændringer i vandbalancen, sammenlignet med de meget markante ændringer der ses med business as usual RCP8.5.
- *Virkemiddel A – Ændret arealanvendelse mhp. øget grundvandsdannelse* vurderes at være et klimarobust virkemiddel i forhold til vandbalanceændringer. Ved at ændre arealanvendelse kan man styre fordelingen af nedbørsinput på overfladisk afstrømning, drænafstrømning og grundvandsdannelse, og vil kunne håndtere eller imødegå den forventede øgede (eller reducerede) nettonedbør i det samlede vandkredsløb. Derudover kan det give mulighed for udnytte den buffer, der er i at inddrage i terrænoverfladet/overfladevandet, rodzonen, umættet zonen og grundvandet og magasineringskapaciteten
- *Virkemiddel H - Adaptiv og integreret vandressource forvaltning* herunder realtidsmodellering og varsling, vurderes at være et effektivt virkemiddel, der kan give forøget klimarobusthed (resilience) i forhold til oversvømmelser og tørke. Mange øvrige virkemidler såsom *Virkemiddel D - udpumpning af grundvand*, *Virkemiddel E - ændret vandløbsvedligeholdelse* og *Virkemiddel G - vandparkering/magasiner* kan bringes i spil og yderligere optimeres såfremt der foreligger et datagrundlag i realtid og med kortere eller længere prognoser.

4.2 Ændringer i grundvandsstanden

4.2.1 Klimaeffekt på grundvandsstand

- Ændringer i grundvandsstanden har betydelige år til år variationer i løbet af en 30-årig periode samt vedvarende årlig sæson variation. Begge dynamikker beskrives rimeligt godt med modellen, selvom om der kan være forskelle på den absolutte grundvandsstand på op til flere meter for visse pejlestationer (se sektion A7 og Appendiks B). Ændringer som følge af klimaforandringer giver for de fleste stationer på Midsjælland ændringer i samme størrelsesorden når man betragter gennemsnit på månedsbasis ud 30-årige simuleringer (fremgår tydeligst af våd klimamodel RCP8.5. For Ringkøbing Fjord ses ved flere stationer et mere komplekst påvirkningsbillede formentlig som følge af årstidsvariationen i behovsbestemt markvanding.
- Årlig max grundvandsstand (Sektion A10) og årlig min grundvandsstand (Sektion A11) udviser et meget komplekst billede. Klimaeffekter giver ved nogen pejlestationer og realisationer (RCP8.5 våd, median, tør og RCP4.5 median) større ændringer ved ekstremværdier (svarende til 30-års hændelse enten i max grundvandsstand, eller min grundvandsstand), og ved andre stationer og realisationer ses et fald eller uændret trykniveau.
- Den rumlige variation i hhv. T=30 års max og 30 års min grundvandsstand som følge af klimaændringer har meget stor rumlig variation (Sektion A12 og A13), samtidig med at der er markant forskel på de enkelte realisationer. Ændring i T=30 års max grundvandsstand for det dybe grundvand i Ringkøbing Fjord øges fra mellem 0.25m til mere end 5m i dele af oplandet for RCP8.5 våd klimamodel (median RCP8.5 giver samme tendenser af lidt mere moderat karakter, mens RCP8.5 tør realisation peger på stigninger på ½-1m tæt på Ringkøbing Fjord og i østligste del af oplandet, og uændret eller svagt faldende grundvandsstand i den centrale del af området).
- I de mere terrænnære magasiner (KS1 og KS2 for Ringkøbing Fjord Sektion A13) ses et mere differentieret billede hvor der i mange mindre områder ses stigninger i T=30 års max grundvandsstand på over 1 m. I andre områder ses uændret grundvandsstand f.eks. i våd RCP8.5. I median og tør RCP8.5 er der flere områder med uændret eller faldende grundvandsspejl, end stigende. RCP4.5 median giver generelt et fald i grundvandsstanden, bortset fra områder tæt på kysten hvor havstigning påvirker grundvandsspejlet. For Midsjælland er ændringer i store træk tilsvarende. For det dybe grundvand (kalk) ses stigninger i T=30 års max grundvandsstand på flere meter typisk i højtliggende områder, og stigninger langs Køge bugt på 1 m. Såvel våd som median RCP8.5 viser stigninger i en stor del af oplandet, og uændret grundvandsstand i en del områder. Tør RCP8.5 peger på stigning i nogle områder og et fald i den centrale del af modelområdet i det dybe grundvand. Stigninger i 30 års max grundvandsstand i KS1 er ligesom for Ringkøbing Fjord mere differentieret med mange små områder med stigninger på 1-2 m og andre områder uden ændring. Tør RCP8.5 og RCP4.5 median har et flertal af områder med et fald i grundvandsstanden i terrænnære grundvandsmagasiner (KS1).

