

Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvinding

Konceptuel tilgang og validering samt tilstandsvurdering
af grundvandsforekomster
Udarbejdet for Naturstyrelsen

Hans Jørgen Henriksen, Jørn Rasmussen, Martin Olsen,
Xin He, Lisbeth Flindt Jørgensen & Lars Troldborg



Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvinding

Konceptuel tilgang og validering samt tilstandsvurdering
af grundvandsforekomster
Udarbejdet for Naturstyrelsen

Hans Jørgen Henriksen, Jørn Rasmussen, Martin Olsen, Xin He,
Lisbeth Flindt Jørgensen & Lars Trolborg

Datablad

Titel: Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: "Effekt af vandindvinding". Konceptuel tilgang og validering samt tilstandsvurdering af grundvandsforekomster.

Forfattere: Hans Jørgen Henriksen, Jørn Rasmussen, Martin Olsen, Xin He, Lisbeth Flindt Jørgensen og Lars Troldborg GEUS.

Udgiver: Miljøministeriet.

Udgivelsesår: 2014
Redaktion afsluttet: December 2014

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse:

Emneord: Vandindvinding, udnyttelsesgrad, vandløbspåvirkning, kvantitativ tilstand og ID15 påvirkninger

Projektet er gennemført som led i det samlede projekt om implementering af modeller til brug for vandforvaltningen, og der har været nedsat en projektgruppe for nærværende delprojekt med henblik på løbende at drøfte og kvalificere modeludviklingen. Projektet skal bidrage til vandområdeplan 2015-21 ved at udvikle værktøjer og skal bl.a. bidrage med resultater til brug for vurdering af miljøtilstand, påvirkninger og indsatsbehov.

Projektgruppen har været sammensat af:

Peter Kaarup (Naturstyrelsen, projektejer)
Sara Westengaard Guldagger (Naturstyrelsen)
Rasmus Moes (Naturstyrelsen)
Dirk-Ingmar Müller-Wohlfeil (Naturstyrelsen)
Lars Brinch Thygesen (Danmarks sportsfiskerforbund)
Claus Kern-Hansen (Danmarks Meteorologiske institut)
Søren Kolind Hvid (Videncentret for Landbrug)
Leif Knudsen (Videncentret for Landbrug)
Pernille Weile (Foreningen af Vandværker i Danmark)
Claus Vangsgård (Dansk Vand- og Spildevandsforening)
Anne Scherfig Kruse (HOFOR)
Niels Philip Jensen (Kommunernes Landsforening)
Iben Kirchberg Nilsson (Varde Kommune)
Bente Villumsen (Danmarks Naturfredningsforening)
Marie Juul Rohde (Landbrug og Fødevarer)
Lise Johnsen (Landbrug og Fødevarer)

Website (hvor hovedrapport og appendices kan hjemtages):

<http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/Vandforvaltnings-modeller.aspx>

Indholdsfortegnelse

1.	Introduktion til metodik og resultater	5
1.1	Baggrund.....	5
1.2	Formål	5
1.3	Vandbalance test og overfladevandstest.....	6
1.4	Økologiske strømningsrelevante flow indikatorer	13
1.5	Sammenfatning af usikkerhedsvurdering	16
1.6	Sammenfatning af metodik for vurdering af vandløbspåvirkning	16
1.7	Metodik for submodel.....	17
1.8	Vandbalance test (udnyttelsesgrad)	19
1.9	Nye 3D grundvandsforekomster	19
2.	Resultater af kalibrering og validering model- og indikator grundlag til brug for kvantitativ tilstandsvurdering	25
2.1	Vandindvinding og påvirkning på ID15 samt udnyttelsesgrad jf. vandbalance test	25
2.2	Kalibrering af empiriske DCE's indikatorer (bias korrektion) til brug for implementering med DK model	28
2.3	Problemstilling omkring beregning af ændringer af EQR værdier.....	31
2.4	Eksempler på tilstandsvurdering for 12 udvalgte oplande.....	32
2.5	Resultater med submodel	35
3.	Resultater for hele landet og for grundvandsforekomster	41
3.1	Resultater af nationale vandbalance kort.....	41
3.2	Udnyttelsesgrader (vandbalance test)	43
3.3	Påvirkning af biologiske kvalitetselementer (vandløbspåvirknings test)	45
3.4	Vurdering af vandløbspåvirkning relateret til grundvandsforekomstniveau.....	54
3.5	Vurdering af usikkerheder på model	57
4.	Diskussion og konklusion	61
4.1	Opstilling og kalibrering af modelsystem til nye indikatorer.....	61
4.2	Vurdering af udnyttelsesgrader for forekomster og vandløbspåvirkning ved ID15 oplande og relaterede grundvandsforekomster	61
4.3	Analyser med submodel og reduktion af usikkerheder.....	62
5.	Referencer	63
	Appendix A Modelberegnete udnyttelsesgrader for grundvandsforekomster	
	Appendix B Resultater af tænd sluk kørsler og relatering af ID15 og forekomster	
	Appendix C Analyser af markvanding for jyske kommuner (højt og lavt scenarie)	
	Appendix D Påvirkninger af afstrømningshydrografen for 12 udvalgte oplande	
	Appendix E Resultater af submodel – kalibreringsresultat	
	Appendix F Resultater af nationale vandbalance kort	
	Appendix G Vurdering af kvantitativ tilstand for 20 intensivt udnyttede forekomster	
	Appendix H Vurdering af kvantitativ tilstand for grundvandsforekomster (vandløbspåvirkning ved ID15 og relatering til grundvandspåvirkninger)	

1. Introduktion til metodik og resultater

1.1 Baggrund

Nærværende rapport beskriver den konceptuelle tilgang og validering anvendt ved vurdering af vandbalance test for grundvandsmagasiner og påvirkningen af strømningsregimet på basis af ændringer i EQR værdier for smådyr (DVFI), planter (DVPI) og fisk (DFFVa) - se Gräber et al. (2014). Indtrængning af saltvand mv., eller kvalitetsproblemer, f.eks. indtrængning af klorid, brunt vand og frigivelse af nikkel og arsen, der skyldes vandindvindings påvirkning af grundvandsspejl og vandkredsløb, vurderes med udgangspunkt i udnyttelsesgraden for hver forekomst. Endelig er resultater for ID15 oplande mht. vandløbspåvirkning vist for 80, 50 og 20 % sandsynlighed for tilstandsændring som følge af vandindvinding. ID15 punkter er relateret til grundvandsforekomster.

1.2 Formål

Målet med projektet "Effekt af vandindvinding" er at udvikle og gennemføre analyser indeholdende en vurdering af vandløbspåvirkning, vandbalancetest og kvantitativ tilstand for hele landet. Det er samtidig målet at kunne relatere hydrologiske effekter i problemområder og punkter (for definition af ID 15 se længere nede i teksten) i vandløb til vandindvindinger tilknyttet grundvandsforekomster, som grundlag for udpegning af grundvandsforekomster med behov for indsats. Vurdering af usikkerhed på modelberegnedede udnyttelsesgrader, vandløbspåvirkning, relatering til forekomster, skala mm er en central del af projektet.

For et område med intensiv markvanding (her er udvalgt Sneum å oplandet i Sydvestjylland) foretages analyser med en submodel (100x100 m) af vandløbspåvirkninger med henblik på vurdering af usikkerhed i relation til skala, samt med mulighed for analyse af virkemidler hvor fx markvandingsboringer flyttes til større afstand fra vandløb (fx > 300 m). Projektet afsluttes med en vurdering af indsatsbehov for hele landet i forhold til acceptable påvirkninger ved at GEUS identificerer punkter (og relaterede grundvandsforekomster) der har potentielt indsatsbehov under antagelse af en given sandsynlighed for ændring af tilstand fra god/høj til ikke god tilstand som følge af vandindvinding.

Specifikt er formålene:

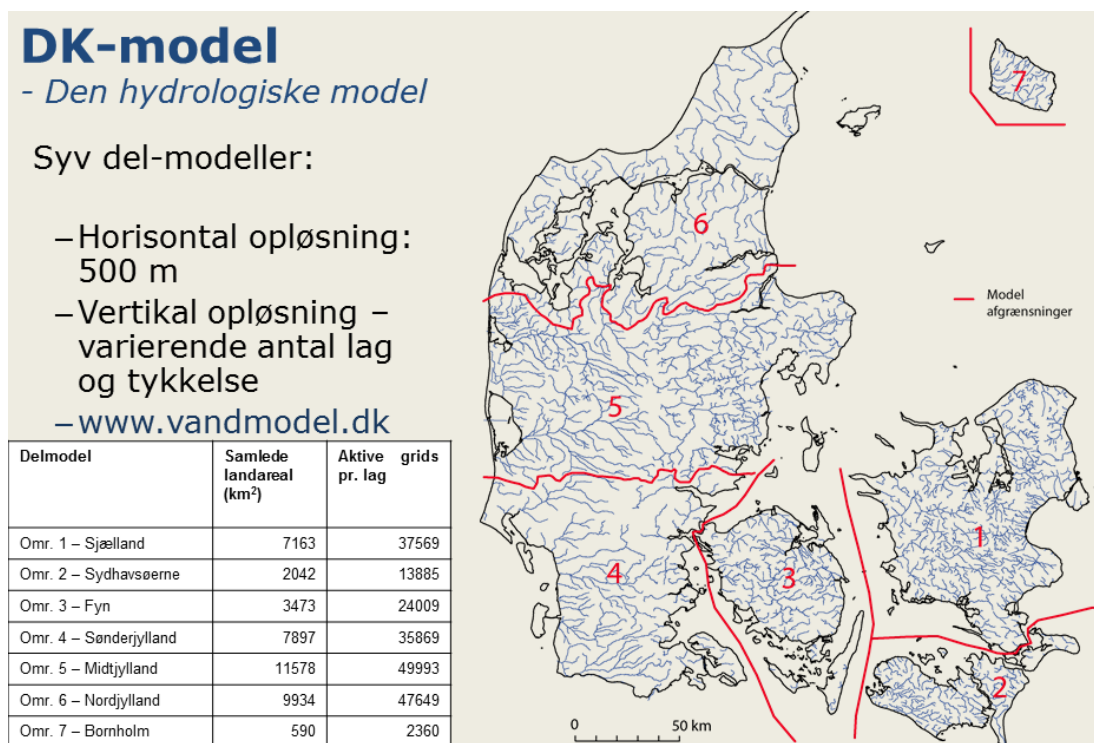
- *Udvikling af nationale kort med estimeret tilstand for vandløb og grundvandsforekomster beregnet for den aktuelle påvirkning. Dette gennemføres ved sammenligning af modelsimuleringer uden oppumpning og uden spildevand (upåvirket situation) og modelsimuleringer med indvindinger og spildevandsudledninger (aktuel påvirkning ved ID15 punkter og i forekomster)*
- *Vurdering af usikkerheden på modelgrundlag i relation til markvandingseffekter på vandløb. For et udvalgt opland, hvorfra der sker en betydelig markvanding, gennemføres der beregninger med en model opstillet med en finere rumlig diskretisering, der er tilpasset de lokale forhold.*
- *Vurdering af indsatsbehov for hele landet. Der foretages endelig en identifikation af overordnede indsatsbehov for hele landet. Analysen vil omfatte udpegning af ID15 oplande, hvor der er en sandsynlighed på hhv. 20, 50 og 80 % for at nuværende indvinding forhindrer målopfyldelse svarende til god tilstand.*

1.3 Vandbalance test og overfladevandstest

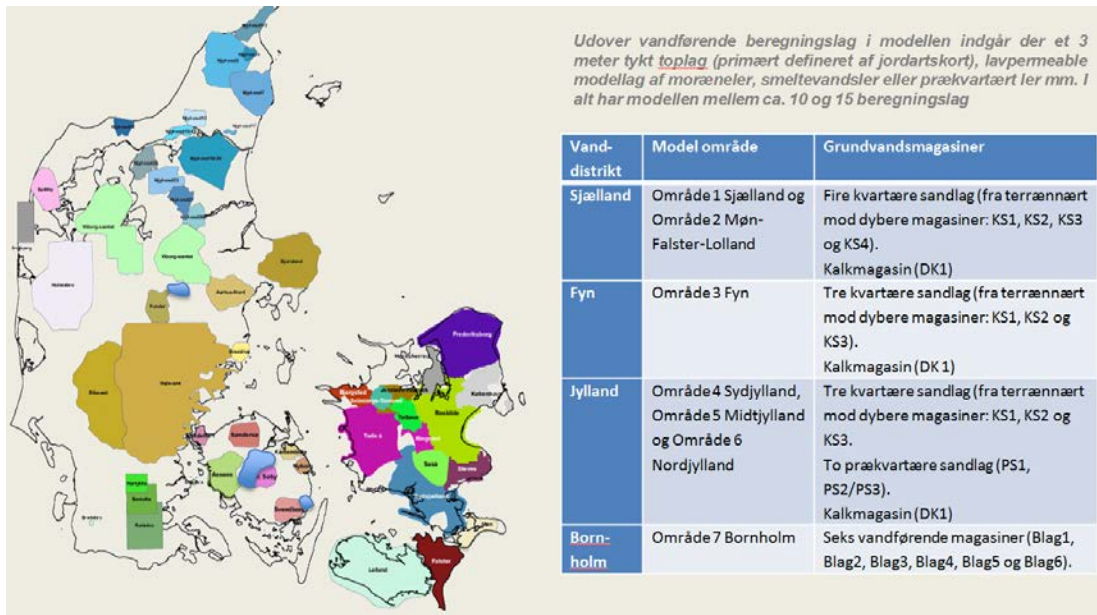
Den Nationale Vandressource Model (DK-model) er en computer model, der beskriver de væsentligste dele af ferskvandets kredsløb såsom nedbør, fordampling, overfladisk afstrømning, grundvandsdannelse, drænastrømning og afstrømning fra grundvand til vandløb, søer og hav (Henriksen et al., 2003; Henriksen et al., 2008; Højberg et al., 2010; Højberg et al., 2012). Modellen er i de senere år blevet videreudviklet med bl.a. en opdatering af den geologiske model på baggrund af nye data fra grundvandskortlægningen (fx geofysiske kortlægning og modellering på mindre skala).

Med modellen er det muligt at vurdere grundvandsressourcen og de enkelte grundvandsforekomster og magasiner under hensyntagen til ændringer i klimatiske forhold, arealanvendelse og indvindingsstruktur. Herved er det samtidig muligt at kvantificere påvirkningen af vandbalancen som følge af grundvandsindvinding, bl.a. i forhold til vandløbsafstrømning.

Den geologiske model ligger i 2014 versionen i 100x100 meters opløsning, mens den hydrologiske model har en opløsning på på 500x500 meter. I figur 1.1 er vist de syv modelområder, som anvendes i DK model 2014. I figur 1.2 er vist detailkortlægnings modeller indbygget i DK model 2014. En nærmere redegørelse for indbygning af detailkortlægningsmodeller findes i GEUS rapport 2010/80.



Figur 1.1 DK-modellens syv delområder/domæner (www.vandmodel.dk)

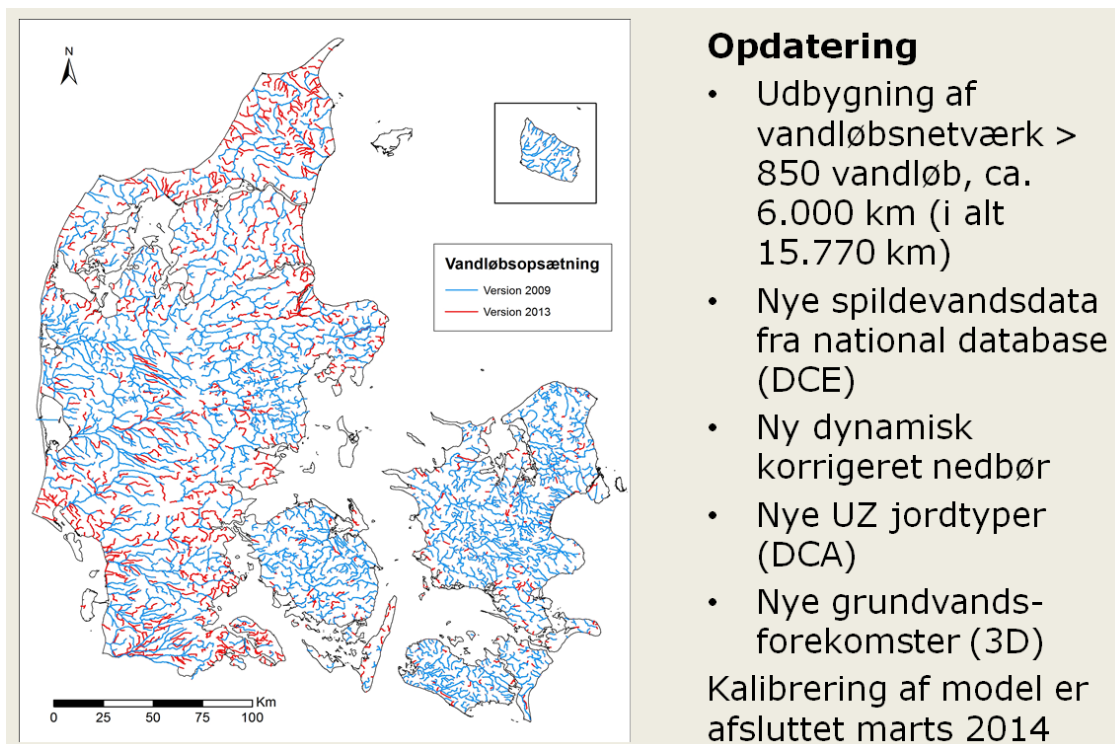


Figur 1.2 Detailkortlægningsmodeller indbygget i release version 2009/DK model 2014. For Sjælland, Lolland, Falster og Møn benyttes den kvalitetssikrede geologiske model fra NST Roskilde KS projektet afsluttet i 2012. For Fyn og øerne benyttes release version 2009, incl. opdaterede kortlægningsmodeller fra Odense Vest og Odense Syd, samt en mindre GEUS model for Lillebæk. For Jylland og Bornholm benyttes release version 2009, incl. mindre GEUS model for Silkeborg området.

DK-model er baseret på MIKE SHE/MIKE 11 og beskriver det hydrologiske kredsløb med 3D grundvandsstrømning og drænafstrømning, 2D overfladisk afstrømning, 1D vandløbsafstrømning og 1D umættet zone strømning baseret på Two-layer modellen (Stisen et al., 2012). Two-layer opdeler umættet zone i to lag, hvor fordampning foregår fra det øverste lag (rodzonen). Fordampningen fra rodzonen kontrolleres af jordtype- og vegetationsforhold samt af interaktionen med grundvandsstanden, der beskrives i MIKE SHE.

Typisk opererer DK-model 2014 med en vertikal opdeling af mættet zone med ca. 10 beregningslag i hvert modelområde (Højberg et al., 2012; www.vandmodel.dk). DK model 2014 bygger på en revideret hydrostratigrafisk model (reviderede beregningslag jf. nye 3D afgrænsede grundvandsforekomster), nye vandløb (6000 km ekstra vandløb og nye vandløbspunkter) og indeholder derudover flere beregningslag end tidligere version.

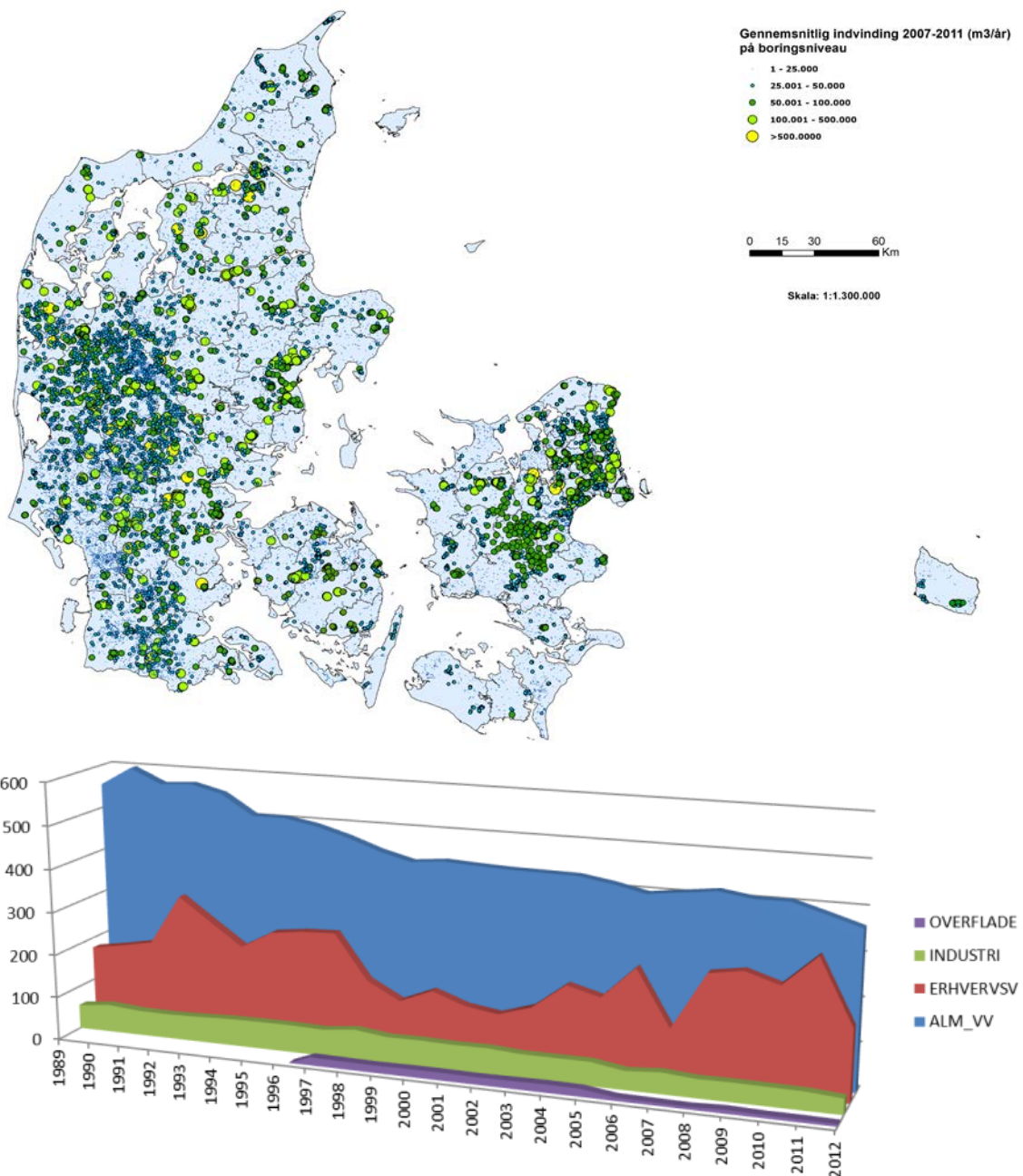
Det er især Nordjylland og Sydjylland der har fået tilføjet mange nye vandløb i setupet (se Figur 1.3). Der arbejdes desuden i modelstrategien med såkaldte ID 15 oplande. ID 15 oplande/stationer er topografiske oplande på ca. 15 km² i gennemsnit, der indgår som beregnings-polygoner i "oplandsmodel til belastning og virkemidler". I alt er der godt 3000 vandløbsstationer i ID15 temaet, hvor det er muligt at udtrække simulerede daglige vandføringer med den opstillede hydrologiske model.



Figur 1.3 Udbygning af DK model 2014 med 6000 km nye vandløb (vist med rødt). Med blåt er vist vandløb jf. release version 2009.

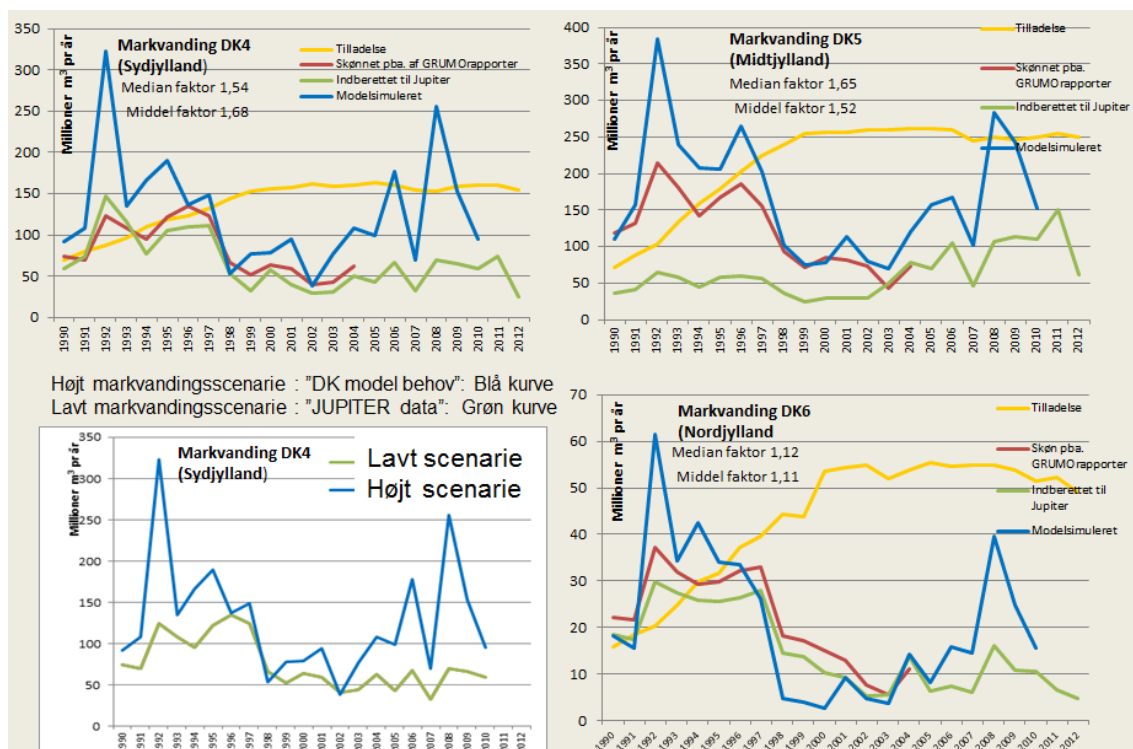
I Figur 1.4 er vist indvindingsdata for 2007-2011 for hele landet, samt tidlig udvikling jf. overvågningsrapport opdelt på hovedkategorier (1989 - 2012).

Modellering af dræning fra dyrkede arealer kan have stor betydning for tidsmæssige fordeling af beregnet afstrømning, og dermed flowvariable der indgår i nye DCE indikatorer. Dræning foregår meget enkelt i DK model. Der er dræn overalt i modellen, og de vil give afdræning, der hvor grundvandspejlet står højere end drænniveau. Der anvendes samme tidskonstant i alle områder. Det er ikke muligt at lave nogen vurdering af hvor godt den modellerede dræning passer til det, der foregår i praksis, man da der ikke findes lettilgængelige data for hvordan drænsystemer fungerer i praksis er det i DK modellen valgt at implementere dræn ensartet og simpelt. Der er i øvrigt grænser for hvor detaljeret dræn kan beskrives med modellens skala på 500x500 m. Se Nyegaard et al. (2010) for yderligere oplysninger om principper for modelopstilling, der forsat gælder for DK model 2014.



