

# Analyse af øget vandindvinding til markvanding

Vandløbspåvirkning på ID15 niveau for nuværende markvanding  
samt 25%, 50% og 100% øget markvanding

Hans Jørgen Henriksen, Simon Stisen, Lars Troldborg,  
Xin He & Lisbeth Flindt Jørgensen



# Analyse af øget vandindvinding til markvanding

Vandløbspåvirkning på ID15 niveau for nuværende markvanding  
samt 25 %, 50 % og 100 % øget markvanding

Hans Jørgen Henriksen, Simon Stisen, Lars Trolborg,  
Xin He & Lisbeth Flindt Jørgensen



Se 'European Agricultural Fund for Rural Development' (EAFRD)

# Indholdsfortegnelse

<b>1.</b>	<b>Kort baggrund for projektet</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Metodik</b>	<b>7</b>
2.1	Resumé af markvandingsberegninger i "Effekt af vandindvinding" .....	7
2.2	Fin-tuning af DK model .....	10
2.3	Scenarie kørsler .....	12
2.4	Behandling af resultater for ID15 oplande .....	13
2.5	Vandbalance udtræk for Midtjylland baseret på DK model .....	14
<b>3.</b>	<b>Resultater</b>	<b>17</b>
3.1	Fin-tuning af DK model .....	17
3.2	Scenarie kørsler og resultater på ID15 oplande .....	19
3.3	Behandling af resultater for deloplande for 2004-2010 .....	20
3.4	Vandbalanceudtræk for Midtjylland.....	24
3.5	Ændringer i indikatorer som følge af 100 % øget markvanding sammenlignet med baseline scenariet.....	28
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>31</b>
<b>5.</b>	<b>Konklusion</b>	<b>35</b>
<b>6.</b>	<b>Referencer</b>	<b>37</b>
	<b>Appendix A - Markvandinger i Jylland på kommune- og DK-modelområdeniveau</b>	<b>39</b>
	<b>Appendix B – Udtræk af vandbalancer for scenarie kørsler fra DK model</b>	<b>55</b>



# 1. Kort baggrund for projektet

GEUS har gennemført projektet "Effekt af vandindvinding" for Naturstyrelsen. I dette projekt har GEUS beregnet sandsynligheden for, at den aktuelle vandindvinding, der finder sted i Danmark, medfører en forringelse af den økologiske tilstand i vandløbene. I beregningerne har indgået alle typer vandindvinding, herunder også vandindvinding til markvanding. Projektet er afsluttet med en afrapportering i december 2014.

Nærværende rapport der har fokus på supplerende markvandingsscenarier er udført for SEGES i første halvår 2015. Der er mange steder i Danmark et ønske om at kunne anvende mere vand til markvanding. Det er derfor relevant at analysere, hvordan yderligere vandindvinding til markvanding vil påvirke sandsynligheden for forringelse af den økologiske tilstand i vandløbene. I forbindelse med ovennævnte projekt afsluttet i december 2014 er en sådan følsomhedsanalyse ikke gennemført.

Nærværende opgave har som formål at beregne sandsynligheden for ændringer i den økologiske tilstand i vandløbene ved øget vandindvinding til markvanding. I "Effekt af vandindvinding" blev markvanding beskrevet ved to scenarier: "Højt scenarie" og "Lavt scenarie". I nærværende markvandingsanalyse er der først foretaget en fin-tuning af DK modellens beskrivelse af markvanding, så markvandingen er så realistisk beskrevet som muligt også i forhold til en maksimal vandingskapacitet, som er vurderet til max. 3 mm/dag for større områder. Den fin-tunede model ligger dermed et sted mellem højt og lavt scenarie.

Herefter er der i forhold til den fin-tunede baseline indeholdende nuværende markvanding udarbejdet scenarier, hvor vandindvindingen øges med 25, 50 og 100 % i forhold til baseline. De fire scenarier er vist på kort over ID15 oplande for Jylland for DVFI og DFFVa. Ændringer er vurderet i forhold til reference situationen uden vandindvinding (nul indvinding) og tærskelværdier for sandsynlighed for tilstandsændring på 20-50, 50-80 og > 80 %. Som supplement er der desuden foretaget en vurdering af ændringer mellem 100 % øget markvanding og baseline (nuværende markvanding), så ændringer i EQR værdier der skyldes vandværker kan ses fra, så den 'rene' påvirkning fra markvanding belyses.

For Midtjylland er der foretaget beregning af et supplerende scenarie hvor markvandingsindvindinger er slukket i "baseline" (dette ekstra referencescenarie betegnes NUL markvandings-indvinding). Med dette supplerende reference scenarier (der dermed indeholder nuværende indvindinger til vandværker mm.) er der udtrukket vandbalance størrelser (ændret grundvandsdannelse, magasinering, drænaftstrømning, grundvandsafstrømning til vandløb som funktion af ændret markvandsindvinding) for hvert år i perioden 1990 – 2012, med henblik på illustration af påvirkningsdynamikken af markvanding på vandbalancen.

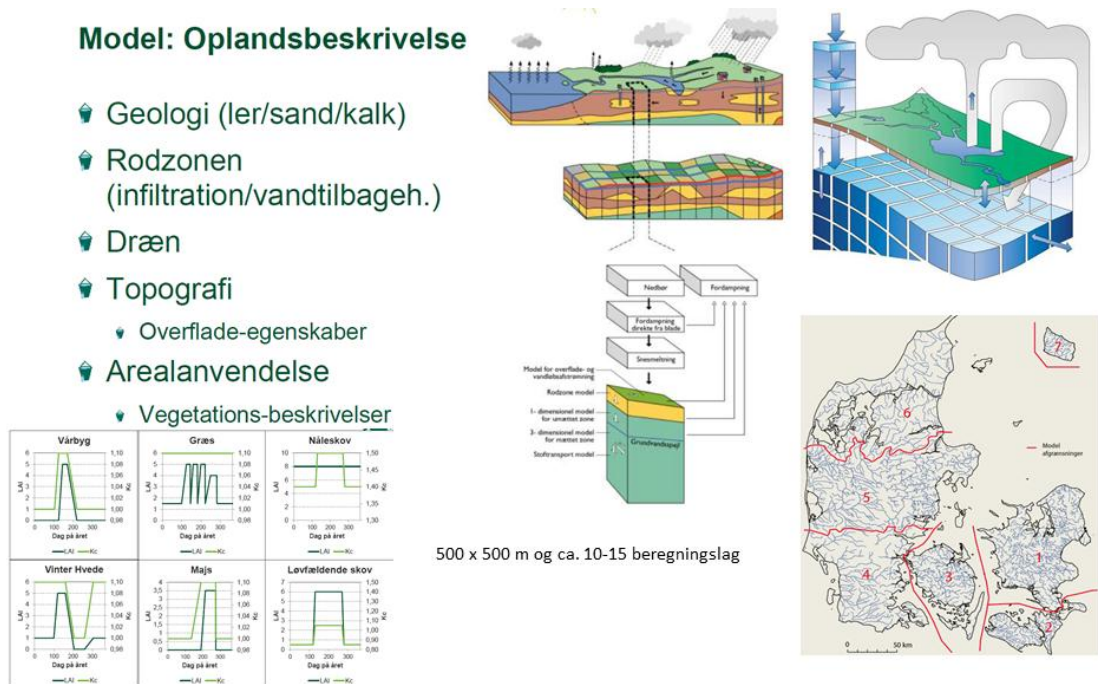
Beregningerne gennemføres grundlæggende efter de retningslinjer og med det datagrundlag, som er anvendt i projektet "Effekt af vandindvinding". Der er som et led i illustrationen af markvandingens påvirkning af minimumsvandføringen foretaget en beregning af %-vise ændringer i Q95 for vurderingsperioden 2004-2010. Q95 anvendes samtidig til at illustrere og identificere, hvilke ID15 oplande, der overvejende er påvirket af markvandingsindvinding, og hvilke, der overvejende er påvirket af indvinding til vandværker mm. Q95 er

den vandføring der statistisk set underskrides 5 % af tiden, dvs. i gennemsnit ca. 18 dage om året.

## 2. Metodik

### 2.1 Resumé af markvandingsberegninger i "Effekt af vandindvinding"

I nærværende afsnit skal beregningsmetodikken fra "Effekt af Vandindvinding" kort opsummeres.

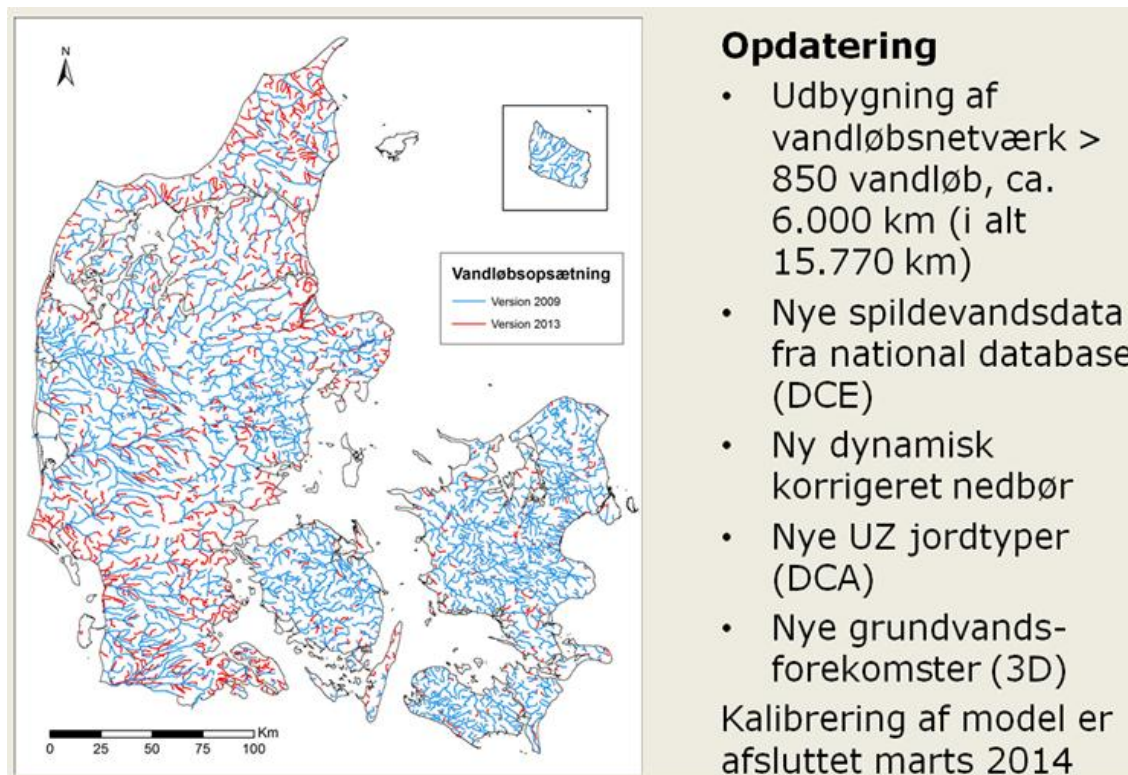


**Figur 1. Modelgrundlag DK model (Henriksen et al., 2003; Henriksen et al., 2008; Højberg et al., 2012; Stisen et al., 2013)**

DK-model er en fysisk baseret grundvands-overfladevandsmodel, der beskriver de væsentligste dele af ferskvandets kredsløb (se Figur 1). Med modellen er det muligt at vurdere grundvands-ressourcen under hensyn til ændringer i klimatiske forhold, arealanvendelse og vandindvinding, bl.a. i forhold til vandløbsafstrømningen. DK model er baseret på MIKE SHE/MIKE 11 og beskriver det hydrologiske kredsløb med grundvandsafstrømning i 3 dimensioner og drænastrømning, overfladisk afstrømning, vandløbsafstrømning og umættet zone strømning baseret på en to lags model, hvor fordampningen foregår fra det øverste lag (rodzonen).

Fordampningen fra rodzonen kontrolleres af jordtype- og vegetationsforhold samt af interaktionen med grundvandstanden, der beskrives i MIKE SHE grundvandsmodellen. Vinterhvede, vårbyg, græs, majs, løvskov og nåleskov er typiske vegetationstyper, der er beskrevet i DK modellen ud fra antagelser om tidlig udvikling i bladarealindex (LAI), roddebyde og afgrødekoefficient ( $K_c$ ) for samtlige afgrøder. Markvanding er baseret på en tærskelværdi for hvor stort vanddeficit i rodzonen, der skal være før modellen simulerer vanding. Simulerede vandingsmængder sammenholdes i kalibreringen af modellen med indberettede tal til

JUPITER, og tærskelværdier og øvrige vandingsrelaterede parametre tilpasses så vandinger er så realistisk beskrevet som muligt (fx 20-30 mm pr. vanding).



Figur 2. Udbygning af DK model i seneste opdatering i (Version 2014)

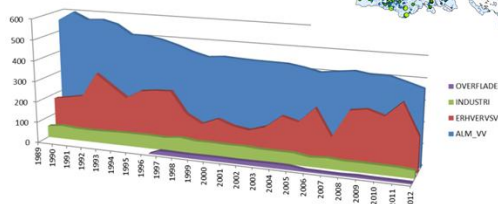
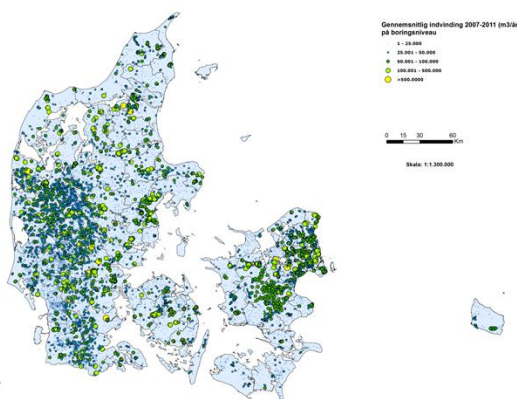
Især Nordjylland og Syddjylland har fået tilføjet mange nye vandløb i den seneste opdatering af DK model i forbindelse med Vandområdeplaner. De tilføjede vandløb er vigtige for at kunne udtrække fx daglige vandføringsdata for de 3000 ID15 oplande, der benyttes i vandplan sammenhæng (oplandsareal typisk i størrelsesordenen 15 km<sup>2</sup>). Udover flere vandløb er der foretaget en opdatering af spildevandsudledninger (årliche mængder fra Århus Universitet/DCE), som kan 'tælle på positivsiden' i forhold til vurdering af effekt af vandindvinding, hvor de fx øger minimumsvandføringen, samt bevirker at afstrømningen bliver mere forudsigelig (hvilket er optimalt for bl.a. fisk).

I modellen anvendes ny 10x10 km grid nedbør fra DMI dynamisk korrigeret i forhold til bl.a. vind- og befugtningstab på nedbørsmålere. Desuden er indarbejdet nye jordtype parametre fra Århus Universitet (DCA). I den inverse kalibrering er der foretaget en kalibrering af modellen i forhold til vandløbsafstrømning og trykniveau i grundvand ved hjælp af PEST. Der er ikke som sådan foretaget nogen fuldstændig rekalkibrering af DK model i nærværende projekt (der inkluderer bl.a. hydrauliske ledningsevner og øvrige følsomme parametre). Der er udelukkende kalibreret på nogle få styrende parametre vedr. markvandingen.

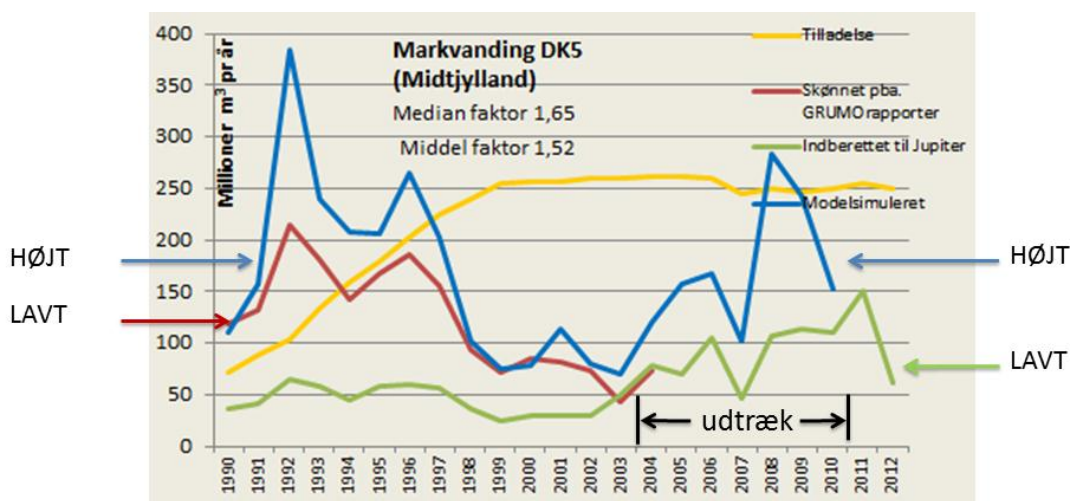


# Vandind- vinding 2007-2011

Højt scenarie beregnet af DK modellen svarende til optimal vanding jf. afgrødernes behov. Markvanding beregnes i dette tilfælde af modellen baseret på afgrødernes behov og der vandes med ca. 20-30 mm pr. vanding



Lavt scenarie Simulerede markvandsmængder er afstemt med indberetninger af markvanding til JUPITER



Figur 3. Højt og lavt scenarier for markvanding. Øverst vandindvindinger i Danmark for perioden 2007-2011 samt tidlig variation i vandindvinding 1989-2012. Nederst: Definition af højt og lavt markvandingsscenarie (for Midtjylland) som beskrevet i Effekt af vandindvinding (Henriksen et al., 2014)

Da man ikke kender de daglige tidsserier for oppumpede vandmængder for markvanding er det ikke muligt at regne ud fra faktiske oppumpninger for hver boring. Det er tilstræbt i Effekt af vandindvinding i stedet at regne på to hovedscenarier, der omfatter det usikkerhedsbånd der er på indberettede markvandsmængder. Figur 3 viser hvordan de to hovedscenarier er fremkommet (højt og lavt scenarie).

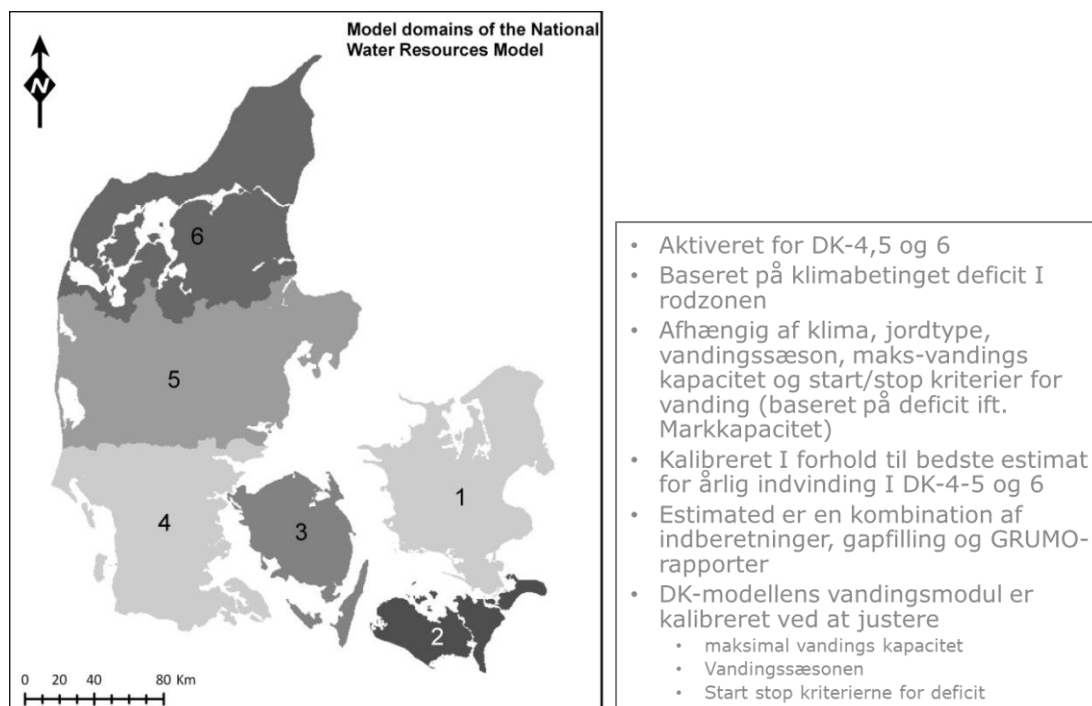
Højt scenarie (Figur 3 og vist for Midtjylland) er et scenarie der er fastlagt med udgangspunkt i den vanding, der beregnes med DK model svarende til optimal vanding jf. afgrødernes behov (og delvist styret af jordbundsforhold, afgrødetype og roddybde) og med antagelse om at der vandes 20-30 mm pr. vanding. Det fremgår for perioden frem til 2003 at højt scenarie overvurderer vandingen jf. GRUMO rapporteringen (rød kurve, som er det bedste bud på vandingen i Midtjylland), formentlig fordi vandingskapaciteten i landbruget ikke er tilstrækkelig til optimal vanding i år med stort vandingsbehov (som fx 1992 og 2008).

Bemærk at vandingstilladelser, som er vist med orange kurve i Figur 3, er mangelfuldt indberettet til JUPITER i perioden frem til 2003.

Lavt scenarie er et scenarie, hvor de simulerede vandingsmængder fra højt scenarie er afstemt i forhold til indberettede tal til JUPITER databasen fra kommunerne. Afstemningen er sket ud fra data på årsbasis, så den årlige vanding i de tre DK model domæner Syddjylland, Midtjylland og Nordjylland, er justeret ved, så de svarer til indberettede mængder på årsbasis. På grund af mangelfulde data indberetninger til JUPITER for Midtjylland før 2003, er anvendt rød kurve (svarende til GRUMO rapporteringen) frem til dette tidspunkt, hvorefter JUPITER data er anvendt fra 2004 og frem (grøn kurve jf. Figur 3). I Effekt af vandindvinding blev det antaget, at den rigtige markvanding lå et sted midt mellem højt og lavt scenarie, idet lavt scenarie i den periode hvor der er udtrukket resultater fra DK model til brug for vurdering af effekt af vandindvinding (2004-2010, se Figur 3), ikke er justeret for såkaldte manglende indberetninger/NUL indberetninger, se Henriksen et al. (2014).

## 2.2 Fin-tuning af DK model

Målet med fin-tuning af DK model i nærværende projekt er dermed et forsøg på at nå frem til en ny baseline der udgør et så realistisk bud på nuværende markvanding, baseret på nye estimerede, opjusterede markvandinger på kommuneniveau, og en fin-tuning af DK modellens markvandingsparametre for område 4-6 (se Figur 4). Der er taget udgangspunkt i vandingsbehov/vandingskalender for afgrøderne græs, vinterhvede, vårbyg og majs, og den afgrødefordeling der ligger fra amternes tid (ca. 2005).

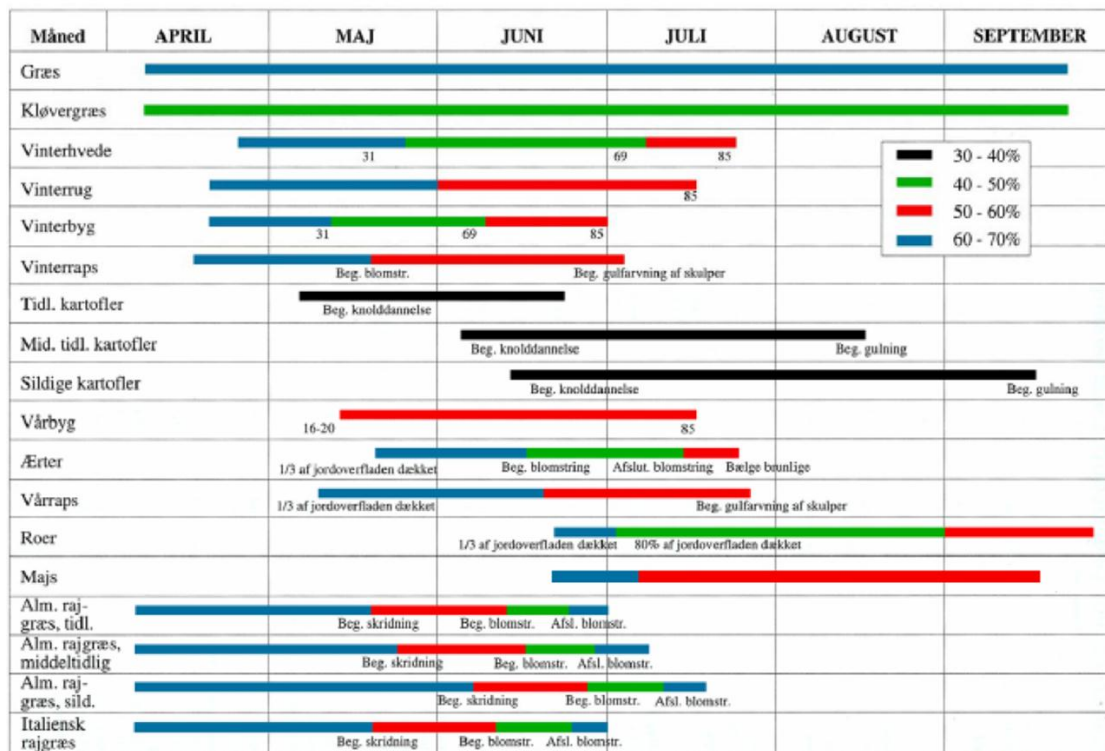


**Figur 4.** Der er implementeret markvanding i DK model områderne 4, 5 og 6 (Jylland). Markvanding er baseret på klimabetinget deficit i rodzonen, kalibreret på baggrund af årlige markvandingsindberetninger til JUPITER/GRUMO data for område 4, 5 og 6

I fin-tuningen er det især vandingsstart/slut (vanddeficit i rodzonene ved start og slut) der er fokuseret på, samt en antagelse om at den maksimale vandingskapacitet er max 3 mm/døgn. Der er fokuseret på at justere sidste del af vandingsperioden. Dermed er der set helt bort fra det tidligere ønske om realistiske vandingsmængder på 20-30 mm/vanding, idet vandingen nu accepteres at foregå mere kontinuert i de tørre perioder (en slags effektiv 'parameterisering' af vandingen).