- Ændring i T=30år minimums grundvandsniveau (Sektion A12) i dybde magasiner for Ringkøbing Fjord peger på mere komplekse ændringer, hvor nogle områder har stigninger på >5m f.eks. langs østlige rand, mens centrale del af modelområdet har et fald på mere end 1 m (RCP8.5 våd). Median og tør RCP8.5 viser ligeledes et komplekst påvirkningsbillede med et større område med fald i min grundvandsstand, samtidig med stigning langs Ringkøbing Fjord og østlig rand. Ændring i T=30 år min grundvandsstand for Midtjylland viser i store træk samme billede som max grundvandsstand, blot med både større stigninger i områder med øget grundvandsstand og samtidig større sænkninger, i områder med faldende grundvandsstand. Eksempel vis har median RCP8.5 på Midtjylland de største sænkninger af de tre RCP8.5 realisationer med et fald i T= 30 års grundvandsstand på op til 1 m eller mere i mange områder omkring Køge bugt, Stevns og den sydlige del af oplandet. RCP4.5 median giver endnu tydeligere fald i grundvandsstanden i stort set de samme områder.
- Ændringer i middel grundvandsniveauet i det øvre grundvand giver et mere robust bud på fremskrivningen af klimaeffekten (Sektion A14). For Midtjylland ses de største stigninger i grundvandsstanden på omkring en meter ved våd RCP8.5 i utallige mindre områder i en stor del af modelområdet. I andre områder modelleres uændret eller et svagt fald i grundvandsstanden. Ved kysten giver havstigningen en øget grundvandsstand der imidlertid ikke forplanter sig indlands i det øverste lag. Dette billede gentages i median RCP8.5 blot med mere begrænsede stigninger i vandstanden, og med flere områder uden eller med faldende grundvandsstand. I RCP8.5 tør er der kun ganske få små områder med stigende grundvandsstand, og væsentligt flere områder med faldende grundvandsstand i mange små områder ses et fald på ca. 1 m. Fremskrivningen i median RCP4.5 peger ligeledes på en faldende grundvandsstand som følge af rimeligt uændret nedbør i dette scenarie, men øget temperatur og dermed aktuel fordamning. For Ringkøbing Fjord ses i det øvre grundvand (Sektion A14) samme hovedtendenser. Man skal imidlertid være opmærksom på at Sketion A12-A13 og A14 for det øverste terrænnære trykniveau og KS1 i visse områder hvor grundvandet står dybere end tykkelsen af øverste beregningslag, ikke kan vise de reelle ændringer i områder hvor det øverste lag er tørlagt. I sådanne situationer er modellens grundvandsstand svarende til koten af bunden af det øverste beregningslag. I Sektion A20 er vist dybde til phreatic depth, og i dette udtræk vises et mere reelt bud på dybden til terrænnært grundvand, hvor der i dataudtrækket tages højde for evt. tørlagte modellag.
- Ændringer i middelgrundvandsstand for det øvre regionale magasin (KS2) for Midtjylland (Sektion A14) viser stigninger på over en meter og op til flere meter i et stort antal lidt større områder i våd RCP8.5 og i lidt mindre grad også for median RCP8.5, samt uændret grundvandsspejl i andre områder. Tør RCP8.5 har kun få områder med stigende grundvandsspejl på 0.5-1m, mens hovedparten af oplandet har uændret og faldende grundvandsstand på op til 1m. Dette samme gælder median RCP4.5, hvor faldet i grundvandsstanden i mange områder overstiger en halv til en hel meter. Samme overordnede dynamik ses for Ringkøbing Fjord.
- Ændringer i middelgrundvandsstand i det dybe grundvand (Sektion A14 for kalk på Midtjylland og PS4 i Ringkøbing Fjord) viser rumligt udjævnede ændringer i større sammenhængende områder.