Figur 1.4 Vandindvinding i Danmark 2007-2011 (øverst) og udvikling 1989-2012 (nederst)

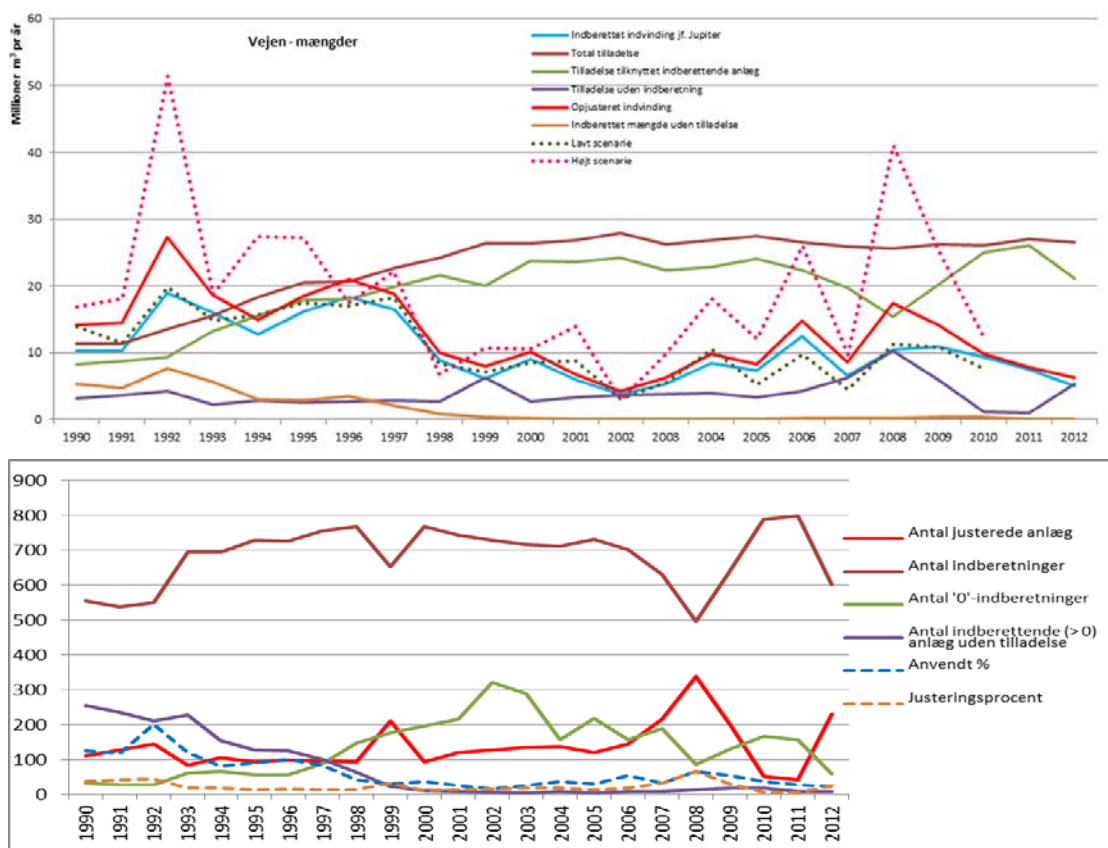
Med hensyn til markvanding så er vandindvindingsmængder til markvanding beregnet af DK modellen. Det har været nødvendigt at justere simulerede markvandingsmængder jf. JUPITER indberetninger. Der foretaget en justering af markvandingsmængder ud fra en analyse for Syd- Midt og Nordjylland, sådan at vandingsmængder passer rimeligt godt med mængder indberettet til JUPITER for de senere år (Se Appendix C). For de tidligere år har GRUMO rapporter været inddraget i justeringen af årlige markvandingsmængder. Se Figur 1.5 for Sydjylland.



Figur 1.5 Modelsimulerede markvandingsmængder med kalibreret DK model 2013, samt indberettede markvandingsmængder til JUPITER for 1990-2010 (for perioden frem til ca. 2005 er JUPITER indberetninger baseret på skøn jf. GRUMO rapporter). I det følgende anvendes betegnelsen højt/lavt markvandingsscenarie om hhv. markvanding jf. behov bestemt ud fra modellen (blå kurve), og modelberegnet markvanding justeret efter JUPITER indberetninger. Den faktiske markvandingsmængde ligger et sted imellem de to kurver.

I Figur 1.6 er vist en analyse for Vejen kommune hvor der er taget højde for ikke indberettede markvanding, i et forsøg på at vurdere mere præcist hvor den faktiske markvanding ligger, såfremt man antager at der indvindes med en udnyttelsesgrad det enkelte år der svarer til indberettede mængder fra øvrige markvanding i kommunen.

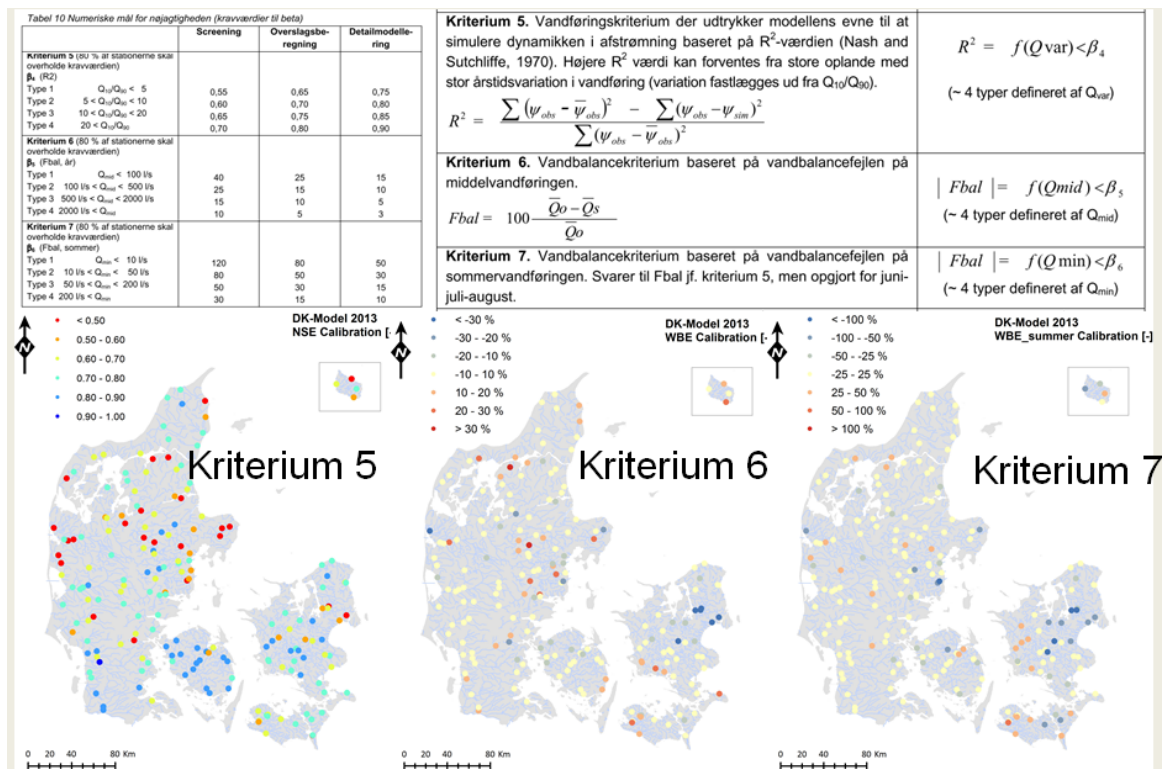
Den blå kurve på Figur 1.6 (øvre diagram) viser de indberettede markvandingsmængder jf. JUPITER og den røde kurve viser en opjustering, når det antages at ikke indberettede markvanding, har haft samme udnyttelsesgrad i % af tilladelsen det samme år. For at beregne denne justering tages der udgangspunkt i den totale tilladelse indenfor kommunen (vist med brun kurve, med grøn kurve er vist tilladelsesmængden svarende til de anlæg hvor der er indberettet for). Med mørkeblå farve er vist tilladelse uden indberetning. Endelig er med lysebrun kurve vist indberetninger der ikke har nogen tilladelse (dvs. at tilladelsen i JUPITER specielt for de første ca. 10 år er usikker). De to stiplede kurver viser de to modelscenarier hhv. Højt og Lavt scenarie. Det fremgår at den justerede indberetning (rød kurve) ligger omtrent midt mellem de to scenarier for Vejen kommune. Justeringen er sket på DK model område niveau (i dette tilfælde område 4 Sydjylland), men for Vejen kommune ligger de faktiske indvindinger altså pænt i forhold til de to scenarier. Det fremgår at det især er i år med stort markvanding behov, at indberetninger bør justeres. Nedre diagram på Figur 1.6 viser antallet af anlæg. Resultater for øvrige kommuner fremgår af Appendix C.



Figur 1.6 Analyse af indberettede markvandinger på kommune basis for Vejen kommune (Se i øvrigt Appendix C)

Med hensyn til markvanding så er vandindvindingsmængder i et såkaldt højt scenarie beregnet af DK modellen svarende til optimal vanding jf. afgrødernes behov. Markvanding beregnes i dette tilfælde af modellen baseret på afgrødernes behov (jordbundsforhold, afgrødetype og roddybde mm.) og der vandes typisk med 15-30 mm pr. vanding. Derudover indgår et andet scenarie, hvor simulerede markvandingsmængder er afstemt med indberetninger af markvanding til JUPITER (lavt scenarie) som beskrevet ovenfor. Se Troldborg et al. 2010 hvor metodik er nærmere beskrevet. I forbindelse med DK model 2014 er modellen recalibreret med opdaterede rodzoneparametre for hele landet. Da man ikke kender tidsserier for oppumpede mængder er det ikke muligt at regne ud fra faktiske oppumpninger i hver markvandingsboring, men det er tilstræbt i kalibreringen at tilvejebringe en så realistisk markvanding med vandingsmængder pr. vanding der svarer til den vanding der foregår i praksis.

I Figur 1.7 er vist hovedresultatet af kalibreringen af DK model 2014. Modellen er kalibreret såvel i forhold til trykniveauafvigelser, som i forhold til simuleret vandføring ved vandløbspunkter på årsbasis og for sommerperioden juni-august.



Figur 1.7 Kalibreringsresultat DK model 2014. Kriterium 5 (R2), 6 (Fbal) og 7 (Fbal sommer).

For langt de fleste stationer vurderes det at modellen giver en god beskrivelse af afstrømningshydrografen bedømt ud fra Nash-Suchliffe korrelationskoefficienten (R^2) og afstrømningsvandbalancen ($Fbal$ for såvel året som for sommerperioden). R^2 -værdien er udtryk for hvor god modellen er til at beskrive dynamikken i de daglige vandføringen og årstidsvariationer i forhold til observerede vandføringer ved samme lokalitet. $Fbal$ er den % vise forskel mellem gennemsnitlig modelleret vandføring for året eller sommerperioden, og tilsvarende målte vandføringer. Det vil sige at modellen er rigtig god til at beskrive fx baseflow andel af den samlede afstrømning (baseflow index, BFI), median afstrømning, altså den afstrømning der overskrides halvdelen af tiden (Q_{50}), samt sommervandføringen juli-august, som vil være på størrelse med den afstrømning der underskrides 25 % af tiden (Q_{75}). Modellen vil også være relativ god til at beskrive lowflow som fx Q_{90} (den afstrømning der underskrides 10 % af tiden), og rimelig god til simulering af "low flow ekstremiteten" udtrykt ved Q_{90}/Q_{50} .

Det har ikke været en del af kalibreringen at optimere modellens evne til at beskrive varigheder, frekvenser eller ekstremiteter, og ingen af disse størrelser har indgået i den inverse modellering vha. PEST der har været benyttet som en del af modelkalibreringen (modelkalibreringen var afsluttet før nærværende vurdering af effekt af vandindvinding gik i gang). Modellens beskrivelse af trykniveau er bedst hvor der foreligger kalibreringsdata herfor, og det vil sige for de dybereliggende magasiner, hvor de fleste pejledata foreligger for. Modellen er væsentligt dårligere funderet mht. observationsdata vedr. terrænnært grundvandspejl, og modellen kan på grund af modelskalaen på 500 x 500 m ikke beskrive potentialeforhold i detaljer hverken i ådale eller i nærheden af større kildepladser eller indvindingsboringer.

1.4 Økologiske strømningsrelevante flow indikatorer

DCE har opstillet en model for sammenhæng mellem flow variable og biologisk index score. Der anvendes her en økologisk kvalitetsindikator for hhv. smådyr, planter og fisk (såkaldte EQR værdier som typisk varierer mellem 0=dårlig kvalitet og 1=god kvalitet) for hhv. smådyr (macroinvertebrat index DVFI), planter (macrophyte index DVPI) og fisk (fish index DVFFa). Grundlaget er en statistisk regressionsanalyse (*symbolic regression vha. softwaren EUREKA*). Herved udvælges en empirisk formel med minimeret fejl (størst mulig forklaringsgrad udtryk ved R²-værdi) og mindst mulig kompleksitet (antal variable og simpelhed af matematiske udtryk).

Effekter af fysiske forhold er medtaget i EQR værdier på baggrund af slyngningsgraden. Det er velkendt at den fysiske struktur af et vandløb har stor effekt på biota, lige så vel som forskellige karakteristiske flow størrelser har det. Sinuosity (slyngningsgrad) er i øvrigt stærkt korreleret med Dansk fysik index. Der skelnes her mellem fire klasser af sinuosity: (1) Lige vandløb (SI < 1,05), (2) Svagt slyngnet (1,05 < SI < 1,25), (3) Slyngnet (1,25 < SI < 1,50) og (4) Meandrerende (SI > 1,50), hvor SI beskriver længde af vandløbet delt med korteste afstand af et lineært vandløb.

Validiteten af modellerne blev testet ved sammenligning af videnskabelig litteratur baseret på relationer mellem afstrømning, smådyr, planter og fisk (Graeber et al., 2014). Af de af DCE 75 undersøgte flowstørrelser er nogle skaleret i forhold til Q₅₀ (=median værdi) for at opnå dimensionsløs størrelse, samt for at foretage regional analyse ud fra samtlige foreliggende stationer med vandføringsdata og målinger af DVFI, DVPI og DVFFa.

DCE har ved undersøgelsen udvalgt følgende empiriske formel for DVFI (Graeber et al., 2014):

$$DVFI_{EQR} = 0.217 + 0.103 * Sin + 0.020 * Q_{90-n} * Fre_1 \quad (\text{formel I - smådyr})$$

hvor

Sin er slyngningsgrad (klasseværdi 1-4)

Q_{90-n} er et mål for små vandføringer baseret på 90 % fraktilen bestem ud fra varighedskurven, skaleret ved division med median afstrømning (Q_{50}). Dvs. $Q_{90-n} = Q_{90} / Q_{50}$

Fre_1 er årlig hyppighed af flow events, der overskrider median afstrømning (Q_{50})

Fastlæggelsen af formlen for DVFI er baseret på 122 vandløbspunkter med daglige vandføringer for perioden 2004-2011 (korrelationskoefficient $R^2 = 0,44$). Slyngningsklasse udgør en væsentlig del af den samlede EQR værdi, og flowrelaterede størrelser har omtrent tilsvarende betydning. De vigtige flowparametre for DVFI er vandføringer der underskrives i ca. 90 % af tiden (Q_{90} normaliseret ved division med Q_{50}) og hyppighed af moderat store afstrømningsevents (Fre_1) over median afstrømningen (Q_{50}) pr. år.

For planter gav DCEs analyse ud fra 91 lokaliteter (korrelationskoefficient $R^2 = 0,34$) følgende empiriske formel II (Graeber et al., 2014):

$$DVPI_{EQR} = 0.546 + 0.020 * Fre_{25} - 0.019 * Dur_3 - 0.025 * Fre_{75} \quad (\text{formel II - planter})$$

hvor

Fre_{25} årlig hyppighed af flowevents, der overskrider en karakteristisk høj vandføring (Q_{25}) bestemt som høj Q afstrømning på varighedskurve svarende til 25 % af

- tiden udtrykt i events pr. år
- Fre_{75} årlig hyppighed af flowevents, der underskider karakteristisk lav afstrømning (Q_{75}) bestemt som lav Q afstrømning på varighedskurve (75 % af tiden har højere afstrømning) udtrykt i events pr. år
- Dur_3 årlig varighed af ekstreme høje afstrømninger, der er 3 gange større end median afstrømning (Q_{50}) udtrykt i dage pr. år

Det fremgår af formel II, at differencen mellem hyppighed af hændelser der overskrider høj afstrømning (Fre_{25}) og events der underskider lav afstrømning (Fre_{75}) har betydning, ligesom at varighed af ekstreme afstrømninger er begrænsende for planter (Dur_3).

For fisk har DCE fundet følgende empiriske formel ($R^2 = 0,49$) udledt på baggrund af 61 lokaliteter (Formel III – fisk), Graeber et al. (2014):

$$DFFVa_{EQR} = 0.811*BFI + 0.058*Sin + 0.050*Fre_{25} - 0.319 - 0.0413*Fre_{75} \quad (\text{formel III – fisk})$$

hvor

BFI er baseflowindex defineret ved relativ andel af base flow (værdi mellem 0 og 1 hvor vandløb med relativt stabile, grundvandsdominerede afstrømningsregime har værdier tæt på 1)

Ved vurderingen af behov for indsats benytter man ændringer på de beregnede værdier for DVFI, DVPI og DFFVa frem for de absolutte værdier, idet pålideligheden på ændringer vurderes væsentlig højere end de absolutte værdier. Samtidig indgår slyngningsklasse leddet (Sin) og beregnede ændringer foreligger derfor for samtlige ID15 oplande, også for de oplande, hvor der ikke foreligger målt Slyngningsklasse.

Anvendelse af denne metode (altså at fokuserer på ændringer frem for absolutte værdier) indebærer et kriterium for hvor meget en indikator må ændre sig som følge af vandindvinding, samt evt. supplerende kriterier for hvornår det ikke længere er sandsynligt at en evt. indsats vil kunne bringe et ID15 delopland fra ringe til god tilstand. Vedrørende sidstnævnte kan fx det være tilfældet, såfremt et ID15 opland har så dårlig tilstand (så lav EQR værdi), at det selv incl. indregning af usikkerhedsbåndet på 95% signifikansniveau aldrig kan komme op på en EQR værdi svarende til god tilstand (se Tabel 1.1).

Selvom man altså tager udgangspunkt i beregnede ændringer i EQR ved vandindvinding, identificeres totale værdier så man har mulighed for at vurdere hvilken tilstand en given ID15 lokalitet har på basis af flowvariable. Det har været en del af valideringen af metodikken, at man kunne generere et landsdækkende kort der i grove træk kan belyse tilstand sammenlignet med fx resultater af basisanalysen fra 2013 (jf. tilstandsklasser i Tabel 1.1 fastsat af DCE).

Det har vist sig at identifikation af slyngningsklasse baseret på GIS kort giver meget usikre resultater. Derfor er der ved beregning af totale EQR værdier benyttet observeret slyngnings klasse, hvor disse data foreligger. Hvor der ikke foreligger målte værdier, er totale værdier ikke beregnet, men her er der kun beregnet ændringer, hvilket er muligt fordi SIN-leddet udgår ved beregningen af EQR ændringer.

Tabel 1.1 EQR grænseværdier for DVFI, DVPI og DFFVa (kilde: DCE)

Tilstand	DVFI	DVPI	DFFVa
Høj tilstand	> 1,00	> 0,70	> 0,94
God tilstand	0,71 – 1,00	0,50 – 0,70	0,72 – 0,94
Moderat	0,57 – 0,71	0,35 – 0,50	0,40 -0,72
Ringe	0,43 – 0,57	0,20 – 0,35	0,11 – 0,40
Dårlig	< 0,43	< 0,20	< 0,11

Det bemærkes, at ovenstående værdier i Tabel 1.1 gælder for større vandløb (> 15 km²).

DCE har beregnet en sandsynlighed for ændret tilstand fra høj/god tilstand til moderat/ringe/dårlig tilstand på 80, 50 og 20 % sandsynlighedsniveau (se Tabel 1.2). Sandsynligheder for tilstandsændringer er beregnet af DCE alene på basis af observerede EQR data, ved at undersøge en given ændring af biologisk kvalitetselement med størrelsen X (fx 0,01 eller 0,05), og derefter ud fra samtlige observationer (fx 122 for DVFI) beregne sandsynligheden for tilstandsændring (dvs. hvor mange af de 122 der fx ændrer tilstand for et givent X). På et 80 % sandsynlighedsniveau må de biologiske kvalitetselementer fx maksimalt reduceres som følge af vandindvinding med følgende kravværdier: DVFI = -0,24, for DVPI = -0,23 og for DFFVa = -0,22 (se Tabel 1.2).

Tabel 1.2 Kravværdier til ændringer i EQR værdier for DVFI, DVPI og DFFVa jf. DCE svarende til hhv. 80 %, 50 % og 20 % sandsynlighed for ændret tilstand fra høj/god til ikke god tilstand

Sandsynlighed for at tilstand skifter fra høj/god til moderat/ringe/dårlig tilstand	DVFI Max reduktion af EQR værdi	DVPI Max reduktion af EQR værdi	DFFVa Max reduktion af EQR værdi
80 %	0,24	0,23	0,22
50 %	0,12	0,11	0,16
20 %	0,06	0,03	0,05

DCEs analyse har i øvrigt vist at variabelen medianminimums-afstrømning (median min Q) ved forceret inddragelse ikke giver forbedret korrelation, og at median min Q ikke er nogen særlig relevant indikator i forhold til fisk, smådyr og planter i vandløb. Der er dog flere af de indgående 6 variable, der er relevante i forhold til low flow, det gælder fx Q90 og Fre₇₅.

DCE har beregnet prædikations-usikkerheden for de tre empiriske formler på et hhv. 5-95 % og 25-75 % signifikans niveau med størrelser angivet i Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Øvre og nedre prædiktions grænser (EQR værdier) svarende til 5-95 og 25-75 % signifikansniveau (Kilde: Daniel Graeber, DCE)

Biologisk kvalitets element	5 % Nedre prædiktions grænse	25 % Nedre prædiktions grænse	75 % Øvre prædiktions grænse	95 % Øvre prædiktions grænse
DVFI	-0,21	-0,11	0,13	0,33
DFFVa	-0,32	-0,17	0,18	0,31
DVPI	-0,18	-0,08	0,09	0,20

Det vil sige at en bestemmelse af DVFI med den empiriske formel der resulterer i en EQR værdi svarende til skiftet mellem god og ikke god tilstand (= 0,71), på et 5-95 % signifikansniveau, må antages reelt set at have en EQR værdi der kan ligge mellem $0,71 - 0,21 = 0,50$ og $0,71 + 0,33 = 1,04$ (den sandsynlige tilstand spænder dermed lige fra ringe til høj tilstand).

Oplande der med beregningen ud fra empiriske formler har EQR værdier lavere end grænsen mellem dårlig og ringe tilstand (for beregningen uden indvinding) er det valgt at se bort fra, da det med det beregnede usikkerhedsbånd er meget lidt sandsynligt at der vil kunne opnås god tilstand. Oplande hvor der er **målt** god tilstand jf. basisanalyse 2013 ses der også bort fra (på basis af Basisanalyse 2013 temakort for fisk, planter og faunaklasser). Endelig ses der bort fra ID15 oplande, der har en median afstrømning (Q50) på under 10 l/s ved aktuel indvinding. Under 10 l/s vurderes model for upålidelig til vurdering af Q50 og dermed øvrige flowvariable der indgår i indikatorer. I alt 295 ID15 oplande eller ca. 10 % af samtlige har median afstrømninger (Q50) under 10 l/s, og frasorteres.

1.5 Sammenfatning af usikkerhedsvurdering

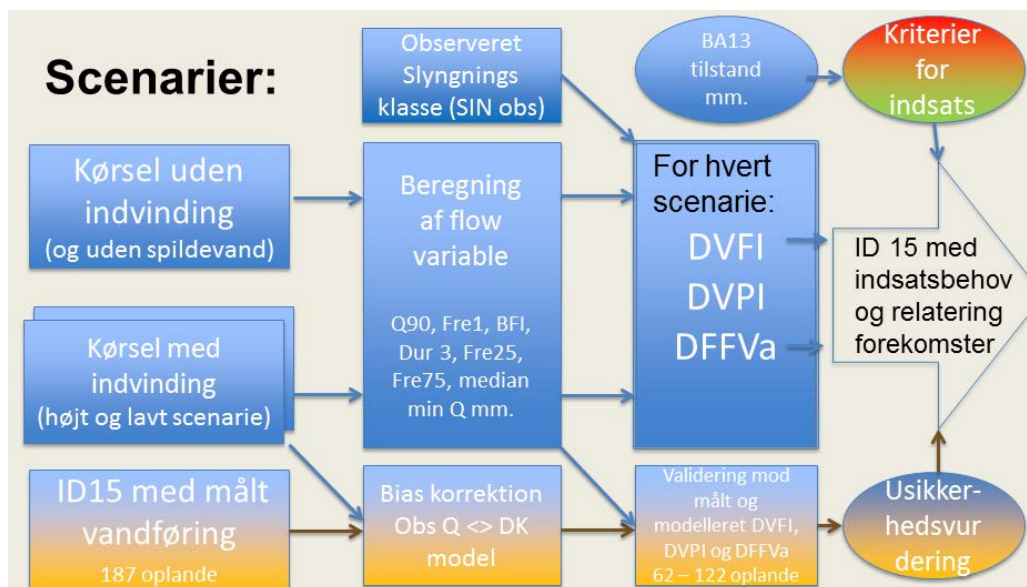
Usikkerhedsvurderingen omfatter følgende metodikker / elementer:

Usikkerhed på DK model i relation til:

- Vandindvinding / Markvanding: Belyst ved hhv. højt og lavt scenarie
- Vandløbspåvirkning. Usikkerhedsvurdering på DK model beregnet BFI, Q90, Fre1, Fre15, Fre75, Dur3, Q50 og Med. Min. Q, samt usikkerhed på beregnet DVFI, DVPI og DFFVa i forhold til DCE beregninger på basis af observeret afstrømning og målte EQR værdier for de tre indikatorer
- Usikkerhed på beregnede EQR værdier samt ændringer som følge af vandindvinding
- Betydning af modelskala og stedspecifik kalibrering for usikkerheder på flow variable og indikatorer. Analyseret ved hjælp af Submodel for Sneum å

1.6 Sammenfatning af metodik for vurdering af vandløbspåvirkning

Den samlede metodik beskrevet ovenfor er sammenfattet i Figur 1.8.



Figur 1.8 Samlet metodik for vurdering af indsatsbehov og relatering til grundvandsforekomster (vandbalance test og vandløbspåvirkning)

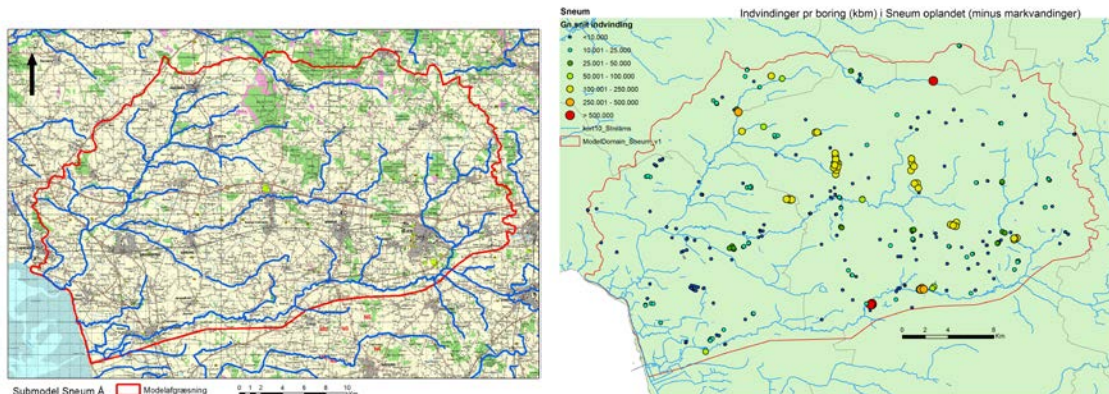
Med den kalibrerede DK model køres først en 20 årig kørsel 1990-2010 uden indvinding (og uden spildevand) og dernæst en kørsel for højt og lavt indvindingsscenarie der benyttes som opvarmningskørsel til produktionskørsler for reference, og med indvinding (højt og lavt scenarie), der køres igen for 1990-2010 med starttrykniveau fra opvarmningskørslen. Det er nødvendigt da det afhængigt af de geologiske forhold kan tage flere årtier (10-30 år) før grundvandsspejl indstiller sig i en ny ligevægt. Først når grundvandsspejlet har indstillet sig jf. den nye trykniveauligevægt vil også vandbalanceforhold og det simulerede flows til dræn, vandløb, hav osv. repræsentere den nye ligevægtssituation jf. begrebet "capture" (Henriksen og Refsgaard, 2013). Der udtrækkes til slut værdier for udnyttelsesgrad baseret på samlet oppumpning fra hver forekomst divideret med akkumuleret grundvandsdannelse til forekomsten for perioden 2005-2010. For hvert ID15 vandløbspunkt udtrækkes ud fra simuleret hydrograf flow variable (Q90, Fre1, BFI m.fl.) for 2004-2010.

Modellerne kører med daglig nedbør, temperatur og potentiel fordampning som input. Indvindinger fra vandværker er baseret på årlige indvindingstal fordelt ud på kildepladser og borerer jf. JUPITER data. Ud fra simulerede daglige vandføringer ved samtlige ID15 stationer, er der udtrukket flow variable der indgår i DVFI, DVPI og DFFVa hvorved total værdi af DVFI og DFFVa er beregnet incl. observeret slyngningsklasse ud fra formler I, II og III beskrevet ovenfor. Usikkerhedsvurderinger har vist at en bias-korrektion er nødvendig (belyst nedenfor) da DK model giver nogen systematiske afvigelser på specielt beregnede frekvenser. Bias-korrektionen er gennemført, jf. nedenstående.