I Figur 5 er vist en vandingskalender for danske afgrøder. De angivne %'er på vandingskalenderen er et udtryk for tørkefølsomhed, eksempelvis angiver blå og rød at lidt større udtørring kan accepteres, hvorimod udtørring er meget kritisk i de med grønt og sort markerede perioder (før blomstring og i forbindelse med kerneindlejring).

I fin-tuningen er det især vandingsstart/slut (deficit ved start og slut) der er fokuseret på, samt en antagelse om at den maksimale vandingskapacitet er max 3 mm/døgn. Samtidig har GEUS valgt at justere lidt på vandingsstop tidspunkter for dele af vandingsperioden (markeret med rødt i vandingskalenderen, se Figur 5).



Figur 5 Afgrødernes vandingsbehov (Kilde: Seges)

Der er foretaget en manuel kalibrering af de forskellige parametre i en række kørsler og på baggrund heraf og i tæt drøftelse mellem SEGES og GEUS, er der herefter fastlagt et sæt parametre til baseline modellen, som er så realistiske som muligt. Modellen er udelukkende styret af klima, afgrøder og jordtyper, samt hensynet til en realistisk markvandingskapacitet på max 3 mm/døgn, og der indgår ikke øvrige management eller socio-økonomiske styrende variable som fx afgrødepriser eller energipriser, der kan have betydning for om det kan betale sig for landmanden at vande i tørre år. Der er heller ikke årsspecifikke arealfordelin-

ger på afgrøder i modellen. Modellen er baseret på den afgrødefordeling der kendes fra amternes tid (ca. 2005). Det giver nogen grænser for hvor godt vandning kan beskrives i enkeltår, og specielt tørre år kan der være afvigelser mellem model og faktiske vandingsmængder.

## 2.3 Scenarie kørsler

Til brug for scenariekørsler laves der først en ny baseline kørsel, hvor de simulerede markvandingsmængder lægges ind som 'boringer' (tidsserier), samtidig med at markvandingsmængden tilføjes nedbøren. Herefter foretages scenariekørsler med opjusteret markvandning (på markvandingsboringsniveau) med henblik på vurdering af effekt af øget markvandning på økologiske flowindikatorer (DVFI og DFFVa).

Der er kørt følgende scenarier: Baseline (+ 0 % af nuværende markvandning i fin-tunet model), + 25 %, + 50 %, +100 %, hvor der udelukkende skaleres på markvandingsindvindingen fordelt på boringer med angivne procenter, hvorimod vandværker holdes konstante og mernedbør fra markvandning holdes konstant (svarende til at reinfiltrationen i mm antages uændret, i scenarier med øget markvandning). Det vil sige, at der ikke regnes med nogen øget reinfiltration i tilknytning til den øgede oppumpning til markvandning (for +25 % til +100 % scenarier). Der bliver dermed beregnet en kraftigere vandløbspåvirkning og en anden vandbalance end der vil være i praksis, da en vis øget reinfiltration er uundgåelig.

Scenariekørsler er først kørt i godt 20 år for at sikre en brugbar hotstartkørsel til produktionskørslen, og derefter kørt igen i godt 20 år (1990-2012). Herved sikres det at resultater afspejler langtidspåvirkninger, idet det erfaringsmæssigt kan tage indtil flere årtier før en nye ligevægt i grundvandets trykniveau indstiller sig, som følge af ændret vandindvinding.

Efter hver scenariekørsel er der udtrukket resultater for perioden 2004-2010 af hydrologiske regime indikatorer der indgår i vurdering af indikatorer for smådyr (DVFI) og fisk (DFFVa). Resultater er vist på kort på ID15 niveau.

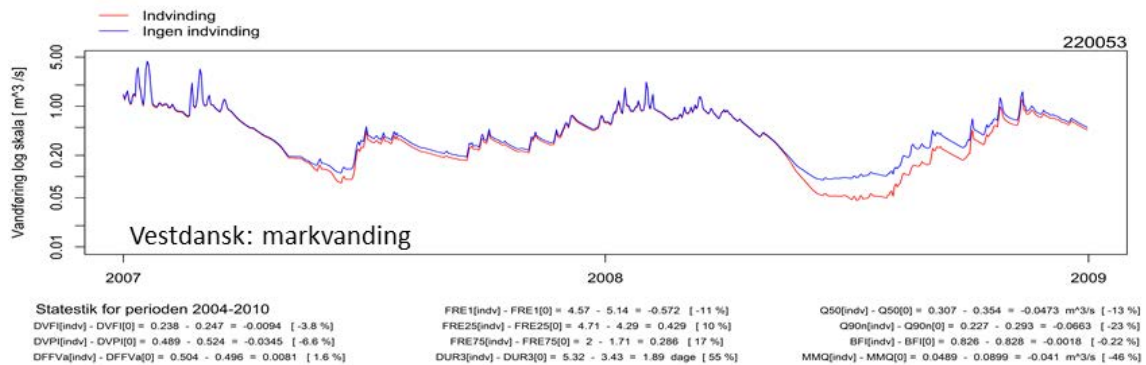
Det er karakteristisk for markvandning, at indvindingen varierer stærkt fra år til år, som også vist i Appendiks A på basis af indberettede tal til JUPITER (se Appendiks A). Perioden 2004-2010 har i gennemsnit en markvandning, der er omkring eller lidt større end hele perioden 1990-2012. I Henriksen et al. (2014) er vist resultater for 2004-2010, men i forbindelse med projektet blev der samtidig udtrukket resultater for en længere årrække 1990-2012, som viste at påvirkningen af EQR værdier i vandløb som følge af vandindvinding var omkring eller lidt større for perioden 2004-2010, i forhold til den længere årrække.

For at illustrere % vise ændringer i sommervandføringen, udtrykt ved low flow indikatorer Q95, er der udtrukket resultater for Q95 for 2004-2010. Herved illustreres det at markvandning giver markante påvirkninger af det hydrologiske regime i en del oplande, selvom DVFI og DFFVa ikke er følsomme overfor markvandning, eller i visse tilfælde kan vise endog en positiv effekt af markvandning i forhold til det økologiske flow. Det skal understreges at der her blot er tale om en illustration af hvordan sommervandføringen påvirkes. Som beskrevet i Graeber et al. (2014) er medianminimumsvandføringen ikke særlig vigtig for smådyr og

fisk, når observerede vandføringer lægges til grund for analysen (det kan til dels skyldes at størrelse er meget usikkert bestemt når der anvendes målte vandføringer og en kort årrække som 2004-2010). Hvor relevant modelberegnete Q95 vandføringer er for DVFI og DFFVa er ikke undersøgt, men størrelsen anvendes i udlandet, f.eks. i England (Henriksen og Refsgaard, 2013) til screeningsformål, og er en langt mere robust størrelse end median minimum, når der analyseres på en kortere årrække (2004-2010).

## 2.4 Behandling af resultater for ID15 oplande

Efter at produktionskørsler for hvert scenarie (baseline + opjusteret markvanding) er kørt, udtrækkes daglig vandføring for perioden 2004-2010, hvorefter der beregnes en række hydrologiske regime variable som vist i Figur 6) ud fra de modellerede daglige.



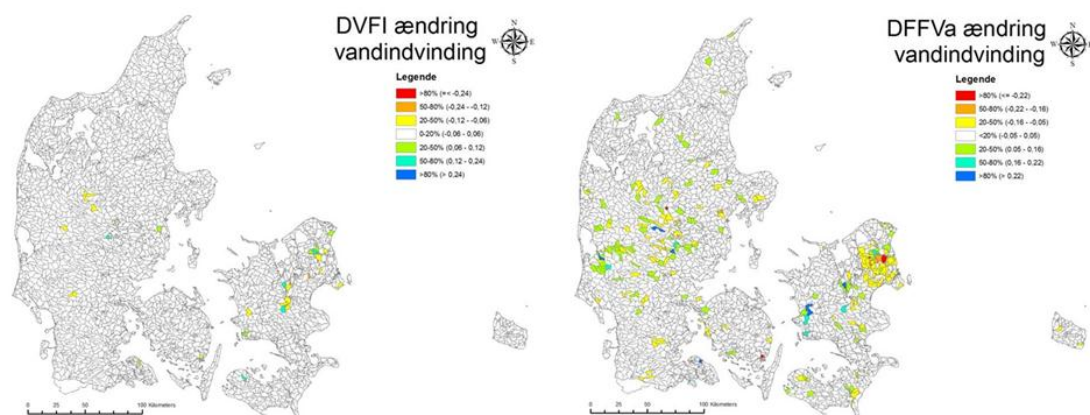
$DVFI_{EQR} = 0.217 + 0.103 * Sin + 0.020 * Q_{90-n} * Fre_1$ (smådyr)	
$DVPI_{EQR} = 0.546 + 0.020 * Fre_{25} - 0.019 * Dur_3 - 0.025 * Fre_{75}$ (planter)	
$DFFVa_{EQR} = 0.811 * BFI + 0.058 * Sin + 0.050 * Fre_{25} - 0.319 - 0.0413 * Fre_{75}$ (fisk)	
hvor	
Sin	er slyngningsgrad (klasseværdi 1-4)
$Q_{90-n}$	er et mål for små vandføringer baseret på 90% fraktilen bestemt ud fra varighedskurven, skaleret ved division med median afstrømning ( $Q_{50}$ ). Det vil sige $Q_{90-n} = Q_{90} / Q_{50}$
$Fre_1$	er årlig hyppighed af flow events, der overskrider median afstrømning ( $Q_{50}$ )
$Fre_{25}$	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 underskrider 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
BFI	er baseflowindex defineret ved relativ andel af baseflow (værdi mellem 0 og 1, hvor vandløb med relativt stabile, grundvandsdominerede afstrømningsregime har værdier tæt på 1).

Figur 6 Hydrologiske regime variable der indgår i biologiske kvalitetselementer for fisk (DFFVa), smådyr (DVFI) og planter (DVPI). Øverst er vist et eksempel for 2007-2008 for et ID15 opland med intensiv vanding for højt scenarie i forhold til nul indvinding

For hvert scenarie udtrækkes for hvert ID15 punkt (i alt 3000) daglige vandføringer og efterfølgende beregnes de 6 flow variable der indgår i empiriske formler for DVFI og DFFVa fra

DCE/Århus universitet (såkaldte EQR værdier for DVFI og DFFVa) samt udtræk af Q95 for perioden 2004-2010. Fysiske forhold indgår på basis af vandløbenes slyngningsgrad (observeret slyngningsklasse), og indregnes i EQR værdier for DVFI og DFFVa, men leddet udgår 'mod hinanden' i beregningen af ændringer i EQR værdier. Slyngningsgrad er dog en vigtig forklarende parameter for den økologiske tilstand specielt for smådyr og i mindre grad for fisk. Det er valgt ikke at benytte DVPI da den i effekt af vandindvinding blev vurderet at være for usikkert bestemt med DK model (stor usikkerhed på bl.a. Dur<sub>3</sub>).

Der benyttes de samme sandsynligheder for ændret tilstand fra god til ikke god tilstand (sandsynlighed på 80, 50 og 20 %), fastlagt af Århus Universitet ud fra beregnede ændringer i EQR værdier som følge af vandindvinding (se Effekt af vandindvinding - Henriksen et al., 2014). I Figur 7 er resultater fra Effekt af vandindvinding for højt scenariet vist, sammen med de kriterier der er fastlagt af Århus Universitet på basis af målte EQR værdier for DVFI og DFFVa.



Modelberegne ændringer i DVFI (smådyr) og 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

Sandsynlighed for at tilstand skifter fra høj/god til moderat/ringe/dårlig tilstand	DVFI	DVPI	DFFVa
	Max reduktion af EQR værdi	Max reduktion af EQR værdi	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

**Figur 7 Modelberegne ændringer i DVFI (smådyr) og DFFVa (fisk) for højt scenarie jf. Effekt af vandindvinding (Henriksen et al., 2014) samt tærskelværdier fastlagt af Århus Universitet for 80 %, 50-80 % og 20-50 % sandsynlighed for forringet økologisk tilstand**

## 2.5 Vandbalance udtræk for Midtjylland baseret på DK model

Det vandede areal i område 5 Midtjylland udgør 23 % af det samlede landareal (i alt 11.569 km<sup>2</sup>). Hvis man skal beregne de modelberegne vandingsmængder for det vandede areal, i stedet for det samlede landareal, skal simulerede vandingsmængder derfor multipliceres med en faktor 4,35 (=1/0,23). Tallene der vises i det følgende er fordelt ud over det samlede landareal, og er dermed, når det gælder vandingsmængder ikke umiddelbart sammenlignelige med tal beregnet fra andre kilder for vandede arealer. Der er udtrukket vandbalancetal for de enkelte scenarier for 2004-2010 for rodzonen og for mættet zone, hvorved det kan illustreres dels hvilke vandingsmængder der er beregnet for hvert år, og dels hvordan fx ændret markvanding påvirker øvrige størrelser i vandbalancen såsom drænafstrømning, grundvandsafstrømning til vandløb, grundvandsdannelse, magasinering,

modelrand osv. Det kan være med til at belyse betydning af 'capture' (øget grundvandsdannelse som følge af øget vandindvinding) og samtidig give et bud på simuleret reinfiltration, ved de formulerede scenarier. Det vandede areal i Syddjylland og Nordjylland udgør henholdsvis 28,2 % og 7,5 % af det samlede modelareal (landfasen, Syddjylland samlet model areal = 7.907 km<sup>2</sup> og Nordjylland samlet modelareal = 9.943 km<sup>2</sup>). Det vil sige at de vandede arealer udgør i alt 2230 km<sup>2</sup> i Syddjylland, 2696 km<sup>2</sup> i Midtjylland og 746 km<sup>2</sup> i Nordjylland, jf. DK modellens opsætning. Det giver et samlet vandingsareal på 5680 km<sup>2</sup> (svarende til 568.000 ha) for Jylland jf. DK modellens opsætning.

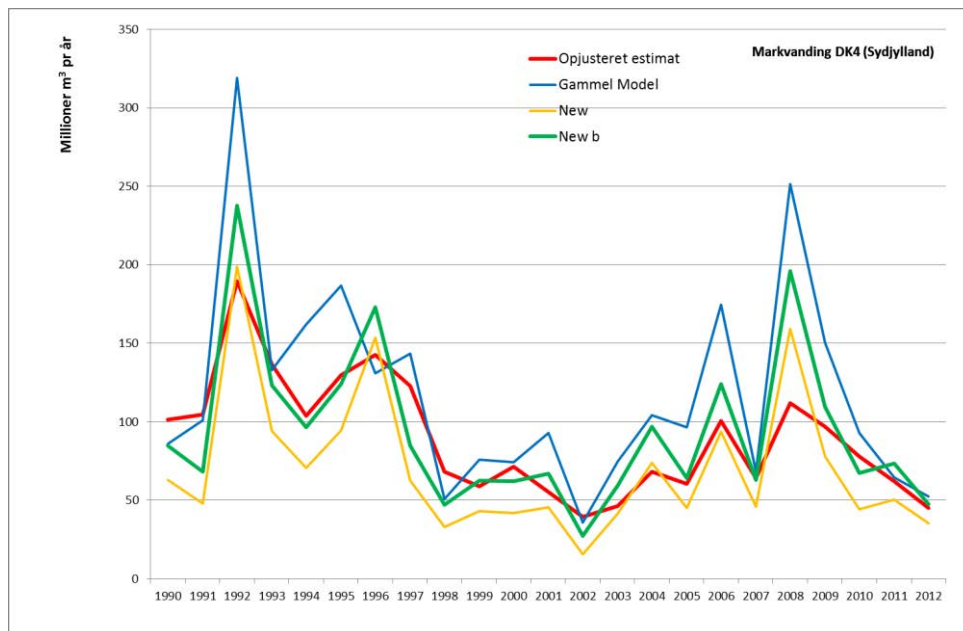




## 3. Resultater

### 3.1 Fin-tuning af DK model

I Figur 7 er vist udvalgte resultater af fin-tuning af markvanding i DK model for område 4, Sydjylland. Der er dels vist simulerede markvandingsmængder for en ny baseline model (New b – grøn kurve) samt en alternativ baseline model (New – orange kurve). Gammel model (blå kurve) svarende til højt scenarie omtalt i foregående afsnit. Rød kurve viser et nyt bedste estimat på basis af JUPITER indberetninger opjusteret i forhold til nul indvindinger (Se Appendiks A). Jf. Appendiks A udgør tilladelser for område 4 ca. 160 mio. m<sup>3</sup>/år svarende til 72 mm/år i gennemsnit for det vandede areal (fordelt på 2230 km<sup>2</sup> vandet area). 2008 havde jf. Figur 8 den højeste vandingsmængde i perioden 2004-2010 på ca. 200 mill. m<sup>3</sup>/år, svarende til 90 mm/år.



**Figur 8. Resultater af fin-tuning af DK model for område 4 Sydjylland. Rød kurve: opjusteret estimat af markvanding (se Appendix A), Blå kurve: Højt scenarie fra "Effekt af Vandindvinding", Grøn kurve: Ny baseline kalibrering (New b) og Orange kurve: Alternativ baseline kalibrering (New).**

Rød kurve (Se Figur 8) er dermed det bedste estimat jf. opjusterede vandingsmængder ud fra JUPITER (samt GRUMO overvågning fra tidlige år med usikre data). Grøn kurve er den vandingsmængde der samlet set ser bedst ud for de tre domæner. Orange kurve (Sydjylland) er et forsøg på at skrue lidt på vandingen, det resulterer primært i en parallelforskydning med reduceret vanding også i tørre år i forhold til Grøn kurve (Ny baseline), men hvorved år med lille vandingsbehov kommer til at ligge for lavt.

I store træk passer den tunede model (grøn kurve for Sydjylland) godt i de fleste år i perioden 2005-2012, dog gælder det for 2008 at dette år overestimeres i forhold til opjusteret estimat for indberetninger (rød kurve), men samlet set med den laveste "root mean error" for hele perioden.

Der har gennem perioden været en øget andel af majs, med vanding senere på sæsonen i forhold til fx kornafgrøder, sådan at start 1990'erne havde lavere andel majs, i forhold til anvendte afgrødefordeling for 2005. Der er formentlig ikke sket store ændringer efter 2005. Strukturreformen i 2007 kan måske være årsag til særligt usikre indberetninger for årene lige efter reformen (værest for 2008). Hvis det er meget tørt, kan landbrugsbedrifter med begrænset vandingskapacitet evt. vælge nogle marker fra, det vil sige at landmanden så fokuserer på vanding af især kartofler og foderafgrøder, der er afgørende for sikring af foder til bedriftens husdyr. Jf. Appendix A udgør tilladelser i alt ca. 250 mio. og 50 mio. m<sup>3</sup> pr. år for henholdsvis område 5 og område 6. Det svarer til tilladt indvinding på 93 mm/år og 67 mm/år for Midt- og Nordjylland. For 2008 simuleres en vandingsmængde på hhv. 83 mm/år og 59 mm/år.



**Figur 9. Resultater af fin-tuning af DK model for område 5 Midtjylland (øverst) og område 6 Nordjylland (nederst). Rød kurve: opjusteret estimat af markvanding (se Appendix A), Blå kurve: Højt scenarie fra "Effekt af Vandindvinding", Grøn kurve: Ny baseline kalibrering (hhv NewD for område 5 og NewA for område 6).**

Et tjek i forhold til resultater for Midtjylland og Nordjylland er vist i Figur 9. I Midtjylland er der særligt mangelfulde indberetninger i starten af perioden (se Appendix A). Det er derfor valgt at "knække kurven", ved i stedet at anvende data fra GRUMO rapporter for før 1997 (vist med stiplede røde kurve for område 5). Vandingstilladelser er ca. 250 mio. m<sup>3</sup> pr. år for Midtjylland. Røde kurve er ret langt under tilladelsen i de senere år, også i 2008. Bortset fra 2008 er resultater meget rimelige for de sidste godt 10 år (grøn kurve). For Nordjylland gælder det, at vandingen er generelt en del mindre sammenlignet med to øvrige områder. Det skal lige tages med i betragtning når man kigger på afvigelser mellem grøn og røde kurve. Markvandingen i 2008-2009 er lidt højere i Nordjylland i den fin-tunede model (grøn kurve) i forhold til best estimate (rød kurve).

Ved GEUS's kalibrering er start stop kriterier for de tre områder blevet "mere homogene".

Med undtagelse af meget tørre år (som fx 2008) giver den tunede model rimelige resultater (grøn kurve i forhold til røde kurve) for samtlige tre områder (se Figur 8 og 9). Forklaringer på afvigelser i specielt tørre år kan være evt. manglende indberetning af tilladelser, og/eller at indberetningen er mangelfuld, når man kommer op over tilladelsen. Modellen er udelukkende klimastyret, og tager ikke hensyn til afgrøde- eller energiprisen, og hvorvidt det kan betale sig at vande i meget tørre år for alle afgrøder. Endelig ved vi ikke om strukturreformen kan have haft en særlig betydning i forhold til indberetninger for 2008-2009 (spekulative, der foreligger ikke dokumentation herfor). Den fin-tunede model giver en god beskrivelse for år med begrænset vandingsbehov, og en svag overvurdering af vandingsmængden i år med stort vandingsbehov.

### **3.2 Scenarie kørsler og resultater på ID15 oplande**

I Figur 10 er vist et eksempel for et enkelt ID15 opland på resultater med nul scenariet og de fire markvandingsscenarier for et ID15 opland i Skjern å ved Ahlergaarde. Nul indvindingen hvor samtlige markvanding er slukkede samt også øvrige vandindvindinger er vist med sort kurve. De enkelte markvandingsscenarier med den fin-tunede model medfører en reduceret vandføring i de to år der er vist (1995-96) i forhold til nul indvinding. Størst er reduktionen naturligvis for 100 % øget markvanding (grøn kurve), mens øvrige scenarier ligger tættere på baseline scenariet (vist med grå kurve).

Størst procentvis reduktion forekommer i sommerhalvåret. I starten af perioden (1995) ses det at der er en forholdsvis begrænset reduktion, og effekt af markvanding bygges derfor op hen over sommerperioden, og evt. videre til efterfølgende år, såfremt der fortsat er et stort vandingsbehov.



Figur 10. Eksempel på simulering for nul indvinding og de fire markvandingsscenarier (hhv. 100 % ~baseline, 125 % ~25 % øget markvandingsscenarie, 150 % ~50 % øget markvandingsscenarie og 200 % ~100 % øget markvandingsscenarie) for Skjern å.

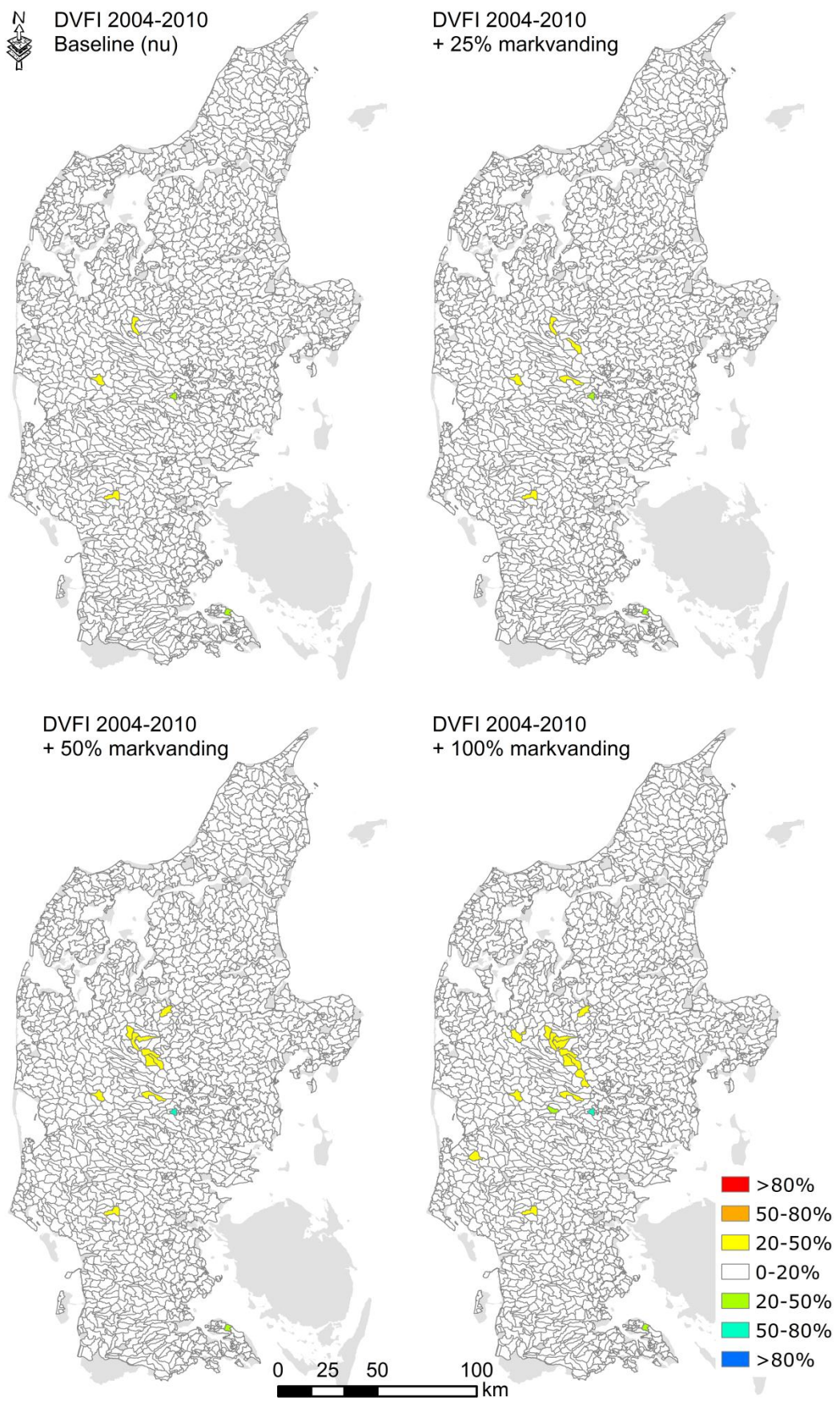
### 3.3 Behandling af resultater for deloplande for 2004-2010

I Figur 11 er vist resultater af øget markvanding (baseline, +25 %, + 50 % og + 100 %) for DVFI på ID15 niveau.