- Der ses stigninger i våd RCP8.5 og median RCP8.5 på op til nogle meter i den sydlige og nordøstlige del af modelområdet i Midtsjælland. Samtidig ses en uændret grundvandsstand i store dele af oplandet, eller svagt fald i grundvandsstanden langs Køge bugt og på dele af Stevns. I tør RCP8.5 er der bortset fra kystnære områder og den sydlige del uændret eller faldende grundvandsstand i største delen af modelområdet. Det samme gælder median RCP4.5 som lokalt har et fald på 0,5 til 1 meter.
- For Ringkøbing Fjord ses, for våd RCP8.5, i PS4 stigninger på over 5m i grundvandsstanden i den østlige del af modelområdet. Centralt i området er stigningerne små på under 0,5 meter og visse steder med uændret trykniveau. I den nordlige og vestlige del ses stigninger på 1-2 meter. Median RCP8.5 visser sammen tendens blot med mindre udtalte ændringer. Tør RCP8.5 viser overvejende et faldende grundvandsspejl bortset fra langs Ringkøbing Fjord og østligste rand hvor der ses stigninger på op til 1 meter. Endelig viser RCP4.5 et generelt uændret eller faldende trykniveau, bortset fra en stigning omkring Ringkøbing Fjord som følge af havstigning.
- En afbildning af grundvandsstand relativ til havniveau (Sektion A16) viser at områder med grundvandsstand under aktuelt havniveau i hhv. reference perioden og fremtidig periode (vist med sort på figuren) vil blive mere udbredte i et fremtidigt klima tæt på Køge bugt og langs nedre del af Tryggevælde å for Midtsjælland (op til nogle 100m og visse steder flere km), i forhold til i dag. For Ringkøbing Fjord er denne udviklingen endnu mere tydelige og vil områdeudstrækning med potentiel risiko saltvandsindtrængning i mange realisationer blive fordoblet indlands.
- Sektion A20 viser middeldybde til terrænnært grundvand og ændring som følge af klimaeffekter.
 - For Midtsjælland står det terrænnære grundvand de fleste steder mindre end 3m under terræn. Våd RCP8.5 vise stigende terrænnær grundvandsstand i ca. halvdelen af modelområdet og faldende terrænnær grundvandsstand i resten af oplandet. Stigninger i visse steder op til 1-2 meter typisk i områder med størst dybde til grundvandsspejlet. I en del områder ses et fald på ca. 0,5 meter. Median og tør RCP8.5 samt median RCP4.5 viser overvejende et faldende terrænnært grundvandsspejl på Midtsjælland.
 - For Ringkøbing Fjord er der generelt mange områder med en større dybde til det terrænnære grundvand på over tre meter og op til ca. 10 meter. Våd RCP8.5 giver typisk stigninger på et par meter og typisk i områder der i forvejen har størst dybde til grundvandsspejlet. Median RCP8.5 giver mere moderate ændringer typisk 25-50 cm enkelte steder op til 2m, og i mange områder uændret grundvandsstand. Tør RCP8.5 og median RCP4.5 peger overvejende på et uændret eller et faldende grundvandsspejl visse steder lokalt op til en meter eller lokalt mere.

4.2.2 Overvågningsprogram i forhold til grundvandsændringer

- Der er ingen pejlestationer i det nationale pejlestationsprogram der er filtersat i det helt terrænnære grundvand og dermed ingen målrettet og kontinuert monitoring i forhold til klimaeffekter på terrænnært grundvand i hverken Ringkøbing Fjord eller Midtsjælland oplandet.
- Af de pejlestationer der findes for Ringkøbing Fjord oplandet er de fleste direkte eller indirekte påvirket af markvanding, og kun få giver et billede for de mest terrænnære magasiner. For Midtsjælland er der lidt flere pejlestationer og også enkelte der giver et bud på terrænnære magasiner f.eks. langs Tryggevej å. Der er evt. behov for flere pejlestationer i områder med minimal påvirkning fra markvanding.
- Pejlestationer i Ringkøbing Fjord oplandet er med en enkelt undtagelse placeret i områder der ikke viser særligt markante ændringer som følge af ændret fremtidigt klima. Klimaændringer beskrives derfor ikke af de nuværende overvågningsstationer. For Midtsjælland er der et større antal pejlestationer, som har bedre repræsentativitet i forhold til områder med forventede ændringer i grundvandsstanden.
- Der er ingen pejlestationer i områder tæt på kysten hvor der potentielt er risiko for saltvandsindtrængning i nogen af de to oplande.
- Der er konstateret en generelt større trend i målt trykniveau i forhold til simuleret trykniveau udvikling for de seneste 10 år (Appendiks B). Man kan udnytte det kombinerede signal fra både overvågningsstationer og model til en nærmere analyse. Hvad denne forskel skyldes vil kræve en nærmere analyse.

4.2.3 Virkemidler i forhold til ændret grundvandsstand

- *Virkemiddel A ændret arealanvendelse og grundvandsdannelse, Virkemiddel C flytning af kildepladser, Virkemiddel E ændret vandløbsvedligeholdelse og Virkemiddel H Adaptiv og integreret vandressource forvaltning* er de virkemidler som potentielt vil kunne give størst effekt i forhold til ændret grundvandsstand.
- I forhold til øget terrænnær grundvandsstand, hvor grundvandsstanden står tæt på terræn, vil *Virkemiddel A ændret arealanvendelse* fra landbrug til natur (evt. skov) være en mulighed, da dette naturligt vil afvande de områder mere end arealanvendelse fra landbrug. Der er regnet med at landbrugsområder drænes hvis grundvandsstanden stiger til over drændybden for pågældende arealanvendelser og jordtyper. Hvis der derfor er behov for yderligere modvirkning af øget terrænnær grundvandsstand, *Virkemiddel E ændret vandløbsvedligeholdelse* og evt. flere vandløb evt. være en klimarobust løsning. Der findes imidlertid ingen viden på dette område, der har kvantificeret effekter på både terrænnær grundvandsstand og vandstand i vandløb.
- I forhold til reduceret terrænnær grundvandsstand kan *Virkemiddel A ændret arealanvendelse* i form af kontrolleret dræning, eller reduceret dræning, og evt. øget vandstand i vandløb ved ændret vandløbsvedligeholdelse, evt. være en mulighed med henblik på øget grundvandsdannelse der samtidig kan modvirke det fald i terrænnær grundvandsstand som ses i median og tør RCP8.5 samt som ses i RCP4.5.