1.7 Metodik for submodel

For sub-model området Sneum å oplandet (med markvanding) er der opstillet en submodel (100x100 m) med henblik på vurdering af skalaforhold samt effekter af flytning af indvindingsboringer i forhold til vandløb som udgør et relevant virkemiddel i specielt markvandsområder. Desuden indgår en nærmere analyse af usikkerheder på vurdering af vand-

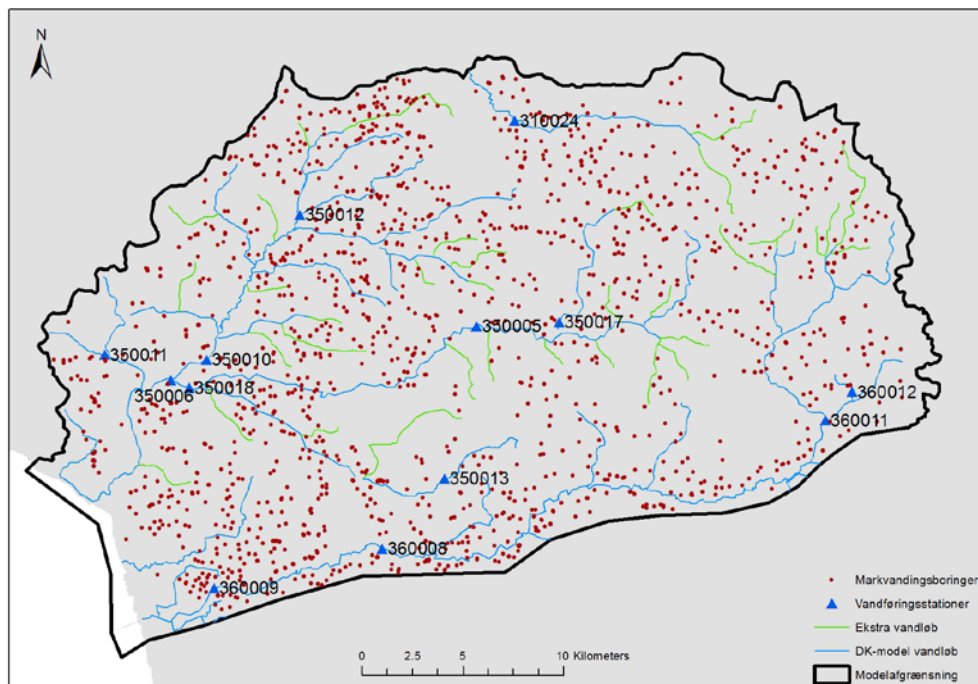
løbspåvirkninger fx medianminimum-afstrømning med DK model (500x500 m versus 100x100 m) ud fra submodel (se Figur 1.9 hvor geografisk område og indvindinger for submodel er vist).



Figur 1.9 Submodel område Sneum å. Venstre: Modelområde med geografi og vandløb. Højre: Vandløbssetup og indvindinger i området.

Submodellen er opstillet med udgangspunkt i randbetingelser fra DK model Sydjylland. Der er anvendt samme geologiske model som i DK model. Der er tilføjet supplerende pejletids-serier fra Esbjerg vandforsyning fra området omkring kildepladser nord for Holsted og nord for Brørup (vist i Figur 1.9) og indsamlet supplerende vandføringsdata (se målestationer på Figur 1.10) fra Vejen kommune. Efter opstilling og test af modellen, er den kalibreret inverst i forhold til stedspecifikke data (pejlinger og afstrømningsmålinger). Der er sket en redigere af modelsetup så topografi, vandløb er detaljeret i forhold til DK modellens opløsning.

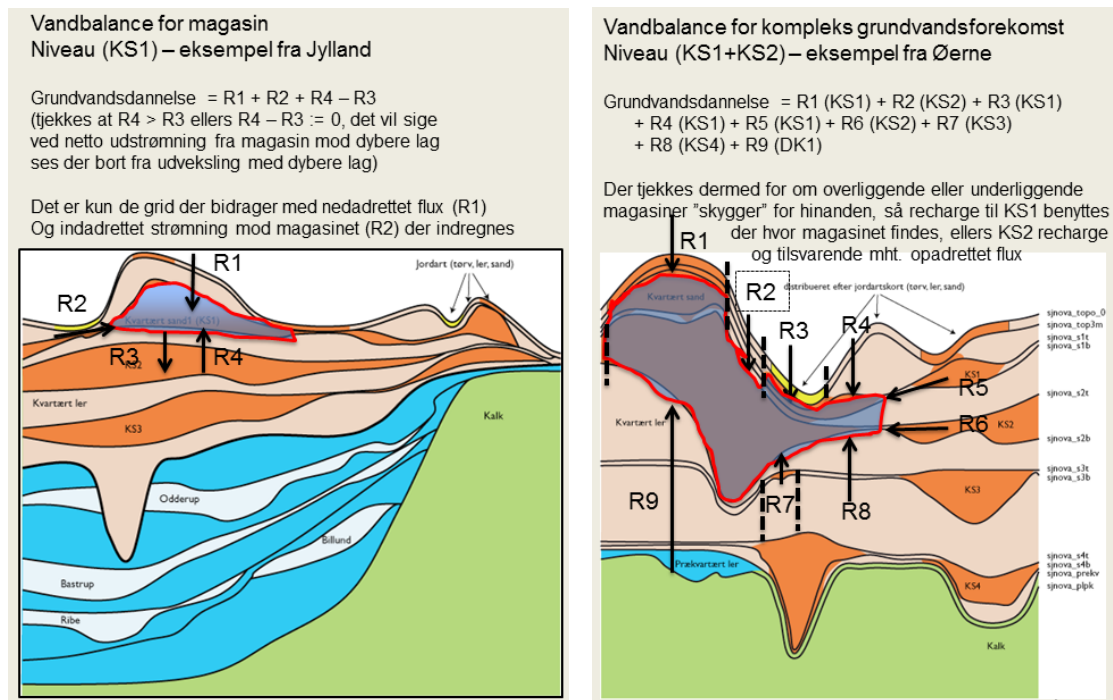
I Figur 1.10 er vist placering af markvandingsboringer indenfor submodel området, samt målestationer af vandføring og tilløb der er tilføjet til vandløbssetup.



Figur 1.10 Markvandingsboringer og vandføringsstationer i submodel. Med grønt er vist supplerende tilløb der er tilføjet vandløbssetup

1.8 Vandbalance test (udnyttelsesgrad)

Vandbalancer for grundvandsmagasiner og grundvandsforekomster er beregnet ved programmering af en algoritme i MatLab der udtrækker resultater direkte fra MIKE SHE's resultatfiler. I Figur 1.11 er vist en principskitse for udtræk af vandbalancer på magasin- og grundvandsforekomst niveau.



Figur 1.11 Principskitse: Udtræk af udnyttelsesgrader for magasiner og grundvandsforekomster

På magasin niveau hvor et magasin altid er afgrænset i et enkelt modellag, udtrækkes dels nedadrettet strømning til magasinet, horisontal indflow, og evt. opadrettet strømning (dog reduceret for nedadrettet strømning til dybere lag; differens sættes = 0 for sidste led hvis nedsivning > opsivning).

På grundvandsforekomstniveau ses der bort fra interne vertikale fluxer mellem magasiner. Det undersøges om der er overliggende magasiner indtil flere lag over forekomsten, og kun hvis der ikke er magasiner, indregnes evt. nedadrettet flux (tilsvarende for opadrettet flux i forhold til underliggende vandførende lag i grundvandsforekomsten). På grundvandsforekomst niveau fratrækkes nedadrettet udstrømning ud af fx dybeste lag ikke, idet grundvandsforekomster per definition er adskilte af lavpermeable lerlag, i forhold til evt. dybere-liggende forekomster (sidstnævnte antagelse har i øvrigt ikke væsentlig betydning på forekomstniveau).

1.9 Nye 3D grundvandsforekomster

GEUS har i samarbejde med vFKG Grundvand udarbejdet et forslag til ny afgrænsning af grundvandsforekomster til brug for VP2, hvormed der opnås en mere retvisende og ensar-

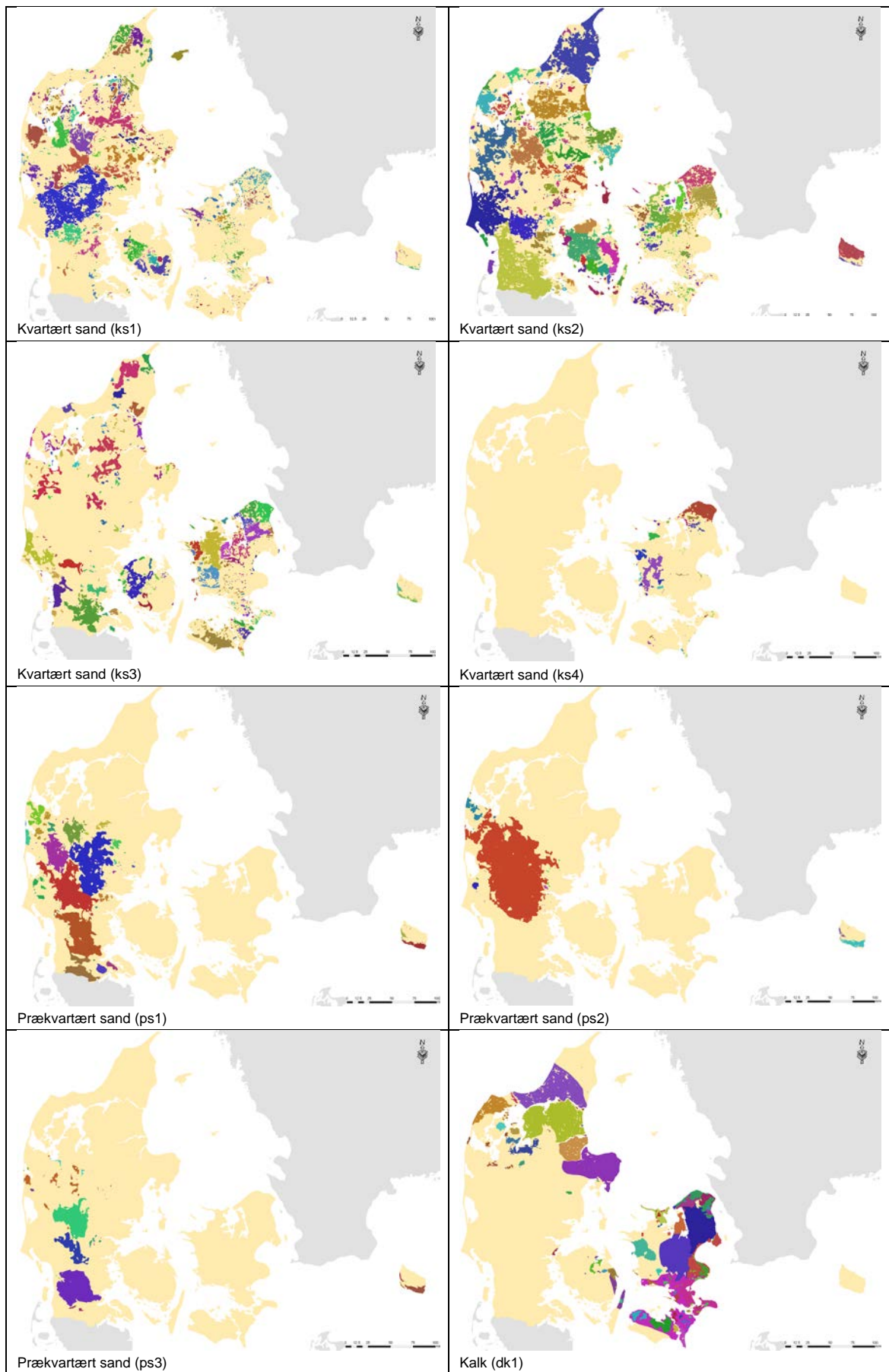
tet afgrænsning af grundvandsforekomsterne Den nye afgrænsning muliggør i højere grad end i VP1 tilstandsvurdering og indsatsberegning, men er ikke uden egne problematikker og usikkerheder. Den nuværende afgrænsning af grundvandsforekomsterne i vandplanerne fra 2006 er uensartet på tværs af landet, og de i VP1 anvendte data vurderes – bortset fra på Sjælland - ikke detaljerede nok til at muliggøre beregninger af kvantitativ tilstand og indsatsbehov. Dette skyldes, at afgrænsningen er foretaget på baggrund af amternes data, der benyttede forskellige metoder på basis af data af varierende kvalitet (Trolborg et al., 2014).

Metodik for ny 3D grundvandsforekomst afgrænsning på baggrund af GIS analyse af geologien som den ligger i DK modellen (DKM geologi) er baseret på (Se Fig. 1.12):

- Afgrænsning af DKM hydrostratigrafi
- Udarbejdelse af magasintykkelse ud fra DKM hydrostratigrafi
- Udarbejdelse af magasinegenskaber ud fra DKM hydrogeologi
- Afklaring af magasin sammenhænge på tværs af DKM hydrostratigrafiske enheder

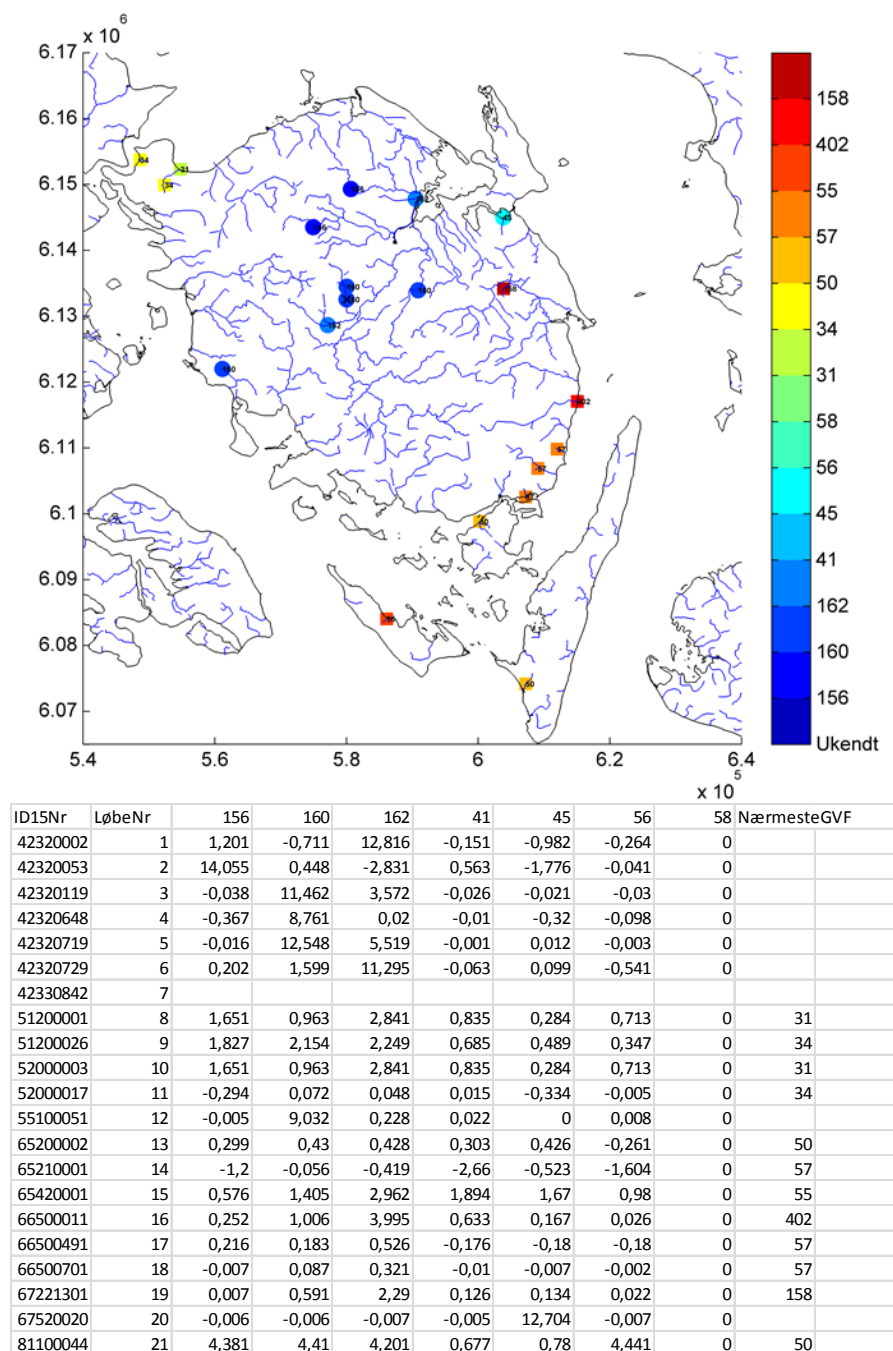
Udtræk vandbalancer for grundvandsforekomster er foretaget for 2005-2010 og vist på kort for samtlige grundvandsforekomster (se Appendix A):

- Grundvandsdannelse (sum af nedadrettet flux til grundvandsforekomst og opadrettet flux; horisontal tilstrømning til grundvandsforekomster er taget med selv om det er mindre betydende, viser afprøvningen for Fyn)
- Aktuel oppumpning fra grundvandsforekomst bestemmes ved akkumulering af samtlige vandindvindinger
- Udnyttelsesgrad = $100 * \text{Aktuel oppumpning} / \text{Grundvandsdannelse}$ vises på nationalt kort for grundvandsforekomster i udnyttelsesgradsintervallerne: 0%, 0- 10 %, 10-20 %, 20-30 %, > 30 %. Metodik for relatering af ID15 oplande til grundvandsforekomster



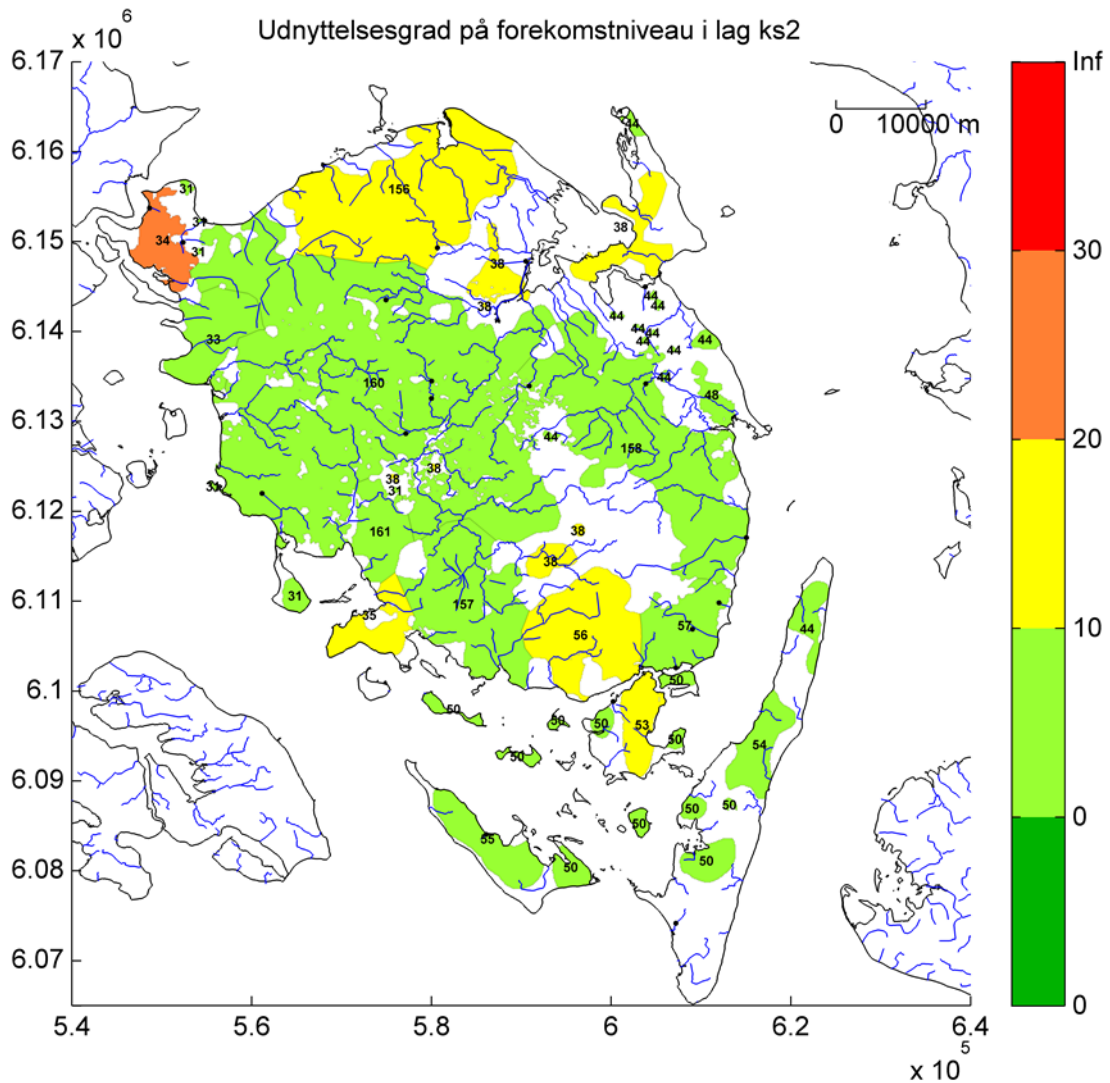
Figur 1.12 Ny afgrænsning af ca. 400 grundvandsforekomster

GEUS har foretaget 25-30 supplerende tænd/sluk kørsler af indvinding i grundvandsforekomster (kørsel hvor alle indvindinger er slukket, hvorefter det er undersøgt hvor meget median min Q er forøget ved ID15 punkter), med henblik på nærmere analyse af relationer mellem vandindvinding i grundvandsforekomster og påvirkninger ved ID15 punkter. I Figur 1.13 er vist et eksempel på resultatet af denne relateringsanalyse for område 2 Fyn. Desuden er vist resultatet af samtlige tænd-sluk kørsler for Fyn i tabelform. I Figur 1.13 er vist sammenstilling af udnyttelsesgrad og påvirkninger af vandløbspunkter (ID15) med mere end 10 % median min Q reduktion.



Figur 1.13 Resultat af relateringsøvelse for Fyn. Farveskalaen viser grundvandsforekomst nr. der vurderes at være årsag til påvirkning ved ID15 station.

I Tabellen i Figur 1.14. udgør hver kolonne en tænd-sluk kørsel, hvorved øget median min Q som følge af slukning af alle indvindinger i forekomsten er beregnet (i %) ved ID15 punkter. Slukning af forekomst 156 giver eksempelvis ved Løbe Nr. 2 (ID15) en øget median min Q på 14 %, dette ID15 opland er derfor primært påvirket fra forekomst 156



Figur 1.14 Der er udarbejdet plot for samtlige forekomster som vist ovenfor for KS2 for område 2 Fyn. Farvesignaturen viser udnyttelsesgraden af grundvandsforekomster i % fx rød: > 30 %, orange: 20-30 %, gul: 10-20 %, lysegrøn: 0-10% og mørkegrøn: 0 %). Den endelige vurdering af relatering mellem grundvandsforekomster og ID15 punkter med vandløbspåvirkninger (nye DCE indikatorer) er baseret på en faglig vurdering for hvert enkelt ID15 punkt, hvor der indgår tænd-sluk resultater og udnyttelsesgrader (GIS)

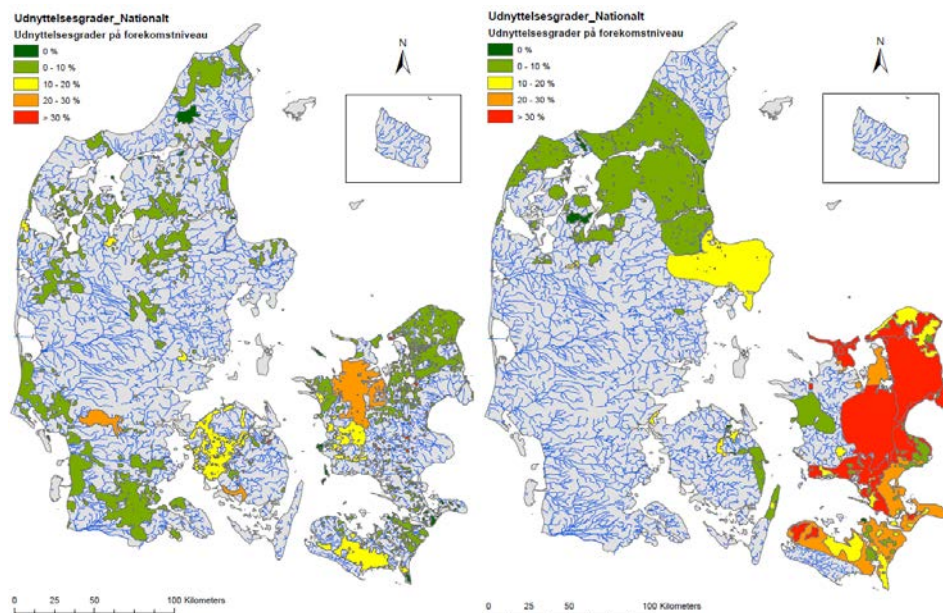
Udpegningen af vandløbspåvirkninger er sket med støtte i et GIS, ved sammenholdelse af forskellige GIS temaer: (i) vandløbspåvirkning ved ID15, (ii) vandløbsnetværk og (iii) udnyttelsesgrader i GIS lag for hver DK modellag (KS1, KS2 ..., PS1, PS2, ..., DK1; delt op på finere intervaller: 0, 0-2 %, 2-10 %, 10-30 % og > 30 % udnyttelsesgrad)

Resultater af tænd sluk kørsler udpeger en del relationer mellem problem ID15 punkter og relaterede forekomster for Sjælland, Fyn, Øerne og Nordjylland. For Midtjylland og Sydjylland har denne metode ikke været i stand til at afgrænse ret mange forekomster, pga. generelt udbredte forekomster og mange små indvinding til markvanding. I Appendix B er vist tilsvarende resultater for øvrige DK model områder.

2. Resultater af kalibrering og validering model- og indikator grundlag til brug for kvantitativ tilstands- vurdering

2.1 Vandindvinding og påvirkning på ID15 samt udnyttelses- grad jf. vandbalance test

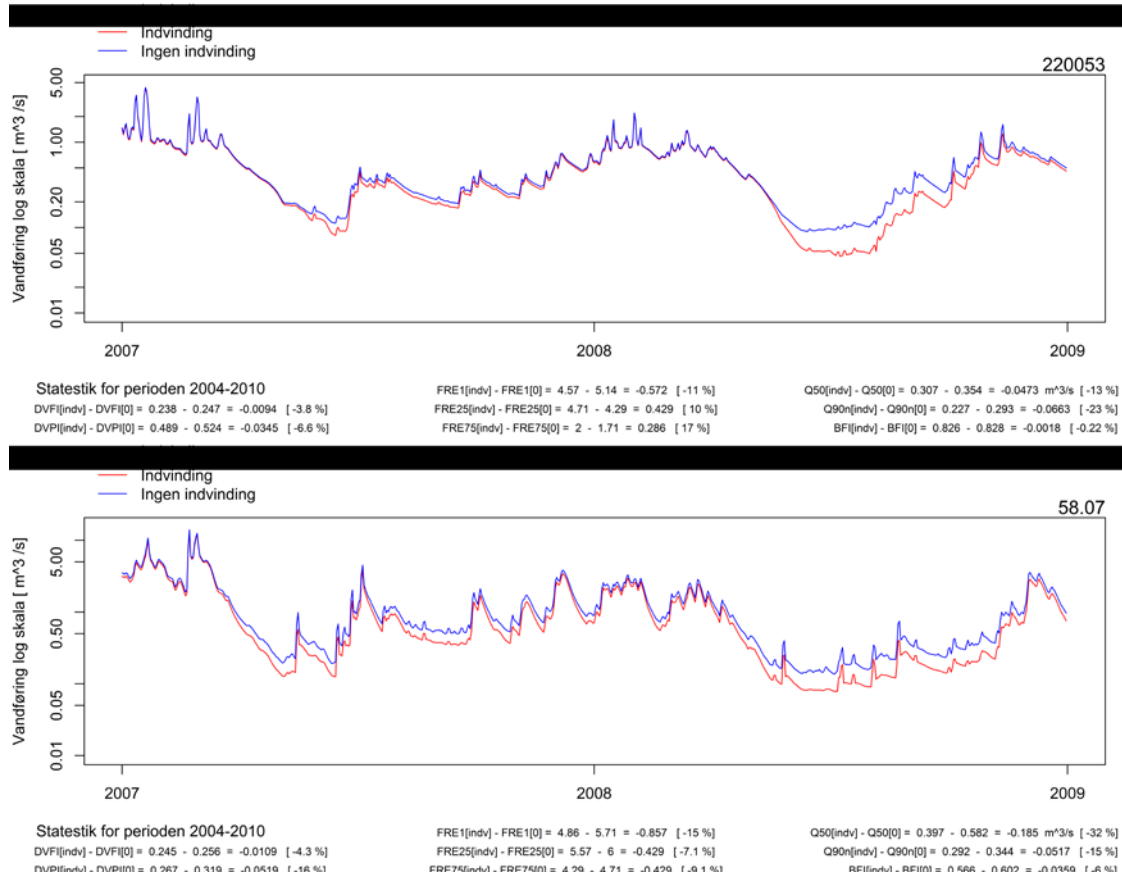
Vurdering af vandindvindingens påvirkning af vandbalance forhold og vandløb er baseret på dels en vurdering af udnyttelsesgraden for de 400 grundvandsforekomster, og dels på- virkningen af EQR værdier for de ca. 3000 ID15 oplande. I Figur 2.1 er vist et eksempel for resultater af udnyttelsesgrad (I Appendix A er vist resultater for alle grundvandsforekom- ster).