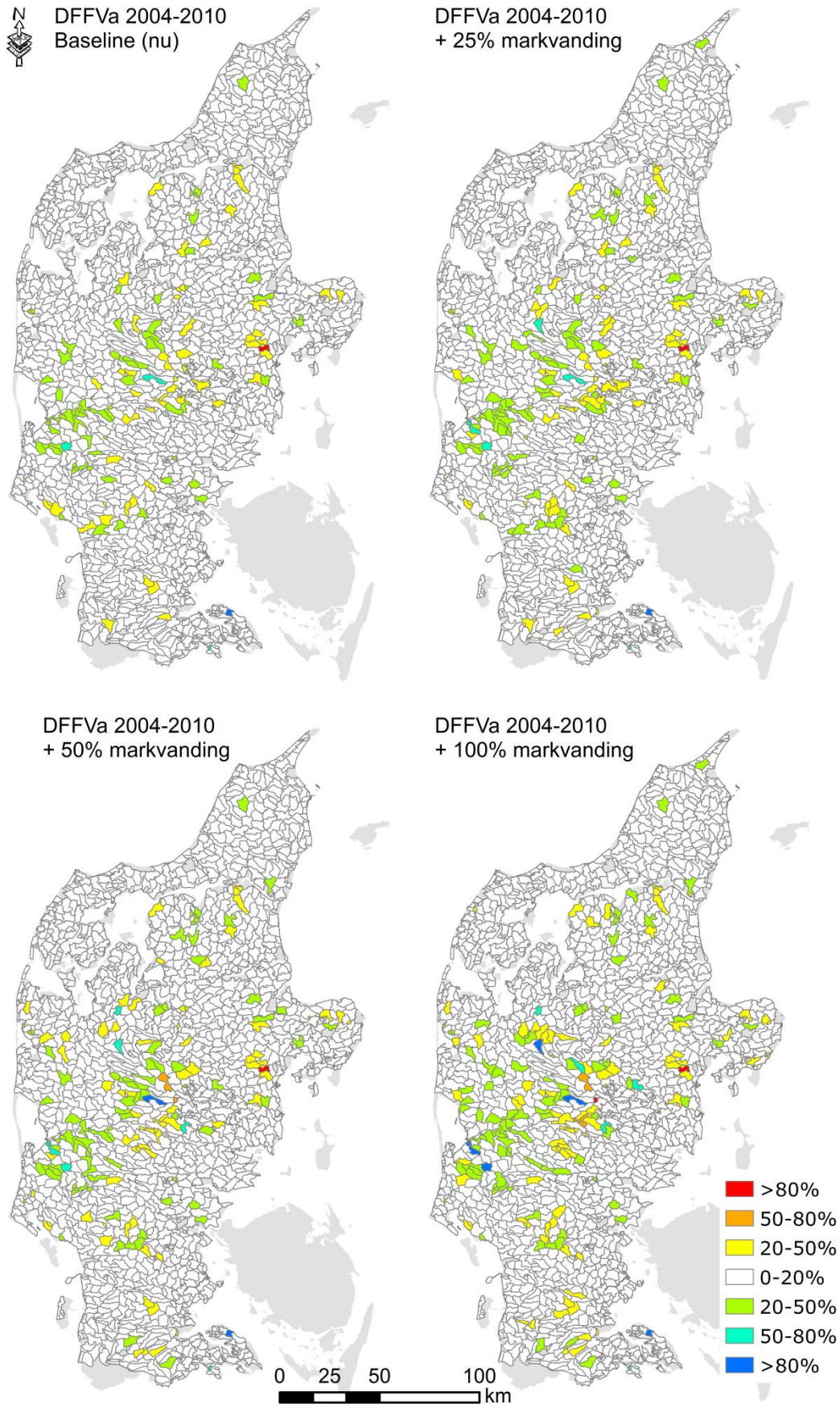
Ingen ID15 opland har > 80 % (vist med rødt) eller 50-80 % (vist med orange) sandsynlighed for forringet tilstand for baseline scenariet, og kun 3 ID15 oplande har 20-50 % sandsynlighed for reduceret tilstand (vist med gult) for baseline. De øvrige scenarier med øget indvinding forøger antallet af ID15 oplande med 20-50 % sandsynlighed for forringet tilstand (gule ID15 oplande) til hhv. 5, 10 og 14 ID15 oplande (Figur 10) ved øget markvanding på 25, 50 og 100 %. Resultater for DVFI i Figur 11 viser dermed et relativt begrænset antal ID15 oplande med sandsynlighed for reduceret tilstand på 20-50 % sandsynlighedsniveau, mens ingen oplande har stor sandsynlighed for tilstandsforringelse som følge af øget markvanding.

Indikatoren for DVFI (styret af hydrologiske regime variable: Fre1 og Q90/Q50) er for perioden 2004-2010 kun i begrænset omfang følsom overfor øget markvanding.

Figur 12 viser de tilsvarende resultater for fisk (DFFVa). For DFFVa ses relativt flere ID15 oplande er væsentligt påvirket af vandindvinding, herunder øget markvanding. Ved Baseline er der 58 ID15 oplande som har 20-50 % sandsynlighed (gule) for forringet tilstand for 2004-2010, 0 der har 50-80 % sandsynlighed (orange) og 1 ID15 opland der har > 80 % sandsynlighed (rød) for reduceret tilstand. Ved 25 % øget markvanding er der 64 ID15 oplande, ved 50 % øget markvanding 72 ID15 oplande og ved 100 % øget markvanding 88 ID15 oplande med 20-50 % sandsynlighed for forringet tilstand. Kategorien 50-80 % øget indvinding (orange) har hhv. 0, 0, 2 og 2 ID15 oplande ved baseline, +25 %, +50 % og + 100 % øget markvanding. For > 80% sandsynligheder (rød) er tallene 1, 1, 2 og 2 ID15.



Figur 11. Tilstandsændringer for smådyr (DVFI) for fire vandingsscenarier (2004-2010).



Figur 12. Tilstandsændringer for fisk (DFFVa) for fire vandings-scenarier 2004-10.

Tabel 1 og 2 sammenfatter antal ID15 oplande, der for DVFI og DFFVa udpeges med forringet tilstand på hhv. 20-50 %, 50-80 % og > 80 % sandsynlighedsniveau. Der er i alt 1905 ID15 oplande i Jylland. Tabel resultater svarer til resultater i figur 11-12.

**Tabel 1. Antal ID15 oplande med sandsynlig tilstandsforringelse for DVFI for 2004-2010.**

<b>DVFI 2004-2010 (antal ID15)</b>	Baseline (nuværende indvinding)	+25 % markvanding	+ 50 % markvanding	+ 100 % markvanding
< 20 % sandsynlighed	1902	1900	1895	1891
20-50 % sandsynlighed	3	5	10	14
50-80 % sandsynlighed	0	0	0	0
>80 % sandsynlighed	0	0	0	0

*EQR reduceret >0,24 (rød ~ >80 %), 0,12-0,24 (orange ~ 50-80 %) og 0,06-0,12 (gul ~20-50 % sandsynlighed)*

**Tabel 2. Antal ID15 oplande med sandsynlig tilstandsforringelse for DFFVa for 2004-2010.**

<b>DFFVa 2004-2010 (antal ID15)</b>	Baseline (nuværende indvinding)	+25 % markvanding	+ 50 % markvanding	+ 100 % markvanding
< 20 % sandsynlighed	1846	1840	1830	1813
20-50 % sand- synlighed	58	64	72	88
50-80 % sandsynlighed	0	0	2	2
>80 % sandsyn- lighed	1	1	1	2

*EQR reduceret >0,22 (rød ~ >80 %), 0,16-0,22 (orange ~ 50-80 %) og 0,05-0,16 (gul ~20-50 % sandsynlighed)*

I Tabel 3 er vist resultater for påvirkning af Q95 (% af nul indvindings kørsel)

**Tabel 3. Reduktion af Q95 i de fire markvandingsscenerier (i alt 1905 ID15 oplande).**

<b>Q95 reduktion 2004-2010 (antal ID15)</b>	Baseline (nuværende indvinding)	+25 % markvan- ding	+ 50 % markvanding	+ 100 % markvanding
< 10 %	1625	1538	1451	1315
10-15 %	159	188	228	244
15-25 %	76	119	156	227
>25 %	45	60	70	119

*De tre påvirkningsgrader 10-15 %, 15-25 % og > 25 % svarer til de tærskelværdier man anvendte i forhold til vandløbs-påvirkning i Vandplan 1 og i ferskvandets kredsløb (Henriksen et al., 2008)*

Resultater på basis af Q95 viser at der er væsentlige reduktioner i Q95 som følge af markvanding og øvrig vandindvinding fra vandværker i de fire scenarier.

I figur 15 er vist resultater af Q95 % vise ændringer for ID15 oplande for 2004-2010, for 2004-2010 for baseline (alle vandindvindinger) i forhold til NUL indvinding (udelukkende vandindvinding fra vandværker), samt for 100 % øget markvanding i forhold til baseline. Herved fremgår hvilke ID15 oplande der primært er påvirkede af markvanding og hvilke der primært er påvirket af øvrige indvindinger.

### 3.4 Vandbalanceudtræk for Midtjylland

For Midtjylland er der foretaget supplerende vandbalance udtræk for de enkelte scenarier for 2004-2010 (Se Appendix B), med henblik på nærmere at belyse ændringer i vandbalancen som følge af markvanding og usikkerheder der er forbundet med den måde scenarier er opstillet på for ændringskørsler. Som grundlag er der dels beregnet et nyt reference-scenarier (NUL markvands-indvinding), hvor markvinding er slået fra, så der foreligger en mulighed for at vurdere ændringer som følge af markvanding alene for baseline, samt desuden ændringer fra baseline og til 100 % øget markvanding.

I figur 13 og 14 er vist hovedresultatet i form af årlige tal og ændringer beregnet for Midtjylland for 1990-2012 i mm/år.

Det er valgt på figur 13 kun at vise fire vandbalance kategorier (grundvandsdannelse, drænafstrømning, grundvandsafstrømning til vandløb og vandindvinding fra grundvand), selvom der er flere i spil jf. Appendix B (fx magasinering og grundvandsudstrømning til rand til fjerde og hav).

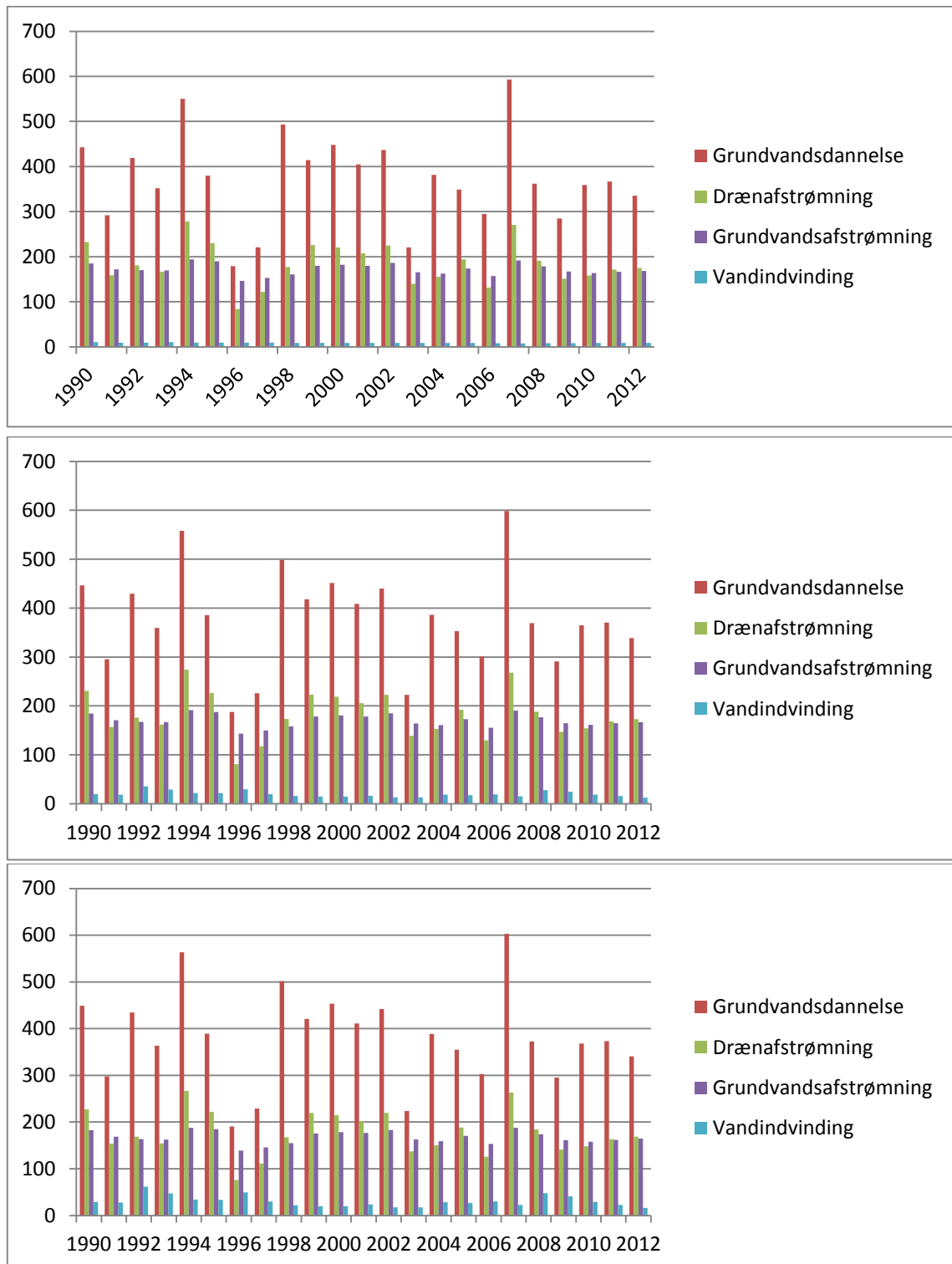
I figur 14 er vist beregnede ændringer i vandbalancer for 1990-2012 for Midtjylland i mm/år. Figuren illustrerer, at i år med stor markvanding, sker der samtidig en reduceret magasinering, ekstra forøget grundvandsdannelse (regnes negativ pr. definition), ligesom at dræn- og grundvandsafstrømning til vandløb reduceres. Årene 1992, 1996 og 2008 havde alle stor vandindvinding til markvanding (blå kurve). Ændring i magasinering og grundvandsdannelse viser sig hurtigst, hvorimod ændringer i påvirkninger af drænafstrømning er langsom (0-2 år forsinket). Påvirkning af vandløbsafstrømning er mest forsinket (1-3 år).

Det skal bemærkes som også omtalt i rapporten, at scenarier er opsat således, at baseline har større nedbør (reinfiltration) end NUL markvands-indvinding, hvorimod øget markvanding har fastholdt nedbør (samme absolutte reinfiltration). Den øgede grundvandsdannelse er derfor mindre for ændring fra baseline til 100 % øget markvanding (nedre figur) end for ændringen fra NUL markvanding til baseline (øvre figur).

Det vil sige, at scenarierne med øget markvanding dermed kan have en tendens til at overestimere vandløbspåvirkningen. Det bekræftes ved drænafstrømning og grundvandsafstrømning til vandløb er større for den nedre figur end for den øvre figur.



Den forøgede grundvandsdannelse er et udtryk for såvel øget grundvandsdannelse som følge af capture (altså at øget vandindvinding øger grundvandsdannelse), og reinfiltration af vandingsvand fra markvanding.

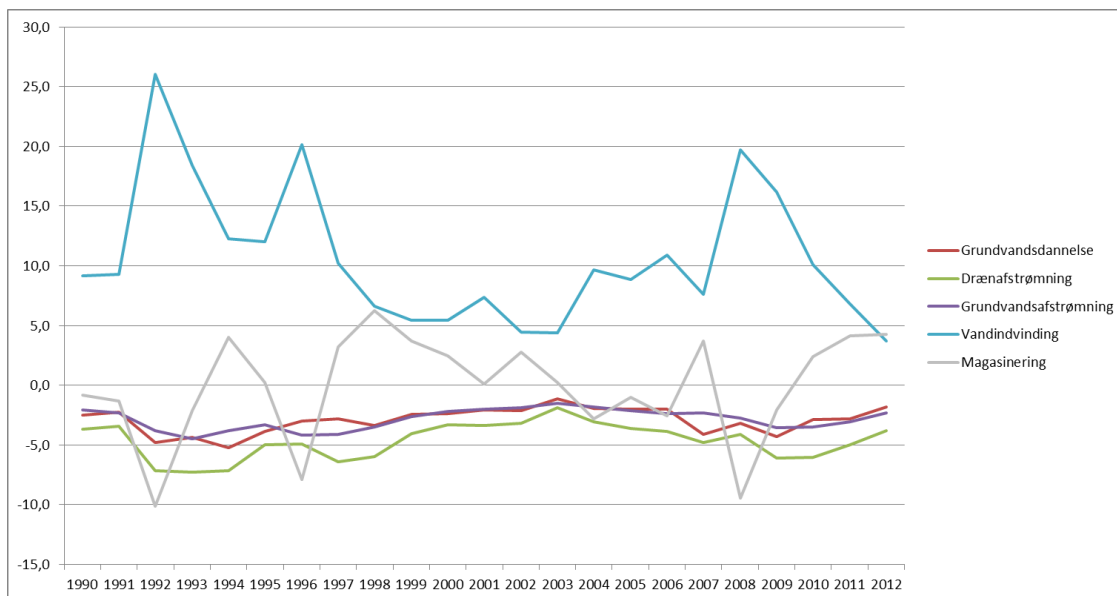
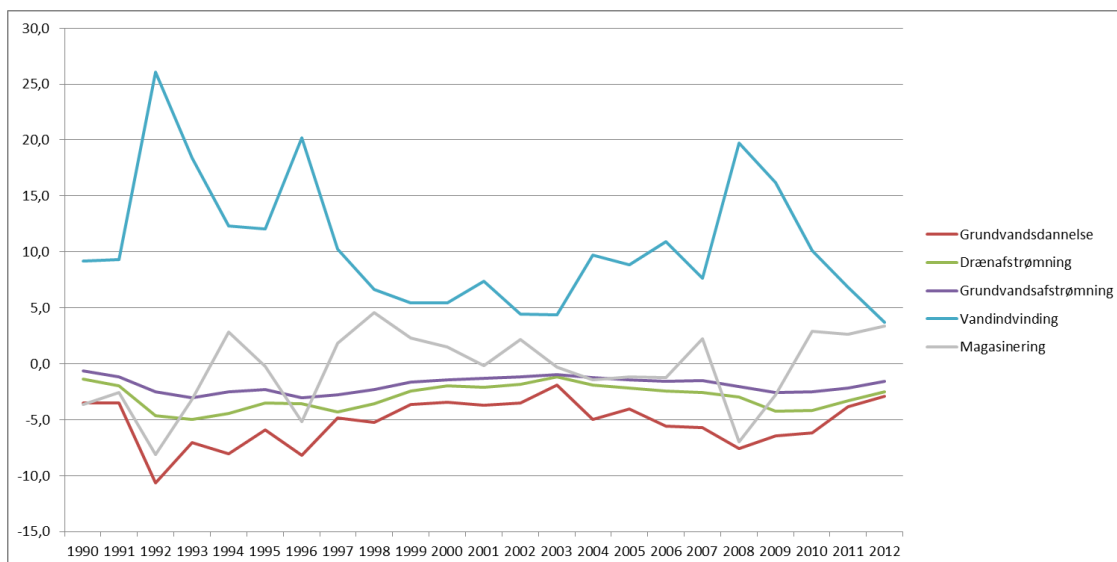


**Figur 13. Beregnede vandbalancetal for Midtjylland for tre markvandingsscenarier (Y-akse mm/år):**

Øverst: NUL markvands-indvinding (dvs. udelukkende vandindvinding fra vandværker)

Midten: Baseline scenariet

Nederst: 100 % øget markvanding



**Figur 14. Ændring i vandbalance led som følge af ændret markvanding (mm/år).**

Øverst: Ændring i vandbalanceled fra NUL markvandings-indvinding til baseline (aktuel markvanding). Nederst ændring fra baseline (aktuel markvanding til 100 % øget markvanding).

I tabel 4 er datagrundlaget bag figur 14 sammenfattet for hele modelområde (Midtjylland) dels ved baseline i forhold til NUL markvandings-reference (øverst), og dels ved 100 % øget markvanding i forhold til baseline (nederst).

Det ses af tabellen at den modelberegnete markvandingsmængde pr. år er omtrent af samme størrelse for 2004-2010 (10,4 mm/år), som i forhold til en længere årrække (1990-2012, 10,6 mm/år). Det samme gælder påvirkningen på dræn- og vandløbsafstrømning. Perioden 2004-2010 er dermed rimeligt repræsentativ for en længere årrække.

De to figurer viser dog samtidig, at der fra år til år er relativt store variationer i de forskellige vandbalanceled.

**Tabel 4. Vandbalance ændringer for Midtjylland i mm/år for hele modelområdet**

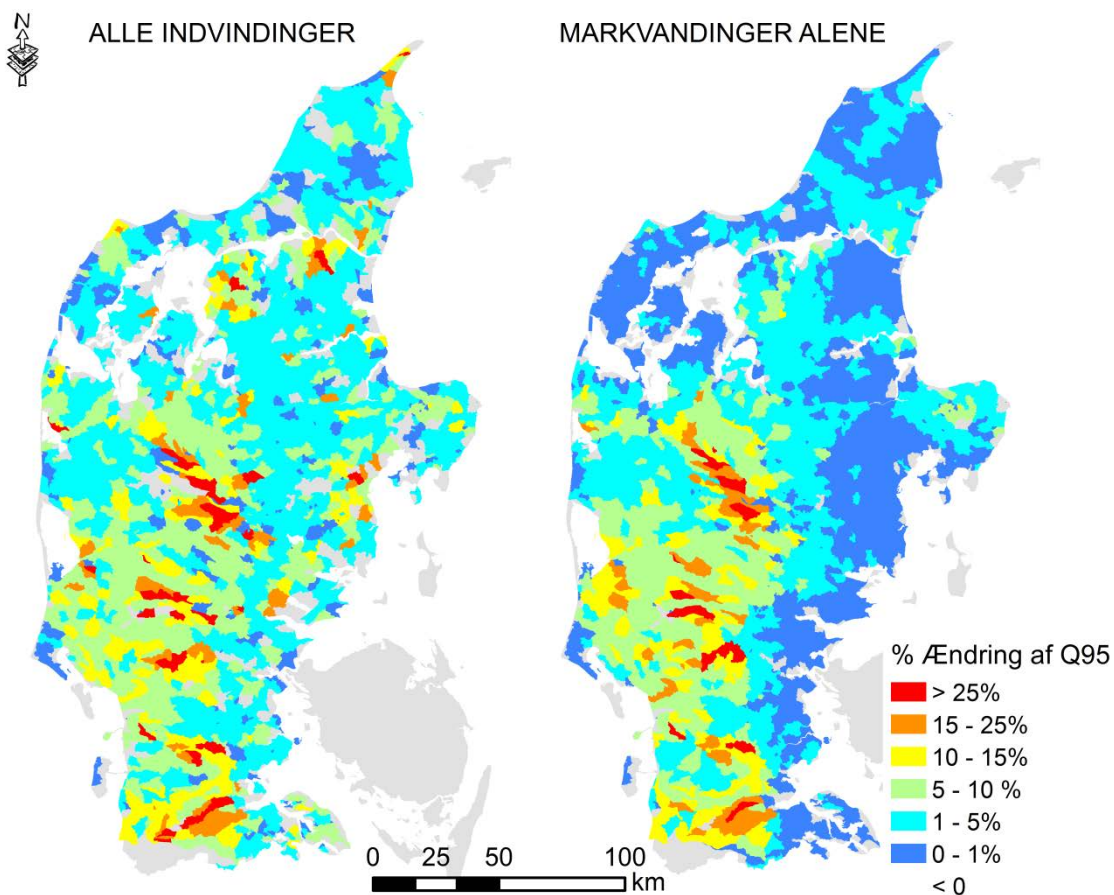
Øverst: Ændring som følge af markvanding: (fra NUL markvandings-reference til baseline scenariet, mm/år for hele modelområdet). Nederst: Ændring som følge af markvanding: (fra baseline til 100 % øget markvanding scenariet, mm/år for hele modelområdet). Ændret recharge i øvre tabel er udtryk for både "capture" og "øget reinfiltration", mens det i nedre tabel udelukkende er udtryk for "capture" (da evt. "øget reinfiltration" ikke er inddraget).