- I kystnære områder kan *Virkemiddel A ændret grundvandsdannelse* modvirke saltvandsindtrængning. Det samme kan *Virkemiddel E ændret vandløbsvedligeholdelse* såfremt man hæver vandstanden i kanaler og dræn kystnært. Det vil dog være svært foreneligt med nuværende arealanvendelse.
- I forhold til ændringer i dybere grundvandstrykniveau er det primært et fald i grundvandsstanden der vil være kritisk. Et sådant fald ses i en del af realisationerne (typisk tør RCP8.5 for Ringkøbing Fjord, median og tør RCP8.5 for Midtsjælland samt mange steder for median RCP4.5). Et sådant fald kan evt. give afledte effekter på grundvandskvaliteten i forhold til øget klorid- eller sulfatindhold som følge af pyritoxidation. *Virkemiddel C flytning af kildepladser* kan være en løsning, idet der i begge cases ses områder i de fleste realisationer der har stigende grundvandstrykniveau. Dvs. en optimering af placering af kildepladser vil kunne modvirke faldene grundvandsstand i visse områder. Ved tør RCP8.5 og RCP4.5 er der behov for at tænke i øget grundvandsdannelse, og en håndtering af mere ekstreme tørkeperioder vil formentlig bedst kunne gennemføres i kombination med *Virke-middel H Adaptiv og integreret vandressourceforvaltning* (realtidsmodellering).

4.3 Ændringer i udnyttelsesgraden for grundvandsforekomster

4.3.1 Klimaeffekt på vandbalancer for grundvandsforekomster

- Ændringer i udnyttelsesgrad for grundvandsforekomster på Midtsjælland er relativt begrænsede i de fire realisationer (Sektion A17). Våd og median RCP8.5 viser uændret eller et lille fald i udnyttelsesgraden på få procent. I alt 4 forekomster har udnyttelsesgrad > 30 % beregnet ud fra den del af forekomsterne der ligger inden for modeloplandet. Tør RCP8.5 og RCP4.5 viser en lille stigning på ca. 1 % i udnyttelsesgrad, for de fleste forekomster. Det er antaget at indvindingen er uændret, og ændringer skyldes derfor ændringer i grundvandsdannelsen.
- Ændringer i udnyttelsesgrad for kvartære grundvandsforekomster i Ringkøbing Fjord opland viser betydelige stigninger, der har relativ stor % indvinding fra markvanding (eksempelvis grundvandsforekomst dkmj_638_ks hvor udnyttelsesgrad stiger fra knap 40% til knap 60% og grundvandsforekomst dkmj_634_ks hvor udnyttelsesgrad stiger fra ca. 2% til ca. 14%; der er tale om to meget små forekomster fra KS5). De større kvartære forekomster har mere begrænsede stigninger på få procent. I alt 4 kvartære forekomster har udnyttelsesgrad > 30%. Disse ændringer ses også for median, våd og tør RCP8.5. Median RCP4.5 har stigninger på omkring det halve af RCP8.5 i udnyttelsesgrad for kvartære magasiner for Ringkøbing Fjord.
- Ændringer i udnyttelsesgrad for prækvartære grundvandsforekomster i Ringkøbing Fjord opland følger samme overordnede billede, blot med mere moderate ændringer. Igen er det enkelte meget små forekomster der har de største ændringer i procent (ca. 6% stigninger for tre forekomster) i våd, median og tør RCP8.5. En enkelt forekomst på

tangen mellem Ringkøbing Fjord og Vesterhavet har udnyttelsesgrad større end 30% (grundvandsforekomst dkmj_831_ps). Ændringer i RCP4.5 viser samme billede blot med lidt mere begrænsede ændringer i forhold til RCP8.5.

4.3.2 Overvågningsprogram i relation til udnyttelsesgrad for grundvandsforekomster

- Der er ingen pejlestationer i nogen af de forekomster i Ringkøbing Fjord der indikerer en høj udnyttelsesgrad >30% i dette område. Der er specielt behov for en bedre overvågning af risiko for saltvandsindtrængning bl.a. på tangen mellem Vesterhavet og Ringkøbing Fjord, hvor der er en kvartært forekomst med høj udnyttelsesgrad.
- For de tre store kvartære forekomster i det Midtsjællandske opland, hvoraf to har udnyttelsesgrad > 30%, er der pejlestationer i områderne. Der kunne med fordel suppleres med pejlestationer i et par lidt større forekomster i den vestlige del af oplandet, og pejlestationer i forekomster langs Køge bugt, hvor der er potentielt kan ske saltvandsindtrængning som følge af havstigning.