Figur 2.1 Eksempel på resultater for udnyttelsesgrader. Til venstre lavt scenarie - kvartært sand 3 (Ks 3) og til højre lavt scenarie - kalk (dk1)

Figur 2.2 viser et eksempel på effekt af vandindvinding på basis af hydrografer for to stationer. Dels en station i et område med markvanding og dels en station for et østdansk område (under figuren er vist en statistik af beregnede flow variable for henholdsvis situationen uden indvinding og aktuel indvinding jf. højt scenarie). Appendix C indeholder resultater af hhv. højt og lavt scenarie analyseret på kommunebasis for jyske kommuner.

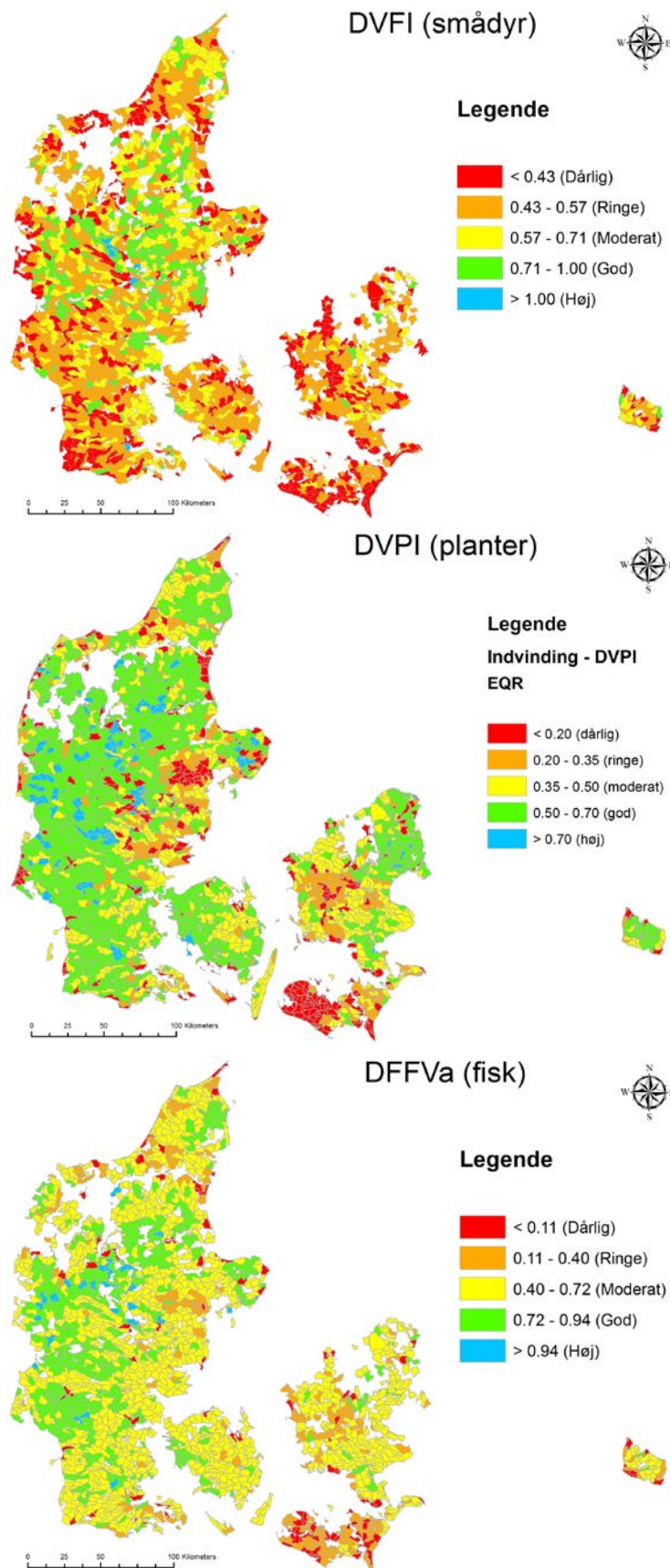
Det er valgt kun at vise to års afstrømning (2007-2008). Disse år er valgt da 2007 svarer til et år med begrænset markvanding og 2008 er det år i perioden 2004-2010 der havde den mest intensive markvanding. Jf. højt scenarie ville der dette år have været indvundet omkring den tilladte markvandingsmængde, såfremt vandingskapaciteten i landbruget havde muliggjort det. Afstrømningen er plottet med en logaritmisk akse for at fremhæve effekten af vandindvinding på typisk de mellemstore og små afstrømninger.



Figur 2.2 Hydrografer for to udvalgte stationer der viser effekt af vandindvinding på daglig vandføring. Øverst område hvor indvinding er domineret af markvandning, nederst østdansk opland. Bemærk at beregnede DVFI, DVPI og DFFVa værdier er excl. bidraget fra slyngningsklassen.

Det har som nævnt været nødvendigt at justere beregnede EQR værdier når der i stedet for målt vandføring benyttes beregnet vandføring fra DK model. DK model underestimerer frekvensværdier som Fre1, Fre25 og Fre75, og overestimerer varigheden af store afstrømninger (Dur3). Detaljer er nærmere forklaret i næste afsnit, men det er valgt på basis af en sammenligning af modelberegnete vandføringer og målte vandføringer at indføre korrektionsværdier der opjusterer DVFI, DVPI og DFFVa på basis heraf.

Ud fra resultater for hvert nedstrøms ID15 lokalitet er der beregnet totale EQR værdier incl. biaskorrektion (se nedenfor) og incl. slyngningsgrad (SIN obs der indgår i empiriske formler for DVFI og DFFVa). Figur 2.3 viser resultatet af de beregnede EQR værdier for DVFI, DVPI og DFFVa, incl. betydning af fysiske forhold (slyngningsklasse) og incl. bias korrektion.



Figur 2.3 Resultater af beregnede biologiske kvalitetselementer (EQR værdier) ved aktuel vandindvinding for 2004-2010 og vist jf. tilstandsklasse (dårlig, ringe, moderat, god, høj). Øverst: smådyr (DVFI), i midten: planter (DVPI) og nederst: fisk (DFFVa)

Tilsvarende kort som vist i Figur 2.3 er beregnet for reference scenariet uden indvinding. Kortet har været sammenlignet med faunaklasse, tilstandsmålinger for fisk og planter jf. BA2013, det vil sige resultater er holdt op imod observerede data fra basisanalysen til vandområdeplan 2015-21. Helt generelt viste sammenligningen, at de simulerede EQR værdier var ca. en klasse lavere end tilstandsmålinger fra basisanalysen, men at den geografiske variation i store træk var svarende til basisanalysens. Det vil sige der var en generel tendens til at de absolutte værdier simuleres for lavt med modellen formentlig fordi frekvensværdier underestimeres med modellen.

2.2 Kalibrering af empiriske DCE's indikatorer (bias korrektion) til brug for implementering med DK model

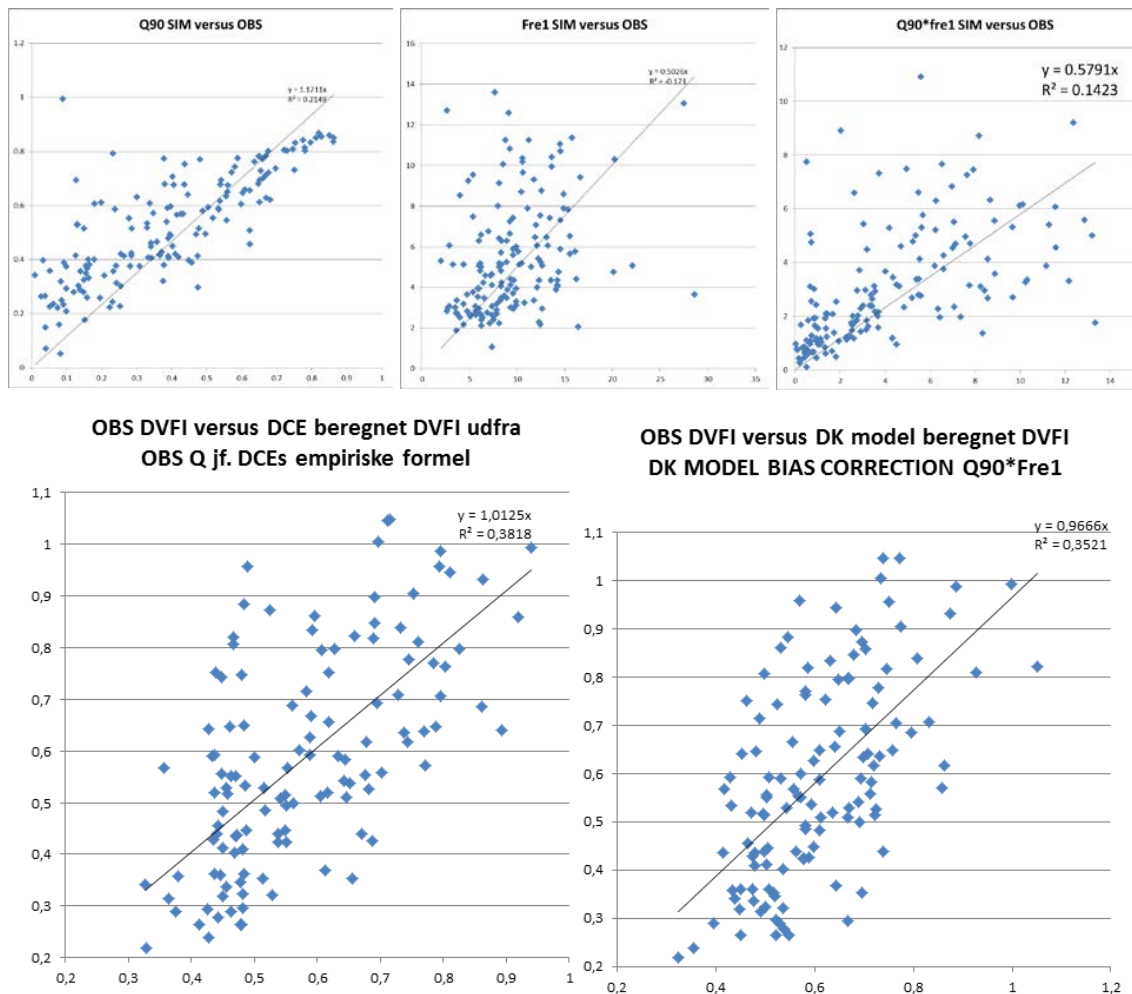
Det har som nævnt været nødvendigt at bias-korrigerer størrelsen $Q_{90} \cdot Fre_1$ der indgår i DVFI, på grund af systematiske forskelle mellem målt vandføring og modelberegnet vandføring med DK model, i simuleringen af Q_{90}/Q_{50} . Figur 2.4 viser fremgangsmåden.

Først er der foretaget en bias-korrektion på baggrund af samtlige 158 Q stationer i hele landet (de fleste af de 122 stationer med observeret DVFI indgår heri; men DVPI og DFFVa er baseret på ca. halvt så mange vandføringsstationer), hvor der foreligger observeret og simuleret flow for perioden 2004-2010. Herved er det vurderet at størrelsen $Q_{90} \cdot Fre_1$ skal korrigeres med faktoren 1,72 (vurderes systematisk for lavt ud fra simuleret vandføring, idet $Q_{90} \cdot Fre_1$ undervurderes med DK model).

Efterfølgende er der lavet en valideringstest for de stationer der indgik i opstillingen af den empiriske formel (122). R2 værdien med bias korrigeret empirisk formel er herved bestemt til 0,35 altså tæt på værdien 0,38 bestemt ud fra den empiriske formel på baggrund af observeret vandføring. Det vurderes tilstrækkeligt godt (der arbejdes i vandramme sammenhæng med en kravværdi på 0,25).

Der ses en tendens til at modellen for specielt Q_{90}/Q_{50} og produktet $Q_{90} \cdot Fre_1$ overestimerer de små værdier af DVFI og underestimerer de store værdier hvilket resulterer i behovet for biaskorrektion.

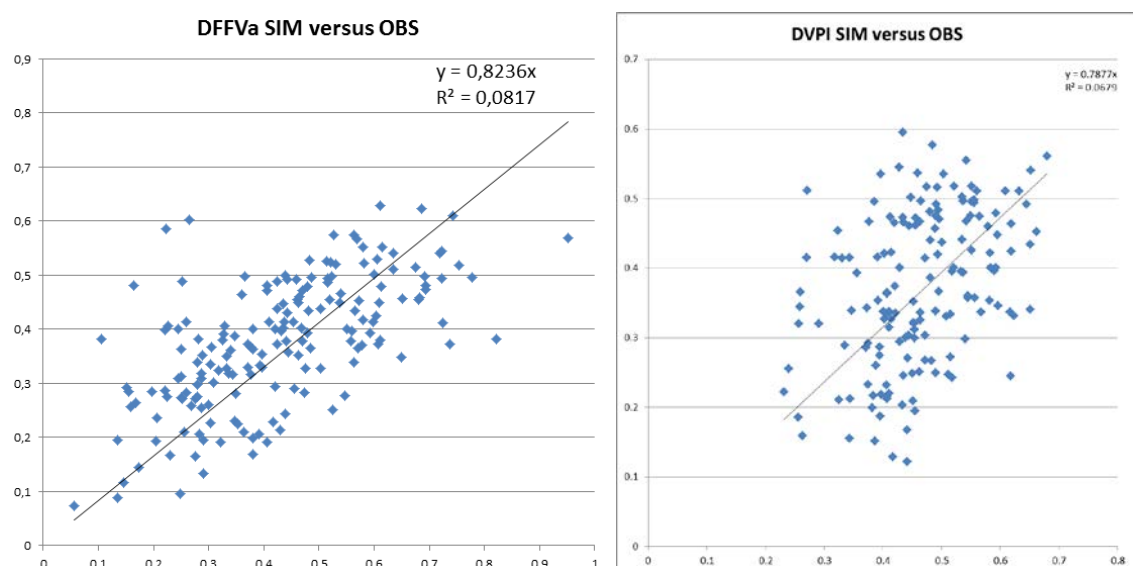
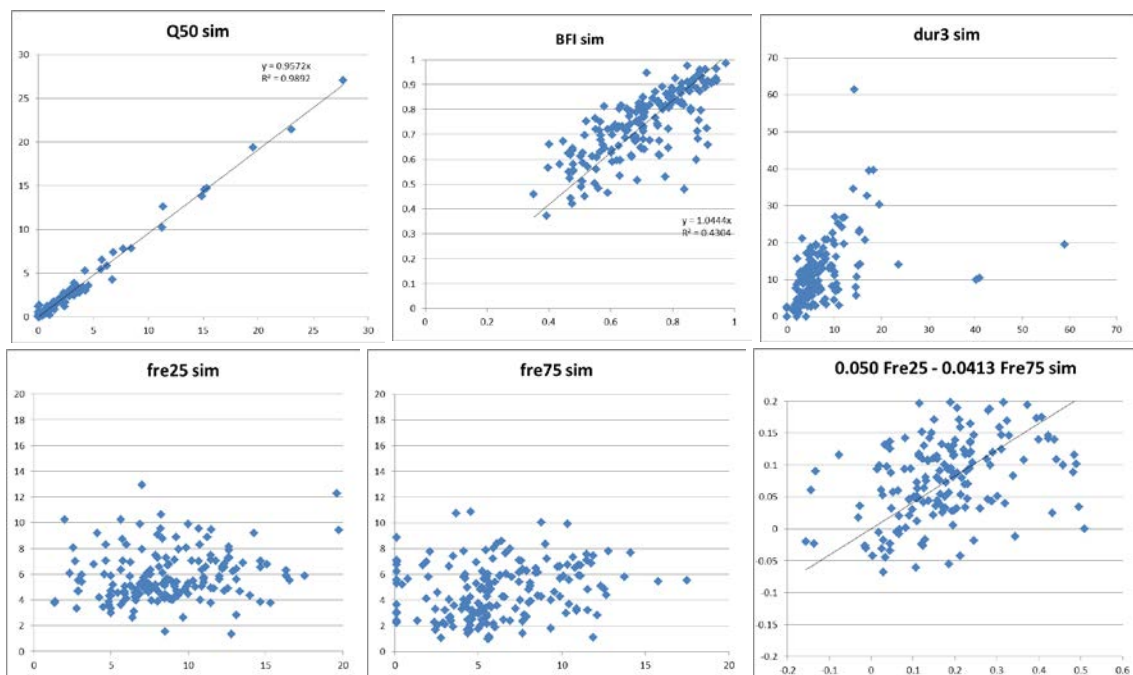
At forklaringsgraden er lidt lavere jf. GEUSs bestemte R2 værdi sammenlignet med DCEs resultater i figuren til venstre kan skyldes at GEUS's indikatorberegningsprogram ("python script") håndterer år med manglende vandføring i perioden 2004-2010 anderledes end DCEs programmel). Perioder med manglende vandføring resulter i GEUSs python script i Q_{90} værdier, der antager værdien 0. Disse stationer er derfor udeladt i analysen, hvilket forklarer at der kun indgår 158 ud af 187 stationer i analysen i Figur 2.4.



Figur 2.4 Resultat af bias korrektion af DVFI (Korrektionsfaktor 1,72 på størrelsen $Q_{90} * Fre_1 / 0.579$). Øverst opstilling af biaskorrektion ud fra 158 stationer med målt (x-akse) og simuleret (y-akse) vandføring 2004-2010 (frasorteret lokaliteter hvor Q_{90} er 0). Nederst validering af DVFI (y-akse observeret DVFI; x-akse: biaskorrigeret DVFI beregnet med DK model).

For DFFVa og DVPI er det ikke muligt på simpel vis at korrigere de indgående 3-4 variable i formelen, da de indgår i et differensudtryk. Bias-korrektion er her baseret på den samlede beregnede EQR værdi med den empiriske formel identificeret af DCE. Figur 2.5 illustrerer dels sammenhænge på indgående flow variable for 187 stationer. Samtidig vises sammenhænge for samlede indikatorer og nederst valideringstest af biaskorrigerede formler som de stationer der indgik i DCEs opstilling af de empiriske formler.

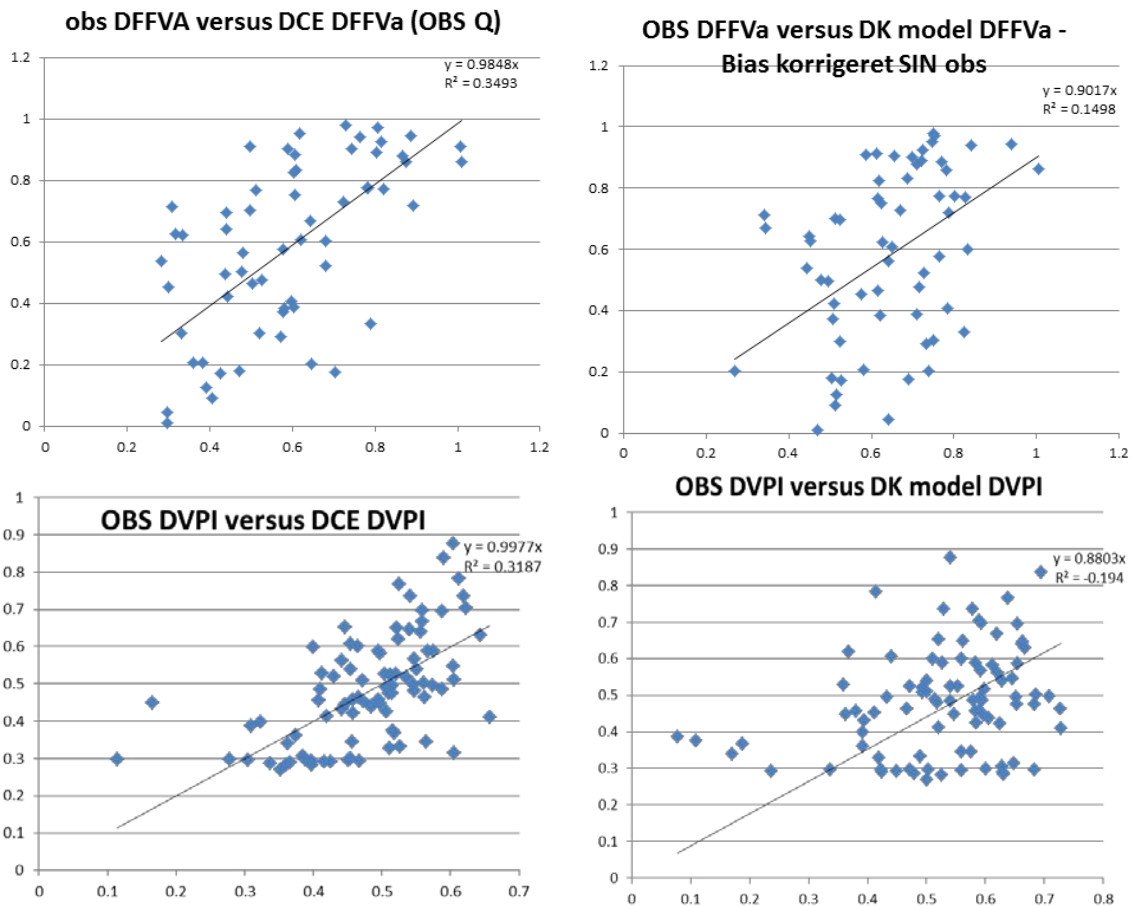
Det fremgår af Figur 2.5 at DK model simulerede Q_{50} værdier har en meget fin sammenhæng med observerede Q_{50} værdier ($R^2 = 0.99$). Ligeledes er der en rimeligt robust sammenhæng mellem flow variabelen BFI bestemt ud fra hhv. DK model og observeret Q ($R^2 = 0.43$). Øvrige flowvariable har ikke sammenhænge, der opfylder R^2 kriteriet (> 0.25). Sammenhænge for samlede indikatorer for DFFVa og DVPI har ligeledes relativ stor spredning omkring tendenslinien (DFFVa med $R^2 = 0.09$ og DVPI med $R^2 = 0.07$). Der ses en tendens, men med stor usikkerhed på bestemmelsen af Fre_{25} , Fre_{75} og Dur_3 (Korrektionsfaktorer = $1/0.82$ og $1/0.79$).



Figur 2.5 Resultat af bias korrektion af DFFVa og DVPI (Korrektionsfaktor = 1,21 på den samlede DFFVa indikator og 1,27 på den samlede DVPI indikator). Opstilling af biaskorrektion ud fra 187 stationer med målt (x-akse) og simuleret vandføring (y-akse) 2004-2010. Nederst beregning af DFFVa og DVPI for hhv. DK modelleret vandføring (y-akse) og observeret vandføring (x-akse).

For DFFVa og DVPI ses en tendens til, at modellens værdier (y-akse) er højere end observerede værdier (x-akse) for små EQR værdier, mens det omvendte er tilfældet for store EQR værdier. Derfor er der behov for bias-korrektion af den samlede indikator EQR værdi.

I Figur 2.6 er vist resultatet af valideringstesten af DFFVa og DVPI. Det fremgår her at der for DFFVa opnås en forklaringsværdi på omkring 0,15, mens der for DVPI kun opnås en forklaringsværdi på -0,19 med den biaskorrigerede DVPI.



Figur 2.6 Resultat af validering af bias korrektion af DFFVa og DVPI. Til venstre er vist resultater baseret på observeret vandføring og til højre resultater baseret på bias korrigerede indikatorer og med brug af DK model vandføringer

2.3 Problemstilling omkring beregning af ændringer af EQR værdier

De af DCE opstillede sandsynligheder for tilstandsændring baseret på en given EQR værdi ændring (20, 50 og 80 % sandsynlighed for tilstandsændring), er uden hensyntagen til empiriske formler og enkelte stationers karakteristika (fx usikkerheder på beregning af flowstørrelser for givne station, eller uden inddragelse af viden om faktisk tilstand ved stationen). Udover at der er en usikkerhed på denne fastsættelse af kravværdier (svarende til de tre sandsynlighedsniveauer), er der desuden en problemstilling omkring hvordan man beregner ændringer, dvs. hvilke antagelser man gør omkring variabelen Q50 der indgår i normalisering (fx Q90/Q50 samt indgår i Fre1 og Dur3). Her kun Q50 vælges enten ud fra referencekørslen eller kalibreringskørslen med samme værdi i alle scenarier, eller man kan beregne den i hvert enkelt scenarie (fx med og uden indvinding). Det samme kunne også gælde Q25 og Q75).

Det er valgt så objektivt som muligt, at implementere de nye DCE indikatorer jf. de intentioner de begrundes ud fra, når de som her anvendes til forskellige indvindingsscenarier. Det vil sige, for hvert indvindingsscenarie beregnes først ud fra det aktuelle scenarie og perioden 2004-2010 Q25, Q50 og Q75. Dernæst benyttes disse værdier, til ud fra beregnede daglige vandføringer for scenariet til for 2004-2010, at udregne Q90/Q50, Fre1, Fre25,

Fre75 og Dur3. Desuden udtrækkes baseflow index ligeledes ud fra afstrømningshydrografen for scenariet for 2004-2010. De empiriske formler fra DCEs fokuserer dermed på frekvenser (Fre1, Fre25 og Fre75), ekstremiteter (Q90/Q50), stabilitet ved en høj baseflowandel (BFI) og varighed (DUR3) frem for minimumsvandføringens størrelse (eller ændring heraf som vi kender det fra kriterier knyttet til % vis ændring af medianminimums-afstrømningen fra Vandplan 1).

Gældende praksis i udlandet (Acreman et al., 2008; Henriksen og Refsgaard, 2013), bl.a. i England hvor man i mange år har arbejdet på implementering af environmental flow, er at der i screening tages udgangspunkt i krav til max ændringer for karakteristiske størrelser fastlagt ud fra varighedskurven (som udgør environmental flow indicators, EFI), hvor et af kravene er til Q50 ændringen (der er tilsvarende krav til Q30, Q70 og Q95). Atherton et al. (2014) sammenfatter et eksempel opstillet som en del af "In-River-Needs programmet" i East Anglia (se Tabel 2.1).

Tabel 2.1 EFI tærskelværdier for tilladt vandindvinding (Atherton et al., 2014)

Abstraction sensitivity	Flow exceedance value (max % vis ændring) (point on flow duration curve)			
	Q30	Q50	Q70	Q95
Most sensitive	24	20	15	10
Moderate	26	24	20	15
Least sensitive	30	26	24	20

Den fokus som DCE's formler har på frekvenser, varighed osv., betyder imidlertid, at der ikke er noget i formelværket der først screener for ændringer i flow som vist i Tabel 2.1. Her skal man være opmærksom på, at den anvendte metode ikke indeholder et sådant screeningstrin i forhold til flow. Ved en tænkt, proportional reduktion af vandføringen som følge af vandindvinding (fx multiplikation af daglig vandføring med 0,5 for hver dag i året), vil man beregne uændrede indikator værdier for de 6 variable: Q90, Fre1, Fre25, Fre75, Dur3 og BFI, og dermed uændrede EQR værdier for DVFI, DVPI og DFFVa. Det ligger således i den anvendte metodik at frekvenser, varigheder, stabilitet osv. vurderes at have større betydning for de biologiske kvalitetselementer, end fx et reduceret flow.