Diff baseline - NUL								
	Recharge	Hor.Bou.Outflow	SZ Stor.Change	Pumping	Drain	SZ->River	Error	
1990 12 28 6 0	-3,5	-0,1	-3,6	9,2	-1,4	-0,6	0,0	
1991 12 23 6 0	-3,5	-0,1	-2,6	9,3	-2,0	-1,2	-0,1	
1992 12 17 6 0	-10,7	-0,2	-8,1	26,1	-4,7	-2,5	0,0	
1993 12 12 6 0	-7,0	-0,2	-3,2	18,4	-5,0	-3,0	0,0	
1994 12 7 6 0	-8,0	-0,1	2,8	12,3	-4,4	-2,5	0,0	
1995 12 2 6 0	-5,9	-0,1	-0,2	12,0	-3,5	-2,3	0,0	
1996 11 26 6 0	-8,2	-0,2	-5,2	20,2	-3,6	-3,0	0,0	
1997 11 21 6 0	-4,8	-0,2	1,8	10,3	-4,3	-2,8	0,0	
1998 11 16 6 0	-5,3	-0,1	4,6	6,6	-3,6	-2,3	0,0	
1999 11 11 6 0	-3,7	-0,1	2,3	5,4	-2,4	-1,6	0,0	
2000 11 5 6 0	-3,5	-0,1	1,5	5,5	-2,0	-1,4	0,0	
2001 10 31 6 0	-3,7	-0,1	-0,2	7,4	-2,1	-1,3	0,0	
2002 10 26 6 0	-3,5	-0,1	2,1	4,5	-1,8	-1,2	0,0	
2003 10 21 6 0	-1,9	0,0	-0,3	4,4	-1,2	-1,0	0,0	
2004 10 15 6 0	-5,0	-0,1	-1,4	9,7	-1,9	-1,3	0,0	
2005 10 10 6 0	-4,0	-0,1	-1,2	8,9	-2,2	-1,4	0,0	
2006 10 5 6 0	-5,6	-0,1	-1,3	10,9	-2,4	-1,6	0,0	
2007 9 30 6 0	-5,7	-0,1	2,2	7,6	-2,6	-1,5	-0,1	
2008 9 24 6 0	-7,6	-0,2	-7,0	19,7	-3,0	-2,0	0,0	
2009 9 19 6 0	-6,4	-0,2	-2,8	16,2	-4,2	-2,6	0,0	
2010 9 14 6 0	-6,2	-0,1	2,9	10,1	-4,2	-2,5	0,0	
2011 9 9 6 0	-3,9	-0,1	2,6	6,8	-3,3	-2,2	0,0	
2012 9 3 6 0	-2,9	-0,1	3,4	3,7	-2,5	-1,6	0,0	
<b>1990-2012</b>	<b>-5,2</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,5</b>	<b>10,7</b>	<b>-3,0</b>	<b>-1,9</b>	<b>0,0</b>	
<b>2004-2010</b>	<b>-5,3</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,3</b>	<b>10,4</b>	<b>-2,9</b>	<b>-1,9</b>	<b>0,0</b>	

Diff- 100% øget markvanding-baseline								
	Recharge	Hor.Bou.Outflo	SZ Stor.Ch	Pumping	Drain	SZ->River	Error	
1990 12 28 6 0	-2,5	-0,1	-0,8	9,1	-3,7	-2,1	0,0	
1991 12 23 6 0	-2,2	-0,1	-1,3	9,3	-3,4	-2,3	0,0	
1992 12 17 6 0	-4,8	-0,2	-10,1	26,1	-7,2	-3,8	0,0	
1993 12 12 6 0	-4,3	-0,2	-2,1	18,4	-7,3	-4,5	0,0	
1994 12 7 6 0	-5,2	-0,1	4,0	12,3	-7,2	-3,8	-0,1	
1995 12 2 6 0	-3,9	-0,1	0,2	12,0	-5,0	-3,3	-0,1	
1996 11 26 6 0	-3,0	-0,2	-7,9	20,2	-4,9	-4,1	0,0	
1997 11 21 6 0	-2,8	-0,2	3,2	10,2	-6,4	-4,1	0,0	
1998 11 16 6 0	-3,3	-0,1	6,3	6,6	-6,0	-3,5	0,0	
1999 11 11 6 0	-2,4	-0,1	3,7	5,4	-4,0	-2,6	0,0	
2000 11 5 6 0	-2,3	-0,1	2,4	5,5	-3,3	-2,2	0,0	
2001 10 31 6 0	-2,1	-0,1	0,1	7,4	-3,4	-2,0	0,0	
2002 10 26 6 0	-2,1	-0,1	2,8	4,4	-3,2	-1,9	0,0	
2003 10 21 6 0	-1,1	-0,1	0,2	4,4	-1,9	-1,5	0,0	
2004 10 15 6 0	-1,9	-0,1	-2,8	9,7	-3,0	-1,8	0,0	
2005 10 10 6 0	-2,0	-0,1	-1,0	8,9	-3,6	-2,1	0,0	
2006 10 5 6 0	-2,0	-0,1	-2,6	10,9	-3,8	-2,4	0,0	
2007 9 30 6 0	-4,1	-0,1	3,7	7,6	-4,8	-2,3	0,0	
2008 9 24 6 0	-3,2	-0,1	-9,4	19,7	-4,1	-2,8	0,0	
2009 9 19 6 0	-4,3	-0,2	-2,1	16,2	-6,1	-3,5	0,0	
2010 9 14 6 0	-2,9	-0,2	2,4	10,1	-6,1	-3,5	0,0	
2011 9 9 6 0	-2,8	-0,1	4,1	6,8	-5,0	-3,0	0,0	
2012 9 3 6 0	-1,8	-0,1	4,2	3,7	-3,8	-2,3	0,0	
<b>1990-2012</b>	<b>-2,9</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>10,6</b>	<b>-4,7</b>	<b>-2,8</b>	<b>0,0</b>	
<b>2004-2010</b>	<b>-2,8</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,4</b>	<b>10,4</b>	<b>-4,5</b>	<b>-2,6</b>	<b>0,0</b>	

### 3.5 Ændringer i indikatorer som følge af 100 % øget markvanding sammenlignet med baseline scenariet

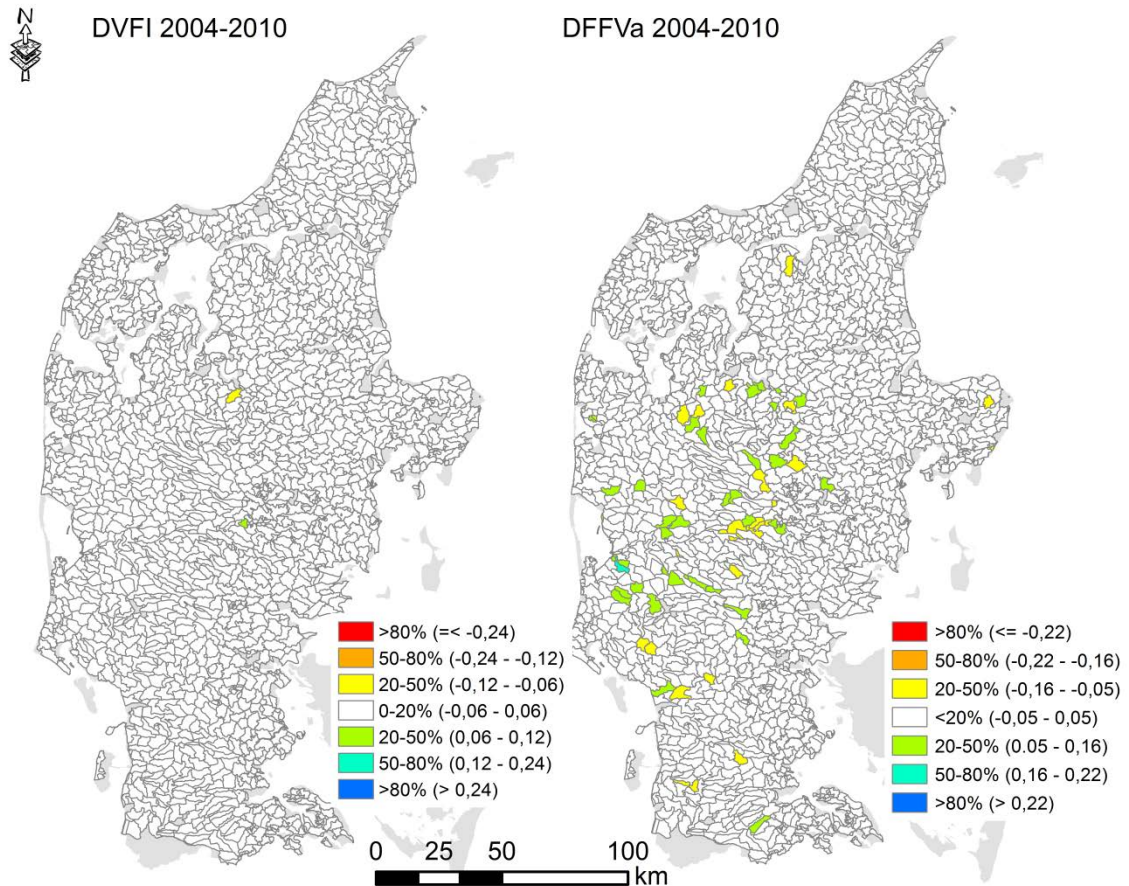
Figur 15 viser en sammenligning af påvirkning af Q95 (en vandføring der underskrides 5 % af tiden i perioden 2004-2010 eller i gennemsnit 18 dage pr. år). Figuren til venstre viser den samlede påvirkning, og de områder der i figuren til højre ikke er tilsvarende påvirkede, som fx omkring Århus og Ålborg, er dermed domineret af effekt på Q95 fra vandværksindvindinger. Områder med stor påvirkning fra markvanding fremgår af figuren til højre, svarende til områder med typisk den mest grovsandede jord strækkende sig fra Karup å-Storå i nord og ned til grænsen mod syd. Områder med stor påvirkning fra både markvanding og indvinding til vandværker fremgår af figuren til venstre..



**Figur 15. Reduktion af Q95 (%). Venstre: %-vis reduktion ved baseline i forhold til nul indvinding (dvs. påvirkning ved nuværende vandindvinding fra både vandværker og markvands-indvindinger). Højre: %-vis reduktion ved nuværende markvanding alene, hvor ændring som følge af vandværker er siet fra (udtrukket ud fra 100 % øget markvanding og med % vise ændringer beregnet ud fra baseline).**

Figur 16 viser beregnede ændringer for ID15 oplande for DVFI og DFFVa, når ændringer som følge af vandværker er siet fra (ved at sammenligne 100 % øget markvanding med baseline). Resultatet viser at samlet set har markvanding med de økologiske flow baserede indikatorer en meget begrænset påvirkning på den økologiske tilstand. Ved nuværende markvanding er der omtrent lige så mange ID15 oplande, hvor tilstanden reduceres (20-50 % sandsynlighed, gule

oplande) for DVFI og DFFVa, som der er oplande hvor tilstanden forbedres ved øget markvanding (20-50 % sandsynlighed, grønne oplande).



**Figur 16. Reduktion af DVFI og DFFVa ved 100 % øget markvanding i forhold til baseline.**

Grundvandsbaseret markvanding ser dermed ikke ud til samlet set (bedømt ud fra antal gule-orange-røde i forhold til antal grønne-lyseblå-blå ID15 oplande) at påvirke den økologiske tilstand i negativ retning. Nogle oplande kan få forringet tilstand (gule oplande), men ligeså mange vil få forbedret tilstand (grønne oplande), med de indikatorer som er opstillet og implementeret i vandområdeplaner, baseret på hydrologiske regime variable såsom ekstremitet af lave vandføringer (Q90/Q50), frekvens af overskridelser af medianafstrømning (Fre1), frekvens af overskridelser af Q25 (Fre25), frekvens af underskridelse af Q75 (Fre25) og baseflow index (BFI).

Benytter man derimod modelberegnete Q95, der er et mål for minimumsvandføringen som underskrides i gennemsnit 18 dage om året, er resultatet, at markvanding ensidigt påvirker denne størrelse i nedadgående retning. Påvirkningen af Q95 er i størrelsesordenen 10-15 % eller mere for et større antal ID15 oplande. En påvirkning af Q95 på 10-15 % anvendes i England som grundlag for screening af oplande, hvor indvindingens bæredygtighed bør undersøges nærmere (Henriksen og Refsgaard, 2013).



## 4. Diskussion

Der er foretaget en fin-tuning af DK model med en mere realistisk max. vandingskapacitet på ca. 3 mm pr. dag, baseret på manuel kalibrering af vandingsparametre: start- og stop kriterier for vanding for de enkelte afgrøder mm. Ligeledes er der beregnet et nyt opjusteret bedste estimat for faktisk vanding, på baggrund af indberetning til Jupiter fra kommunerne. Herved er der etableret en fin-tunet baseline model med et sæt realistiske parameterværdier og antagelser vedr. vanding, der samlet set for perioden 1990-2012 har optimal overensstemmelse (vandings-mængdemæssigt), i forhold til bedste vandingsestimater ud fra indberetninger. Den nye baseline model ligger mellem højt og lavt scenarie, og udgør dermed et bedste bud på nuværende vanding for Jylland (hvor markvanding er implementeret i DK model).

Herefter er der for baseline (nuværende vandindvinding), 25 %, 50 % og 100 % øget markvandings-indvinding beregnet ændringer på DVFI og DFFVa for perioden 2004-2010 for samtlige Jyske ID15 oplande (stationer i vandløb nedstrøms placeret til deloplande på ca. 15 km<sup>2</sup>), i forhold til en reference situation uden vandindvinding. Ændringer er sammenlignet med tærskelværdier for DVFI og DFFVa defineret ud fra 20-50 %, 50-80 % og > 80 % sandsynlighed for negativ (evt. positiv) tilstandsændring for smådyr og fisk. Resultater er processeret og vist på GIS kort.

Resultater viser, at der for DVFI er hhv. 3, 5, 10 og 14 ID15 oplande ud af i alt 1905 ID15 oplande i Jylland, der får reduceret tilstand som følge af øget markvanding (baseline, +25%, +50% og +100% øget markvanding) på et 20-50 % sandsynlighedsniveau. Der er ingen oplande, der på et højere sandsynlighedsniveau får reduceret tilstand som følge af markvanding. For kun 1 af de 3 ID15 delopland, der giver reduceret tilstand for DVFI ved baseline, er årsagen markvanding. De to øvrige skyldes påvirkning fra vandværker (sidstnævnte er beregnet ud fra differens mellem 100 % øget markvanding og baseline, som en tillægsvurdering der er udtrukket GIS kort for). Et par ID15 oplande viser forbedret tilstand for DVFI ved øget markvanding eller anden indvinding.

For DFFVa er der hhv. 58, 64, 72 og 88 ID15 oplande ud af i alt 1905 jyske ID15 oplande, der har tilstandsforringelse på et 20-50 % sandsynlighedsniveau. Der ses dermed et større antal oplande, der har forringet tilstand som følge af markvanding for DFFVa. Det vurderes for baseline, at ca. 25 ID15 oplande af de 58, har en påvirkning der er domineret af markvanding. Der er meget få oplande, der har sandsynlighed for tilstandsforringelse for fisk på højere sandsynlighedsniveau (hhv. 0, 0, 2 og 2 for 50-80 % sandsynlighed og 1, 1, 1, 2 for et højere sandsynlighedsniveau på >80%). Et relativt stort antal ID15 oplande viser forbedret tilstand ved baseline (knap 50 på 20-50 % sandsynlighedsniveau, og enkelte på et højere niveau).

Antallet af oplande med forbedret tilstand øges omtrent i samme omfang som antallet af oplande med forringet tilstand ved øget vandindvinding. For markvanding er der lidt flere ID15 oplande, der får forbedret tilstand ved baseline i forhold til nul indvinding (godt 30), mens knap 25 oplande får forringet tilstand. Resultatet for DFFVa af øget markvanding er dermed tvetydigt, idet nogle oplande får forbedret tilstand for fisk, andre det modsatte. Der

er ikke foretaget nogen nærmere analyse af hvorfor visse ID15 oplande viser en tendens og andre en anden. Usikkerheder på DVFI og DFFVa er nærmere beskrevet i Henriksen et al. (2014).

Der er foretaget beregninger af effekten af vandindvinding på Q95 for de fire markvandingsscenerier, med henblik på at kunne vurdere hvilke ID15 oplande der er domineret af påvirkning fra markvanding, og hvilke der er domineret af påvirkning fra anden vandindvinding. Til det formål er påvirkningen fra alle indvindinger incl. markvanding og markvanding alene vist for ID15 oplande på to kort, med ændringer på 0-1, 1-5, 5-10, 10-15, 15-25 og > 25 %. Q95 er her en god indikator for påvirkning af sommervandføringen (altså reduktionen af den lave vandføring, der i gennemsnit forekommer 18 dage om året). Her viser kortet for alle indvindinger incl. markvanding, at reduktioner i Q95 fx over 15 % dels forekommer i Midt- og Vestjylland, som følge af markvanding, og dels forekommer omkring byområder ved Ålborg, Århus, Vesthimmerland, Skagen, Nykøbing Mors, Viborg, Odder, Horsens og Vejle.

For alle indvindinger er der ved de fire scenarier reduktioner af Q95 på 10-15 % for hhv. 159, 188, 228 og 244 ID15 deloplande (ud af i alt 1905 jyske ID15 oplande). På et højere påvirkningsniveau (> 15 %) er de tilsvarende tal 121, 179, 226 og 346. Der anvendes i England et screeningsniveau for Q95 på 10-15 % (Henriksen og Refsgaard, 2013; Acreman et al., 2008). Sætter vi screeningsniveauet til 10-15 % som i England er der dermed et ret stort antal ID15 oplande, hvor der ville være behov for nærmere undersøgelser af bæredygtigheden af vandindvindingen.

Perioden 2004-2010 er repræsentativ for en længere årrække (1990-2012) bedømt på baggrund af vandbalance udtræk for Midtjylland. I perioden 2004-2010 indvindes ca. halvdelen af tilladelsen i de tre områder, og kun i et enkelt år (2008) indvindes en vandmængde på niveau med tilladelsen i baseline scenariet.

Anvender man grundlaget fra vandområdeplanerne og den implementering af indikatorer der foreligger med DK model på ID15 niveau, og de tærskelværdier der er fastlagt af NST/Århus Universitet til vandområdeplaner og til vurdering af effekt af vandindvinding peger resultater af undersøgelsen på, at grundvandsbaseret markvanding kun giver en meget begrænset effekt på smådyr og fisk i vandløb, og at der dermed potentielt er mulighed for øget vandindvinding, uden at væsentligt flere ID15 oplande samlet set påvirkes negativt.

Vandbalanceudtræk for Midtjylland for NUL markvandings-indvinding (en ny referencekørsel der er lavet uden markvanding, men med aktuel vandindvinding for vandværker mm.) viser, at for baseline (aktuel vandindvinding til markvanding) for perioden 1900-2012 er der stor variation fra år til år i vandindvindingen (ca. 20-25 mm/år for modelområdet som helhed). Årene 1996, 2008 og 1992 havde det største vandforbrug til markvanding, hvilket kan omregnes til ca. 90 – 115 mm/år for det vandede areal som er implementeret i DK model). For perioden 1990-2012 udgør markvandingen kun omkring det halve (10,6 mm/år for modelområdet som helhed eller ca. 48 mm/år for vandede arealer i gennemsnit). Tallene for 2004-2010 var til sammenligning ca. 47 mm/år altså repræsentativ for den længere årrække.



Ifølge Statistik om landbrug og skovbrug 2003 og 2005 var der 400.000 - 420.000 ha der kan vandes for Jylland jf. Danmarks Statistik. Det faktiske vandingsareal, der kan vandes jf. Danmarks Statistik, var dermed 26-30 % mindre end tallene for vandingsarealet fra DK model. Danmarks Statistik's tal er baseret på landmændenes indberetninger af arealer, som kan vandes i 2003 og 2005 (der findes også tal for areal der faktisk er vandet i de pågældende år fordelt på forskellige afgrøder). Tallene fra Danmarks Statistik tæller kun de arealer med i statistikken, hvor der både er en vandingstilladelse, en fungerende markvandingsboring og vandingsmaskiner. Der var givetvis nogle bedrifter med vandingstilladelse, der ikke havde vandingsmaskiner, og det kan måske være med til at forklare noget af den forskel.

Det har ikke været muligt at analysere denne uoverensstemmelse i vandingsarealet til bunds mellem DK modellens vandingsareal og vandingsarealet jf. Danmarks Statistik. Fokus har været på (jf. Appendix A) at få et nyt bedste estimat for vandingsmængder for de tre DK model områder i Jylland der stemmer i forhold til den samlede indberettede vandingsmængde til JUPITER. Hvis DK modellen rent faktisk overvurderer det samlede vandingsareal, har det begrænset betydning for den samlede påvirkning af vandkredsløbet, men det kan have betydning for delelementer af vandbalancen, fx de modelberegne vandingsmængder opgjort for det samlede vandede areal. I værste fald kan det betyde at disse tal skal justeres med 26-30 %. Det vil sige at vandingsmængder pr. vandet arealenhed i stedet for 90- 115 mm, hvis vandingsarealet er overvurderet i forhold til Danmark Statistik's tal for 2003/2005, udgør op til max 115-150 mm/år for år med stor vandforbrug til markvanding (svarende til årene 1996, 2008 og 1992).

Der er en væsentlig dynamik i den påvirkning af vandbalancen, der følger af variationer i markvanding. Ændringer i vandindvinding kompenseres først af ændret magasinering, der slår hurtigt igennem og følger ændringen i markvanding fra år til år (med modsat fortegn). Markvanding giver dernæst en øget grundvandsdannelse (svarende til "capture"), der dog er mere udjævnet fra år til år. Den øgede grundvandsdannelse som følge af markvanding skyldes dels reinfiltration af vandingsvand, og dels øget grundvandsdannelse som følge af sænkning af grundvandsspejlet. Reinfiltrationen har hurtig respons og dermed stor variation fra år til år, mens øget induceret grundvandsdannelse er en langsommere proces.

Ændringer i markvanding giver reduceret drænafstrømning, som er forsinket 0-2 år i forhold til markvandings-indvindingen. Endelig giver øget markvandings-indvinding reduceret grundvandsafstrømning til vandløb, med en forsinkelse på 1-3 år. Samlet set udjævnes påvirkningen fra en given markvandingsindvinding dermed både over det (de) følgende år, så kun en begrænset fraktion slår igennem mens markvandingen foregår.

Afgrødefordelingen antages i DK model konstant gennem perioden (omtrent svarende til 2005 afgrødefordelingen). Beregninger tager ikke højde for ændret afgrødeforhold gennem perioden. Eksempelvis har majsarealet har været gradvist stigende gennem perioden specielt område 4 Sydjylland og område 5 Midtjylland. Denne stigning har været mest markant fra midt i 90'erne og frem til midt i 0'eren (2005), og derefter med mere moderate stigninger (majsareal i Danmark: Gennemsnit for 1992-1996: 31.000 ha; 2004: 129.000 ha; 2005: 135.000 ha og 2010: 173.000 ha).



## 5. Konklusion

Analysen viser, at der er et stort potentiale for øget indvinding til markvanding, når der anvendes økologisk flow baserede indikatorer for DVFI og DFFVa i stedet for de hidtil anvendte retningslinjer for maksimal påvirkning af medianminimumsvandføringen. Kriteriet på 10-15 % påvirkning af Q95 benyttes ofte i udlandet til screeningsformål, og resultaterne peger på et markant antal ID15 oplande, der ville blive udpeget til nærmere undersøgelse hvis denne indikator anvendes, hvorimod den beregnede påvirkning af DVFI og DFFVa fra markvanding ved baseline og øget markvanding er rimelig neutral, idet der ikke vil være et væsentligt større antal ID15 oplande der påvirkes i negativ retning, i forhold til dem der påvirkes i positiv retning af øget markvanding.

For smådyr (DVFI) kan markvandingen øges 25-50 % uden at væsentligt flere ID15 oplande får forringet tilstand selv på et lavt sandsynlighedsniveau (20-50 %). For fisk giver øget markvanding lige så mange eller lidt flere ID15 oplande der får forbedret tilstand, som forringet tilstand.

Hvis de resultater er holdbare og valide efter flere undersøgelser, så er der tale om et helt nyt paradigme, der vil være revolutionerede for vurdering af ressourcens størrelse og bæredygtighed i forhold til vandløbskvalitet for fisk og smådyr, specielt i områder med markvandingsindvinding baseret på grundvand. Her vil ressourcen være væsentlig større end tidligere antaget vurderet på baggrund af minimumsvandføringen (fx vandplan 1).

Undersøgelsen peger på, at markvanding ikke giver nogen ensidig forringelse i forhold til den biologiske tilstand for fisk og smådyr, målt i forhold til antal ID15 oplande der får forbedret eller forringet tilstand.

Det vurderes, at den gennemførte følsomhedsanalyse kan forfines på flere punkter. Der kan bl.a. anvendes mere differentierede areal- og afgrødedata og simuleringen af øget vandindvinding til markvanding kan forbedres ved at den øgede vandindvinding tilføres som vandingsvand på hidtil uvandede eller ikke optimalt vandede arealer. I den gennemførte følsomhedsanalyse er øget markvanding simuleret alene ved at øge oppumpningen af grundvand uden at det ekstra vand er tilført som vandingsvand.

På længere sigt kan de modelmæssige sammenhænge mellem de beregnede flowvariable og kvalitetselementerne DVFI, DVPI og DFFVa styrkes med flere målinger i vandløb og gennem videreudvikling af DK model med bedre geologiske data og nye kalibreringer målrettet de anvendte økologiske flowvariable (fx frekvenser såsom Fre1, Fre25, Fre75, ekstremiteter såsom Q90/Q50 og baseflow index BFI).



## 6. Referencer

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, Rasmussen, J, Olsen, M, He, X, Jørgensen, LF og Troldborg, L (2014) Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvinding. Konceptuel tilgang og validering samt tilstandsvurdering af grundvandsforekomster. Udarbejdet for Naturstyrelsen. GEUS rapport 2014/74.

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 resource indicators and a numerical groundwater-surface water model. *Journal of Hydrology* 348 (1-2) 224-240

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



## Appendix A - Markvandinger i Jylland på kommune- og DK-modelområdet

I denne analyse er der arbejdet videre med data fra Jupiter, bearbejdet i notatet: *Kommunevis gennemgang af markvandinger i Jylland*, august 2014. Notatet kan findes som bilag i rapporten *Effekt af vandindvinding*, GEUS rapport 2014/74, der kan ses her: <http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/Vandforvaltnings-modeller.aspx>.

Kort opsummeret er der i notatet nævnt overfor udført en analyse af data udtrukket fra Jupiter databasen for perioden 1990 til 2012. Der er udtrukket data om indberetning af markvandingsmængder og tilhørende tilladelser. Data er gennemgået kommunevis, og den årlige indvindingsmængde er opjusteret. Dette er sket ved at tildele anlæg med en tilladelse men uden indberetning en indvindingsmængde svarende til den eksisterende tilladelse gange med et procenttal (kaldet anvendt procent). Dette procenttal er fundet ved at opsummere, hvor meget der er indberettet hvert enkelt år og se hvor stor en andel, dette udgør af de tilhørende tilladelser.

Eksempel: I kommune A er der indberettet en markvandingsmængde på i alt 10 mio. m<sup>3</sup> fra 100 stedfæstede anlæg; en del af disse har indberettet 0 m<sup>3</sup>. Disse 100 anlæg har en tilladelse på i alt 20 mio. m<sup>3</sup>, hvorfor den anvendte procentandel er 50%. Udover disse 100 anlæg er der 10 anlæg med en gyldig tilladelse på i alt 1 mio. m<sup>3</sup>, men hvorfra der er ikke registreret nogen indberetning. Det antages derfor, at der er indvundet 1 mio. m<sup>3</sup> fra disse anlæg, hvorfor den opjusterede indvinding til markvanding i kommune A bliver i alt 11 mio. m<sup>3</sup> det pågældende år.