4.3.3 Virkemidler i forhold til udnyttelsesgrad

- *Virkemiddel C Flytning af kildepladser* er umiddelbart de mest relevante virkemidler i forhold til udnyttelsesgrad (blot forstået som flytning eller optimering af markvandsborings placeringer). Dette er specielt vigtigt i områder med betydelig markvanding, eller områder hvor indvindingen er afhængig af klimavariationer, at disse virkemidler kommer i spil.
- I modellen er det antaget at indvinding til industri og vandforsyning er konstant og uændret, og for Sjælland er der set bort fra dynamiske variationer i markvanding, selv om der på Stevns og andre steder er områder med markvanding
- I kystnære områder kan man overveje at infiltrere ferskvand til kalken, som evt. kan hentes fra områder hvor man forventer stigninger i grundvandsstanden, f.eks. i den nordøstlige del af det Midtsjællandske opland eller den sydlige del. Hermed kan man etablere en ferskvandsbarriere der kan imødegå den potentielt stigende risiko for saltvandsindtrængning.

4.4 Ændringer i vandløbsafstrømning

4.4.1 Klimaeffekter på vandløbspåvirkning

- Våd, median og tør RCP8.5 viser meget markante (ca. 100% øget), markante (ca. 50% øget) og moderate (ca. 25 % øget) ændret månedsmiddel mhp. afstrømning for februar måned for Midtsjælland. RCP4.5 har stort set uændret eller svagt reduceret februar afstrømning (Sektion A5). Der er tale om en robust ændring som ses ved et klart flertal af målestationer, hvor størrelse dog afhænger af våd, median eller tør.
- Samme overordnede tendens ses for Ringkøbing Fjord oplandet, blot er der en større buffer i grundvandet i denne case således at forøgelse er lidt mindre end for Midtsjælland (ca. 80%, 20% og 10% får februar månedsafstrømning). RCP4.5 har for Ringkøbing Fjord opland et klart fald i afstrømningen ved de fleste målestationer på 10-20% året rundt (Sektion A5).
- Års døgmax afstrømning (Sektion A8) for Midtsjælland viser meget ekstreme stigninger. For en T=30 års hændelse (svarende til den største årsmax i den 30 årige periode), ses ved våd RCP8.5 stigninger svarende til en klimafaktor på 6-7 (max døg afstrømning stiger 6-7 gange i forhold til nu). Median RCP8.5 har stigninger svarende til en klimafaktor ca. 4-5 og tør RCP8.5 har stigninger svarende til en klimafaktor ca. 2-3. Der er tale om en robust ændring både i forhold til et flertal af målestationer der viser denne tendens, og i forhold til at alle RCP8.5 realisationer er enige om at en 30 års døgmax afstrømning udviser markante stigninger ved business as usual. Median RCP4.5 har også markante stigninger svarende til en klimafaktor på ca. 2 (altså i overensstemmelse med tidligere klimafremskrivninger fra klimatilpasning.dk for Sydøstsjælland).
- Resultater for Midtsjælland er samtidig rimeligt pålidelige jf. at der er meget god overensstemmelse mellem simuleret 30 års hændelse og estimeret 30 års hændelse baseret på målt afstrømning. Endvidere ser biaskorrektion troværdig ud, idet biaskorrigeret klima giver omtrent samme års max værdier som observeret klima (Sektion A8).
- For Ringkøbing Fjord opland ses der i princippet tilsvarende resultater for års døgmax afstrømning, blot mindre ekstremt pga. buffervirkningen af den mere betydelige grundvandsafstrømning der jævner de største ekstremafstrømninger ud. Her er klimafaktoren for våd, median og tør RCP8.5 hhv. svarende til klimafaktor 2-2.5, 1.6-2 og 1.5-1.8. Median RCP4.5 har stort set uændret T=30 års døgmax afstrømning (Sektion A8). I forhold til Midtsjælland er der lidt større afvigelse på estimeret døgmax udfra målt afstrømning og modelberegnet døgmax. Afvigelse er dog acceptable (Sektion A8).
- Årlig døgmin afstrømning (Sektion A9) for Midtsjælland viser lidt større kompleksitet i ændringer som følge af RCP8.5 våd, median og tør. Våd RCP8.5 viser stigninger i median min for nogle stationer, og fald i median min for andre, mest udtalt i områder hvor også grundvandsspejlet afsænkes mest - nemlig på Stevns, omkring Tryggevejle

å og langs Køge bugt. Største reduktion svarer til en halvering af median min afstrømning. Det generelle billede er imidlertid at der er uændrede forhold eller mere moderate reduktioner i års døgnmin afstrømningen.