2.4 Eksempler på tilstandsvurdering for 12 udvalgte oplande

I nærværende afsnit gives eksempler på tilstandsvurdering for 12 udvalgte oplande der repræsenterer forskellige indvindings, hydrogeologiske forhold og strømningsregime og dermed økologiske kvalitetselementer. Plot af hydrografer for de 12 oplande med og uden indvinding er vist i Appendix D. I Tabel 2.2 er vist resultater af nøgledata, der indgår i tilstandsvurderingen mht. vandløbspåvirkning.

Tabel 2.2 Resultater af beregning af vandløbspåvirkning ved 12 udvalgte ID15 oplande. "DVFI DCE model" er resultater baseret på observerede vandføringsdata og DCEs empiriske formler. "DVFI DK model in og "DVFI reference" er resultater baseret på DK modelberegnete vandføringer hhv. med og uden indvinding. Målt DVFI angiver den observerede EQR værdi. Med farvemarkeringer er de ID15 oplande der ikke kan opfylde max ændringskriteriet jf. 80 % (rød), 50 % (orange) og 20 % (gul) sandsynlighed for tilstandsændring

FID	OPL 1	OPL 2	OPL 3	OPL 4	OPL 5	OPL 6	OPL 7	OPL 8	OPL 9	OPL 10	OPL 11	OPL 12
ID 15	32220123	32220519	72201263	32460020	71240002	37470566	13210003	35321516	43340759	13230551	16100712	16100446
Vandomr	Sjælland	Sjælland	Sjælland	Sjælland	Sjælland	Jylland+Fy	Jylland+Fy	Jylland+Fy	Jylland+Fy	Jylland+Fy	Jylland+Fy	Jylland+Fy
Area_id15	29.3 km2	22.6 km2	2.9 km2	22.0 km2	24.8 km2	20.2 km2	15.2 km2	22.9 km2	14.1 km2	27.0 km2	9.7 km2	30.1 km2
Area_akk	102.3 km2	25.4 km2	8.4 km2	35.5 km2	158.9 km2	518 km2	15.2 km2	122 km2	154 km2	1052 km2	9.7 km2	223 km2
Hovedopl	2,2	2,2	2,3	2,2	2,4	1,2	1,8	1,5	1,9	1,8	1,1	1,1
DK	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	4	4
Sinus	1,09	1,07	1,01	1,23	1,26	1,64	1,46	1,2	1,32	1,3	1,21	1,24
Sinus_clas	2	2	1	2	3	4	3	2	3	3	2	2
Sin_obs	2	3	3	3	2	4	4	3	2	4	2	1
% ændring med min Q	-13,0	-12,9	-34,8	-23,8	-40,5	-6,62	-3,14	-1,78	-6,35	-7,23	-13,9	-10,8
DVFI oversigt												
DVFI DCE model	0,481	0,613	0,628	0,550	0,436	0,760	0,894	0,743	0,483	0,715	0,461	-999
DVFI DK model indvinding	0,499	0,644	0,668	0,577	0,475	0,927	0,707	0,862	0,545	0,772	0,480	0,393
DVFI uden indvinding	0,489	0,625	0,670	0,578	0,495	0,960	0,707	0,841	0,537	0,770	0,479	0,410
Målt DVFI	0,324	0,368	0,798	0,424	0,429	0,810	0,641	0,617	0,883	1,048	0,647	-999,000
Ændring DVFI	0,010	0,019	-0,001	-0,001	-0,020	-0,033	0,000	0,021	0,008	0,002	0,001	-0,017
DFFVa oversigt												
DVVFa DCE model	-999,000	-999,000	0,619	0,308	0,281	-999,000	1,008	-999,000	-999,000	0,885	0,604	-999,000
DFFVa DK model indvinding	0,532	0,601	0,651	0,340	0,444	1,006	1,004	0,543	0,429	0,939	0,618	0,724
DFFVa uden indvinding	0,559	0,744	0,575	0,344	0,451	1,033	1,021	0,612	0,451	0,875	0,612	0,741
Målt DFFVa	-999	-999	0,608	0,712	0,538	-999	0,862	-999	-999	0,945	0,825	-999
Ændring DFFVa	-0,028	-0,143	0,077	-0,005	-0,007	-0,026	-0,016	-0,069	-0,022	0,064	0,006	-0,017
DVPI oversigt (usikker)												
DVPI DCE model	0,419	-999,000	-999,000	0,166	0,324	0,575	-999,000	0,526	0,425	0,562	-999,000	0,588
DVPI DK model indvinding	0,521	0,506	0,572	0,363	0,391	0,654	0,746	0,489	0,237	0,685	0,342	0,654
DVPI uden indvinding	0,539	0,630	0,558	0,357	0,432	0,663	0,754	0,527	0,262	0,641	0,344	0,669
Målt DVPI	0,413	-999,000	-999,000	0,449	0,399	0,587	-999,000	0,333	0,292	0,502	-999,000	0,695
Ændring DVPI	-0,018	-0,124	0,014	0,006	-0,041	-0,009	-0,008	-0,038	-0,026	0,045	-0,001	-0,015
20 % sandsynlighed												
50 % sandsynlighed												
80 % sandsynlighed												

I tabellen er først angivet nogle udvalgte grunddata: Vandområde, ID15-nr, oplandsareal for ID15 opland (Area_id15), akkumuleret oplandsareal (Area_akk), hvilket hovedopland ID15 oplandet ligger i, hvilket DK model område vi befinder os i (DK modellens syv områder). Dernæst følger tal for sinus (GIS baseret), slyngningsklasse beregnet ud fra sinus (sinus_class), observeret sinus klasse (Sin_obs), og procent ændring af median minimum afstrømning (% ændring med min Q). Tabellen indeholder herefter tre blokke med resultater for DVFI, DFFVa og DVPI. Her er samtidig anført DCE's beregnede værdier. De beregnede ændringer i DVFI, DFFVa og DVPI afslutter hver blok. Ændringer der overstiger kriterier jf. 80 %, 50 % og 20 % sandsynlighed for tilstandsændring (god til ikke god) er markeret med hhv. rød, orange og gul farve.

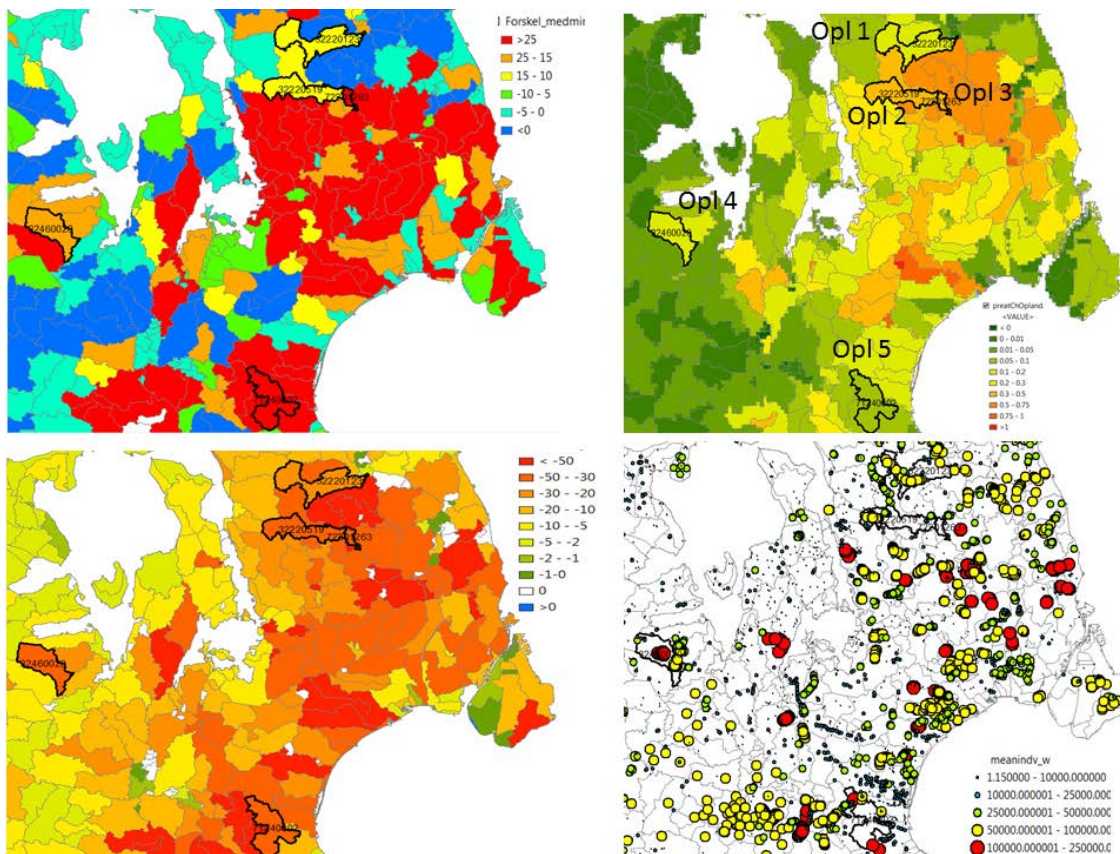
For DVFI udpeges der på baggrund af beregnede ændringer ikke nogle oplande blandt de 12 på et 20 % screeningsniveau.

For DFFVa udpeges i alt 4 oplande på et 20 % sandsynlighedsniveau for ændret tilstand. Absolutte værdier af DFFVa simuleret med og uden indvinding ser begge rimeligt realistiske ud (i forhold til observeret DVFI, DCE beregnet DVFI og en max EQR der ikke overstiger 1).

For DVPI udpeges 1 opland på et 50 % sandsynlighedsniveau og 2 oplande på et 20 % niveau. Ændringer er generelt mindre end for DFFVa som følge af at konstanter på Fre25 og Fre75 er omtrent halvt så store som DFFVa.

Det besluttet at se bort fra resultater for DVPI primært på grund af den lave forklaringsværdi for DVPI. For DVPI er det derfor ikke muligt at implementere den nye DCE indikator. Det vurderes, at det skyldes at Dur3 (varighed af hændelser der er 3 gange median afstrømningen) er for usikkert bestemt (ca. 80 % usikkerhed på denne størrelse, hvilket er dobbelt så meget som usikkerheder på Fre1, Fre25 og Fre75; usikkerheder på BFI er kun 5-10 % mens usikkerheder på Q90/Q50 er omkring 15-20 %). Mere stedspecifik kalibrering i forhold til frekvenser og varigheder, bedre nedbørsinput, bedre beskrivelse af trykniveau og overfladeforhold er evt. nødvendige, hvis især DVPI og i mindre grad DFFVa skal beskrives mere pålideligt med DK model. Det vil samtidig kunne reducere usikkerhed på Fre1.

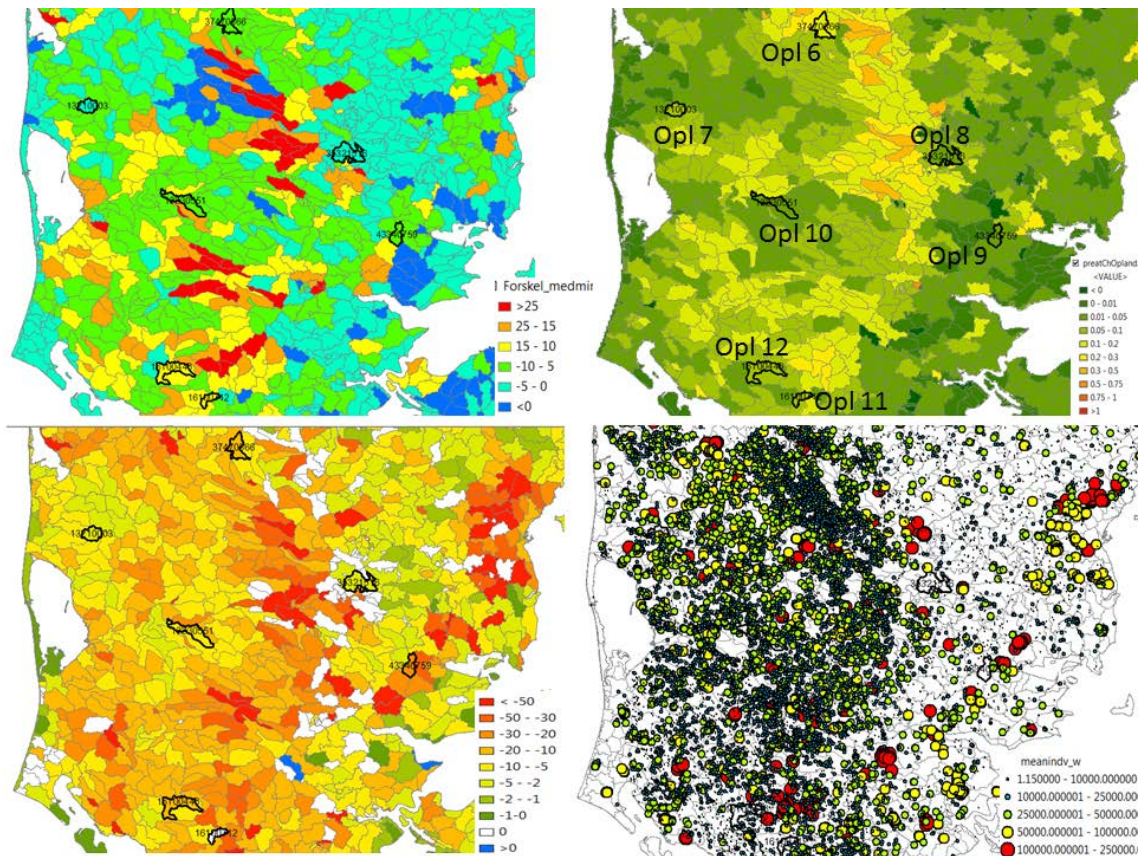
Nedenfor i Figur 2.7 (for oplande på Sjælland) og Figur 2.8 (for oplande i Jylland) er resultater for de 12 oplande nærmere perspektiveret, med beregnede ændringer i median minimumafstrømning, sænkning af det øvre grundvandspejl (ID15 niveau), reduceret udstrømning til vandløb (ID15 niveau) samt vandindvindinger i området.



Figur 2.7 Illustration af ændret median min Q (øverst tv), ændret øvre grundvandspejl (øverst th), reduceret udstrømning (nederst tv) og indvinding 2007-2011 (nederst th).

Selvom DVFI og DFFVa ændringer ligger indenfor 20 % sandsynlighedsniveauet, er der store reduktioner i median minimumsvandføring for to oplande (> 25 %) og mindre reduktioner for de øvrige tre.

Der er moderat afsenkning i øvre grundvandspejl, og reducerede udstrømninger på omkring 30 % i de undersøgte oplande. Der er betydelig indvinding regionalt som illustreret på den sidste figur.



Figur 2.8 Illustration af ændret median min Q (øverst tv), ændret øvre grundvandspejl (øverst th), reduceret udstrømning (nederst tv) og indvinding 2007-2011 (nederst th).

De sydligste oplande har reduktioner i median min Q på 10-15 % og de øvrige oplande mindre reduktioner. At der ikke er fundet påvirkninger på 80 % sandsynlighedsniveau kan hænge sammen hermed for de 7 oplande i Jylland. Afsænkninger er relativt små på 10-20 cm for de 7 oplande. Reduktionen i udstrømning er også moderat for de fleste oplande (max 30 %). Af de syv oplande er opland 8 og 9 østjyske oplande ikke helt så domineret som markvanding som de øvrige fem oplande.

2.5 Resultater med submodel

Resultater med submodel er nærmere beskrevet i Appendix E. Her skal kort redegøres for de væsentligste resultater. Submodellen er som nævnt yderligere detaljeret til 100 x 100 m setup, hvor topografi og vandløbssetup er yderligere detaljeret. Modellens randbetingelser er fastlagt med udgangspunkt i DK modellens for område 4 Sydjylland. Modellen er sted-specifikt kalibreret for Sneum å oplandet, ved inddragelse af supplerende vandførings- og pejletidsserier ved en invers kalibrering med PEST. Resultater fremgår af Appendix E, når det gælder simulering af trykniveau har submodellen noget dårligere performance end DK modellen, på trods af at der er inddraget supplerende pejletidsserier fra Esbjerg vandforsyning. Det gælder på middelfejl på observerede grundvandspejlinger og standardafvigelser (RMSE) for syv udvalgte pejleboringer. DK model har en middelfejl for syv stationer på 0,14 m, hvor Sneum submodel har en middelfejl på 1,37 m. RMSE for DK model er 1,52, her giver submodel 1,59 altså lidt dårligere performance sammenlignet med DK model. Vurderet i forhold til simuleret trykniveau har submodellen altså tilsvarende eller dårligere perfor-

mance. Ser man på resultatet for samtlige pejleboringer har DK model en middelfejl på 0,57 m, hvor submodel har en middelfejl på 2,30 m (baseret på 553 pejleobservationer).

Ser man på prædiktionssevne af submodel vurderet i forhold til simulering af vandbalance og flow variable der indgår i DCE's indikatorer for smådyr, fisk og planter, så har den sted-specifikke kalibrering givet en forbedret beskrivelse af median min Q. Submodel har en middelfejl og standardafvigelse for 6 vandføringsstationer i oplandet på hhv. 2 % og 0,17 mod DK modellens middelfejl og standardafvigelse på 26 % og 0,57 (se Appendix D). Middelfejlen på flowvariable reduceres med submodel i forhold til DK model (Fre1 fra -52 % til -25 %, Fre25 fra -62 % til -49 %, Q90 fra +13 % til -6 % og DUR3 fra +97 % til +73 %). Men for Fre75 er DK model bedre end submodel (med -17 % middelfejl i forhold til +20% middelfejl med Submodel). For BFI er DK model lidt bedre end submodel med +20% i forhold til +21 % middelfejl for seks udvalgte stationer. For DVFI samlet har submodel en mindre afvigelse i forhold til DVFI beregnet ud fra observeret vandføring på -0,01 hvor DK model har -0,04, dvs. submodellen rammer lidt bedre her på middelfejlen, og lidt bedre på standardafvigelsen (0,02 for submodel mod 0,03 for DK model). Middelfejlen er lidt mindre for DFFVa og DVPI (ca. 15 % reduceret), hvorimod standardafvigelsen er den samme her.

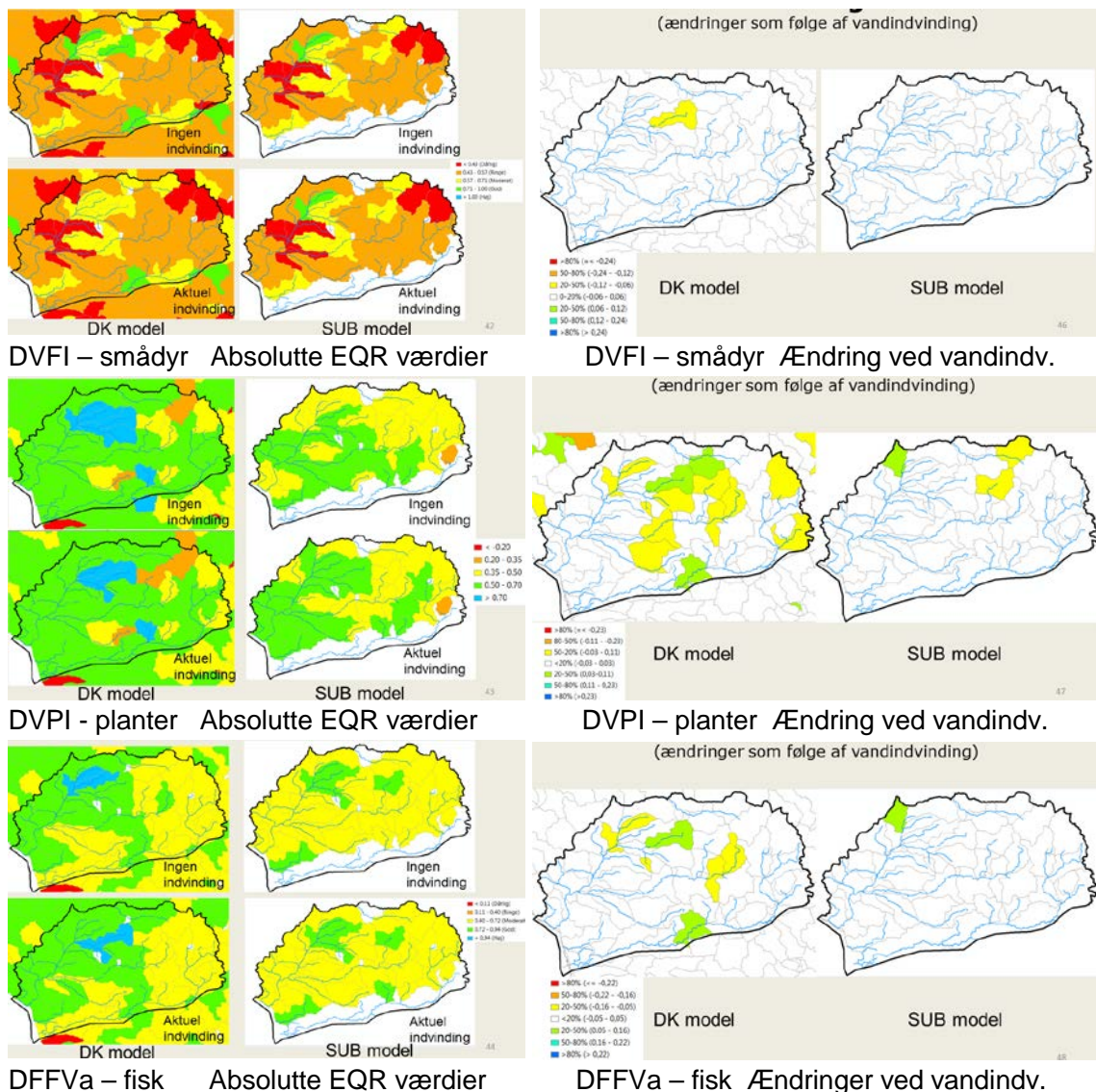
Når det gælder vandbalancen er DK model dog bedre end submodel på samtlige parametre hvilket er overraskende da den er stedspecifikt kalibreret mod netop disse størrelser. R2 værdien for seks Q stationer er med submodel 0,49 hvor DK model har 0,59. Fbal er med submodel en gennemsnitsfejlsprocent på årsafstrømningen på 14 % hvor den med DK model er 12 %. Sommervandbalancen juni, juli, august er med submodel 22 % hvor DK model har 21 %.

Samlet vurderet giver submodellen en meget begrænset forbedring af performance i forhold til de nye DCE indikatorer, enkelte flowvariable har en forbedret performance, men de samlede indikatorer er ikke væsentligt forbedrede. Samtidig har submodellen vist sig at have en dårligere performance end DK model mht. beskrivelse af trykniveau. Hovedresultatet af at opstille en submodel med henblik på mere detaljerede analyser har derfor givet et noget pessimistisk resultat. Hvad der skal få til for at få en forbedret stedspecifik modellering er derfor ikke entydigt. Forhold som randbetingelser, geologisk beskrivelse, kalibrering målrettet nye indikatorer og flowvariable (frekvenser, varigheder og ekstremitet) og også usikkerheder på klimainput (som er forringet væsentligt i den sidste del af perioden 2004-2010 specielt i perioden 2007-2010).

Det skal bemærkes at submodel ikke er biaskorrigeret. Det er i øvrigt ikke ønskeligt at biaskorrigerer submodellen da modellen er søgt kalibreret i forhold til trykniveau, R2 og Fbal og med stedspecifik kalibrering for submodelområdet. I figur 2.9 er vist en sammenligning af resultater for indikatorer med hhv. submodel og DK model. Bemærk at resultater med submodel for visse oplande fx i Kongesystemet er vist med blank signatur idet disse oplande ikke er troværdige med submodel da hele oplandet ikke indgår i modellen.

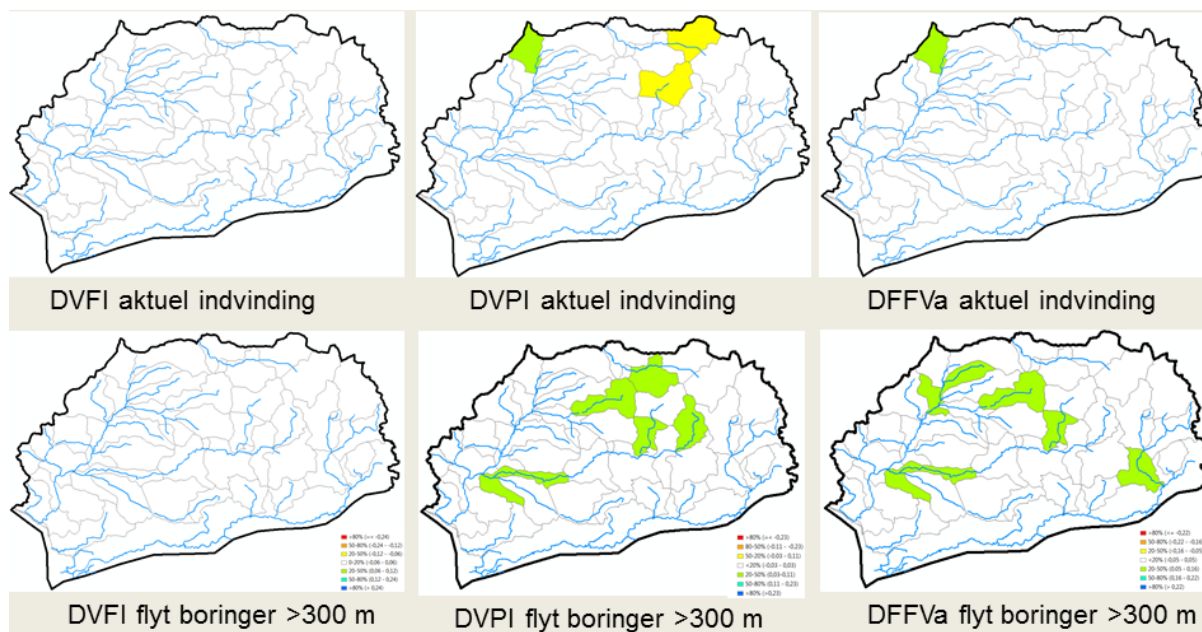
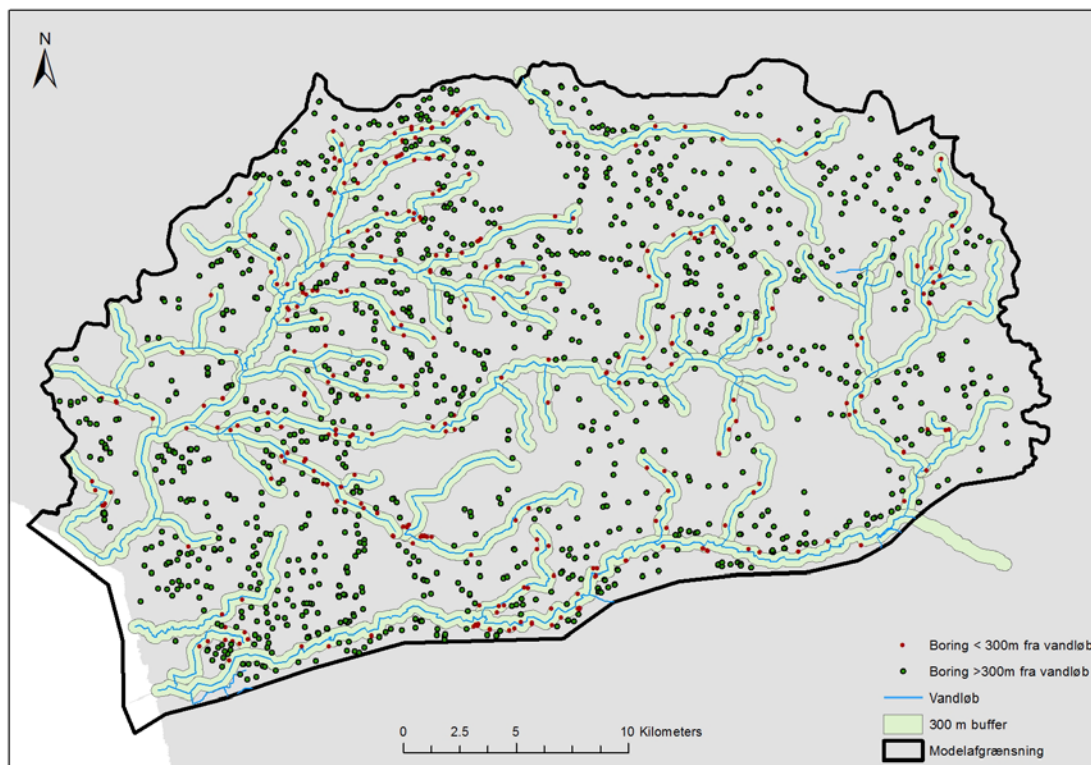
Hovedresultatet af sammenligningen af submodel og DK model resultater for Sneum å oplandet er at de to modeller giver lidt forskellige resultater, men at de to modeller er enige om, at vandindvinding ikke giver forringet tilstand på et sandsynlighedsniveau (> 50 %).