### A1 - År med manglende indberetning

I dette notat er der arbejdet videre ved at forsøge at finde et realistisk tal for indvindingen i år helt uden indberetning. Dette er især en udfordring i kommuner dækkende det tidligere Ringkjøbing Amt i starten af perioden, men der mangler også enkelte år andre steder:

- Frederikshavn: 2007, 2008, 2012
- Jammerbugt: 2012
- Mariagerfjord: 2006
- Lemvig: 1990-1997, 2000, 2001
- Struer: 1990-1992, 1996
- Holstebro: 1990-2001
- Ringkøbing-Skjern: 1990-1994, 1996
- Herning: 1990-2002

Da der for alle år er et tal for den gældende tilladelse i alle kommuner, er der herunder forsøgt at finde et tal for indvindingen et givet år i en given kommune ved at gange denne tilladelse med et gennemsnit af de omkringliggende kommuners 'anvendte procentandel' fundet som beskrevet ovenfor. Hvor en nabokommune også mangler data, er næste kommune anvendt, således at der stort set er brugt et gennemsnit fra et antal kommunerne

svarende til antal nabokommuner. Der er taget hensyn til, at for vestkystkommuner skal der inddrages procentsatser fra andre vestkystkommuner, da nedbøren her oftest er større end længere inde i landet.

Herunder ses hvilke kommuner, der er brugt for hver af de ovennævnte kommuner med huller i dataserien:

- Frederikshavn: Hjørring og Brønderslev-Dronninglund
- Jammerbugt: Hjørring, Brønderslev-Dronninglund, Aalborg, Vesthimmerland, Thisted
- Mariagerfjord: Aalborg, Rebild, Vesthimmerland, Viborg, Randers
- Lemvig: Thisted, Morsø, Varde (samt enkelte år også Holstebro og Struer, hvor der er data for disse – i så fald falder andre kommuner ud)
- Struer: Thisted, Morsø, Skive, Viborg, Varde
- Holstebro: Viborg, Skive, Thisted, Varde, Ikast-Brande, Morsø (samt enkelte år også Ringkøbing-Skjern, Lemvig og Struer, hvor der er data for disse – i så fald falder andre kommuner ud)
- Ringkøbing-Skjern: Billund, Varde, Ikast-Brande, Thisted
- Herning: Billund, Ikast-Brande, Viborg, Varde og Struer (samt enkelte år også Ringkøbing-Skjern, og Holstebro, hvor der er data for disse – i så fald falder andre kommuner ud)

I bilag 1 er sumkurverne vist (i samme opsætning som kurver vist i første notat) for de 8 kommuner (ovenfor) med huller i dataserien.

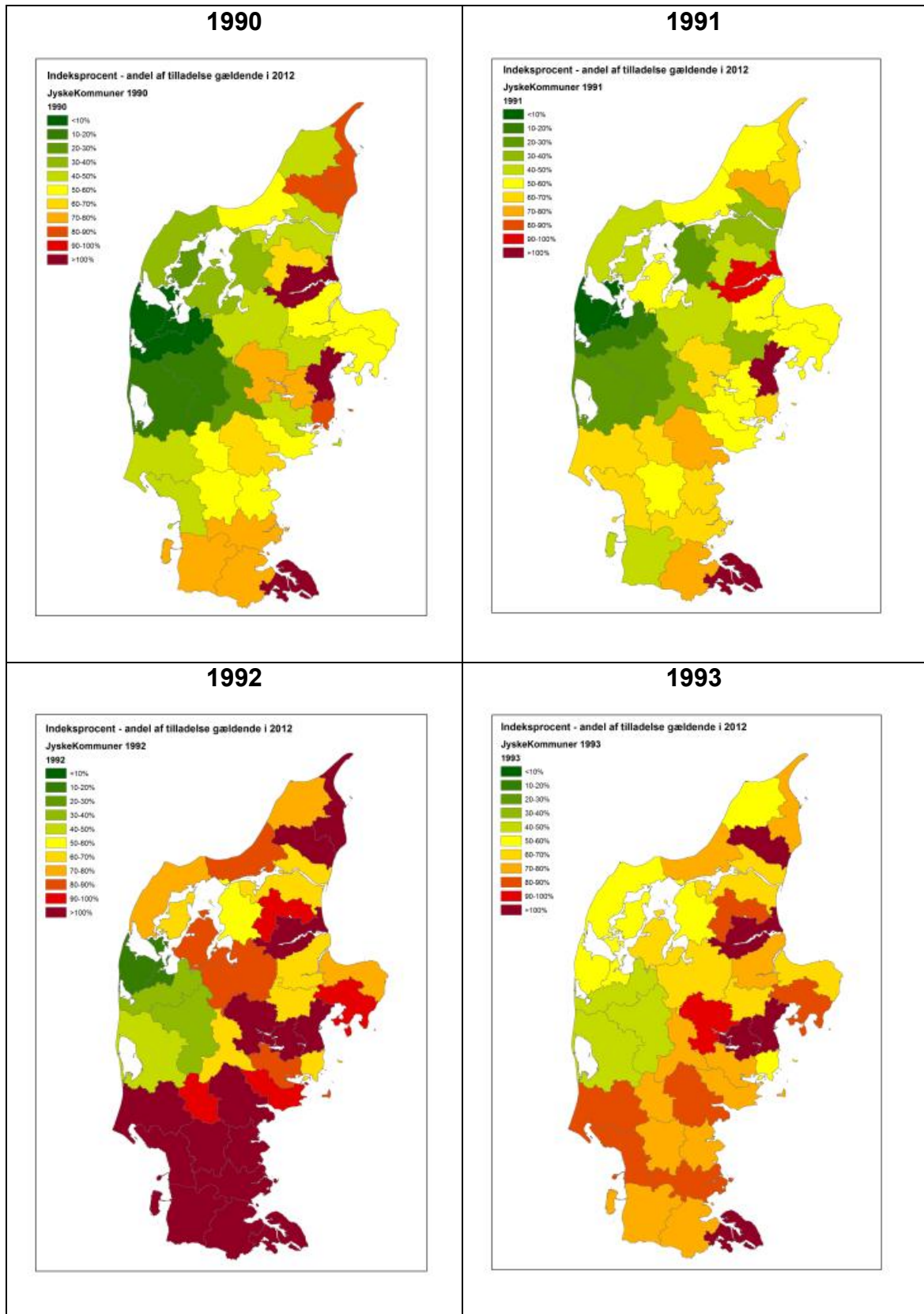
## **A2 - Kommunevis udvikling i indvinding set i forhold til tilladelsen i år 2012**

Herunder ses en række kort, der viser udviklingen fra år til år i indeksprocenten. Indeksprocenten er beregnet ved at sætte de enkelte års indvinding (opjusteret tal) i forhold til den i 2012 gældende tilladelse. Tilladelsen i 2012 er anvendt, da den er den senest gældende og dermed mest opdaterede. Var de enkelte års tilladelse, som indberettet til Jupiter, anvendt, ville det give et skævt billede af udnyttelsesprocent, da denne datatype (tilladelsens størrelse) vurderes at være meget usikker (for lav) de første ca. 10 år af perioden.

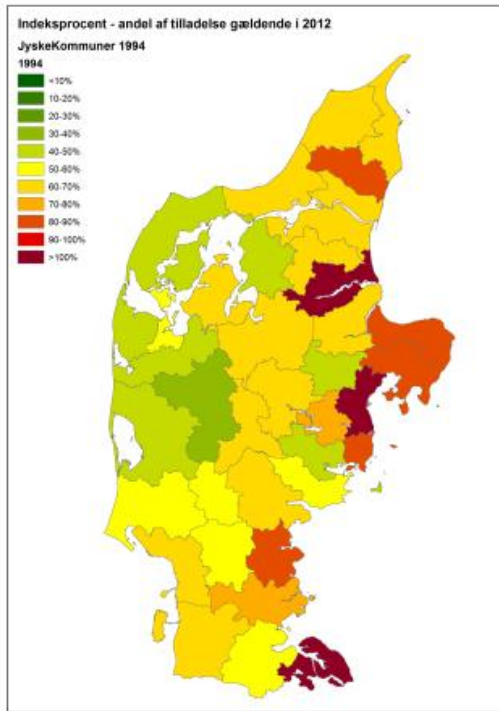
Overordnet set tegner der sig et billede af nogle tørre år fra 1992 og frem til 1997, hvor der i de fleste kommuner vandes mere end halvdelen af tilladelsens (2012) størrelse, og enkelte kommuner mere end 100%. Især i 1992 primært i det tidligere Sønderjyllands Amt, hvor der var en 'frit lejde' aktion, se næste afsnit. Derefter ses der kun nogle få tørre år i det vest- og sydjyske med indeksprocenter over 50 (2006, 2008, 2009 og 2010).



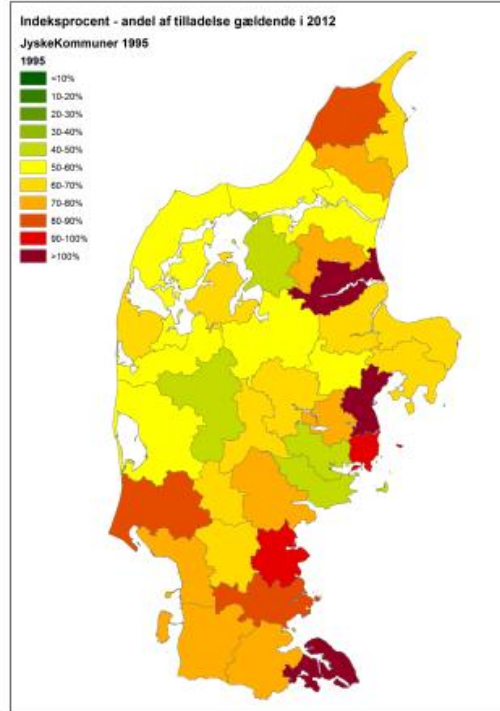
Figure A1 Indeksprocent for 1990-2012 - udtrykt som andel af tilladelse for 2012 (Resultater for Als-Sønderborg fejlbehæftede som følge af indberetningsfejl for tilladt indvinding for de sidste tre år)