- Der er en meget stor usikkerhed på simuleret døgnmin afstrømning (Sektion A9), med en generel tendens til at modellen simulerer for stor min afstrømning på Midtsjælland.
- Median og tør RCP8.5 har endnu mere markante reduktioner i døgnmin afstrømning, ved mange stationer med reduktioner på 15-25 % for tør RCP8.5. Samme tendens dog i mere moderat form ses for median RCP4.5 (Sektion A9).
- For Ringkøbing Fjord opland er der ret stor forskel på våd RCP8.5 (som har markant øget median min afstrømning med 20-50%) og median og tør RCP8.5 (som har stor set uændret eller svagt reduceret median min afstrømning). Median RCP4.5 har generelt et klart fald i median min afstrømning på mellem 0 og 15%.
- Generelt er der rimelig god overensstemmelse mellem simuleret median min Q og målt median min Q for Ringkøbing Fjord oplandet (Sektion A9).
- Plot af varighedskurver for Midtsjælland og Ringkøbing Fjord oplandet (Sektion A15) illustrerer påvirkningen af det samlede regime, hvor ovenfor omtalte påvirkninger er illustreret. Generelt fremgår det at der er meget god overensstemmelse mellem simuleringer ud fra målt klima og ud fra biaskorrigeret klimainput fra de fire realisationer over hele regimet.
- Ændringer i udvalgte fraktilværdier (Q1, Q25, Q75 og Q95) i Sektion A18 viser klare stigninger på median max afstrømning (Q1) ud fra samtlige Q-punkter på Midtsjælland på 100% for våd og godt 70 % for median RCP8.5. Tør RCP8.5 har median stigning på godt 20%. Median RCP4.5 har uændret median Q1 (Sektion A18). For Ringkøbing Fjord ses samme overordnede billede. Våd RCP8.5 har stigninger på Q1 på 100%, median RCP8.5 har stigninger på godt 40% og tør RCP8.5 har stigninger på godt 15%. RCP4.5 har et fald i Q1 på godt 5 %.
- Resultater for minimumsafstrømning Q95 for Midtsjælland viser uændret (våd RCP8.5) og faldende Q95 for median RCP8.5 (knap 10%), tør RCP8.5 (godt 20%) og median RCP4.5 (godt 10%). De tilsvarende tal for Ringkøbing Fjord oplandet viser at Våd RCP8.5 har øget median min afstrømning med ca. 30%, median RCP8.5 har et fald på knap 5 %, tør RCP8.5 har et fald på næsten 15% og RCP4.5 har et moderat fald på ca. 2 %.
- Samlet set er der tale om særdeles markante påvirkninger af max afstrømningen (T=30 år og månedsafstrømning for februar) og betydelige reduktion i median minimumsafstrømningen i begge oplande. Tendenser er robuste for et flertal af stationer, men med stor spændvidde specielt i effekter på minimumsafstrømningen på tværs af realisationer (RCP 8.5 våd, median og tør). Når det gælder års døgn max og døgn min er der også meget væsentlige udfordringer i RCP4.5, specielt i relation til reduceret døgn minimumsafstrømning (median min Q og Q95).

4.4.2 Overvågning af afstrømning

- Der er en rimelig dækning med vandføringsstationer i begge oplande.

4.4.3 Virkemidler i forhold til ændret afstrømning

- I forhold til øget max afstrømning (jf. Q1 til T=30 års hændelse) er virkemidler såsom G Vandparkering, H Adaptiv og integreret vandressource forvaltning (realtidsmodel og varsling), *Virkemiddel F Fjernelse af fysiske barrierer* i ådale, *Virkemiddel E Ændret vandløbsvedligeholdelse*, *Virkemiddel B Vådområder (søer og vådområder)* samt *Virke-middel A ændret arealanvendelse* alle mulige tiltag der vil kunne reducere 'peakflow'
- I forhold til reduceret minimumsafstrømning og risiko for tørlægning af mindre vandløb er virkemidler såsom *Virkemiddel D Udpumpning af grundvand* og *Virkemiddel C Flytning af kildeplads* umiddelbart de mest nærliggende. Evt. kan *Virkemiddel G Vand-parkering*, hvis det magasinerede vand anvendes i tørke situationer til f.eks. markvanding, være et robust virkemiddel der både kan bidrage til at imødegå oversvømmelser og tørke.
- I et tidligere projekt 'Landmanden som vandforvalter' hvor GEUS udførte modelberegninger for Horsens fjord oplandet blev det påvist at tilplantning af skov eksempelvis kan reducere peakflow faktoren med 20%. Men samtidig vil den øgede fordampning kunne give reduceret minimumsafstrømning hvis ikke skovrejsningen designes således at der skabes forøget grundvandsdannelse under skovarealer.
Hvis der anlægges dræning i en fast dybde under terræn (jf. fri dræningsret) vil det afhængigt af jordbundsforhold og arealanvendelser på landbrugsarealer næppe føre til klimarobusthed idet dræning kan resultere i reduceret grundvandsdannelse og dermed reduceret minimumsafstrømninger, hvorved indsats mod oversvømmelser kan skabe et uønsket problem.