I figur 2.10 er vist resultatet af en analyse hvor markvandinger er flyttet til > 300 m fra vandløb. Figuren viser at der generelt opnås en positiv virkning på tilstanden for en del deloplande, og at dette virkemiddel derfor kan være et relevant virkemiddel.



Figur 2.9 Resultater af submodel og DK model for DVFI, DFFVa og DVPI med og uden indvinding. I venstre kolonne er vist resultater for hhv. DK model og submodel af modelleret tilstand hhv. uden indvinding (ingen indvinding) og aktuel indvinding. Kolonnen til højre viser modelberegne ændringer i EQR værdier. Øverst er vist resultater for DVFI (smådyr). I midten resultater for DVPI (planter) og nederst resultater for DFFVa (fisk)

Farvesignatur: I figurer på venstre kolonne udtrykker farver følgende: blå (høj tilstand), grøn (god tilstand), gul (moderat tilstand), orange (ringe tilstand) og rød (dårlig tilstand). I figurer på højre kolonne – ændringer i EQR værdier som følge af vandindvinding – gælder farvesignaturen: rød (>80 % sandsynlighed for reduceret tilstand), orange (50-80 % sandsynlighed for reduceret tilstand) og gul (20-50 % sandsynlighed for reduceret tilstand). Vandindvinding kan også evt. forbedre tilstanden, det er vist med grøn (20-50 % sandsynlighed for forbedret tilstand), lyseblå (50-80 % sandsynlighed for forbedret tilstand) og mørkeblå (>80 % sandsynlighed for forbedret tilstand). Der er dermed ikke beregnet reduktioner i tilstanden for nogen oplande med over 50 % sandsynlighed for reduceret tilstand.



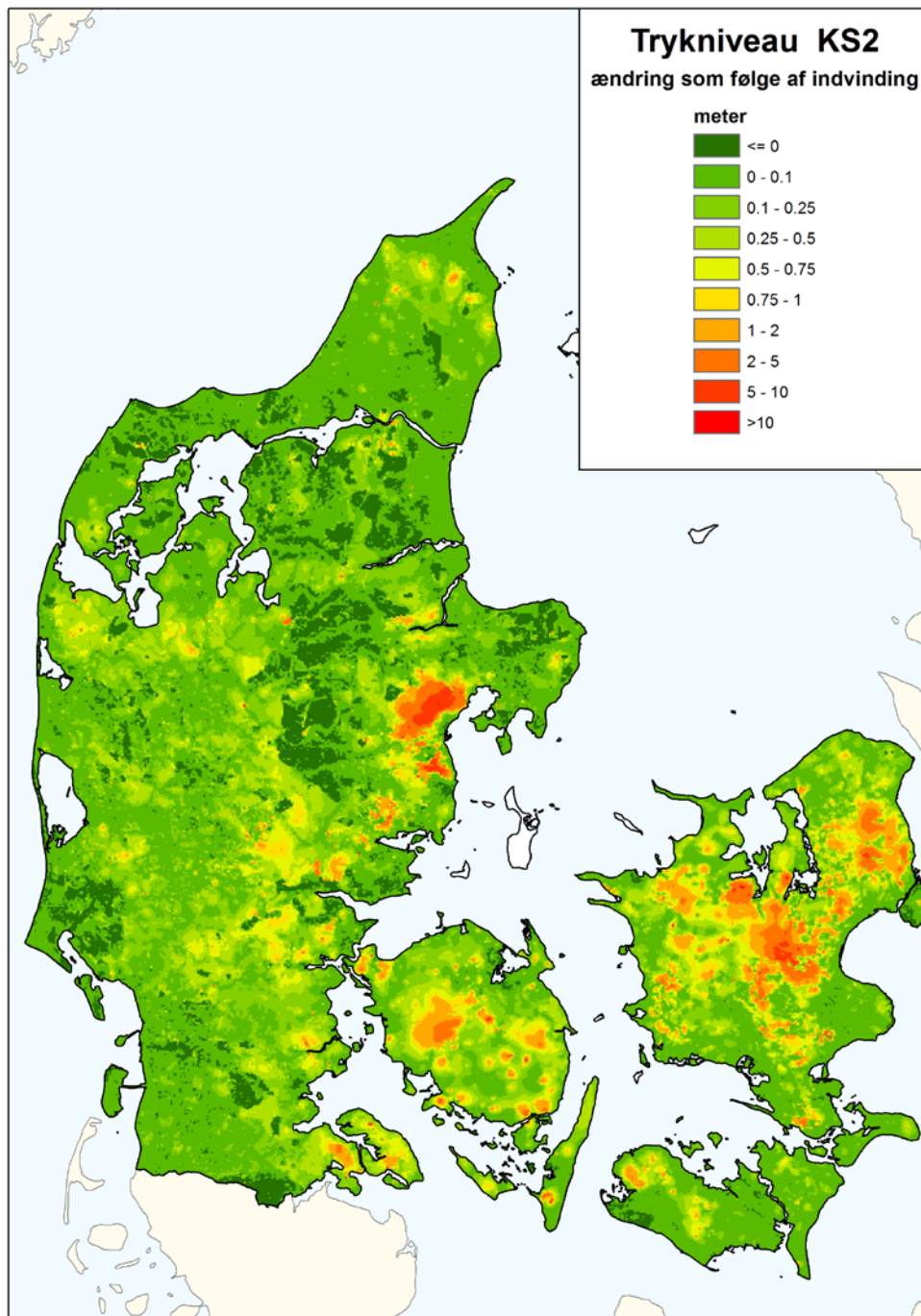
Figur 2.10. Eksempel på simulering af ændringer i DVFI, DVPI og DFFVa i forhold til effekt ved aktuel indvinding (vist nederst i øverste række) og tænkt scenarie med flytning af markvandingsboringer > 300 m væk fra vandløb (vist nederst i nederste række). Øverste figur illustrerer hvilke markvandingsboringer der er flyttet i scenariet (boringer beliggende mindre end 300 m fra et vandløb). Det fremgår at submodellen ved aktuel indvinding i forhold til reference uden indvinding kun udpeger et ID15 opland hvor der er 20-50 % sandsynlighed for reduceret tilstand for DVPI (planter), og udpeger et ID15 opland hvor vandindvindingen har en positiv effekt for DFFVa (fisk).

Flytning af boringer sammenlignet med aktuel indvinding (som baseline) viser at en række oplande (vist med grønt svarende til 20-50 % sandsynlighed for forbedret tilstand) på dette sandsynlighedsniveau vil få forbedret tilstand. Der er ikke foretaget biaskorrektion i forbindelse med submodelberegninger.

3. Resultater for hele landet og for grundvandsfo- rekomster

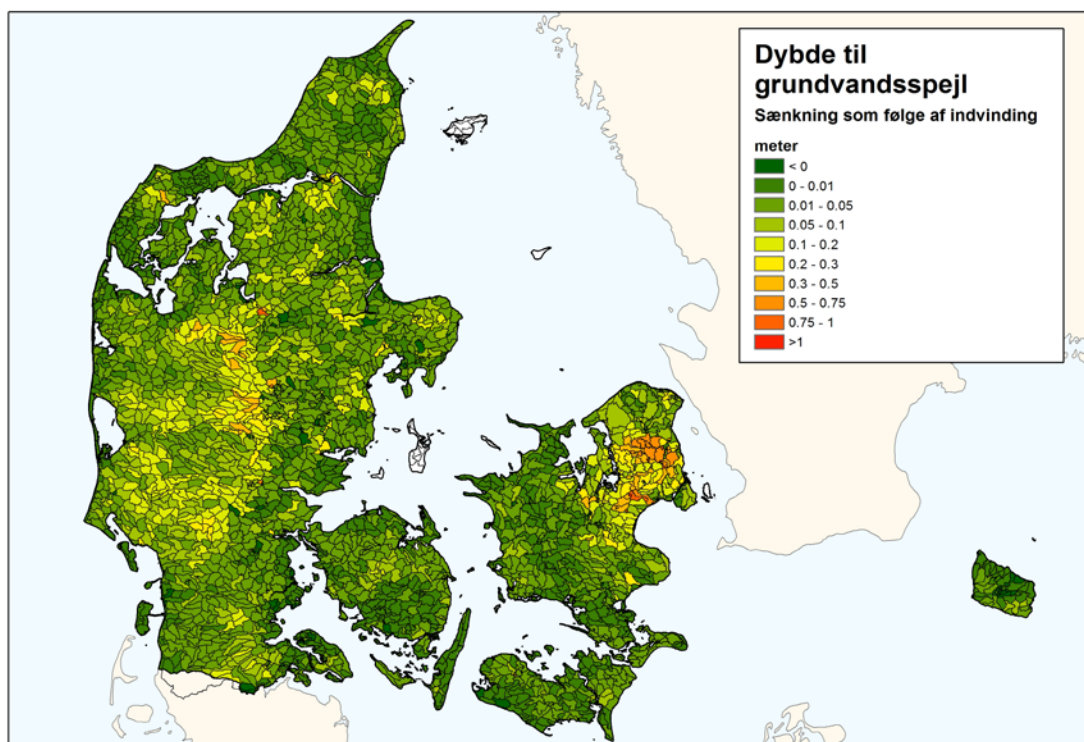
3.1 Resultater af nationale vandbalance kort

Nedenfor på Figur 3.1 er vist simuleret ændring i trykniveau i øverste regionale sandmagasin kvartært sand 2 (KS 2) simuleret for 2004-2010 for aktuell indvinding i forhold til situation uden indvinding. KS2 forekommer i det meste af landet som et øvre regionalt magasin, dog ikke på Bornholm.



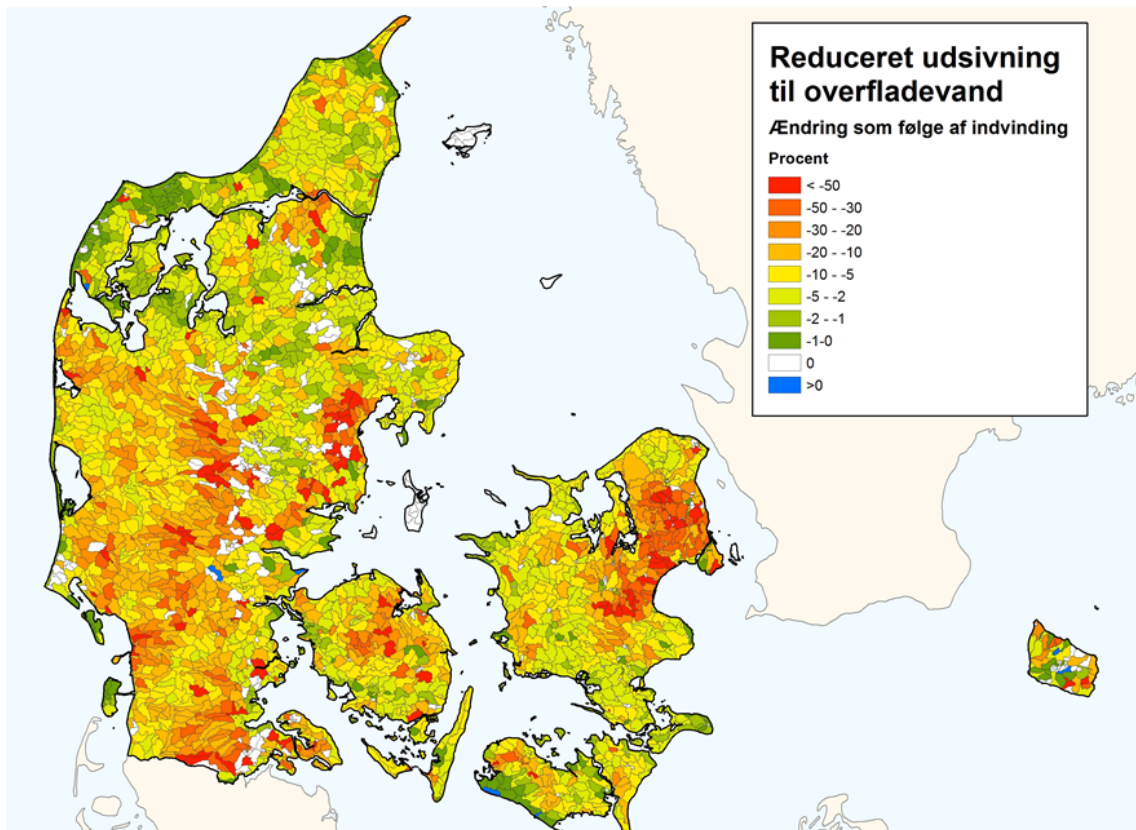
Figur 3.1 Simuleret ændring i trykniveau i kvartært sand 2 (KS2)

Samtlige kort er vist i Appendix E. Nedfor er vist et par udvalgte øvrige temakort. I figur 3.2 er vist vandindvindingsens effekt på det øverste grundvandsspejl som beregnet med modellen og midlet for ID15 oplandet. Temaet sænkninger af det øvre grundvandsspejl i middel for 2004-2010 på op til 30 cm for visse ID15 oplande (visse steder mere) omkring København og i Midt og -Vestjylland. Mange steder er sænkningen af det øvre grundvandsspejl på ID15 niveau mindre, for Fyn eksempelvis, ikke over 10-20 cm. Afsænkningen dæmpes dermed fra det dybere grundvand (vist i Figur 3.1) til det terrænnære grundvand (vist i Figur 3.2).



Figur 3.2 Afsænkning af terrænnært grundvandsspejl på ID15 niveau som beregnet med aktuel vandindvinding i forhold til kørsel uden indvinding (periode 2004-2010 i middel). Afsænkning i meter.

Nedenfor er i Figur 3.3 vist effekt af vandindvinding på opsivningen fra grundvand til overfladevand (opsivning fra beregningslag 2 til beregningslag 1 i modellen i middel for perioden 2004-2010).



Figur 3.3 Effekt af vandindvinding på opsving fra grundvand til overfladevand. Periode 2004-2010 vist som reduceret opsving i % på ID15 niveau, for de celler der i reference kørslen uden indvinding fra opsving fra beregningslag 2 til beregningslag 1

3.2 Udnyttelsesgrader (vandbalance test)

Der er gennemført en vurdering af 20 intensivt udnyttede grundvandsforekomster som er rapporteret i Appendix G.

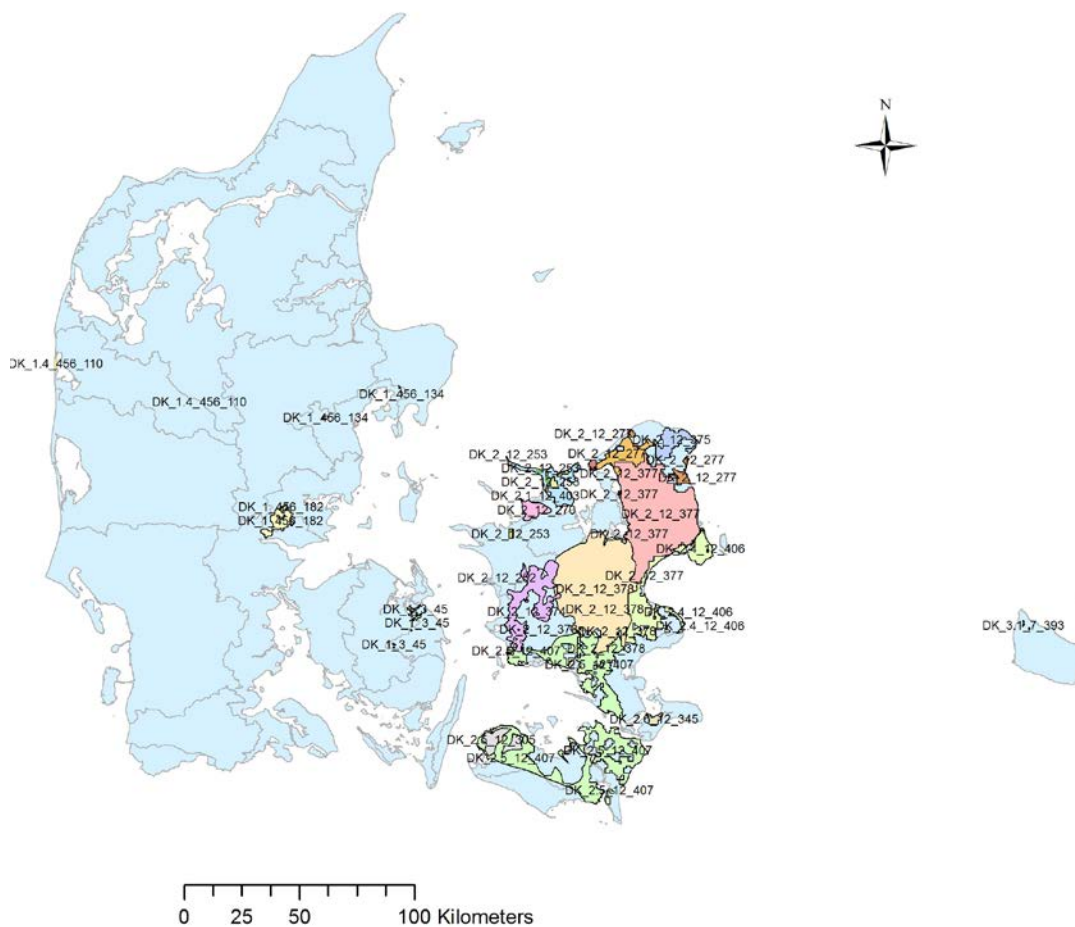
I tabel 3.1 er vist en oversigt over de 20 forekomster, der alle er udnyttet med mere end 30 % af aktuel grundvandsdannelse. I undersøgelsen, der er foretaget af GEUS, er der sammenstillet en række data for de intensivt udnyttede forekomster med henblik på en konkret vurdering af om de har god tilstand, er i risiko eller har dårlig tilstand. Undersøgelsen har vist at tre af de 20 forekomster har ringe tilstand, 6 er i risiko, 3 kan ikke vurderes og 8 vurderes at være i god tilstand (se tabel 3.1). Der er i tabellen angivet en række karakteristika for de 20 forekomster.

Beliggenheden af de 20 forekomster fremgår af Figur 3.4.

Tabel 3.1 Oversigt over 20 intensivt udnyttede grundvandsforekomster

Schematisk oversigt over de 20 grundvandsforekomster og vigtige karakteristika

Grundvandsforekomst	DKmodellag	GVF niveau	Vandlæbs-påvirkning if model?	Udnyttelsesprocent if modelberegning 2005-2010	Udnyttelsesprocent if optælling 2007-2012	Indvandrings-trend fra 2005-2010 til 2007-2012 if optælling	Klorid-problematik?	Anden problematik kemi?	Grundvands-sænkning	Indvinding tæt på eller under kote 0?	Vurdering
DK 2.5 12 305	dk1	dyb	Nej	64.1	52.8	0.4	JA	(Arsen)	0-10 m	JA	Ringe tilstand
DK 2 12 374	ks4	dyb	Ja	65.3	66.1	24.3	JA	Sulfat, (Arsen)	0-10 m	NEJ	Ringe tilstand
DK 2 12 377	dk1/ks3	regional	Ja	78.0	77.3	-1.2	JA	Sulfat, Nikkel, Ionbytning Chl. opl. Midler (Arsen)	>20 m	JA	Ringe tilstand
DK 1 3 45	ks3	terrænnær	Ja	41.6	35.3	-13.3	NEJ	Sulfat, NVOC (Arsen)	0-5 m	JA	I risiko
DK 2 12 358	dk1/ks3	dyb	Nej	60.4	15.5	-19.2	JA	NVOC, (Nikkel)	1-5 m	JA	I risiko
DK 2 12 378	dk1/ks3	regional	Ja	65.2	57.7	-5.9	JA	Sulfat, Nikkel Ionbytning (Arsen)	1-10 m	NEJ	I risiko
DK 2.1 12 403	dk1	dyb	Ja	71.4	79.5	-2.8	(JA)	(NVOC), (Arsen)	0-5 m	JA	I risiko
DK 2.4 12 406	dk1	regional	Ja	32.3	33.3	2.1	JA	Ionbytning Nikkel, (Arsen)	0-5	JA	I risiko
DK 2.5 12 407	dk1	regional	Nej	30.6	55.0	-5.8	JA	(Arsen)	0-10	JA	I risiko
DK 1.4 456 110	ps1	dyb	-	31.8	39.1	-1.7			<1 m	(JA)	Kan ikke vurderes
DK 2 12 252	ks2	dyb	Nej	34.8	27.7	0.2			0-5 m	JA	Kan ikke vurderes
DK 3.1 7 393	blag5	dyb	-	93.9	88.0	-11.1					Kan ikke vurderes
DK 1 456 134	ks2	dyb	-	59.9	60.1	-3.9	NEJ	Ionbytning	Lokalt >20 m	NEJ	God tilstand
DK 1 456 182	ks1	regional	-	33.4	44.2	12.2	NEJ	(Arsen)	0-2 m	NEJ	God tilstand
DK 2 12 253	dk1	dyb	Ja	37.8	34.1	-6.7	NEJ	(NVOC)	0-5	JA	God tilstand
DK 2 12 270	ks4	dyb	Nej	65.0	84.5	-2.3	NEJ	(Arsen), (NVOC)	0-2 m	JA	God tilstand
DK 2 12 277	dk1	dyb	Nej	60.8	71.9	-10.6	NEJ	(Nikkel), (NVOC)	0-2 m	JA	God tilstand
DK 2.6 12 345	ks4	dyb	Nej	58.3	56.8	-1.9	(JA)		0-2 m	JA	God tilstand
DK 2 12 375	dk1	dyb	Ja	67.4	66.4	12.8	NEJ	(NVOC)	0-2 m	JA	God tilstand
DK 2.2 12 404	dk1	dyb	Ja	54.3	54.0	29.6	(JA)	(NVOC)	0-5 m	JA	God tilstand



Figur 3.4 Beliggenhed af 20 intensivt udnyttede forekomster med udnyttelsesgrad > 30 %.

3.3 Påvirkning af biologiske kvalitetselementer (vandløbspåvirknings test)

Nedenfor er først vist resultater for de enkelte 6 flow variable (Figur 3.5 - 3.10) der indgår i nye DCE indikatorer for smådyr (DVFI), fisk (DFFVa) og planter (DVPI), se Tabel 3.1.

Tabel 3.1 DCE empiriske formler for DVFI, DVPI og DFFVa

$$DVFI = 0.217 + 0.103 * Sin + 0.020 * Q_{90} * Fre_1 \quad (\text{invertebrates})$$

Sin: Sinosity (class value = 1-4 from straight, to slightly sinous, sinous to meandering)

Q_{90} is the flow below the 90th percentile of the flow-duration curve, divided (standardized) by median flow (Q_{50})

Fre_1 is the annual frequency of events with flows above the median discharge (Q_{50}), indicating weak floods

$$DVPI = 0.546 + 0.020 * Fre_{25} - 0.019 * Dur_3 - 0.025 * Fre_{75} \quad (\text{macrophytes})$$

Fre_{25} is the annual frequency of events with flows above Q_{25}

Fre_{75} is the annual frequency of events with flows below Q_{75} .

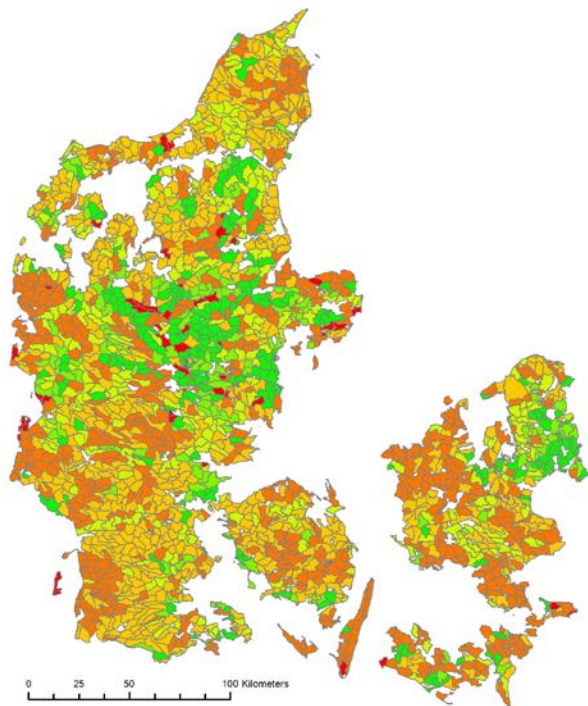
Dur_3 is the annual duration of extreme flow events three times above the flow at Q_{50}

$$DFFVa = 0.811 * BFI + 0.058 * Sin + 0.050 * Fre_{25} - 0.319 - 0.0413 * Fre_{75} \quad (\text{fish})$$

The baseflow index (BFI) is defined as the volume of the flow at baseflow conditions, divided by the total volume. Different equations exist for the BFI and we used the procedure described in Gustard et al. (1992).

Dernæst er vist beregnede ændringer for DVFI og DFFVa (Figur 3.11). DVPI er som nævnt ovenfor for upålidelig til en vurdering af effekt af vandindvinding på planter med de opstillede model.

Fre 1 indv



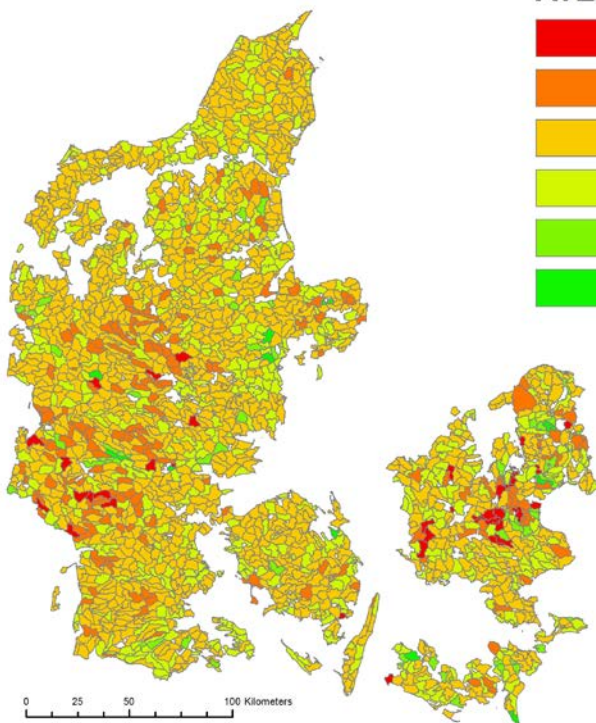
Fre 1 indvinding

AvEx_14_FR



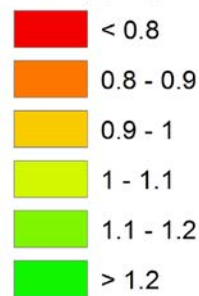
0 25 50 100 Kilometers

Fre 1 indv / Fre 1 ref



Fre 1 indv / Fre 1 ref

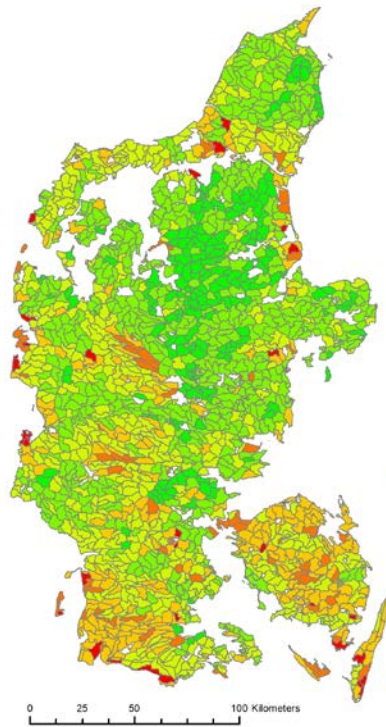
AvEx_14_FR / NoEx_14_FR



0 25 50 100 Kilometers

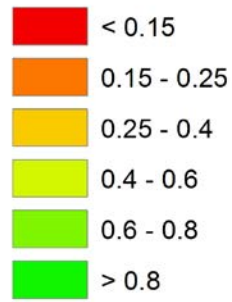
Figur 3.5 Modelberegnet Fre1 (antal hændelser pr. år der overskrider Q50 median afstrømning) for aktuell indvinding (øverst) og forhold mellem Fre1 for aktuell indvinding og Fre1 uden indvinding (nederst). Vist for ID15 oplande hvor Q50 > 10 l/s.