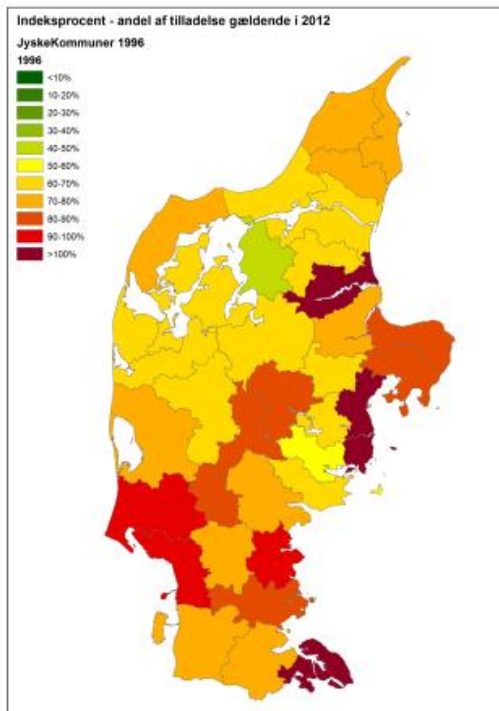
1994



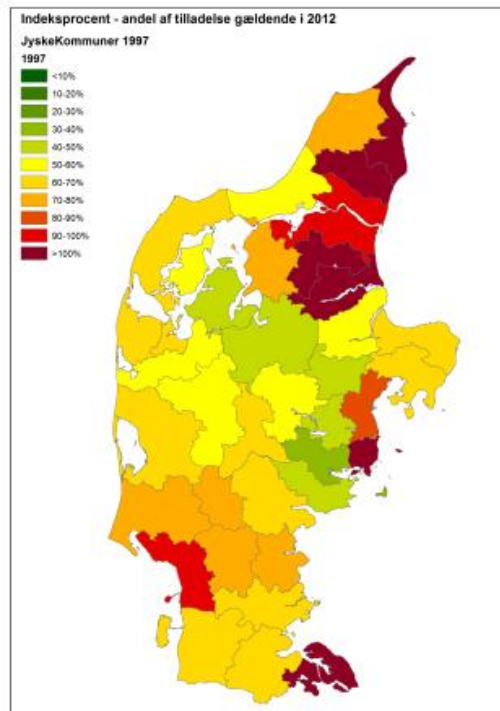
1995



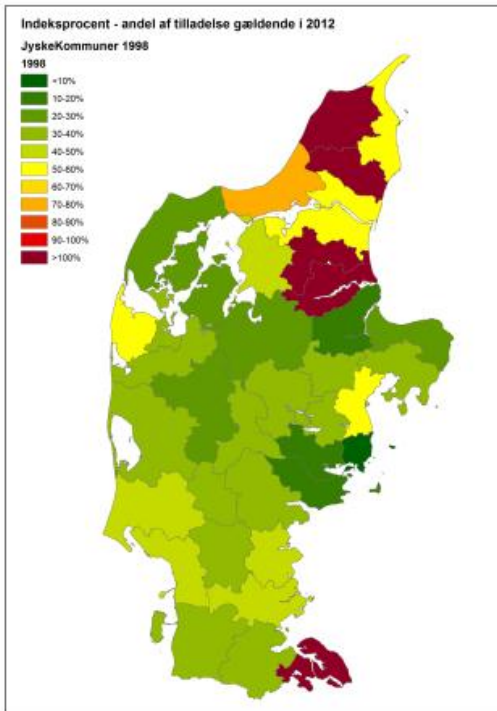
1996



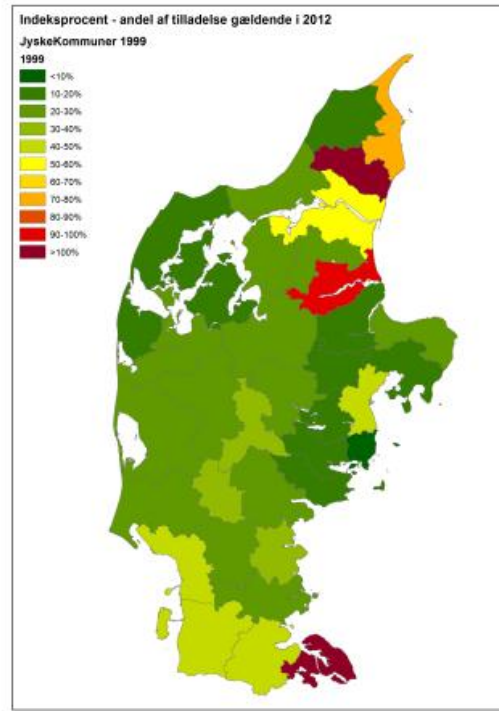
1997



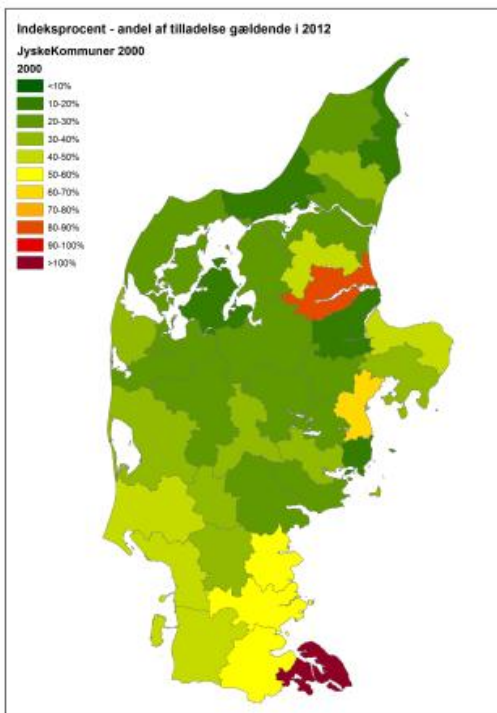
1998



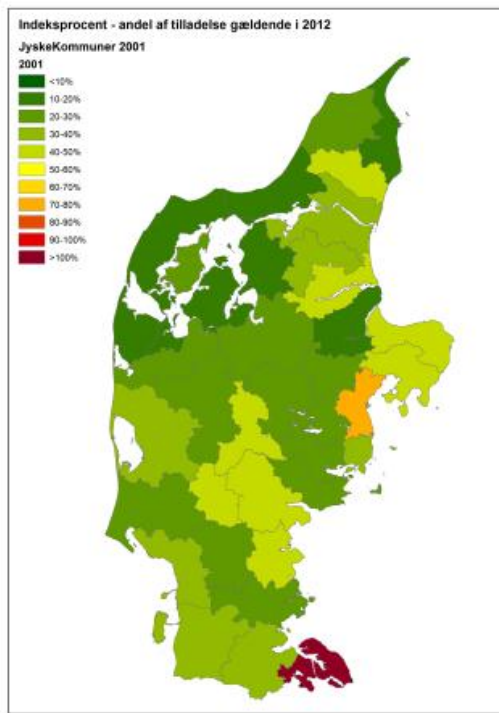
1999



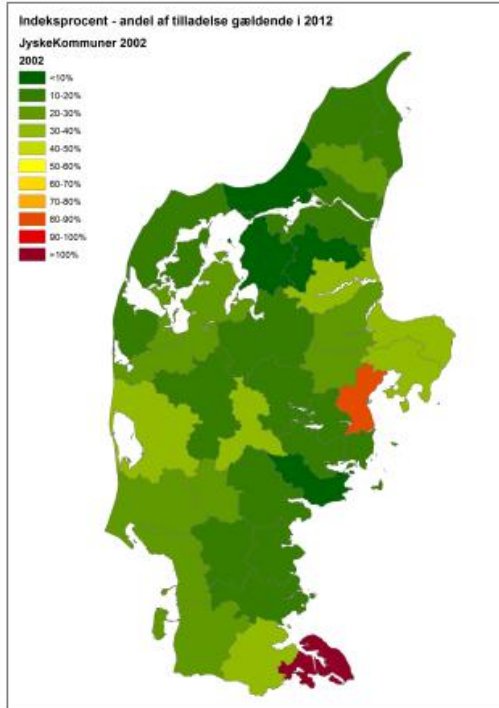
2000



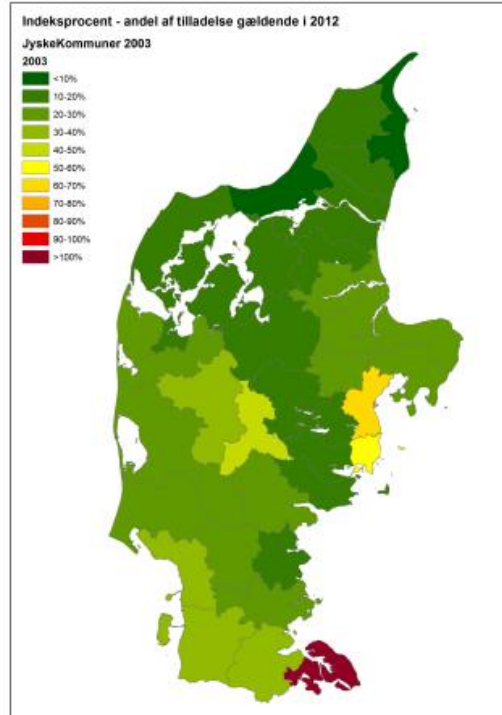
2001



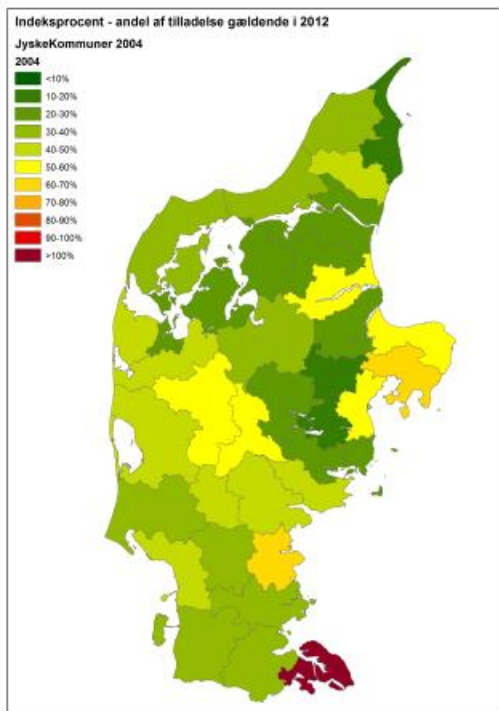
2002



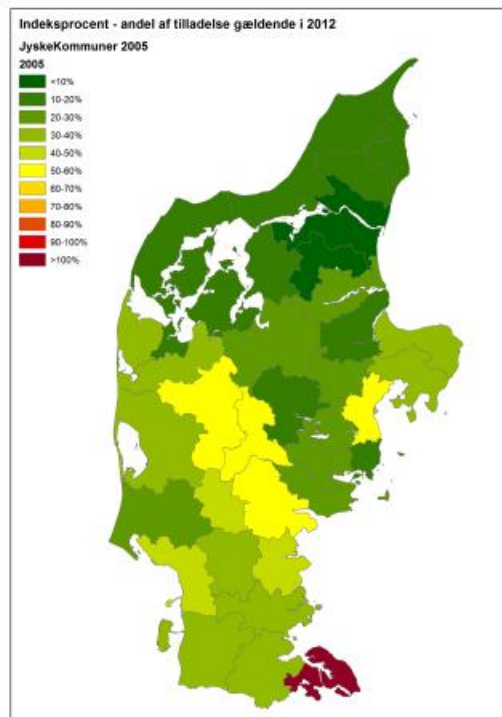
2003



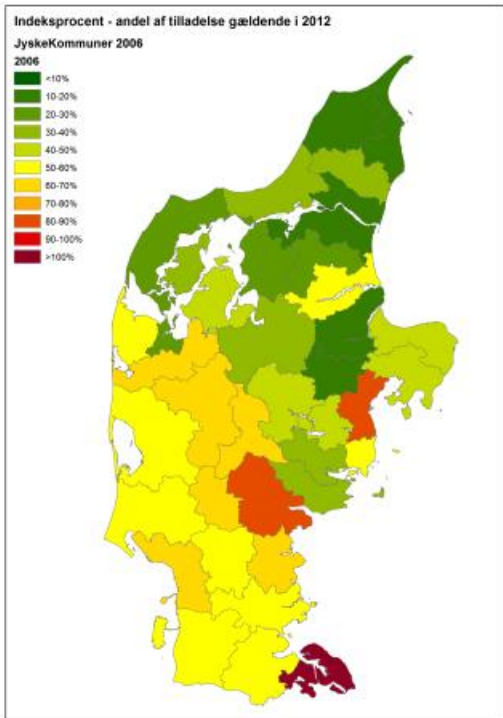
2004



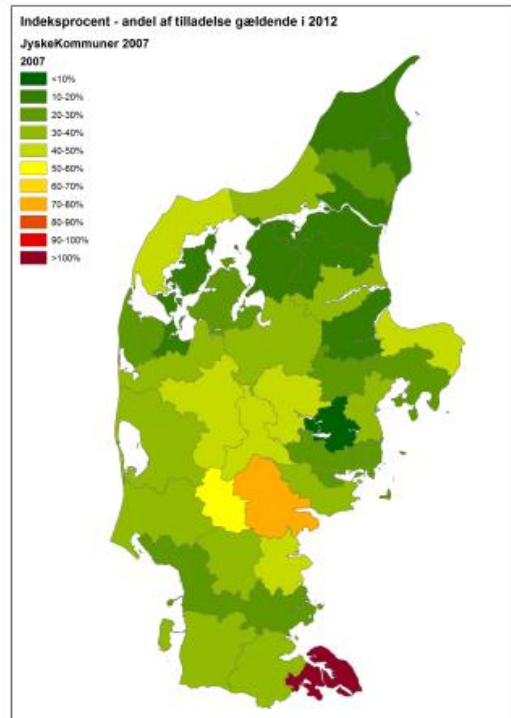
2005



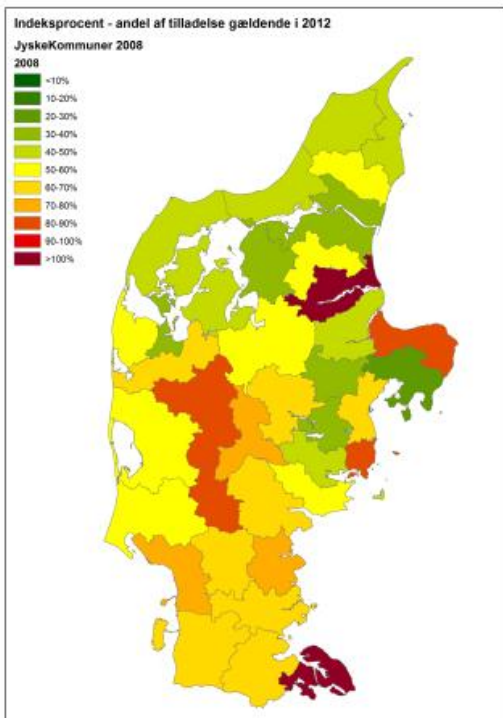
2006



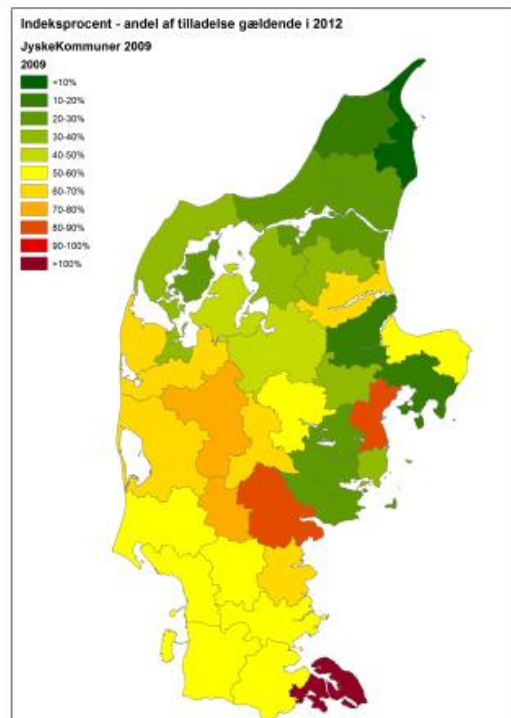
2007



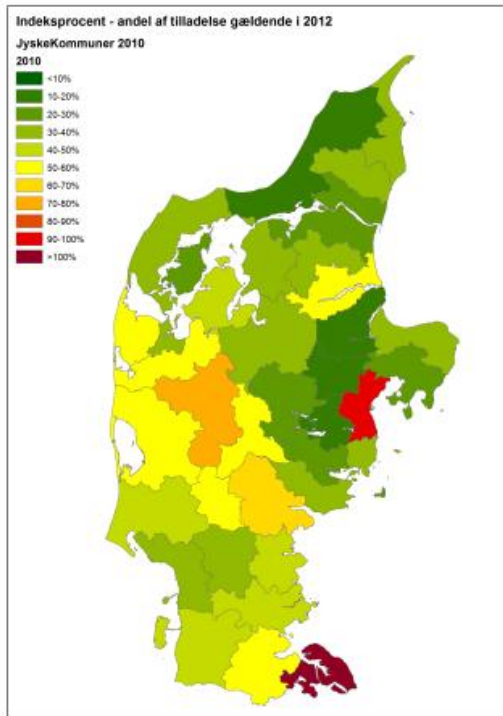
2008



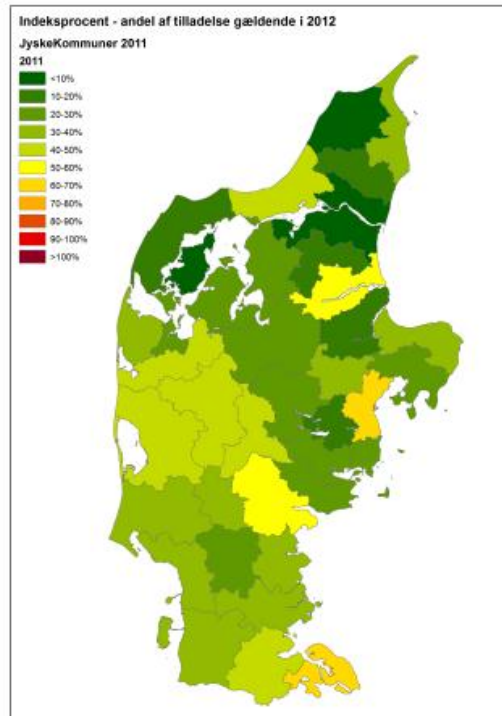
2009



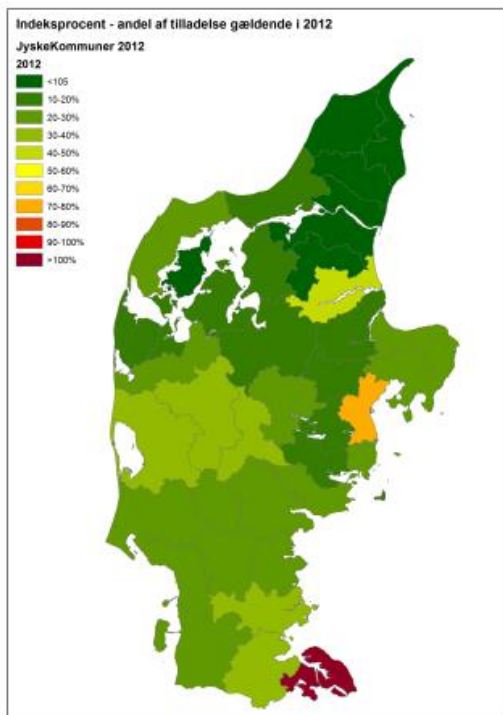
2010



2011



2012

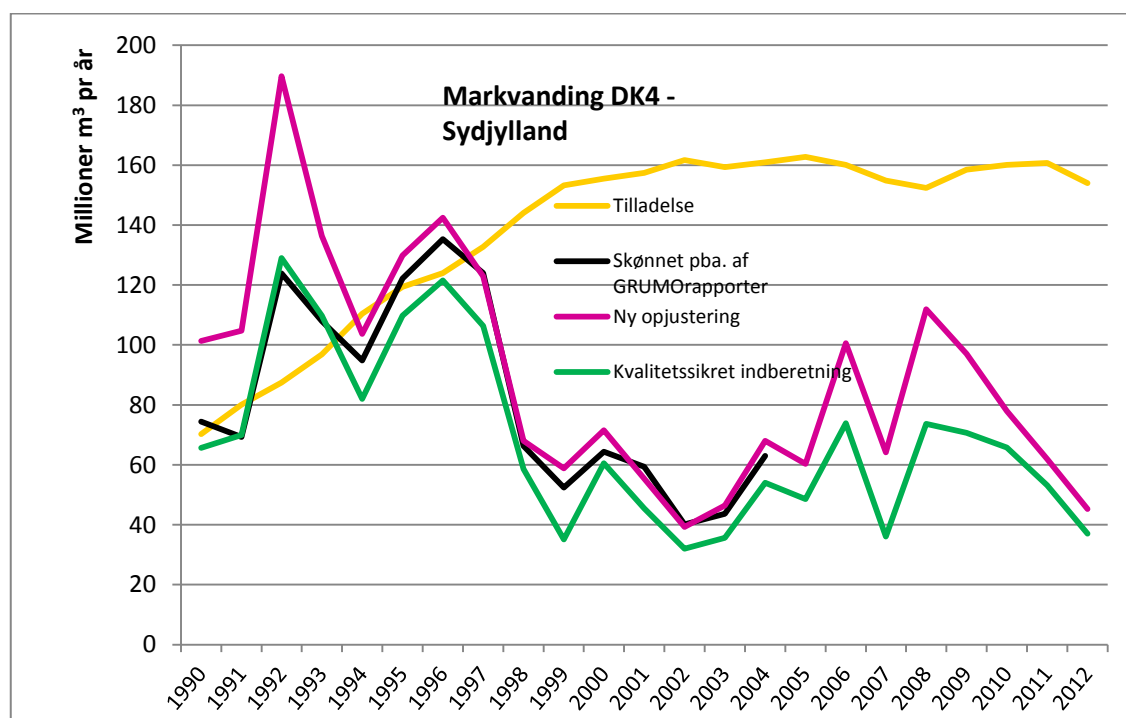


### A3 – Opgørelser på DK-model områder

Nedenfor er den nye opjusterede vandingsmængde ('Ny opjustering' vist med margenta) plottet mod dataudtræk fra Jupiter (kvalitetssikret i forbindelse med arbejdet beskrevet ovenfor, vist med grøn kurve) samt mod amternes vurdering af markvanding i forbindelse med rapportering af grundvandsovervågningen i perioden 1990-2004 (GRUMO, sort kurve). Endelig ses den samlede tilladelse, som registreret i/indberettet til Jupiter (gul kurve).

Indvindingen i kommunerne, der deles mellem modelområder, er fordelt efter deres arealmæssige dækning i de pågældende områder, se tabellen i bilag 2. Bemærk de forskellige skalaer på y-aksen i de tre figurer, der hver dækker et af de tre jyske DK-model områder.

#### DK4 – Sydjylland:



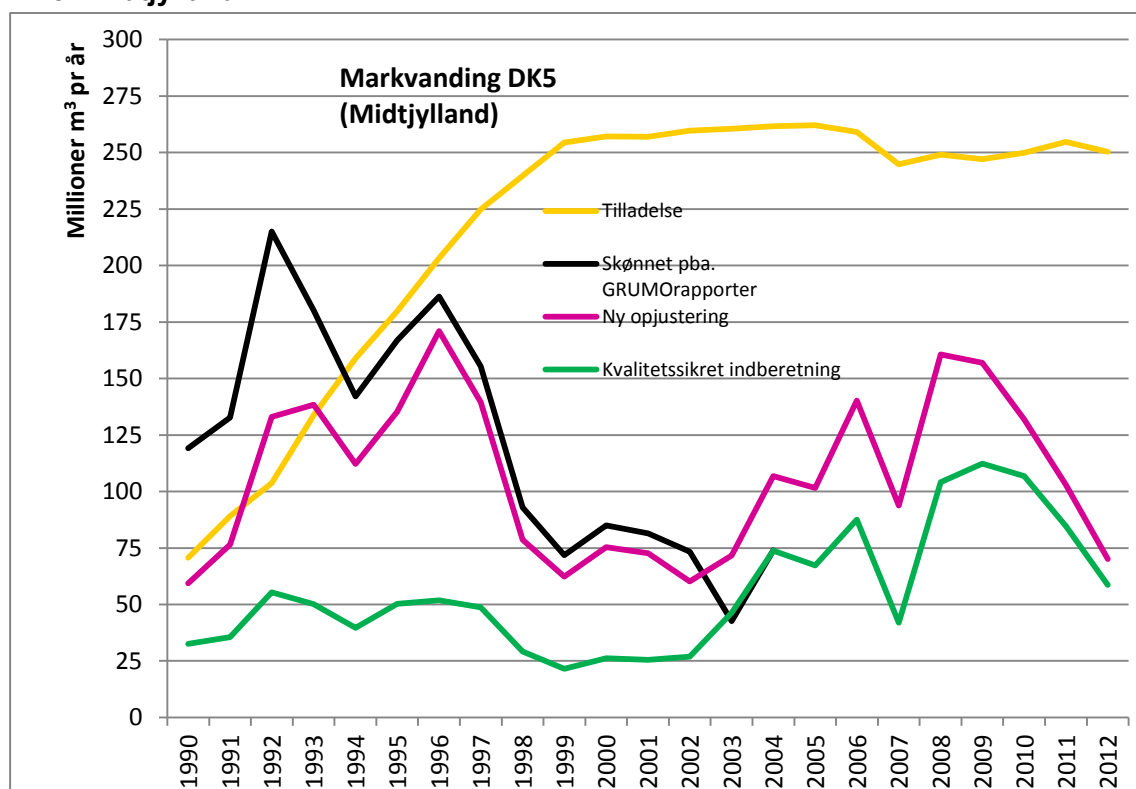
Opjusteringen stemmer fint overens med skøn i grundvandsovervågningsrapporterne i perioden fra 1994 til 2004. Der er dog store forskelle i de første 4 år, fra 1990-1993, hvor opjusterede mængder ligger op til 50% over de skønnede; i 1992 kommer ligger den endda et stykke over den samlede tilladelsesmængde, der i perioden 1999-2012 ligger over 150 mio m<sup>3</sup> pr. år. Dette kan skyldes flere ting, men sandsynlig primært at der mangler en del indberetninger, da der disse år er mange anlæg, der har en tilladelse, men hvorfra der ikke er registreret nogen indberetning. Samtidig ligger udnyttelsesprocenten hos de anlæg, der reelt indberetter og har en tilladelse, ret højt, hvorfor den anvendte procentandel ligger højt med tilsvarende høj opjustering af de registrerede tilladelser uden indberetning.

Dette gør sig især gældende i 1992, hvor Sønderjyllands Amt (der udgør en stor del af DK4) havde en såkaldt 'frit lejde' aktion i forhold til markvanding, idet man bad landmændene om at indberette, hvad der reelt var indvundet til markvanding. Sommeren og vækstsæsonen var særligt tør, og amtet ville gerne have en vurdering af det faktiske markvan-

dingsbehov under disse forhold, og bad derfor om markvandingsindberetninger, også over tilladelsens størrelse, under løfte om ikke at følge op med repressalier. Dette resulterer i en anvendt procentsats i kommunerne i DK4 på over 100%, ofte også over 200%.

Modelkørsler med DK-modellen bekræfter, at vandbehovet var højt i starten af 1990'erne, især i 1992.

#### DK5 - Midtjylland:

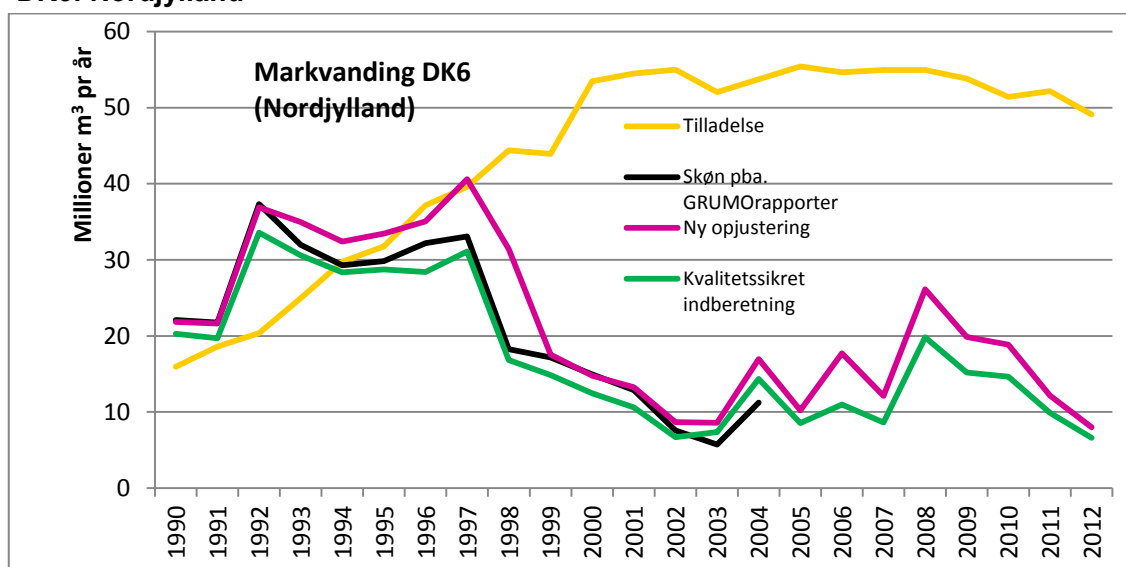


Som i DK4 er der god overensstemmelse mellem kurven for den opjusterede mængde og skønnet fra grundvandsovervågningsrapporterne fra midten af 1990'erne og frem; dog ligger kurven for den opjusterede mængde stort set konstant under den skønnede undtagen i starten af 1990'erne. Det er værd at bemærke, at selv kurven for den opjusterede mængde altid ligger et godt stykke under en samlede tilladelse for perioden 2000 og frem, hvor denne ligger omkring 250 mio m<sup>3</sup> pr. år.

Som det er konstateret under gennemgangen af kommunerne, mangler der data fra flere vestjyske kommuner, hvor der senere er indberettet store markvandingsmængder. Det vurderes derfor, at den forsøgte opjustering ikke er tilstrækkelig, da denne er baseret på størrelsen af den registrerede tilladelse, og denne var, som det ses af den gule kurve, forholdsvis lav i starten af 1990'erne. Amternes vurdering giver derfor et bedre billede af den reelle markvanding i perioden 1990 til ca. 1996 end opjusteringen.



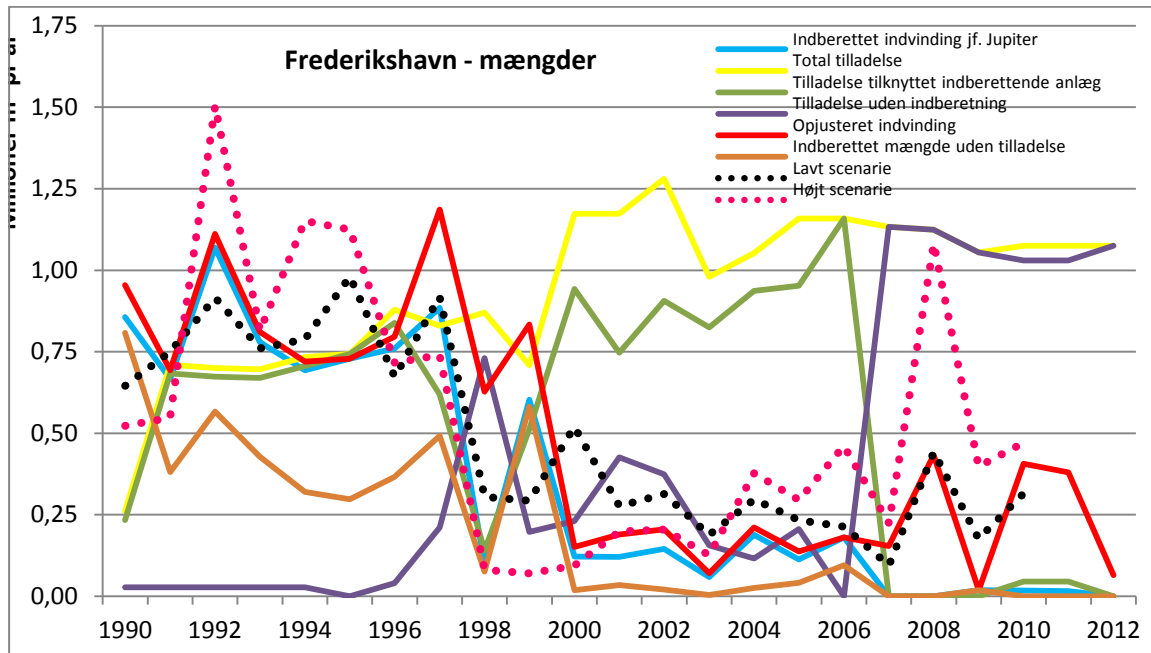
## DK6: Nordjylland



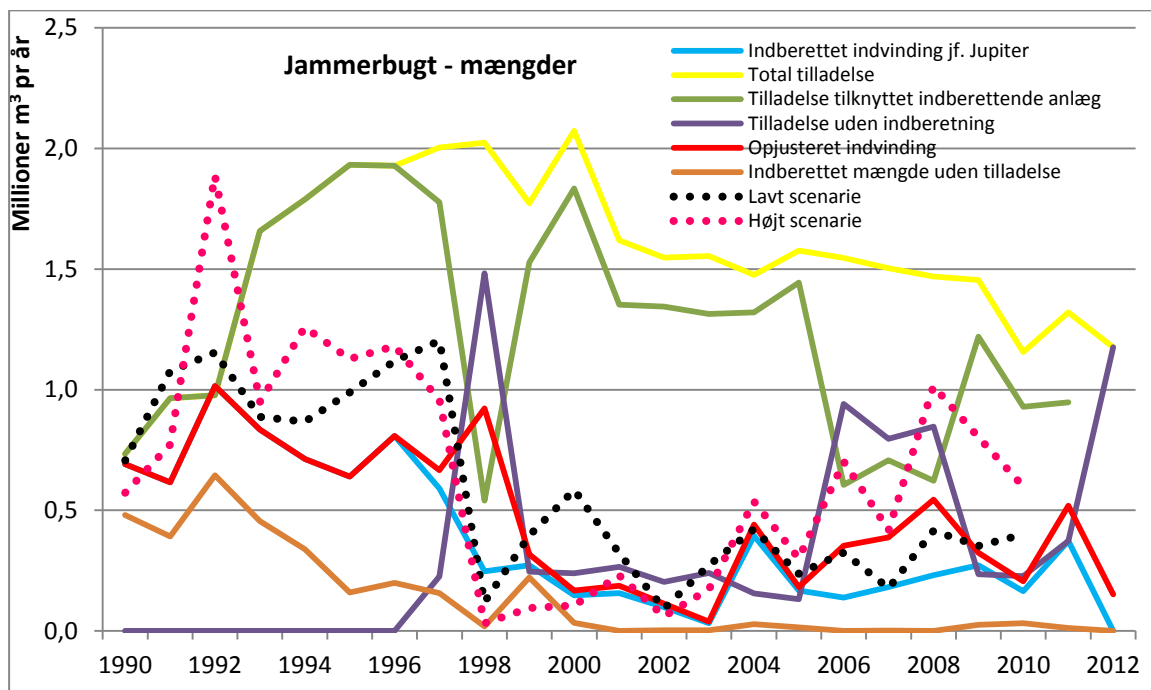
Markvandingen i DK6 er generelt meget lavere end i DK4 og DK5, og den samlede tilladelse fra ca. 2000 og frem ligger da også kun mellem 50 og 60 mio. m<sup>3</sup> pr. år mod 200-250 mio. i de andre to områder. Dette til trods for, at DK6 størrelsesmæssigt (ca. 12.300 km<sup>2</sup>) minder om DK5 (ca. 12.800 km<sup>2</sup>), mens DK4 er lidt mindre (ca. 9.400 km<sup>2</sup>).

I DK6 stemmer kurverne generelt pænt overens. Den opjusterede mængde ligger de fleste år lidt over skønnet fra grundvandsovervågningsrapporterne, men kommer enkelt år en anelse under. Dette afspejler sandsynligvis, at en mindre del af markvandingen reelt hører til i DK5, men er blevet regnet med i DK4 pga. den arealmæssige vægtning af markvandingen. Denne er som regel ikke spredt jævnt i kommunerne, så selvom en kommune arealmæssigt befinder sig 80% i et DK-modelområde, er det ikke nødvendigvis således, at 80% af kommunens samlede markvanding sker i dette modelområde. Dette er der ikke taget hensyn til i denne beregning, idet markvandingen ikke er stedfæstet men blot beregnet på kommuneniveau.

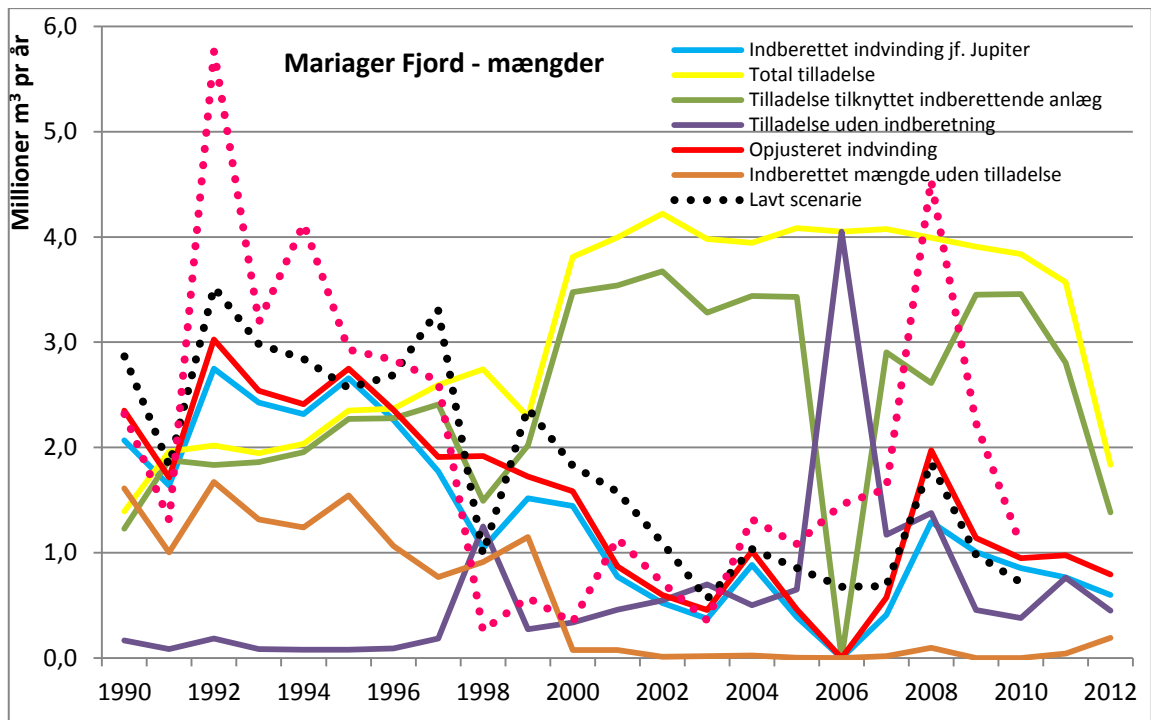
## BILAG 1



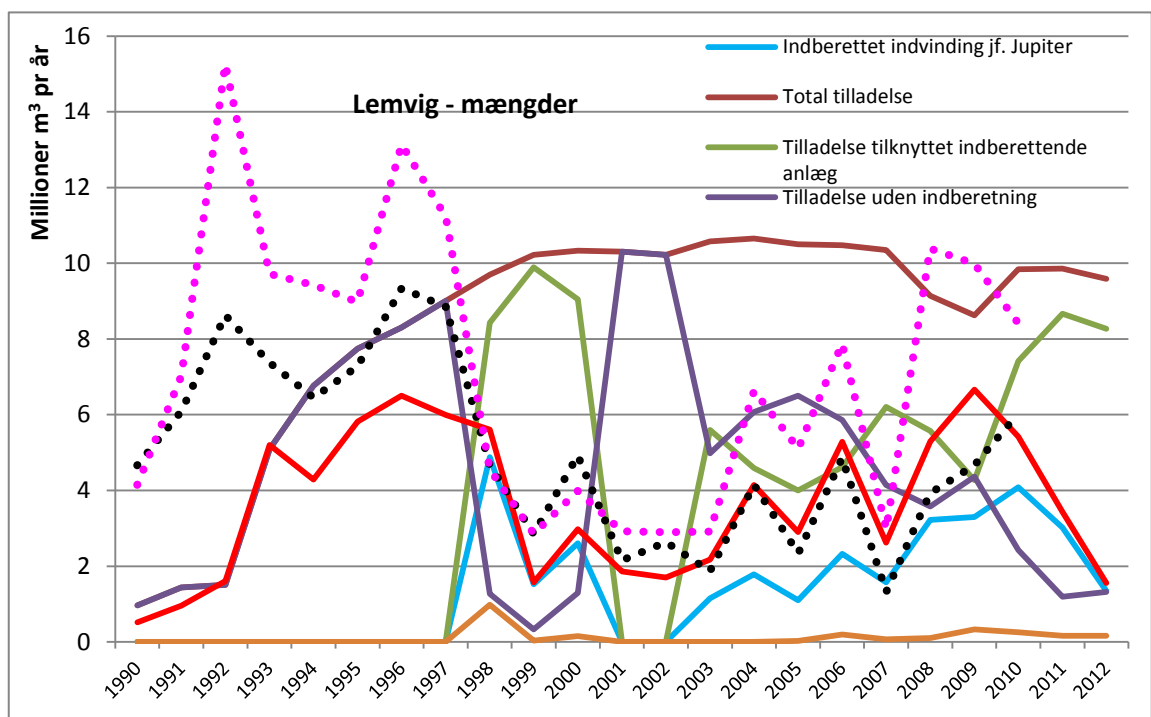
Frederikshavn Kommune: Nye tal (rød kurve) i 2007, 2008 samt 2012.