4.5 Ændring i økologisk flow

- Beskrevet i videnskabelig artikel (fremsendt til Journal of Hydrology - Regional studies, maj 2020).

5 Konklusion

Som nævnt i indledningen skal projektet belyse, (a) om klimaforandringer vil kunne have betydning for vandområdeplanens tilstandsvurderinger mht. grundvand, (b) om overvågningsprogrammet er sammensat på en måde, der vil kunne øge viden om klimaforandringernes betydning for grundvandsforekomsternes tilstand, og (c) om de virkemidler, der eventuelt kommer i spil i grundvandssammenhæng, er "klimarobuste".

For at dække variationen i klimamodellernes fremskrivninger blev der valgt tre kombinationer af GCM/RCM-modeller, der dækker et interval fra tør til median til våd klimamodel, alle tre drevet af emissionsscenarioet RCP8.5 frem til 2071-2100. Desuden er der foretaget fremskrivning jf. median klimamodel drevet af emissionsscenarioet RCP4.5 frem til 2041-2071. Hydrologiske modeller er blevet opstillet og testet i to store oplande: Oplandet til Ringkøbing Fjord og et opland for Midtsjælland. Som referenceperiode er anvendt 1981-2010, med bias-korrektion af klimamodel resultater baseret på 1991-2010.

Ekspérimentet resulterede i betydelige ændringer i ferskvandskredsløbet med klimafaktorer på over 1,5-2 for nogle strømningsskomponenter for de to oplande. Kan man sikre at emissionsscenarioet RCP4.5 følges, vil der kun være moderate ændringer i vandbalancen, sammenlignet med de meget markante ændringer der ses med business as usual RCP8.5.

De fremskrevne ændringer i grundvandsdannelsen følger RCP8.5 klimamodellernes "rangorden" som er baseret på stigning i nedbør for tør, median og våd klimamodel i perioden oktober-marts, hvor den overvejende del af grundvandet dannes. Virkningen af klimaændringer på den månedlige afstrømning følger det samme mønster på alle overvågningsstationer, mens virkningen på grundvandsstanden og de biologiske kvalitetselementer (økologisk flow), tegner et noget mere komplekst billede, med til dels tvetydige resultater på tværs af realisationer og oplandsforhold.

Klimaændringer vil kunne have betydning for de elementer, der på nuværende tidspunkt indgår i de kvantitative tilstandsvurderinger mhp. forhold, der afhænger af grundvandsstand, afstrømning og økologisk- eller environmental flow. EQR-baserede empiriske ligninger for f.eks. fisk (DFFVa) fanger ændringer i store og små afstrømninger, men kan ikke stå alene. En kombination af metoder anbefales, og størrelsen af afstrømningen samt evt. ændring af fysiske forhold (herunder timing af overfladisk-, dræn- og grundvandsafstrømning) skal inddrages i de værktøjer, der anvendes i vurderingen af kvantitativ tilstand. Dette vil være et godt supplement til den fokus det nuværende formelværktøj har på pulser (frekvenser Fre1, Fre25 og Fre75), ekstremitet (Q90/Q50), forudsigelighed (BFI), varighed (dur3) og betydning af fysiske forhold f.eks. meandringsgrad (slyngningsklasse SIN).

Forholdet mellem flow og biologi bør baseres på et meget større datasæt end de 60-100 biologiske lokaliteter med observerede daglige vandføringer og 1-2 EQR værdier for en given periode. Der er behov for meget mere systematiske undersøgelser, hvor der indgår modelerede afstrømninger, grundvandsniveauer og vandbalance.

Klimafremskrivninger for emissionsscenarioet RCP8.5 viser at 10% af oplandet får en stigning af den terrænnære grundvandsstand (middel over en 30-års perioden) på 50-75 cm (variationsramme mellem tør og våd klimamodel) for Ringkøbing fjord oplandet og på 40-75 cm for

Midtsjælland. Samtidig viser resultaterne i Ringkøbing fjord oplandet og at der for 10% af oplandet simuleres et fald i grundvandsstanden på mellem 40-52 cm (variationsramme mellem tør og våd klimamodel). For Midtsjælland får 10% af oplandet et fald på 40-68 cm i terrænnær grundvandsstand som gennemsnit for 30-års perioden. RCP4.5 median klimamodel viser mere begrænsede ændringer i middeldybden til terrænnært grundvand. En væsentlig del af oplandet får dermed markante stigninger i det terrænnære grundvandsspejl, samtidig med at en anden væsentlig del vil opleve et fald i grundvandsspejlet, såfremt udledningen af drivhusgasser fortsat følger 'business as usual' (RCP8.5). Disse ændringer illustrerer at såvel nedbør som fordampning vil føre til påvirkninger af dybden til terrænnært grundvandsspejl/grundvandsstanden, og at begge dele kan være problematiske i forhold til risiko for oversvømmelser såvel som for fastholdelse af god tilstand i grundvandsafhængige terrestriske økosystemer. De viser samtidig at der kommer større sæsonfluktuationer i et fremtidigt klima.