Q90 indv

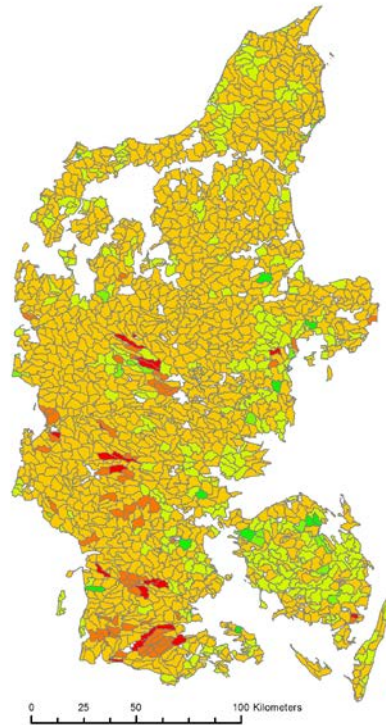


Q90 / Q50

AvEx_18_Q9



Q90 indv / Q90 ref



Q90 / Q50

AvEx_18_Q9 / NoEx_18_Q9



Figur 3.6 Modelberegnet Q90/Q50 (ekstremitet af low flow svarende til 90 % percentil – Q90 - divideret med Q50) for aktuel indvinding (øverst) og forhold mellem Q90/Q50 for aktuel indvinding og Q90/Q50 uden indvinding (nederst). Kun oplande med Q50 > 10 l/s vist.

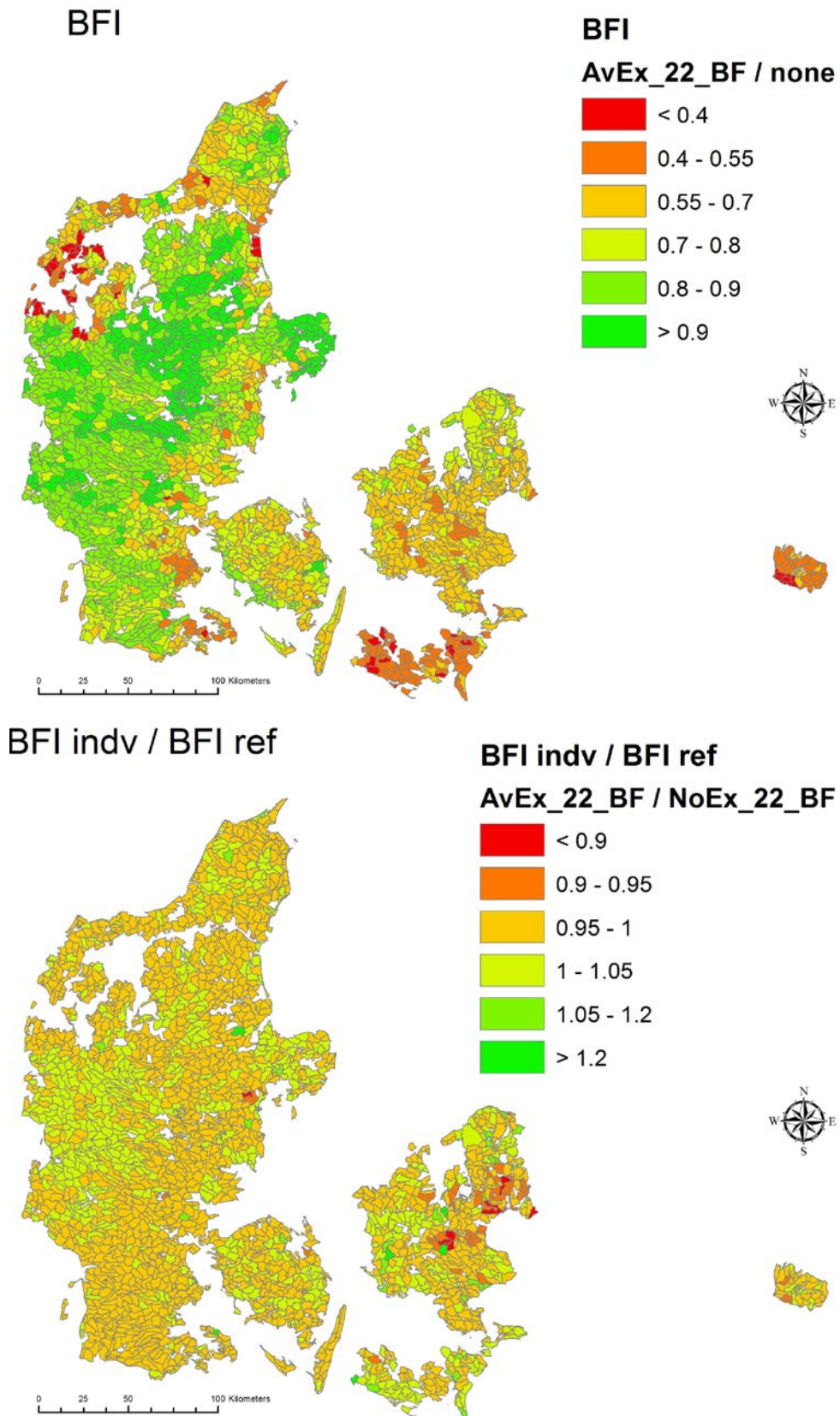
DCE fortolker, den empiriske formel for smådyr (DVFI) sådan at tilstanden (i form af en EQR værdi mellem 0 og 1) er afhængig af flow variable såsom Q90 og Fre1, ligesom at slyngningsgraden (Sinosity) altså en proxy for fysisk tilstand har stor betydning for tilstanden. I formelen indgår Q90 (normaliseret med median vandføringen – Q50). En Q90 værdi tæt på 0 betyder at lave vandføringer er langt mere ekstreme, end hvis Q90 er tæt på 1. Der er en positiv korrelation mellem Q90 og DVFI, og når de lave vandføringer er mindre ekstreme (Q90/Q50 tæt på 1), så er DVFI alt andet lige højere (altså bedre tilstand for smådyr). En negativ effekt på smådyr sammensætningen i vandløb af ekstremt lave vandføringer, herunder stillestående vand, er ofte påvist i litteraturen. Strømkrævende arter forsvinder og erstattes af hyppigt forekommende arter tilpasset stillestående vand (Graeber et al., 2014). Fre1 er hyppigheden af flows events over median vandføringen. Sådanne svage forøgelse i vandføringen har en positiv indflydelse på smådyr i vandløb og dermed en positiv effekt på DVFI (også vist med LIFE indekset for makroinvertebrater). De potentielle årsager til denne positive effekt er en øget mangfoldighed af levesteder og eller fjernelse af fint sediment. Denne sammenhæng understøttes ligeledes af litteraturen (Graeber et al., 2014), og af NOVANA data og en sammenhæng mellem slyngningsgraden på kvaliteten af smådyr samfund påvist i danske vandløb.

Fre1 og Q90/Q50 indgår begge i DVFI indikatoren for smådyr. På figur 3.5 ses at Fre1 har de højeste værdier på Østsjælland og i Østjylland. Dele af Vestjylland, Fyn, Vest og Sydsjælland har relativt lave værdier af denne parameter. Figuren nederst viser de ID15 oplande hvor Fre1 er mest reduceret som følge af vandindvinding (oplande omkring København og på Midtsjælland og i Midt- og Vestjylland). De laveste Fre1 værdier er under 2 hændelser pr. år, mens de værdier er over 10 hændelser pr. år.

Q90/Q50 er generelt høj for store dele af Jylland undtagen områder omkring Limfjorden, og i Østjylland. Variablen er lav for Fyn, Sjælland og øvrige øer. Ændringen i Q90/Q50 er størst for oplande på Sjælland og omkring København og dele af Midtjylland.

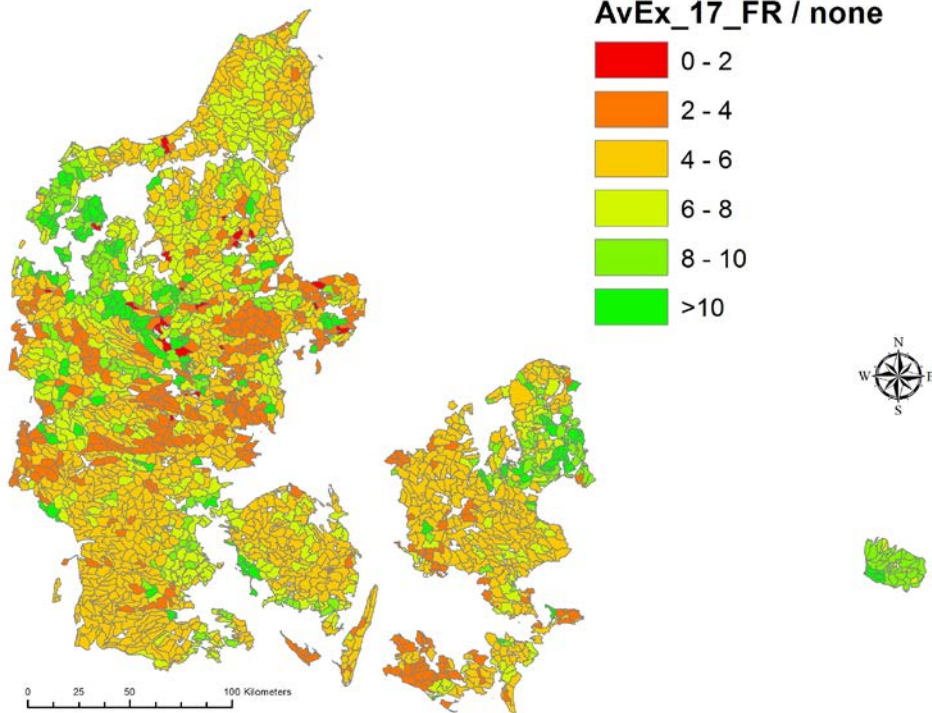
Baseflow index (se Figur 3.7) er generelt høj for store dele af Jylland, middelhøj for Fyn, Sjælland og Nordjylland og lav for Østjylland, Lolland, Falster og Bornholm. De største reduktioner i baseflow index ses omkring Århus og København. Baseflow index indgår i indikatoren for fisk (DFFVa) og jo højere baseflow index desto bedre tilstand for fisk.

DCE fortolker formelen for DFFVa sådan, at indikatoren er positivt korreleret til baseflow index (BFI) og negativt relateret til Fre75 (hyppigheden af vandføringsevents under 75 percentilen jf. varighedskurven). Det betyder, at fiskesamfundenes kvalitet øges, jo mere stabil vandføringen er på sæsonbasis, herunder at lave vandføringer kun sjældent må forekomme. Endvidere er DFFVa positivt relateret til Fre25, hvilket indikerer, at små forstyrrelser på grund af relativt mindre forøgelse af vandføringen kan forbedre kvaliteten af fiskesamfundene. Som for DVFI blev der fundet en positiv sammenhæng mellem vandløbenes økologiske tilstand og slyngningsgraden. I litteraturen er der påvist en positiv effekt af en naturlig, mangfoldig habitatstruktur på fiskesamfundene i strømmende vande, og slyngningsgraden er en udmærket proxy for en naturlig habitatstruktur i vandløbet. Derfor er den positive sammenhæng mellem slyngningsgrad og DFFVa økologisk fornuftig og forventelig (Graeber et al., 2014).

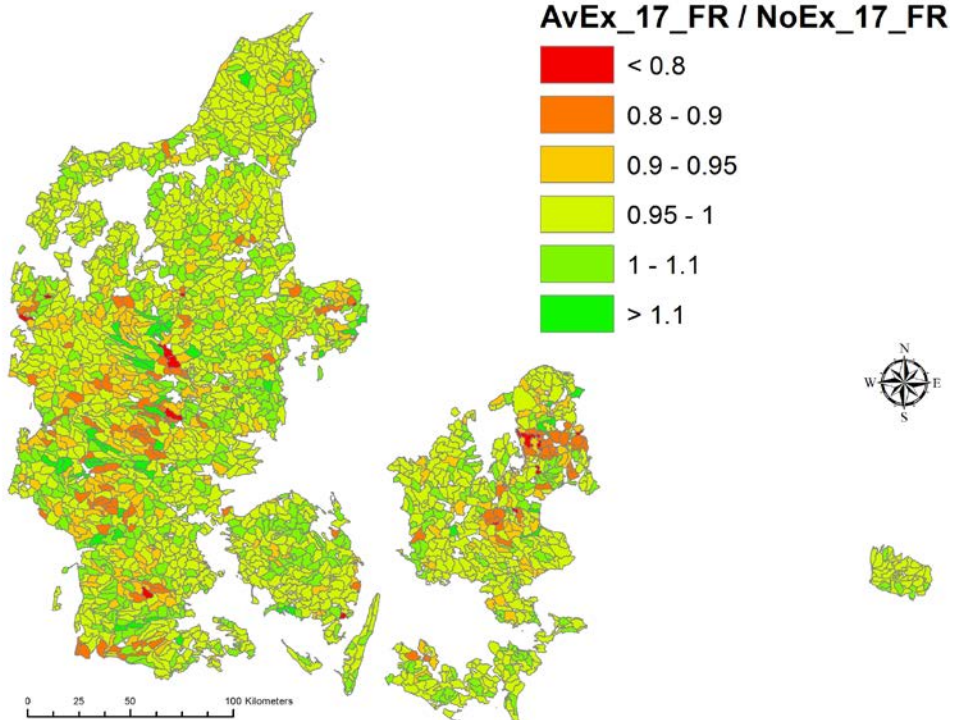


Figur 3.7 Modelberegnet baseflow index (BFI) for aktuell indvinding (øverst) og forhold mellem BFI for aktuell indvinding og BFI uden indvinding (nederst). Kun oplande hvor Q50 > 10 l/s er vist.

Fre25



Fre25 indiv / Fre25 ref

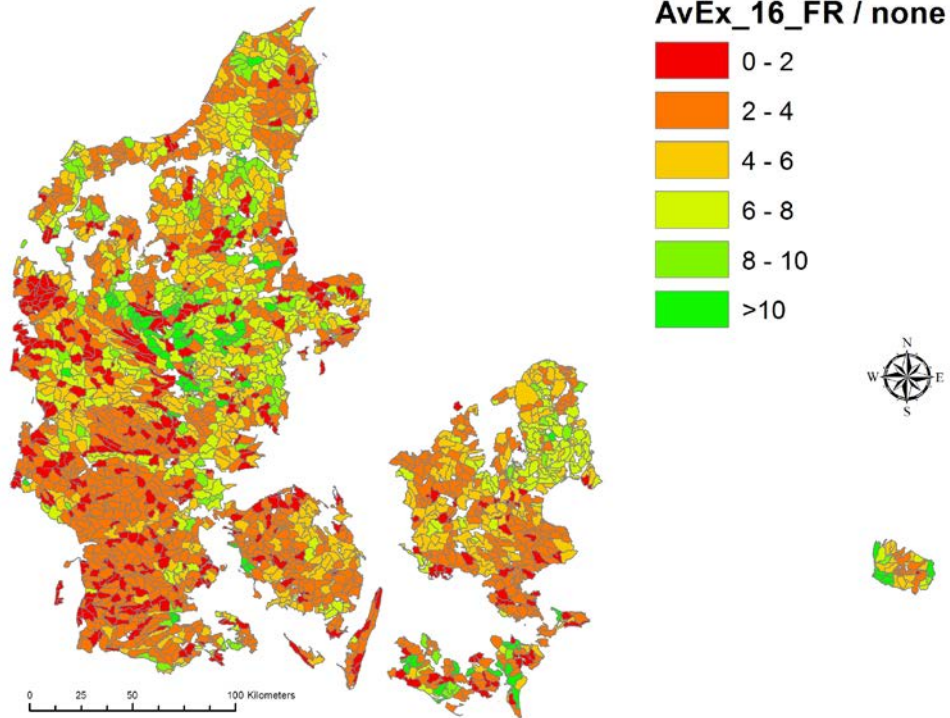


Figur 3.8 Modelberegnet Fre25 (antal hændelser pr. år over 25 % percentil svarende til Q25) for actual indvinding (øverst) og forhold mellem Fre25 for actual indvinding og Fre25 uden indvinding (nederst). Kun oplande hvor Q50 > 10 l/s er vist.

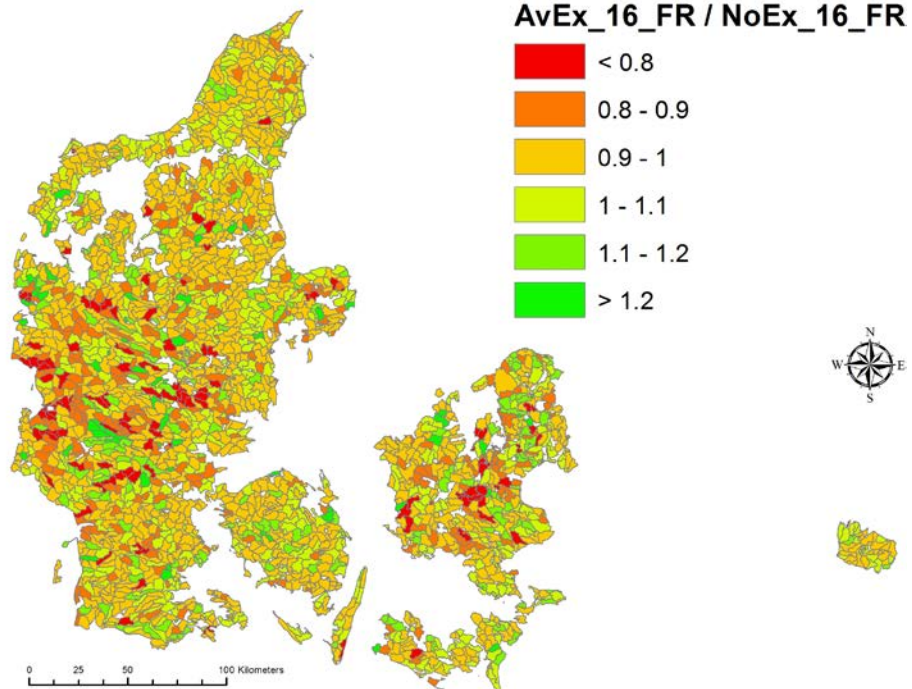
Fre25 indgår i index for både fisk (DFFVa) og planter (DVPI), jo højere værdi desto højere tilstand. Fre25 er generelt høj for Thy-Mors-Salling og Karup å området samt i Østsjælland,

og lav i Midtjylland, og på Lolland. Øvrige dele af landet har moderate værdier. De højeste værdier er over 10 hændelser pr. år, de lave er typisk under 4 hændelser pr. år. De største reduktioner i Fre25 ses omkring København og oplande i Midt- og Sydjylland.

Fre75

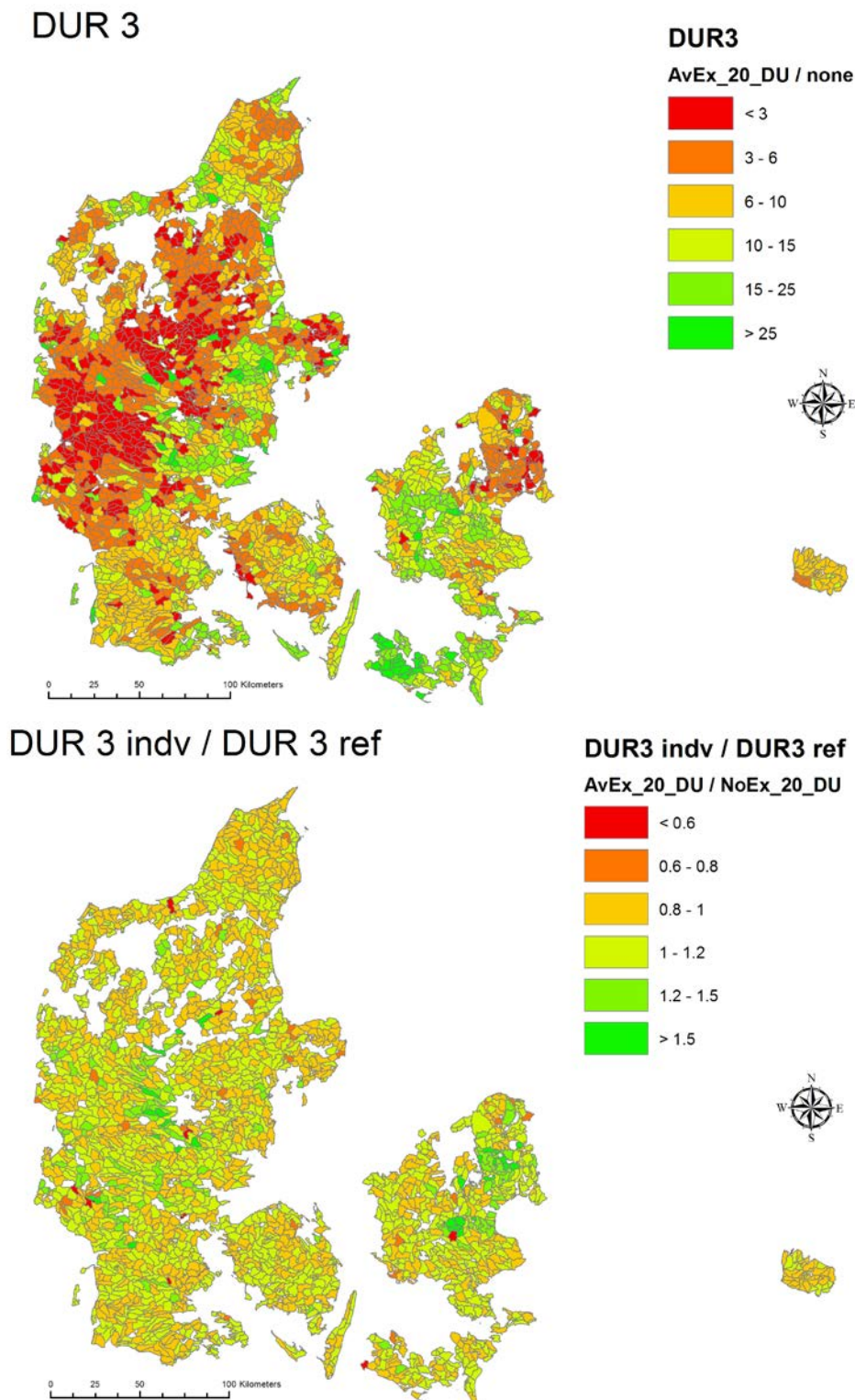


Fre75 indiv / Fre75 ref



Figur 3.9 Modelberegnet Fre75 (antal hændelser pr. år under 75 % percentil svarende til Q75) for actual indvinding (Øverst) og forhold mellem Fre75 for actual indvinding og Fre75 uden indvinding (nederst). Kun oplande hvor Q50 > 10 l/s er vist.

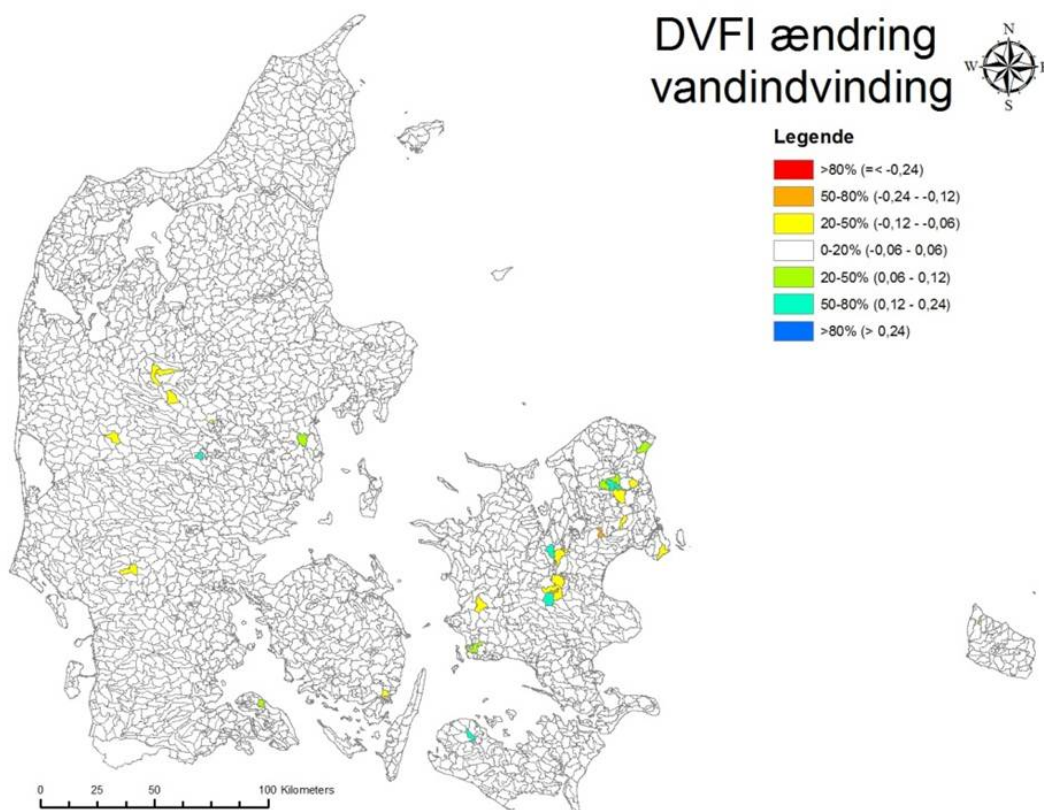
Fre75, antal hændelser under den lave vandføring Q75, indgår i indikatorer for fisk (DFV-Va) og planter (DVPI). Høje værdier resulterer i lav tilstand. Områder med høje værdier ses i Midt- og Østjylland, syd og nord for Ålborg på Østsjælland og dele af Lolland, Falster og Bornholm.



Figur 3.10 Modelberegnet DUR3 (varighed af hændelser pr. år over 3 x Q50) for aktuell indvinding (øverst) og forhold mellem DUR3 for aktuell indvinding og DUR3 uden indvinding (nederst). Kun vist resultater for ID15 oplande med Q50 > 10 l/s.

Figur 3.10 viser resultater for DUR3, altså antal hændelser over $3 \times Q50$. DUR3 indgår i indikatoren for planter (DVPI). Jo større værdier af DUR3, desto dårligere tilstand for planter. DUR 3 har generelt de højeste værdier i Midt- og Østjylland, på Østsjælland, på Lolland-Falster og i dele af syd, vest og Nordjylland. Ændringer på DUR3 er størst omkring København og i Midtjylland.

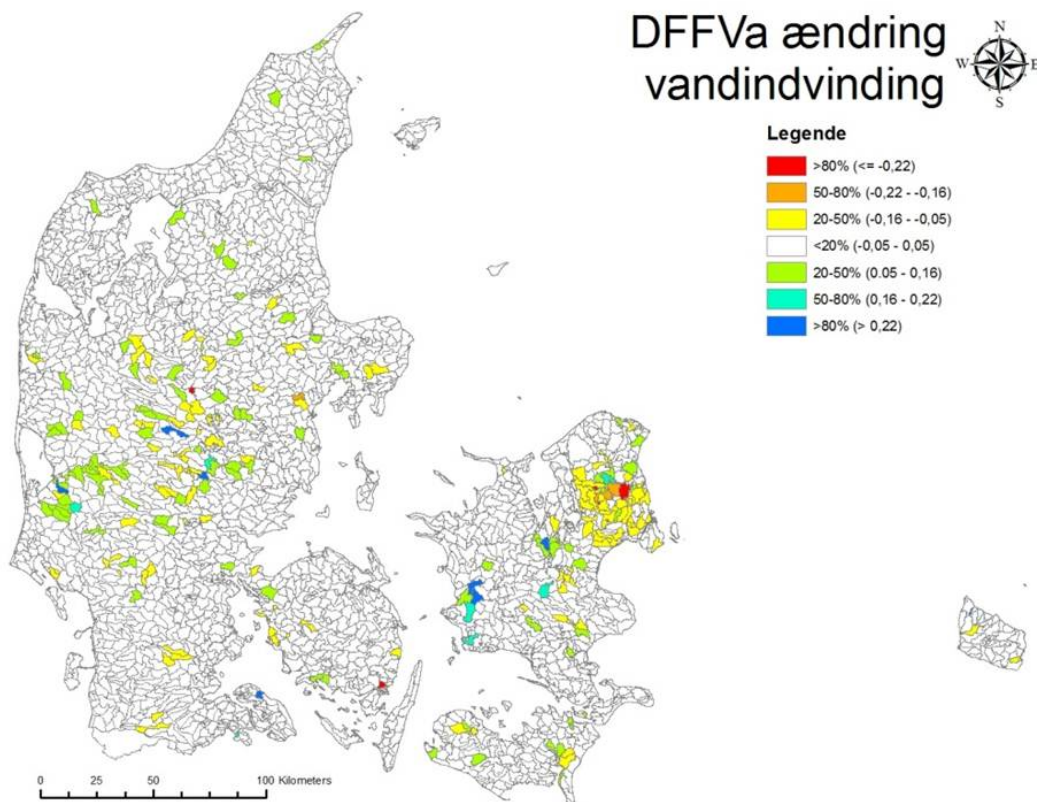
I Figur 3.11-3.12 er vist beregnede ændringer i DVFI (smådyr) og DFFVa (fisk).