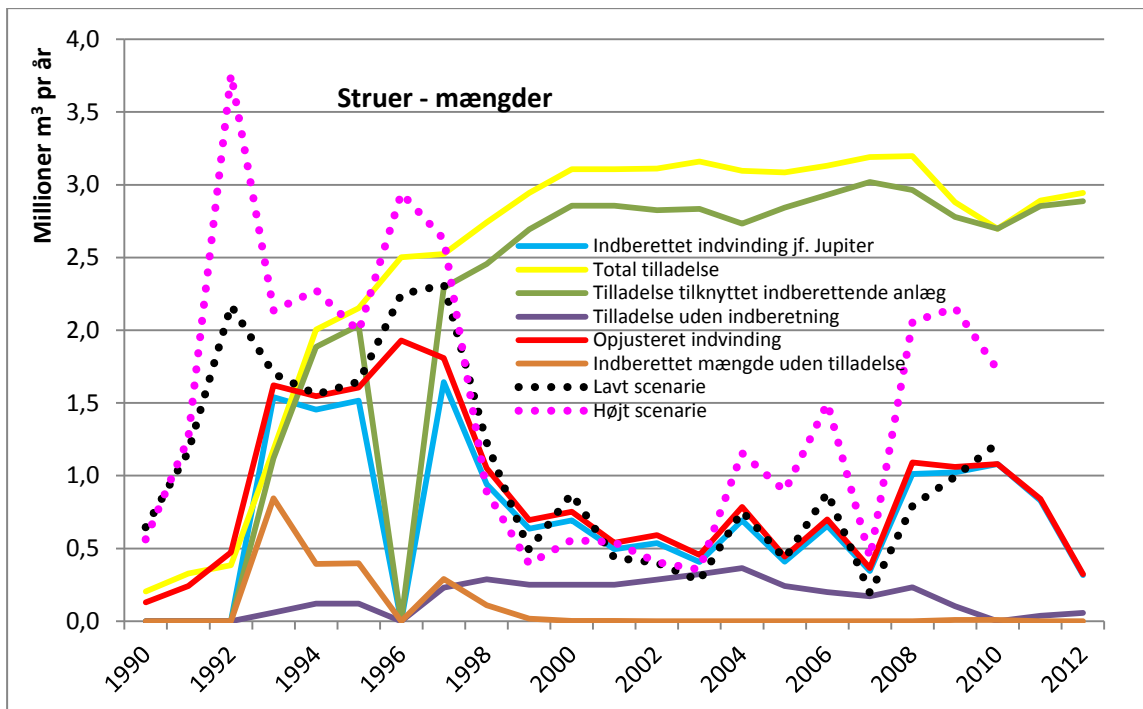
Jammerbugt Kommune: Nyt tal (rød kurve) i 2012



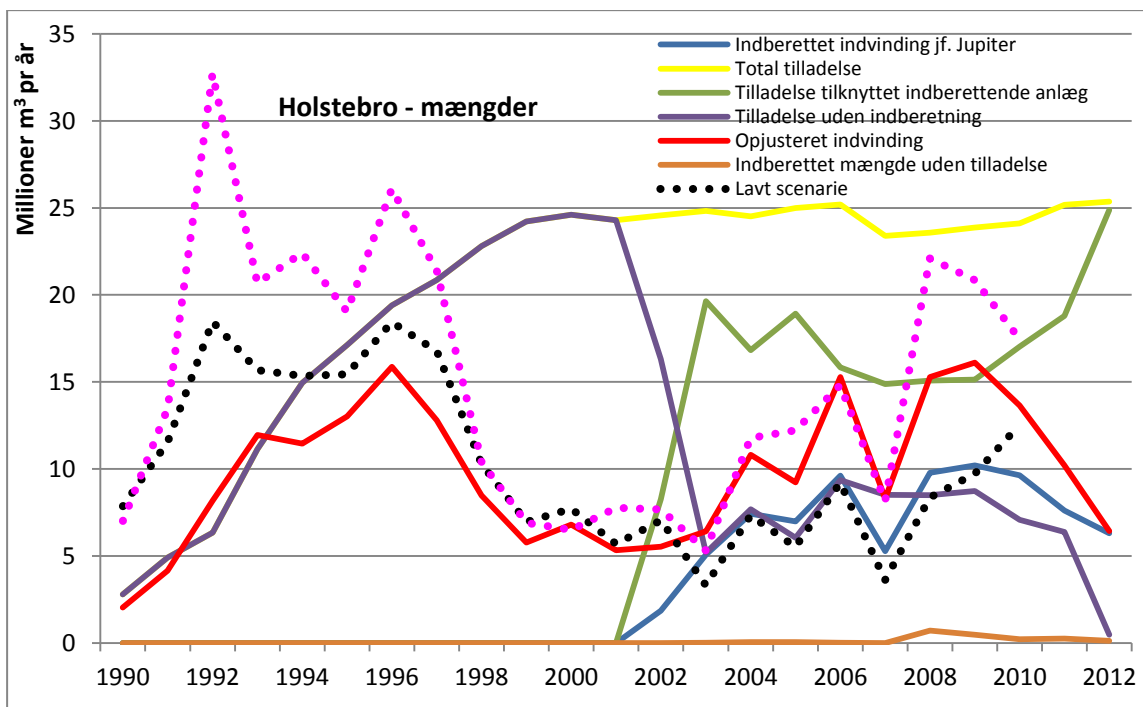
Mariagerfjord Kommune: Nyt tal (rød kurve) for 2006.



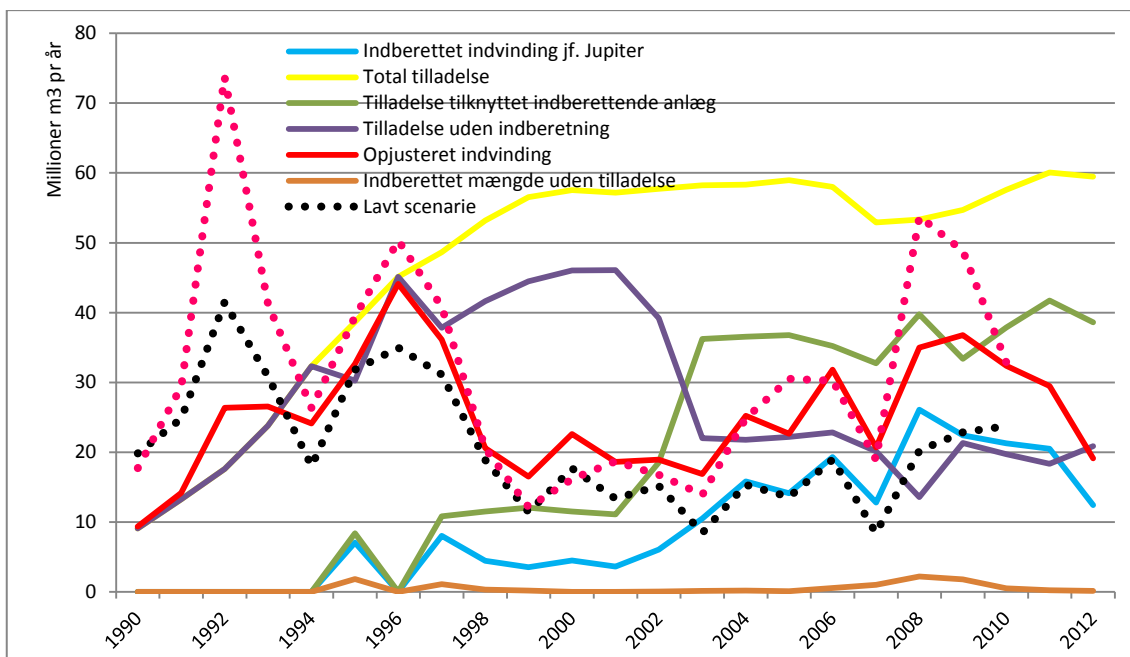
Lemvig Kommune: Nye tal (rød kurve) for 1990-1997, 2000 samt 2001.



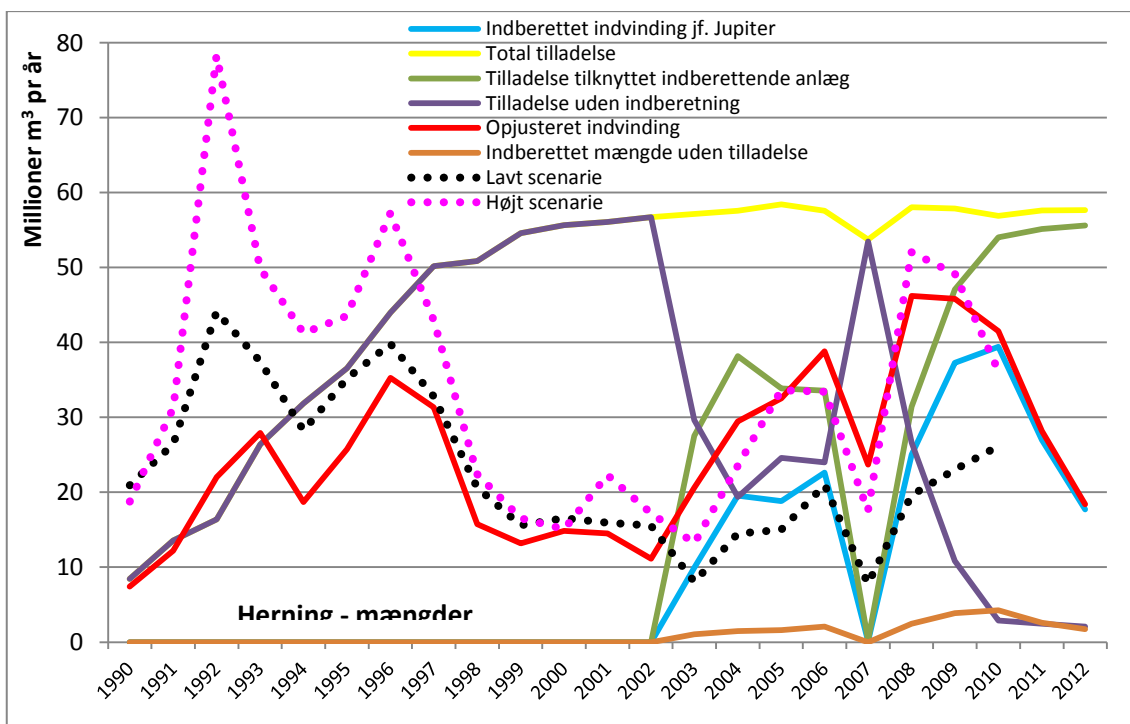
Struer Kommune: Nye tal (rød kurve) for 1990-1992 samt 1996.



Holstebro Kommune: Nye tal (rød kurve) for 1990-2001.



Ringkøbing-Skjern Kommune: Nye tal (rød kurve) for 1990-1994 samt 1996.



Herning Kommune: Nye tal (rød kurve) for 1990-2002.

## BILAG 2

<b>Kommuner delt ml DK6 og DK5</b>					
<b>Kommune</b>	<b>Areal i DK6</b>	<b>Areal i DK5</b>	<b>Sum</b>	<b>% i DK6</b>	<b>% i DK5</b>
Holstebro	123	678	801	15.4	84.6
Lemvig	182	334	516	35.3	64.7
Struer	201	45	246	81.7	18.3
Randers	323	424	747	43.2	56.8
Skive	609	74	683	89.2	10.8
Viborg	718	702	1420	50.6	49.4

<b>Kommuner delt ml DK5 og DK4</b>					
<b>Kommune</b>	<b>Areal i DK4</b>	<b>Areal i DK5</b>	<b>Sum</b>	<b>% i DK4</b>	<b>% i DK5</b>
Billund	340	200	540	63.0	37.0
Varde	987	251	1238	79.7	20.3
Vejle	605	456	1061	57.0	43.0
Hedensted	171	380	551	31.0	69.0

## Appendix B Vandbalance udtræk fra DK model for område 5 Midtjylland

Der er foretaget udtræk af vandbalance data for Midtjylland i mm/år for hele modelområdet dels for en reference kørsel uden markvanding (dvs. i denne NUL indvinding kørsel indgår kun vandindvinding til vandværker mm., mens markvanding er nulstillet). Vandbalancer er udtrukket for de tidsperioder hvor vandbalancen er gemt, som omtrent udgøres af årlige data for perioden 1990-2012, og vist som tabeller af absolutte tal i vandbalancen for UZ og total vandbalance, samt ændringer (nuværende baseline i forhold til NUL markvanding, og 100 % øget markvanding i forhold til baseline altså nuværende indvinding til vandværker og markvanding). Udtræk af vandbalancen for grundvandet er desuden vist som plot af absolutte tal og ændringer af væsentlige vandbalance størrelser såsom grundvandsdannelse, markvandsindvinding, drænastrømning og grundvandsafstrømning til vandløb.

I nedenstående tabel er de markvandingsrelaterede variable kort beskrevet (rodzonen, UZ).

### B.0 Forklaring vedr. rodzone variable (UZ)

Item	Description	gn Convention in the Water balance	in W
uz.qH	Infiltration from ponded water into the UZ matrix	Inflow - negative	yes
uz.qHmp	Infiltration from ponded water into the UZ macropores	Inflow - negative	yes
uz.qEuZ	Direct evaporation from the top UZ node when using the Richards or Gravity flow finite-difference method	Outflow - positive	yes
uz.qTuz	Transpiration from the root zone	Outflow - positive	yes
-uz.qRech	Recharge out of the bottom of the soil column to SZ via the UZ soil matrix. In the MIKE SHE results, recharge is a vertical downward flow (in the negative direction). In the UZ water balance it is an outflow and must be a positive value.	Outflow - positive (Note sign change in water balance)	yes
-uz.qRechMp	Recharge out of the bottom of the soil column to SZ via the UZ macropores. In the MIKE SHE results, recharge is a vertical downward flow (in the negative direction). In the UZ water balance it is an outflow and must be a positive value.	Outflow - positive (Note sign change in water balance)	yes
-uz.qGWFeedBackUZ	Feedback from LR to UZ. This value is only non-zero if the Linear Reservoir groundwater option is used. In this case, the baseflow reservoirs will add water to the UZ as a fraction of the discharge to MIKE 11. In the MIKE SHE results, the feedback to UZ is a positive value. But, in the water balance it is an inflow and must have a negative sign.	Inflow - negative (Note sign change in water balance)	yes
-uz.dUzDef	Change in UZ deficit. The UZ deficit is essentially the amount of air in the profile. It is the opposite of the UZ storage. A decreasing deficit means that the soil is getting wetter, which equals increasing UZ storage. An increasing deficit means that the soil is getting drier, which equals decreasing UZ storage. Internally in MSHE, the value of dUzDef is calculated as a change in storage. The negative sign is added to convert the change in storage to a change in deficit.	Negative for increasing UZ deficit (Note sign change in water balance)	yes, but i
uz.UzSzStorCorr	Water balance correction to account for changing thickness of the UZ zone as the groundwater table rises and falls.	Positive for a falling groundwater Negative for a rising groundwater	yes
uz.uzWblErr	UZ Water balance error	Positive if water generated ( $\Delta$ storage +	

## B.1 Rodzonen: NUL markvands-indvinding (mm/år i gennemsnit for hele modelområdet)

UZ_DETAIL water balance	- incremental	:	1990 1 2	2012 9 3 6 0	Data type:	Storage depth	[millimeter]											
SM CI OL RIV SZ			Sub-catch	100														
Flow Result File : DK5_R201408_New_baseline_Irr000																		
Title : DK5 Oplandsmodel Text : R4, Vandkørsel til oplandsprojektet																		
	qh	qhmp	qeuz	qtuz	qrech	qrechmp	qgwfeedb	qUzExtSin	qUzExtSou	duzdef	uzszstoco	uzwblerr						
1990 1 2 6 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
1990 12 28 6 0	-765,3995	-80,6481	0	397,5287	369,3125	80,64814	0	0	0	-15,6077	18,8013	4,635336						
1991 12 23 6 0	-637,0958	-65,2197	0	384,482	253,7743	65,21969	0	0	0	-35,3412	32,22734	-1,95329						
1992 12 17 6 0	-746,5162	-77,7685	0	367,1922	378,1895	77,76848	0	0	0	32,6874	-31,4732	7,97E-02						
1993 12 12 6 0	-679,1805	-70,5307	0	370,6722	309,5222	70,53071	0	0	0	-1,51857	-0,1864	-0,69109						
1994 12 7 6 0	-837,113	-88,5752	0	383,0667	452,65	88,5752	0	0	0	6,205487	-3,18606	1,623112						
1995 12 2 6 0	-702,9811	-73,0596	0	388,8264	320,0256	73,05962	0	0	0	-54,3174	50,5225	2,076074						
1996 11 26 6 0	-526,7864	-51,7862	0	361,0638	161,4538	51,78617	0	0	0	0,491043	0,524788	-3,25295						
1997 11 21 6 0	-636,2188	-65,001	0	453,9474	187,7856	65,00095	0	0	0	-39,3897	35,30196	1,426556						
1998 11 16 6 0	-852,3182	-91,3421	0	427,1685	418,4368	91,34213	0	0	0	90,26858	-85,5543	-1,99863						
1999 11 11 6 0	-801,7833	-85	0	451,2527	352,0723	85,00001	0	0	0	-29,3748	30,38142	2,548369						
2000 11 5 6 0	-791,2899	-84,0578	0	416,711	374,5749	84,05784	0	0	0	4,251923	-5,95449	-1,70657						
2001 10 31 6 0	-767,689	-80,8929	0	426,2628	341,0036	80,89294	0	0	0	-5,5688	6,876537	0,885072						
2002 10 26 6 0	-808,183	-84,6782	0	454,0392	357,8396	84,67818	0	0	0	-15,0549	10,67512	-0,68404						
2003 10 21 6 0	-627,2207	-63,6924	0	465,4726	191,7524	63,69241	0	0	0	-83,2631	53,89742	0,638601						
2004 10 15 6 0	-793,8292	-84,0617	0	453,7659	322,8463	84,06167	0	0	0	58,66865	-40,7259	0,725638						
2005 10 10 6 0	-705,4042	-73,1541	0	437,1169	299,9847	73,1541	0	0	0	-69,2389	36,74831	-0,79309						
2006 10 5 6 0	-722,2559	-74,9118	0	447,2297	256,2974	74,9118	0	0	0	27,57037	-9,37383	-0,53216						
2007 9 30 6 0	-954,9884	-101,999	0	458,2777	475,8834	101,9993	0	0	0	59,06705	-38,556	-0,31626						
2008 9 24 6 0	-729,6021	-75,3054	0	429,4864	322,3871	75,30535	0	0	0	-39,7597	18,7499	1,261519						
2009 9 19 6 0	-680,8537	-69,1651	0	445,9442	249,7163	69,16506	0	0	0	-34,9996	21,52495	1,332202						
2010 9 14 6 0	-770,5422	-79,8289	0	434,2646	304,471	79,82892	0	0	0	52,83818	-22,5045	-1,47305						
2011 9 9 6 0	-782,9386	-82,3159	0	465,3481	311,8387	82,31589	0	0	0	12,93503	-6,42173	0,761507						
2012 9 3 6 0	-745,9242	-79,1654	0	492,762	278,5376	79,16541	0	0	0	-46,9257	20,44772	-1,10257						



## B.2 Rodzonen: Baseline kørsel (nuværende markvanding: mm/år for hele modelområdet)

UZ_DETAIL wat	- increm	1990 1 2	2012 9 3 6 0	Data type	Storage depth	[millimeter]						
SM CI OL RIV SZ	Sub-catch	100										
Flow Result File : DK5_R201408_New_baseline_Irr100												
Title : DK5 Oplandsmodel Text : R4, Vandkørsel til oplandsprojektet												
	qh	qhmp	qeuz	qtuz	qrech	qrechmp	qgwfeedb	qUzExtSin	qUzExtSou	dudzdef	uzszstocoi	uzwblerr
1990 1 2 6 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990 12 28 6 0	-773,755	-81,8834	0	404,2442	370,9618	81,88338	0	0	0	-16,2773	19,48103	4,654362
1991 12 23 6 0	-645,548	-66,3996	0	391,7784	254,9534	66,39961	0	0	0	-36,0645	32,92359	-1,95699
1992 12 17 6 0	-771,069	-80,488	0	386,5868	383,3431	80,488	0	0	0	31,58694	-30,3238	0,124291
1993 12 12 6 0	-696,297	-72,6247	0	384,3829	311,7011	72,6247	0	0	0	-1,8382	0,835753	-1,21488
1994 12 7 6 0	-850,092	-90,2087	0	392,6226	457,3204	90,2087	0	0	0	6,680074	-4,40082	2,130262
1995 12 2 6 0	-714,698	-74,4838	0	398,057	322,6112	74,48381	0	0	0	-54,6621	50,82406	2,132032
1996 11 26 6 0	-544,947	-54,1035	0	375,4608	165,0679	54,1035	0	0	0	-0,44524	1,534676	-3,32917
1997 11 21 6 0	-645,967	-66,2647	0	461,9572	189,6112	66,2647	0	0	0	-38,833	34,66199	1,430083
1998 11 16 6 0	-859,285	-92,226	0	431,1186	421,4185	92,22604	0	0	0	91,6	-86,7791	-1,92684
1999 11 11 6 0	-807,391	-85,7617	0	454,9645	353,959	85,76166	0	0	0	-29,0539	29,99809	2,476532
2000 11 5 6 0	-797,22	-84,9498	0	420,6838	376,5376	84,94977	0	0	0	4,344055	-6,03217	-1,68633
2001 10 31 6 0	-774,813	-81,8806	0	431,6504	342,7513	81,8806	0	0	0	-5,74173	7,021076	0,868055
2002 10 26 6 0	-812,964	-85,3146	0	456,6975	359,9211	85,3146	0	0	0	-14,5197	10,1533	-0,71174
2003 10 21 6 0	-631,223	-64,2507	0	468,6124	192,4204	64,25066	0	0	0	-83,353	54,18143	0,638185
2004 10 15 6 0	-802,744	-85,2597	0	460,1737	325,562	85,25969	0	0	0	58,27118	-40,5163	0,746351
2005 10 10 6 0	-713,819	-74,2611	0	443,2544	301,8677	74,2611	0	0	0	-69,1993	37,11753	-0,77838
2006 10 5 6 0	-732,22	-76,1807	0	454,4604	259,295	76,18069	0	0	0	27,18859	-9,26766	-0,54319
2007 9 30 6 0	-963,388	-103,122	0	463,3417	479,2949	103,1219	0	0	0	59,65994	-39,2261	-0,31791
2008 9 24 6 0	-747,327	-77,51	0	444,5219	325,184	77,51	0	0	0	-41,6866	20,63247	1,325212
2009 9 19 6 0	-695,561	-71,0721	0	457,8799	252,0151	71,07207	0	0	0	-35,3709	22,17902	1,142015
2010 9 14 6 0	-780,729	-81,2005	0	441,7846	307,625	81,20045	0	0	0	53,53091	-23,4423	-1,23085
2011 9 9 6 0	-789,927	-83,318	0	470,8862	313,2869	83,31801	0	0	0	13,4497	-7,0121	0,683836
2012 9 3 6 0	-749,56	-79,6624	0	494,7623	280,0498	79,66244	0	0	0	-45,853	19,44266	-1,15808

## B.3 Rodzonen: Scenariet kørsel markvanding øget 100 % (mm/år for hele modelområdet)

UZ_DETAIL wat	- increm	1990 1 2	2012 9 3 6 0	Data type	Storage depth	[millimeter]						
SM CI OL RIV SZ	Sub-catch	100										
Flow Result File : DK5_R201408_New_baseline_Irr200												
Title : DK5 Oplandsmodel Text : R4, Vandkørsel til oplandsprojektet												
	qh	qhmp	qeuz	qtuz	qrech	qrechmp	qgwfeedb	qUzExtSin	qUzExtSou	dudzdef	uzszstocoi	uzwblerr
1990 1 2 6 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990 12 28 6 0	-775,465	-82,0631	0	404,8269	372,1469	82,0631	0	0	0	-16,6996	19,86391	4,672923
1991 12 23 6 0	-646,679	-66,5184	0	392,1581	255,701	66,51844	0	0	0	-36,7889	33,62134	-1,98736
1992 12 17 6 0	-774,58	-80,8677	0	387,3857	386,0899	80,86773	0	0	0	29,34234	-28,022	0,216467
1993 12 12 6 0	-698,676	-72,8673	0	385,1079	313,4143	72,86729	0	0	0	-2,22066	1,185055	-1,18951
1994 12 7 6 0	-854,24	-90,5745	0	393,1069	460,8831	90,57448	0	0	0	8,184376	-5,92335	2,010722
1995 12 2 6 0	-717,006	-74,72	0	398,6319	324,5135	74,71996	0	0	0	-55,3397	51,39669	2,196554
1996 11 26 6 0	-546,605	-54,2899	0	376,2188	165,8979	54,28986	0	0	0	-2,70395	3,979774	-3,212
1997 11 21 6 0	-647,283	-66,3929	0	462,5102	190,3953	66,39285	0	0	0	-37,3524	32,99236	1,261904
1998 11 16 6 0	-861,896	-92,5185	0	431,8568	423,2199	92,51848	0	0	0	93,56225	-88,6483	-1,90542
1999 11 11 6 0	-808,871	-85,9179	0	455,5193	354,895	85,91785	0	0	0	-28,2766	29,20874	2,475101
2000 11 5 6 0	-798,921	-85,1515	0	421,0933	377,8042	85,1515	0	0	0	4,534325	-6,17696	-1,66632
2001 10 31 6 0	-776,236	-82,0369	0	432,095	343,7549	82,0369	0	0	0	-6,01333	7,229374	0,829598
2002 10 26 6 0	-814,449	-85,4624	0	457,1229	360,9197	85,4624	0	0	0	-13,7142	9,405619	-0,71447
2003 10 21 6 0	-631,609	-64,2901	0	468,8369	192,6224	64,2901	0	0	0	83,5138	54,29455	0,6313
2004 10 15 6 0	-803,751	-85,3732	0	460,6773	326,1785	85,37317	0	0	0	57,10159	-39,4488	0,757325
2005 10 10 6 0	-715,237	-74,4061	0	443,6899	302,7963	74,40614	0	0	0	-69,494	37,44874	-0,79607
2006 10 5 6 0	-733,064	-76,2645	0	454,8976	259,7228	76,26447	0	0	0	26,53881	-8,63197	-0,5365
2007 9 30 6 0	-966,859	-103,479	0	463,9641	482,0511	103,4792	0	0	0	61,2514	-40,7214	-0,31359
UZ_DETAIL wat	- increm	1991 1 2	2013 9 3 6 0	Data type	Storage depth	[millimeter]						
SM CI OL RIV SZ	Sub-catch	101										1,336433
Flow Result File : DK5_R201408_New_baseline_Irr201												
Title : DK5 Oplandsmodel Text : R4, Vandkørsel til oplandsprojektet												
	qh	qhmp	qeuz	qtuz	qrech	qrechmp	qgwfeedb	qUzExtSin	qUzExtSou	dudzdef	uzszstocoi	uzwblerr
												-1,2369