Klimafremskrivninger peger på betydelige ændringer i risikoen for både oversvømmelses- og tørkehændelser, og der er derfor behov for, at klimatilpasningen gennemføres med øje på disse modsatrettede hensyn/ekstreme hændelser. Løsninger, der ensidigt har sigte på at reducere oversvømmelsesfaren, er derfor ikke klimarobuste, hvorimod løsninger, der indtænker øget risiko for oversvømmelse såvel som tørke, i højere grad opfylder kravet om robusthed. Beregningerne med selv et ambitiøst RCP4.5 emissionsscenario viser at problemstillingen med tørke, specielt på lerjord med stor øget fordampning i et fremtidigt klima såvel som grovsandet jord med stort øget markvandsbehov, er en ny udfordring der bør have klart øget bevågenhed frem mod 2100.

Der er ingen pejlestationer i det nationale pejlestationsprogram, der er filtersat i det helt terrænnære grundvand og dermed ingen, som er målrettet og kontinuert monitoreret i forhold til klimaeffekter på terrænnært grundvand i hverken Ringkøbing Fjord eller Midtsjælland oplandet. Pejlestationer i Ringkøbing Fjord oplandet er med en enkelt undtagelse placeret i områder, der ikke viser særligt markante ændringer, som følge af ændret fremtidigt klima. Effekten af klimaændringer beskrives derfor ikke af de nuværende overvågningsstationer. For Midtsjælland er der et større antal pejlestationer, som har bedre repræsentativitet i forhold til områder med forventede ændringer i grundvandsstanden. Der er ingen pejlestationer i områder tæt på kysten, hvor der potentielt er risiko for saltvandsindtrængning i begge oplande. Der er evt. behov for flere pejlestationer i områder med minimal påvirkning fra markvanding.

Der er konstateret en generelt større trend i målt trykniveau i forhold til simuleret trykniveau udvikling i de seneste ca. 10 år. Hvad denne forskel skyldes vil kræve en nærmere analyse. Ændringer i udnyttelsesgrad for grundvandsforekomster på Midtsjælland er relativt begrænsede i de fire realisationer. Tør RCP8.5 og median RCP4.5 viser en lille stigning på ca. 1 % i udnyttelsesgrad, for de fleste forekomster. Det er antaget, at den fremtidige indvinding er uændret, og ændringer skyldes derfor alene ændringer i grundvandsdannelsen.

Udnyttelsesgraden for kvartære grundvandsforekomster i Ringkøbing Fjord opland, der har relativ stor indvinding fra markvanding, viser betydelige stigninger. De større kvartære forekomster har mere begrænsede stigninger på få procent. Ændringer i udnyttelsesgrad for prækvartære grundvandsforekomster i Ringkøbing Fjord opland følger samme overordnede billede, blot med mere moderate ændringer. Igen er det enkelte meget små forekomster, der har de største relative ændringer (ca. 6% stigninger for tre små forekomster) i våd, median og tør RCP8.5.

Ændret arealanvendelse mhp. øget/sænket grundvandsdannelse vurderes at være et klimarobust virkemiddel i forhold til vandbalance- og grundvandsændringer. Ved at ændre arealanvendelse kan man styre fordelingen af nedbørsinput på fordampning, overfladisk afstrømning, drænastrømning og grundvandsdannelse, og vil kunne håndtere eller imødegå den forventede øgede (eller reducerede) nettonedbør i det samlede vandkredsløb. Derudover kan det give mulighed for at udnytte den bufferkapacitet, der er i at inddrage terrænoverfladen/-overfladevandet, rodzonen, umættet zone samt grundvandet til forsinkelse og magasinering af vand.

I kystnære områder kan øget grundvandsdannelse modvirke saltvandsindtrængning. Det samme kan ændret vandløbsvedligeholdelse, såfremt man hæver vandstanden i kanaler og dræn kystnært. Det vil dog være svært foreneligt med nuværende arealanvendelse.

Adaptiv og integreret vandressource-forvaltning, herunder realtidsmodellering og varsling, vurderes at være et effektivt virkemiddel, der kan give forøget klimarobusthed (resilience) i forhold til oversvømmelser og tørke. Udpumpning af grundvand, ændret vandløbsvedligeholdelse og vandparkering/magasinerings kan bringes i spil og yderligere optimeres, såfremt der foreligger et datagrundlag i realtid suppleret med kortere eller længere prognoser.