Figur 3.11 Modelberegnete ændringer i DVFI (smådyr). Områder med rød farve har > 80 % sandsynlighed for reduceret tilstand, orange farve 50-80 % sandsynlighed for reduceret tilstand og gul farve 20-50 % sandsynlighed for reduceret tilstand fra god til ikke god. Der er ikke frasorteret oplande hvor der er målt god tilstand eller hvor reference tilstanden er dårlig.

Det fremgår af Figur 3.11 at der ikke er oplande for smådyr i kategorien > 80 % sandsynlighed for tilstandsændring.

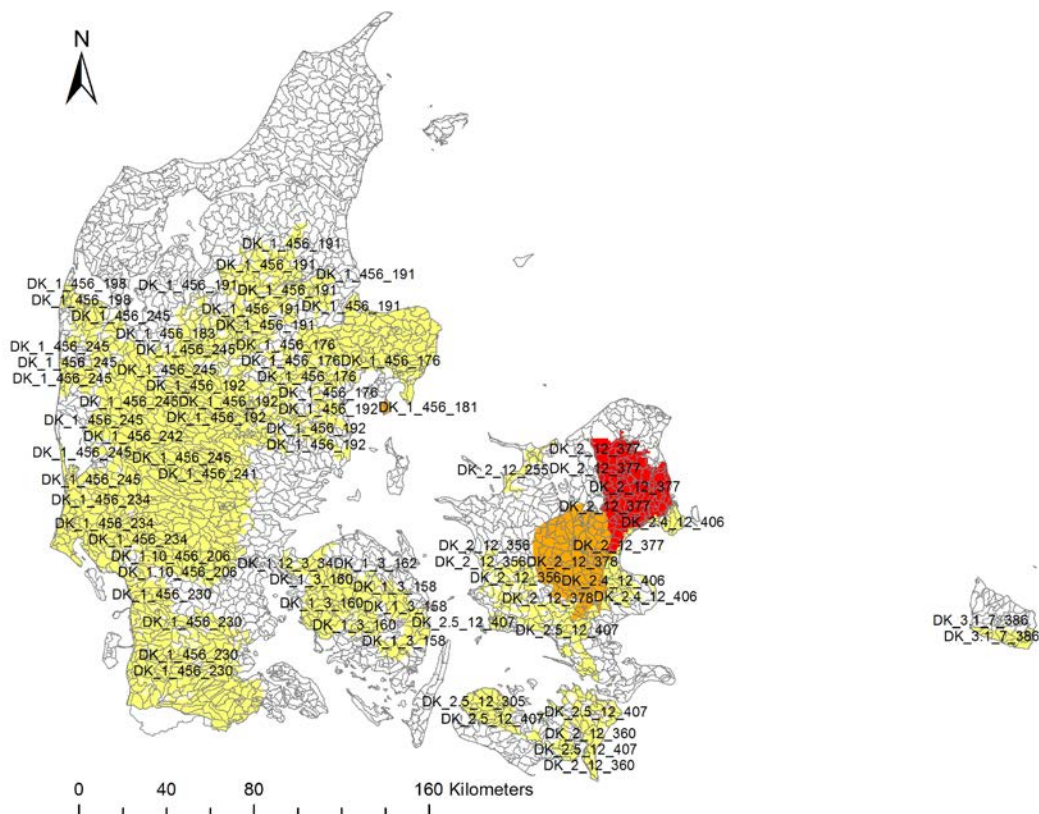
I Figur 3.12 er beregnede ændringer for DFFVa (fisk) vist.



Figur 3.12 Modelberegnete ændringer for DFFVa (fisk). Områder med rød farve har > 80 % sandsynlighed for reduceret tilstand, orange farve 50-80 % sandsynlighed for reduceret tilstand og gul farve 20-50 % sandsynlighed for reduceret tilstand fra god til ikke god. Der er ikke frasorteret oplande hvor der er målt god tilstand eller hvor reference tilstanden er dårlig.

3.4 Vurdering af vandløbspåvirkning relateret til grundvandsforekomstniveau

I Appendix H er vist resultater af udpegede ID15 oplande for smådyr (DVFI) og fisk (DFFVa) der har sandsynlighed for reduceret tilstand på hhv. > 80 % (rød markering), 50-80 % (orange markering) og 20-50 % (gul markering) sandsynlighedsniveau ved nuværende vandindvinding og for perioden 2004-2010. Beregninger er baseret på højt scenarie. I Figur 3.12 er vist hovedresultatet af udpeging af grundvandsforekomster relateret til ID15 punkter med hhv. > 80 % (rød markering), 50-80 % (orange markering) og 20-50 % (gul markering) sandsynlighed for tilstandsændring ved aktuel vandindvinding.



Figur 3.12 Grundvandsforekomster relateret til ID15 punkter med > 80 %, 50-80 % og 20-50 % sandsynlighed for reduceret tilstand (fra god til ikke god) ved aktuel vandindvinding og på basis af nye DCE indikatorer for smådyr (DVFI) og fisk (DFFVa). Baseret på perioden 2004-2010 for højt scenarie

Samtlige data vedr. flow variable er vist for aktuel indvinding og uden indvinding. Slyngningsklasse, ODA nummer og øvrige parametre er også vist. Oplande der har dårlig tilstand i reference situationen uden indvinding, oplande hvor Q50 ved nuværende indvinding er mindre end 10 l/s og oplande hvor der er målt god tilstand er frasorteret. Tabel 3.2 sammenfatter hovedresultatet af Appendix H for smådyr og fisk. I tabellen i Appendix H er desuden vist modelleret tilstand for reference og aktuel indvinding, målt tilstand baseret på BA 2013, relateret grundvandsforekomst (markeret om relatering er baseret på tænd-sluk kørsel eller GIS vurdering).

Table 3.2 Resultat af udpeging af ID15 oplande og relaterede grundvandsforekomster med > 80 % sandsynlighed for tilstandsændring (i parentes udpeging når øvrige kriterier dvs. Q50 > 10 l/s, målt tilstand og evt. dårlig tilstand for modelleret reference situation indregnet). På >80 % sandsynlighedsniveau for tilstandsændringer er udpeget DK_2_12_377

Biologisk kvalitetselement	>80 % sandsynlighed (antal behov)	50-80 % sandsynlighed (antal behov)	20 % sandsynlighed (antal behov)
DVFI smådyr	0 (0)	3 (2)	15 (11)
DFFVa fisk	7 (1)	5 (2)	130 (83)
Relaterede grundvandsforekomster (kun vist forekomster på > 50 % sandsynlighed)	DK_2_12_377	DK_2_12_377 DK_2_12_378 DK_1_456_181	Se Figur 3.12

Tabel 3.2 er sammenfattet hovedresultatet af undersøgelsen af tilstand på hhv. > 80 %, 50-80 % og 20-50 % sandsynlighedsniveau. På mere end 80 % sandsynlighedsniveau er der udpeget en enkelt grundvandsforekomst, efter frasortering af ID15 oplande hvor det er usandsynligt at de kan have god tilstand i reference situationen (dvs. de er modelleret som havende dårlig tilstand), hvor der i basisanalysen ikke er målt god tilstand og hvor $Q50 > 10$ l/s, nemlig forekomst DK_2_12_377 nord for København. Det er indikatoren for fisk (DFFVa) er er udslagsgivende for et enkelt ID15 opland (der er i dette tilfælde frasorteret 6 ID15 oplande ud fra et af de ovenfor nævnte 3 øvrige kriterier).

På 50-80 % sandsynlighedsniveau er udpeget i alt 3 grundvandsforekomster der har et eller flere ID15 oplande med vandløbspåvirkning der overstiger max krav til EQR ændring. Der er tale om DK_2_12_377 (nord for København), DK_2_12_378 (syd for København) og DK_1_456_181 på sydlige del af Djursland. Se Figur 3.12 for de udpegede ca. 100 ID15 oplande på et 20-50 % sandsynlighedsniveau og efter frasortering jf. de tre tillægskriterier. I alt er der udpeget 24 grundvandsforekomster hvor der er mere end 20 % sandsynlighed for tilstandsændring.

I Appendix H er nederst vist 4 alternative empiriske modeller opstillet som en del af usikringsvurderingen. Analysen er foretaget på samme måde som DCE har analyseret empiriske modeller ved symbolsk regression (EUREKA), blot er i stedet for målt vandføring, analyseret på sammenhænge mellem hhv. DVFI og DFFVa og i forhold til model simuleret vandføring. Herved er der bestemt fire alternative modeller, og der indgår fortrinsvis de parametre hvor der ikke er for meget støj på til en identifikation af en empirisk sammenhæng. Det vurderes at den bias korrigerede model og baseret på DCE's formler udgør det klart mest pålidelige bud på tilstandsændring, så undersøgelsen har primært haft til formål at vurdere om ændringer baseret på alternative modeller giver samme resultater eller meget forskellige resultater. Resultatet viser at resultater er rimeligt ensartede for DVFI og DFFVa. Der udpeges ikke oplande der har væsentligt højere sandsynlighed for tilstandsændring blandt de udpegede oplande. De alternative modeller har ikke helt samme biologiske validitet, model A og B er alene baseret på SIN og $Q90$, og har derfor ikke DCE modellens $Fre1$ led. Model C er alene baseret på median min Q (som jo er følsom i forhold til vandindvinding), men giver ikke væsentlig større påvirkninger end den anvendte DCE model, og den alternative model bekræfter således at smådyr tilstand på ID15 niveau ikke er særligt påvirkede af effekt af vandindvinding, men i højre grad afhænger af fysiske forhold (slyngningsklasse mm.). Model D som har den højeste forklaringsgrad af de undersøgte alternativmodeller ($R^2 = 0,39$) er baseret på $Q90$, SIN og $Q50$, parametre der alle er godt bestemte med DK model. Det fremgår at model D heller ikke udpeger flere oplande end den anvendte DCE biaskorrigerede model. Samlet viser resultater at kun få ID15 oplande udpeges når grænsen sættes ved > 50 % sandsynlighed for tilstandsændring for smådyr (DVFI) og på ID15 niveau.

Analysen af alternative modeller for DFFVa indeholder i model A og B variablene BFI , $Fre25$ og $Fre75$ ($R^2 = 0,32$). De to alternative modeller A og B for DFFVa ligner mest DCE's empiriske formel, blot indgår SIN ikke i model A. Der indgår i model A nogle 2-, 3- og 4-ordens led for BFI som er med til at øge kompleksitetsniveauet hvilket ikke er ønskeligt. Det fremgår at alternativ model A giver omtrent samme konklusive resultater som den biaskorrigerede DCE model der er anvendt. Model A bekræfter således at resultaterne med den anvendte model er rimeligt pålidelige (idet den opfylder kravet om R^2 værdi > 0,25, og

at den empiriske formel er rimeligt biologisk relevant). Det vurderes dog, at den biaskorrigerede model er mere pålidelig end den alternative model. Model B som også indeholder *BFI*, *SIN*, *Fre25* og *Fre75* har ikke en forklaringsgrad der er tilfredsstillende ($R^2 = 0,23$), og modellen er relativt kompleks på grund af exponential funktionen (på differensen *Fre25*-*Fre75*). Alternativ model C forenklet til *BFI*, *Q50* og *Q90* er ikke biologisk tilfredsstillende og har heller ikke en særlig høj forklaringsværdi ($R^2=0,26$). Alternativmodel D bygger på variable som *SIN*, *BFI*, *Fre75* og Median min *Q* og *D* har en høj forklaringsværdi ($R^2=0,39$), men samtidig en meget høj kompleksitet. Modellen vurderes ikke biologisk relevant. Samlet viser resultater for DFFVa at de alternative modeller som har samme dynamiske parametre (hvor *Fre25* - *Fre75* indgår) ligner den anvendte DCE model mest. Alternativmodel D har den største forklaringsgrad, men udgør samtidig en uheldig forenkling, af indikatoren for fisk, idet *Fre25* - *Fre75* ikke indgår i det empiriske udtryk. Samtidig har indikatorer et højt kompleksitetsniveau. Alternativ model A vurderes derfor samlet set at være den der kommer tættest på DCEs opstillede indikator, men det vurderes at kompleksiteten er for høj til at model A bør anbefales, frem for den anvendte biaskorrigerede empiriske formel fra DCE. Analysen med alternativmodeller for DFFVa illustrerer dog samtidig at opstilling af empiriske relationer kræver en meget stor grad af domæne viden (altså biologisk viden) og at en høj forklaringsgrad (statistisk fokus) ikke er den vigtigste kvalifikation der er nødvendig. Der er behov for et tættere samarbejde mellem biologer og hydrologer (modellører) omkring udvikling af indikatorer der både honorerer usikkerhedsaspekter på hydrologiske modeller og biologisk relevans af variable der indgår i empiriske formler.

3.5 Vurdering af usikkerheder på model

En del usikkerheder kan ikke kvantificeres og kan kun vurderes kvalitativt. Det gælder fx betydning af usikkerhed på den geologiske model. Der hvor detailkortlægningen er indbygget i modellen fx dele af Sjælland vurderes det at sikkerheden er større end der hvor der ikke er indbygget detailkortlægningsmodeller, men det afhænger samtidig af hvor kompleks geologien er og de hydrogeologiske forhold. Men det vil primært være i forhold til udnyttelsesgraden usikkerhed vil blive reduceret hvor detailkortlægningen er indbygget i DK model. Detailkortlægning vil typisk give en bedre opløsning af geologi og dermed vandbalance forhold for grundvandsforekomster, men udvekslingen mellem grundvand og vandløb har ikke speciel fokus i detailkortlægningen, og vandløbspåvirkning indgår ikke i langt de fleste detailkortlægningsmodeller. Detailkortlægningen ikke har til formål at vurdere vandløbspåvirkning, men primært indvindingsoplande og grundvandsdannelse til magasiner og forekomster, og derfor giver detailkortlægningen i store dele af landet ikke nogen væsentlig forbedring i forhold til DK modellen hvis styrke er en ensartet opstilling og kalibrering, og modellens mere robuste randbetingelser i forhold til fx detailkortlægningsmodeller.

Detailkortlægningen kan være med til at kvalitetssikre datagrundlaget herunder indvindingsdata, observationsdata, hydrostrategifiske model mm. Det vurderes derfor, at sikkerheden vil være størst hvor der er detailkortlægning inde. Fremadrettet, kunne det derfor være relevant at indarbejde samtlige detailkortlægningsmodeller i takt med at de bliver færdige, og måske også kortlægning af områder med drikkevandsinteresser udenfor OSD. Præcis kvantificering af hvor meget detailkortlægningen betyder, er dog ikke muligt.

Performance af DK model kan dog optimeres ved kalibrering stedspecifikt til underområder af DK domæner og i forhold til DCE indikatorer. Her ligger en klar mulighed for reduktion af usikkerhed på Fre1, Fre25, Fre75 og Dur 3, og i det omfang at der foreligger detailkortlægningsdata og modeller vil de kunne indgå i en sådan distribuering af fx dræn, lækagekoefficient mm. Hvor der ikke er indarbejdet detailkortlægningsmodeller (fx i store dele af Jylland) er den geologiske model tolket i 1 x 1 km, og derfor er opløsningen på 100x100 m nævnt under modelopstilling blot en interpolation, idet 500x500 meter modellen mange steder blot er en interpolation af en geologisk tolkning i 1 x 1 km.

Disse usikkerheder skal imidlertid ansues i forhold til at der arbejdes på ID15 niveau altså ca. 15 km². Modellen kan derfor ikke belyse hvad der sker indenfor et enkelt ID15 opland, og indeholder heller ikke fx tynde ler- eller sandlag som vil kunne give lokale strømningsforhold der afviger fra de mere regionale strømningsforhold DK modellen simulerer. Modellen kan således heller ikke beskrive relationer mellem fx en enkelt markvandingsboring og en given vandløbsstrækning. Sådanne forhold kan have betydning for fx påvirkning af median min afstrømningen. Ved overgang til nye indikatorer har dette mindre betydning, og udfordringen er nu i stedet at give et samlet bud på hvordan afstrømningshydrografen simuleres. Og i det spil er afvigelse bedømt ved R2, Fbal og sommer Fbal helt centrale.

Submodellen viser, at der ikke opnås væsentlig forbedret performance sammenlignet med DK model, ved en stedspecifik kalibrering i forhold til vandbalance størrelser. På flere punkter har DK model bedre performance (trykniveau, R2 og Fbal), og på andre punkter (fx nogle af DCEs flow variable fx Fre1) opnås kun en lidt bedre performance på trods af stedspecifik kalibrering af submodellen. Disse resultater indikerer, at det er en kompleks udfordring vi står med, i forbindelse med en overgang fra det relativt simple, at vurdere en reduktion i median min Q, til de nye mere komplekse, at beregne ændringer på DVFI, DFFVa og DVPI, med udgangspunkt i frekvenser, varigheder og ekstremiteter. Her er det egentligt videnskabeligt, vi ved ikke om vi kan kalibrere de hydrologiske til de seks flow størrelser, og vi ved ikke hvad det vil kræve at reducere usikkerheden i forhold til modellering af indikatorer ud fra målte afstrømninger. Det vil muligvis kræve et langt bedre nedbørsinput end det vi kender i dag fra grid nedbøren (hvor stationsnettet er kraftigt beskåret fra 2007 og frem), det kan kræve en mere detaljeret maskevidde i modellen (fra 500 til 100 m), en bedre geologisk model i relation til modellering af vandløbspåvirkning, bedre beskrivelse af trykniveau og magasinering i overfladevandssystemer osv.

Vi har en kvalitativ og kvantitativ fornemmelse af usikkerheden på de seks flowvariable og på de samlede indikatorer. Tabel 3.3 sammenfatter tal på basis af 159 Q stationer hvor der foreligger komplette data for daglig afstrømning for 2004-2010.

Tabel 3.3 Usikkerhed af på afstrømningsvariable der indgår i nye DCE indikatorer ud fra sammenligning af DK model simuleret og observeret vandføring 2004-2010 for 159 faste vandføringsstationer. R2 forklaringsgrad hældning SIM/OBS er bestemt ud fra plot af variabel bestemt ud fra observeret afstrømning (x akse), og variabel simuleret med DK model (y-akse) på basis af tendenslinje gennem (0,0)

Variabel (enhed)	Simuleret DK model	Observeret Q stat	Middelfejl	Middelfejl (%)	R2 forklaringsgrad	Hældning SIM/OBS
Q50 (m ³ /s)	3,38	3,53	- 0,15	- 4	0,99	1,05
BFI (-)	0,83	0,77	+ 0,06	+ 8	0,55	0,93
FRE75 (-)	5,2	8,2	- 3,0	- 37	- 0,17	1,39
FRE25 (-)	5,9	10,6	- 4,6	- 44	- 0,32	1,50
FRE1 (-)	6,0	10,9	- 4,9	- 45	- 0,37	1,50
DUR3 (-)	6,6	3,6	- 3,0	+ 86	0,15	0,46
Q90/Q50 (-)	0,69	0,58	0,11	+ 18	0,61	0,77
Median min Q	2,31	1,87	0,43	+ 23	0,98	0,80

Modellen er bedst til at simulere Q50, Q90/Q50 og BFI. Rimelig god til at simulere median min Q. Modellen er dårlig til simulering af Fre25, Fre75 Fre1 og DUR3, både mht. middelfejl, R2 forklaringsgrad og hældning.

Disse usikkerheder skal dog sammenholdes med usikkerheden på målt DVFI, DVPI og DFFVa der også har en usikkerhed. Samt usikkerheden på vandføringsmålinger af de seks flowstørrelser. Den største usikkerhed er dog fortsat den lave forklaringsgrad af de samlede indikatorer på typisk 0,3 – 0,5 (R2 værdier). Dertil kommer at usikkerheder på anvendte tærskelværdier (20, 50 og 80 % sandsynlighed for tilstandsændring) er væsentlig usikkerhedskilde. Her er der behov for nærmere undersøgelser i de kommende år.

4. Diskussion og konklusion

4.1 Opstilling og kalibrering af modelsystem til nye indikatorer

Nærværende rapport har belyst opstilling af modelsystem og validering af implementeringen af nye DCE indikatorer for smådyr, planter og fisk til vurderinger af vandindvindings betydning for vandløbenes økologiske tilstand ved ca. 3000 ID15 oplande, samt vurderet udnyttelsesgrader for grundvandsforekomster, på basis af vandbalanceforhold for ca. 400 grundvandsforekomster (samlet vandindvinding og akkumuleret grundvandsdannelse).

Med udgangspunkt i beregnede ændringer i biologiske kvalitetselementer (EQR værdier på ID15 niveau) og sandsynligheder for ændret tilstand fastsat af DCE, er det identificeret hvilke ID15 oplande, og hvilke relaterede grundvandsforekomster, der er blevet identificeret til at være i ringe kvantitativ tilstand med et givent sandsynlighedsniveau (fx > 80 %, 50-80 % eller 20-50 %). Det er lykkedes at opnå en rimelig forklaringsgrad i en test for de samme stationer som DCE har opstillet de statistisk baserede empiriske formler for smådyr (DVFI) og fisk (DFFVa). Ud over ovennævnte flow størrelser indgår en stedfortræder for fysisk index i både DVFI og DFFVa, nemlig slyngningsklassen (*SIN OBS*). Det er ikke lykkedes at bias-korrigere den empiriske formel for planter (DVPI).

Det er vurderet, at de udviklede modeller er anvendelige til de formål i vandforvaltningen de er udviklet til, som de foreligger.

4.2 Vurdering af udnyttelsesgrader for forekomster og vandløbspåvirkning ved ID15 oplande og relaterede grundvandsforekomster

Der er udpeget 20 forekomster med intensiv udnyttelse (> 30 % vandindvinding i forhold til grundvandsdannelse). Af disse vurderes 3, at have ringe tilstand, 6 at være i risiko for ringe tilstand (på sigt) og 3 at have ukendt tilstand. De øvrige 11 forekomster er vurderet til at have god tilstand på trods af en udnyttelsesgrad over 30 %. Vurderingen af tilstand er suppleret med vandkemiske analyser, og det er vurderet at visse grundvandsforekomster med udnyttelsesgrad på op til ca. 50 % har god tilstand, selv om udnyttelsesgraden overstiger 30 %.

Der er udpeget en enkelt grundvandsforekomst hvor vandløbspåvirkning på et > 80 % sandsynlighedsniveau giver tilstandsændring fra god til ikke god tilstand. På et 50-80 % sandsynlighedsniveau er der udpeget tre grundvandsforekomster hvor vandløbspåvirkning er problematisk. På et lavere sandsynlighedsniveau (20-50 % sandsynlighed for tilstandsændring) udpeges et stort antal ID15 oplande (i størrelsesorden 100 ID15 oplande), som samlet set er relateret til 24 grundvandsforekomster over hele landet.

4.3 Analyser med submodel og reduktion af usikkerheder

Der er opstillet en submodel for Sneum å oplandet (100x100 m og kalibreret stedspecifikt i forhold til indsamlede pejletidsserier og supplerende vandføringstidsserier) som samlet vurderet kun har givet begrænset forbedring af prædiktionssevnen i forhold til nye DCE indikatorer. På et sandsynlighedsniveau > 50 % giver de to modeller (submodel og DK model) stort set samme beregnede ændringer i EQR værdier. Submodellen har vist, at flytning af markvandinger > 300 m fra vandløb generelt har en positiv effekt på EQR værdier.

Usikkerhedsvurderinger for submodel og sammenligninger af biologiske kvalitetselementer beregnet ud fra observeret vandføring og modelsimuleret vandføring har medført, at det er valgt at korrigere de statistiske empiriske modeller, så der tages højde for forskelle mellem modelsimulerede afstrømninger og observeret afstrømning. Forskelle er især knyttet til variable for frekvenser (Fre1, Fre25 og Fre75), varighed (DUR 3), hvorimod størrelser som baseflow index (BFI), Q90/Q50 og median afstrømning (Q50) generelt er godt beskrevet med modellen.

Analyser for 12 udvalgte oplande og supplerende analyser for udpegede ID15 oplande med alternative modeller (se Appendix H) har vist, at metodikken er egnet til vurdering af effekt af vandindvinding for indikatorer opstillet af DCE og med illustration af resultater i form af beregnede EQR værdier og ændringer som følge af vandindvinding, for tre forskellige sandsynlighedsniveauer for tilstandsændring (80, 50 og 20 % sandsynlighed).

5. Referencer

- Atherton, L, Smith, S and Cox, B (2014) How much water do rivers need? Hydroecology and environmental flows (in press, modtaget på studietur til England foråret 2014).
- Acreman, M, Dunbar, M, Hannaford, J, Mountford, O, Wood, P, Holmes, N, Cowx, IAN, Noble, R, Extence, C, Aldrick, J, King, J, Black, A and Crookall, D (2008). Developing environmental standards for abstraction from UK rivers to implement the EU Water Framework Directive. *Hydrological Sciences Journal*, 53: 1105-1120.
- Gräber, D, Wiberg-Larsen, P, Bøgestrand J og Baattrup-Pedersen, A. (2014) Vurdering af vandindvinding på vandløbs økologiske tilstand Implementering af retningslinjer for effekten af vandindvinding i forbindelse med vandplanlægning og administration af vandforsyningsloven. Notat fra DCE. Nationalt center for miljø og energi. 27. august 2014.
- Henriksen, HJ. and Refsgaard, JC. (2013) Sustainable groundwater abstraction. Review report. GEUS rapport nr. 30/2013
- Henriksen, HJ, Troldborg L, Nyegaard P, Sonnenborg TO, Refsgaard JC and Madsen B (2003) Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark. *Journal of Hydrology*, **280** (1-4), 52-71.
- Højberg, AL., Troldborg, L., Stisen, S, Christensen, BBS, og Henriksen, HJ.: (2012) Stakeholder driven update and improvement of a national water resources model. *Environmental Modelling and Software*. Volume: **40** 202-213
- Henriksen, HJ, Troldborg, L, Højberg, AL, Refsgaard, JC (2008) Assessment of exploitable groundwater resources of Denmark by use of ensemble ressource indicators and a numerical groundwater-surface water model. *Journal of Hydrology* **348** (1-2) 224-240
- Højberg A.L, Troldborg L., Nyegaard P., Ondracek M., Stisen S. & Christensen B.S.B. 2010. DK-model2009 - Sammenfatning af opdateringen 2005 - 2009. GEUS report 2010/81, 39 pp.
- Nyegaard, P, Troldborg, L, Højberg, AL (2010) DK model 2009. Geologisk og hydrostratigrafisk opdatering 2005-2009. GEUS rapport 2010/80.
- Stisen, S, Højberg, AL, Troldborg, L, Refsgaard, J, C, Christensen, BSB, Olsen, M, og Henriksen, HJ (2012): On the importance of appropriate rain-gauge catch correction for hydrological modelling at mid to high latitudes. *Hydrology and earth system science*. **16**: 4157-4176
- Troldborg, L, Højberg, AL, Nyegaard, P, Stisen, S, Christensen, BSB og Ondracek, M (2010) DK model 2005-2009. Modelopstilling og kalibrering for Fyn. GEUS Rapport 2010/76.
- Troldborg, L., Sørensen, BL, Kristensen, M og Mielby, S (2014) Afgrænsning af grundvandsforekomster. Tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark. GEUS rapport 2014/58.