## B.4 Total vandbalance: NUL markvands-indvinding (mm/år i gennemsnit for hele modelområdet)

TOTAL water balance	- increment	1990 1 2	2012 9 3	Storage depth	[millimeter]													
SM CI OL RIV SZ		100																
Flow Result File : DK5_R201408_New_baseline_Irr000																		
Title : DK5 Oplandsmodel Text : R4, Vandkørsel til oplandsprojektet																		
	Precip	Evapotran	OL Stor.Cf	OL Bou.Outflow	OL->River	SubSurf.S	SubSurf.B	SubSurf.B	SubSurf->	Pumping	Drain->Riv	Drain Out	Baseflow	Baseflow	Error			
1990 1 2 6 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1990 12 28 6 0	-971,6	463,9	-2,9	0,3	68,9	4,7	-1,7	15,4	0,0	10,6	223,4	9,1	186,0	-1,1	5,0			
1991 12 23 6 0	-772,9	437,5	-0,9	0,1	45,5	-63,1	-1,8	13,8	0,0	9,3	152,9	6,3	172,8	-0,9	-1,5			
1992 12 17 6 0	-906,2	434,7	2,2	0,1	49,0	47,6	-1,8	14,5	0,0	9,5	173,4	7,3	171,1	-1,0	0,5			
1993 12 12 6 0	-824,4	425,7	0,5	0,1	46,9	-8,5	-1,8	14,0	0,0	10,4	159,7	7,2	170,8	-1,0	-0,2			
1994 12 7 6 0	-1088,4	458,2	-1,1	0,3	79,8	56,3	-1,6	16,6	0,0	9,4	266,0	12,6	195,3	-1,1	2,2			
1995 12 2 6 0	-895,1	457,5	-1,5	0,2	65,3	-67,7	-1,8	15,7	0,0	9,7	220,9	9,3	191,3	-1,1	2,6			
1996 11 26 6 0	-615,9	402,5	1,1	0,0	28,6	-69,4	-2,0	11,8	0,0	9,4	80,7	3,8	147,2	-0,9	-2,8			
1997 11 21 6 0	-747,6	502,5	-1,8	0,0	31,3	-78,1	-1,9	12,8	0,0	9,5	116,8	5,4	153,7	-0,9	1,9			
1998 11 16 6 0	-1039,6	482,8	5,1	0,2	51,8	138,4	-1,5	14,4	0,0	9,1	169,4	7,7	161,6	-0,9	-1,6			
1999 11 11 6 0	-972,1	512,2	-3,4	0,1	50,3	-13,0	-1,6	15,8	0,0	9,1	215,9	10,1	180,7	-1,0	3,1			
2000 11 5 6 0	-991,1	476,3	2,3	0,3	64,4	20,7	-1,6	15,4	0,0	9,1	212,0	8,7	183,3	-1,0	-1,3			
2001 10 31 6 0	-942,3	482,6	-1,4	0,2	55,5	-4,1	-1,6	15,9	0,0	8,9	198,3	9,3	180,9	-1,0	1,3			
2002 10 26 6 0	-1023,6	522,9	-0,3	0,2	67,8	-1,0	-1,7	15,5	0,0	8,8	215,3	9,4	187,3	-1,0	-0,3			
2003 10 21 6 0	-736,2	512,7	-1,1	0,0	34,0	-134,7	-1,8	13,9	0,0	8,8	133,7	6,4	166,3	-0,9	1,0			
2004 10 15 6 0	-951,6	507,6	0,8	0,1	44,4	60,4	-1,7	14,6	0,0	8,9	148,3	7,1	163,2	-0,9	1,1			
2005 10 10 6 0	-855,0	492,3	-0,6	0,1	45,8	-73,0	-1,8	14,5	0,0	8,9	186,2	7,9	175,1	-1,0	-0,4			
2006 10 5 6 0	-847,7	499,5	0,2	0,0	34,0	4,9	-1,8	13,2	0,0	8,3	125,8	6,0	158,1	-0,9	-0,2			
2007 9 30 6 0	-1254,0	534,0	1,7	0,6	104,0	128,7	-1,6	17,0	0,0	7,5	259,3	11,4	192,8	-1,1	0,2			
2008 9 24 6 0	-887,1	497,7	-0,9	0,1	50,6	-49,9	-1,8	14,7	0,0	8,4	184,1	7,3	179,5	-1,0	1,6			
2009 9 19 6 0	-814,9	502,7	-0,2	0,1	42,6	-68,8	-1,8	14,5	0,0	8,5	145,5	6,1	168,4	-0,9	1,7			
2010 9 14 6 0	-921,0	484,8	0,7	0,1	44,6	46,2	-1,8	14,2	0,0	8,7	151,4	7,3	164,7	-0,9	-1,0			
2011 9 9 6 0	-937,9	518,9	0,6	0,1	46,0	13,8	-1,7	14,1	0,0	8,9	164,3	7,3	167,7	-0,9	1,2			
2012 9 3 6 0	-903,0	547,8	-0,6	0,2	45,5	-55,1	-1,6	13,8	0,0	8,8	168,5	6,7	169,4	-0,9	-0,7			

## B.5 Total vandbalance: Baseline kørsel (nuværende markvanding - mm/år for hele modelområdet)

TOTAL water balance	- increment	1990 1 2	2012 9 3	Storage depth	[millimeter]												
SM CI OL RIV SZ		Sub-100															
Flow Result File : DK5_R201408_New_baseline_Irr100																	
Title : DK5 Oplandsmodel Text : R4, Vandkørsel til oplandsprojektet																	
	Precip	Canv Evapotran	OL Stor.Cf	OL Bou.Outflow	OL->River	SubSurf.S	SubSurf.B	SubSurf.B	Pumping	Drain->Riv	Drain Out	Baseflow	Baseflow	Error			
1990 1 2 6 0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1990 12 28 6 0	-980,7	0,0	470,2	-2,9	0,3	68,4	1,0	-1,7	15,3	19,7	222,0	9,1	185,4	-1,1	5,0		
1991 12 23 6 0	-782,2	0,0	444,4	-0,9	0,1	44,4	-65,7	-1,8	13,7	18,6	150,9	6,3	171,7	-0,9	-1,6		
1992 12 17 6 0	-932,3	0,0	453,2	2,1	0,1	46,2	39,5	-1,8	14,3	35,6	168,8	7,2	168,6	-1,0	0,5		
1993 12 12 6 0	-842,8	0,0	438,6	0,5	0,1	44,2	-11,0	-1,7	13,9	28,8	154,7	7,2	167,8	-1,0	-0,8		
1994 12 7 6 0	-1100,7	-0,1	466,8	-1,0	0,3	76,6	58,4	-1,6	16,5	21,7	261,6	12,6	192,8	-1,1	2,7		
1995 12 2 6 0	-907,1	0,0	466,0	-1,5	0,2	63,0	-68,0	-1,8	15,6	21,7	217,4	9,3	189,0	-1,1	2,6		
1996 11 26 6 0	-636,1	0,0	416,4	1,0	0,0	26,7	-74,5	-2,0	11,6	29,6	77,2	3,8	144,2	-0,9	-2,9		
1997 11 21 6 0	-757,8	0,0	509,7	-1,7	0,0	29,5	-76,4	-1,9	12,7	19,7	112,5	5,4	150,9	-0,9	1,9		
1998 11 16 6 0	-1046,2	0,0	486,4	5,1	0,2	49,6	143,1	-1,5	14,3	15,8	165,9	7,7	159,3	-0,9	-1,6		
1999 11 11 6 0	-977,6	0,0	515,4	-3,4	0,1	48,9	-10,8	-1,6	15,7	14,6	213,4	10,0	179,1	-1,0	2,9		
2000 11 5 6 0	-996,6	0,0	479,8	2,3	0,3	63,0	22,2	-1,6	15,3	14,6	210,0	8,6	181,9	-1,0	-1,3		
2001 10 31 6 0	-949,7	0,0	487,6	-1,4	0,2	54,1	-4,3	-1,6	15,9	16,3	196,2	9,3	179,6	-1,0	1,3		
2002 10 26 6 0	-1028,1	0,0	525,1	-0,3	0,2	66,5	1,1	-1,7	15,5	13,2	213,5	9,4	186,1	-1,0	-0,3		
2003 10 21 6 0	-740,6	0,0	515,6	-1,1	0,0	33,3	-134,8	-1,8	13,8	13,2	132,5	6,4	165,3	-0,9	1,0		
2004 10 15 6 0	-961,3	0,0	513,7	0,8	0,1	43,3	58,8	-1,7	14,5	18,6	146,4	7,0	161,9	-0,9	1,2		
2005 10 10 6 0	-863,9	0,0	498,0	-0,5	0,1	44,5	-73,7	-1,8	14,4	17,8	184,1	7,9	173,7	-1,0	-0,4		
2006 10 5 6 0	-858,6	0,0	506,3	0,2	0,0	32,9	3,4	-1,8	13,1	19,3	123,4	6,0	156,5	-0,9	-0,2		
2007 9 30 6 0	-1261,7	0,0	538,4	1,7	0,6	101,5	130,8	-1,6	17,0	15,1	256,8	11,3	191,3	-1,1	0,1		
2008 9 24 6 0	-906,9	0,0	511,7	-0,9	0,1	48,9	-56,9	-1,8	14,5	28,1	181,1	7,2	177,5	-1,0	1,6		
2009 9 19 6 0	-831,1	0,0	514,4	-0,2	0,1	40,2	-71,3	-1,8	14,3	24,7	141,3	6,1	165,8	-0,9	1,4		
2010 9 14 6 0	-931,1	0,0	491,6	0,7	0,1	42,4	48,9	-1,8	14,1	18,8	147,2	7,2	162,2	-0,9	-0,8		
2011 9 9 6 0	-944,7	0,0	523,7	0,6	0,1	44,2	16,3	-1,7	14,0	15,7	161,0	7,3	165,5	-0,9	1,0		
2012 9 3 6 0	-906,7	0,0	549,8	-0,6	0,2	44,1	-51,7	-1,6	13,7	12,5	166,0	6,7	167,8	-0,9	-0,7		

## B.6 Total vandbalance: Scenarietørsel øget markvanding (markvanding øget 100 % - mm/år for hele modelområdet)

TOTAL water balance - increment :		1990	1	2	6	2012	9	3	6	0	Storage depth	[millimeter]		
SM CI OL RIV SZ	Sub-catch	100												
Flow Result File : DK5_R201408_New_baseline_Irr200														
Title : DK5 Oplandsmodel Text : R4, Vandkørsel til oplandsprojektet														
	Precip	Canoe Evapotrans	OL.Stor.Ch	OL.Bou.Outflow	OL->River	SubSurf.Stor	SubSurf.Bou.Inflow	SubSurf.Bou.Outflow	Pumping	Drain->River	Drain Outflow	Baseflow to river	Baseflow from riv	Error
1990 1 2 6 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990 12 28 6 0	0,0	469,9	-2,9	0,3	66,3	0,2	-1,7	15,2	28,9	218,4	9,1	183,3	-1,1	5,0
1991 12 23 6 0	-782,2	0,0	443,9	-0,9	0,1	42,6	-67,0	-1,8	13,6	27,9	147,5	6,2	169,4	-0,9
1992 12 17 6 0	-932,3	0,0	452,2	1,9	0,1	42,6	29,4	-1,8	14,1	61,7	161,7	7,2	164,8	-1,0
1993 12 12 6 0	-842,8	0,0	437,7	0,5	0,1	40,8	-13,1	-1,8	13,7	47,2	147,5	7,1	163,3	-1,0
1994 12 7 6 0	-1100,7	-0,1	466,0	-1,0	0,3	72,0	62,4	-1,6	16,3	33,9	254,4	12,5	189,0	-1,1
1995 12 2 6 0	-907,1	0,0	465,2	-1,4	0,2	59,9	-67,9	-1,8	15,4	33,7	212,5	9,3	185,7	-1,1
1996 11 26 6 0	-636,1	0,0	415,6	0,8	0,0	24,6	-82,2	-2,0	11,5	49,8	72,3	3,7	140,1	-0,9
1997 11 21 6 0	-757,8	0,0	509,0	-1,5	0,0	27,3	-73,3	-1,9	12,5	30,0	106,1	5,3	146,8	-0,9
1998 11 16 6 0	-1046,2	0,0	486,0	5,0	0,2	46,6	149,5	-1,5	14,2	22,4	159,9	7,6	155,8	-0,9
1999 11 11 6 0	-977,6	0,0	515,0	-3,3	0,1	46,8	-7,1	-1,6	15,6	20,0	209,4	10,0	176,5	-1,0
2000 11 5 6 0	-996,6	0,0	479,5	2,3	0,3	60,9	24,7	-1,6	15,2	20,0	206,8	8,6	179,7	-1,0
2001 10 31 6 0	-949,7	0,0	487,3	-1,4	0,2	52,3	-4,3	-1,6	15,8	23,7	192,9	9,3	177,7	-1,0
2002 10 26 6 0	-1028,1	0,0	524,8	-0,2	0,2	64,7	4,0	-1,7	15,4	17,7	210,3	9,4	184,2	-1,0
2003 10 21 6 0	-740,6	0,0	515,4	-1,1	0,0	32,5	-134,6	-1,8	13,8	17,5	130,6	6,4	163,8	-0,9
2004 10 15 6 0	-961,3	0,0	513,3	0,8	0,1	41,8	55,9	-1,7	14,4	28,3	143,4	7,0	160,1	-0,9
2005 10 10 6 0	-863,9	0,0	497,6	-0,5	0,1	42,8	-74,7	-1,8	14,3	26,7	180,5	7,9	171,6	-1,0
2006 10 5 6 0	-858,6	0,0	505,8	0,2	0,0	31,4	0,8	-1,8	13,0	30,2	119,6	6,0	154,1	-0,9
2007 9 30 6 0	-1261,7	0,0	538,0	1,7	0,6	97,8	134,6	-1,6	16,9	22,7	252,0	11,3	189,0	-1,1
2008 9 24 6 0	-906,9	0,0	510,9	-0,9	0,1	46,8	-66,6	-1,9	14,4	47,8	177,0	7,2	174,7	-1,0
2009 9 19 6 0	-831,1	0,0	513,6	-0,2	0,1	37,2	-73,4	-1,8	14,2	40,8	135,2	6,0	162,3	-0,9
2010 9 14 6 0	-931,1	0,0	490,9	0,6	0,1	39,6	51,5	-1,8	13,9	28,9	141,2	7,2	158,7	-0,9
2011 9 9 6 0	-944,7	0,0	523,3	0,6	0,1	41,8	20,5	-1,7	13,9	22,5	156,1	7,2	162,5	-0,9
2012 9 3 6 0	-906,7	0,0	549,6	-0,5	0,2	42,4	-47,5	-1,6	13,7	16,2	162,2	6,6	165,6	-0,9

## B.7 – SZ vandbalance NUL markvanding (mm/år hele modelområdet)

SZ water balance - increment :		1990	1	2	2012	9	3	6	0	Data type	Storage depth	[millimeter]	
SM CI OL RIV SZ	Sub-catch	100											
Flow Result File : DK5_R201408_New_baseline_Irr000													
Title : DK5 Oplandsmodel Text : R4, Vandkørsel til oplandsprojektet													
	Recharge	Hor.Bou.Ir	Hor.Bou.CS	Stor.Ch	Pumping	Drain	SZ->River	SZ->Flood	Ext.Sinks	Error			
1990 1 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1990 12 28	-442,722	-1,66587	15,35894	1,464684	10,56843	232,4896	184,9554	0	0	0,449486			
1991 12 23	-291,867	-1,77269	13,75519	-59,9786	9,262121	159,1547	171,9077	0	0	0,46195			
1992 12 17	-418,922	-1,78936	14,45526	46,35646	9,538043	180,7023	170,1237	0	0	0,464117			
1993 12 12	-352,179	-1,75194	14,03704	-6,76152	10,36556	166,89	169,8468	0	0	0,446606			
1994 12 7	-549,901	-1,60461	16,59221	53,32228	9,39169	278,5549	194,1722	0	0	0,52765			
1995 12 2	-379,549	-1,83817	15,70461	-63,9369	9,681512	230,243	190,1756	0	0	0,480989			
1996 11 26	-179,33	-1,96786	11,82963	-70,4177	9,42809	84,52878	146,3679	0	0	0,438665			
1997 11 21	-221,031	-1,86434	12,84274	-74,0072	9,486694	122,1749	152,8258	0	0	0,427153			
1998 11 16	-493,095	-1,54724	14,4279	133,6801	9,119459	177,1597	160,6372	0	0	0,381832			
1999 11 11	-414,437	-1,60221	15,76686	-14,0202	9,137274	225,918	179,7371	0	0	0,499601			
2000 11 5	-447,78	-1,63284	15,36615	22,42556	9,098633	220,6879	182,2656	0	0	0,431368			
2001 10 31	-405,032	-1,60864	15,9389	-5,41449	8,913982	207,634	179,9684	0	0	0,400068			
2002 10 26	-436,574	-1,68481	15,54241	3,377011	8,780531	224,7319	186,2516	0	0	0,424232			
2003 10 21	-220,646	-1,77151	13,87754	-105,328	8,776783	140,1175	165,3573	0	0	0,384445			
2004 10 15	-381,517	-1,70701	14,59913	42,46296	8,947076	155,3341	162,2991	0	0	0,41856			
2005 10 10	-349,075	-1,75806	14,49702	-40,4673	8,944432	194,1526	174,0949	0	0	0,388668			
2006 10 5	-295,177	-1,76297	13,22146	-13,2609	8,33952	131,8503	157,1642	0	0	0,374988			
2007 9 30	-592,92	-1,63925	17,03275	108,1647	7,488301	270,6962	191,6936	0	0	0,516231			
2008 9 24	-361,897	-1,83927	14,66989	-28,8633	8,368074	191,3292	178,5257	0	0	0,293739			
2009 9 19	-284,569	-1,81768	14,48962	-55,3296	8,481368	151,5525	167,5073	0	0	0,314568			
2010 9 14	-359,004	-1,76087	14,20407	15,86274	8,696206	158,6314	163,7884	0	0	0,418286			
2011 9 9	-366,519	-1,72966	14,13164	7,250352	8,869555	171,6235	166,7613	0	0	0,387492			
2012 9 3	-335,588	-1,62444	13,80833	-28,6558	8,811215	175,1532	168,4961	0	0	0,400926			

### B.8 – SZ vandbalance Baseline (mm/år hele modelområdet)

SZ water balance	- increm	:	1990 1 2	2012 9 3 6 0	Data type	Storage depth	[millimeter]				
SM CI OL RIV SZ		Sub-catchm	100								
Flow Result File : DK5_R201408_New_baseline_Irr100											
Title : DK5 Oplandsmodel Text : R4, Vandkørsel til oplandsprojektet											
	Recharge	Hor.Bou.Irr	Hor.Bou.C	SZ Stor.Ch	Pumping	Drain	SZ->River	SZ->Flood	Ext.Sinks	Error	
1990 1 2 6 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990 12 28 6 0	-446,2012	-1,662005	15,29404	-2,15507	19,71975	231,1095	184,3217	0	0	0,426714	
1991 12 23 6 0	-295,3863	-1,76914	13,66863	-62,5829	18,5668	157,1598	170,7351	0	0	0,391889	
1992 12 17 6 0	-429,5764	-1,787117	14,25263	38,26961	35,63709	176,03	167,592	0	0	0,417804	
1993 12 12 6 0	-359,2154	-1,74353	13,85632	-9,97109	28,78864	161,8797	166,8112	0	0	0,405892	
1994 12 7 6 0	-557,9333	-1,593908	16,46579	56,12634	21,68036	274,1347	191,6385	0	0	0,518607	
1995 12 2 6 0	-385,4607	-1,830186	15,57943	-64,1645	21,71344	226,7365	187,8837	0	0	0,457682	
1996 11 26 6 0	-187,548	-1,968187	11,63503	-75,6047	29,62637	80,92717	143,3369	0	0	0,404534	
1997 11 21 6 0	-225,8579	-1,858982	12,69025	-72,1835	19,74963	117,8617	150,0177	0	0	0,418817	
1998 11 16 6 0	-498,3556	-1,538606	14,32384	138,2745	15,75077	173,5632	158,3247	0	0	0,342758	
1999 11 11 6 0	-418,0995	-1,596087	15,71252	-11,7264	14,57556	223,4778	178,1147	0	0	0,458666	
2000 11 5 6 0	-451,2508	-1,62763	15,30054	23,8981	14,56129	218,6889	180,8441	0	0	0,414396	
2001 10 31 6 0	-408,7274	-1,603462	15,87479	-5,58641	16,28989	205,5214	178,6503	0	0	0,419029	
2002 10 26 6 0	-440,0919	-1,680233	15,4876	5,507805	13,2372	222,8931	185,0555	0	0	0,409033	
2003 10 21 6 0	-222,5318	-1,768593	13,83085	-105,643	13,15741	138,9128	164,3955	0	0	0,353111	
2004 10 15 6 0	-386,5015	-1,700768	14,50461	41,03706	18,62431	153,4132	161,0323	0	0	0,409295	
2005 10 10 6 0	-353,1232	-1,753415	14,40912	-41,6455	17,80977	191,994	172,6855	0	0	0,376308	
2006 10 5 6 0	-300,7802	-1,757606	13,11615	-14,5293	19,26301	129,428	155,5955	0	0	0,335679	
2007 9 30 6 0	-598,6527	-1,631754	16,95378	110,3802	15,0952	268,1431	190,1556	0	0	0,443352	
2008 9 24 6 0	-369,4998	-1,834307	14,51553	-35,8201	28,08529	188,3476	176,4839	0	0	0,278139	
2009 9 19 6 0	-290,9941	-1,813378	14,32767	-58,1338	24,6722	147,3293	164,9042	0	0	0,292111	
2010 9 14 6 0	-365,182	-1,752901	14,06025	18,7739	18,8111	154,4391	161,2475	0	0	0,396831	
2011 9 9 6 0	-370,3821	-1,721534	14,01463	9,866772	15,68834	168,2879	164,6059	0	0	0,359785	
2012 9 3 6 0	-338,5106	-1,6188	13,74468	-25,3046	12,5142	172,6751	166,9094	0	0	0,409431	

### B.9 – SZ vandbalance 100 % øget markvandning (mm/år hele modelområdet)

SZ water balance	- increm	:	1990 1 2	2012 9 3 6 0	Data type	Storage depth	[millimeter]				
SM CI OL RIV SZ		Sub-catchm	100								
Flow Result File : DK5_R201408_New_baseline_Irr200											
Title : DK5 Oplandsmodel Text : R4, Vandkørsel til oplandsprojektet											
	Recharge	Hor.Bou.Irr	Hor.Bou.C	SZ Stor.Ch	Pumping	Drain	SZ->River	SZ->Flood	Ext.Sinks	Error	
1990 1 2 6 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990 12 28 6 0	-448,706	-1,6587	15,2021	-2,95471	28,85938	227,4245	182,2649	0	0	0,431045	
1991 12 23 6 0	-297,62	-1,76877	13,56517	-63,8735	27,85973	153,7588	168,4518	0	0	0,373637	
1992 12 17 6 0	-434,355	-1,83202	14,06876	28,12541	61,68785	168,8778	163,7952	0	0	0,368417	
1993 12 12 6 0	-363,548	-1,76427	13,67416	-12,0961	47,1786	154,5952	162,3347	0	0	0,374374	
1994 12 7 6 0	-563,161	-1,59703	16,32758	60,13953	33,94603	266,9615	187,8418	0	0	0,459015	
1995 12 2 6 0	-389,33	-1,83523	15,44787	-63,9171	33,72015	221,7315	184,5806	0	0	0,397685	
1996 11 26 6 0	-190,548	-2,00634	11,45194	-83,4971	49,78371	76,02899	139,1949	0	0	0,407851	
1997 11 21 6 0	-228,635	-1,87172	12,52438	-68,9539	29,99306	111,4496	145,8826	0	0	0,389072	
1998 11 16 6 0	-501,699	-1,53773	14,20688	144,5537	22,37323	167,5863	154,8535	0	0	0,337292	
1999 11 11 6 0	-420,518	-1,58987	15,64082	-8,036	20,00854	219,438	175,5232	0	0	0,466526	
2000 11 5 6 0	-453,6	-1,62372	15,2272	26,34193	20,01547	215,3835	178,6682	0	0	0,412512	
2001 10 31 6 0	-410,817	-1,59961	15,8005	-5,50344	23,65593	202,1688	176,6809	0	0	0,386314	
2002 10 26 6 0	-442,204	-1,67607	15,42039	8,288188	17,68678	219,7017	183,1794	0	0	0,396559	
2003 10 21 6 0	-223,668	-1,76741	13,77648	-105,426	17,53317	137,0409	162,87	0	0	0,359199	
2004 10 15 6 0	-388,416	-1,70189	14,40563	38,23964	28,29029	150,3761	159,213	0	0	0,406502	
2005 10 10 6 0	-355,134	-1,75776	14,31714	-42,6636	26,66558	188,3595	170,5707	0	0	0,357619	
2006 10 5 6 0	-302,752	-1,7676	13,01122	-17,1141	30,16531	125,5872	153,2111	0	0	0,341061	
2007 9 30 6 0	-602,743	-1,62472	16,86043	114,062	22,6867	263,3573	187,8404	0	0	0,439119	
2008 9 24 6 0	-372,692	-1,85668	14,37608	-45,2512	47,77085	184,2271	173,7179	0	0	0,291919	
2009 9 19 6 0	-295,3	-1,83494	14,17263	-60,2226	40,83367	141,24	161,3766	0	0	0,265224	
2010 9 14 6 0	-368,038	-1,76075	13,9094	21,18637	28,91494	148,3856	157,753	0	0	0,350384	
2011 9 9 6 0	-373,193	-1,7195	13,88587	13,99379	22,49985	163,3096	161,5747	0	0	0,351596	
2012 9 3 6 0	-340,293	-1,61292	13,66557	-21,0594	16,21226	168,8809	164,6304	0	0	0,423552	