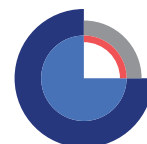


Vandressourceopgørelse – datarapport

Baggrundsrapport til Miljøstyrelsens samlede afrapportering omkring forvaltning af fremtidens drikkevandsressource.

Metode, resultater, usikkerheder og forventede klimapåvirkninger

Hans Jørgen Henriksen, Maria Ondracek & Lars Troldborg



Vandressourceopgørelse – datarapport

Baggrundsrapport til Miljøstyrelsens samlede afrapportering omkring forvaltning af fremtidens drikkevandsressource.

Metode, resultater, usikkerheder og forventede klimapåvirkninger

Hans Jørgen Henriksen, Maria Ondracek & Lars Trolborg

Indhold

1. Forord	7
2. Sammenfatning	9
2.1 Metodik til vurdering af tilgængelige grundvandsressource på landsplan samt regionalt niveau	9
2.2 Resultater for tilgængelig grundvandsressource på landsplan.....	12
2.3 Regional fordeling af tilgængelig grundvandsressource indenfor OSD/IOL for almene vandværker (VF).....	15
2.4 Usikkerheder på indikatorer og vurdering af grundvandsressource estimat	17
2.5 Vurdering af klimaeffekter i forhold til udnyttelig grundvandsressource	22
2.6 Vidensbehov i forhold til forbedret opgørelse af udnyttelig grundvandsressource nu og i et fremtidigt klima.....	23
3. Introduktion	25
4. Metodik	27
4.1 Ressource tilstandsvurdering og ressource udnyttelsesgrad	33
4.1.1 Resultater fra kvantitativ tilstandsvurdering	34
4.1.2 Vandløbspåvirkning: Baseflow på deloplandsniveau.....	39
4.1.3 Hovedprincip for fastsættelse af indikatorer til vurdering af udnyttelsesgrad for deloplande samt OSD/IOL indenfor hvert delopland.....	39
4.2 Vandløbspåvirkning EQR på ID15 niveau.....	40
4.3 Eksempel på delopland 39 Frederiksværk – Helsingø baseret på pivot tabel (leveret ultimo december 2022).....	43
4.4 Endelig ressource vurdering.....	48
4.5 Bæredygtig ressource på domæneniveau og OSD/IOL indenfor samlet domæne	49
4.5.1 Forklaring til ark: 'Vandbalancedata'	49
4.5.2 Forklaring til ark: 'Indikator 1-2 og 6 Udnyttelsesgrad øvre sekundære, primære og nulindvinding'	51
4.5.3 Forklaring til ark: 'Indikator 3-4 – reduceret baseflow og dræn/baseflow'	58
4.5.4 Forklaring til ark: 'Indikator 5 - % ændret vådareal 1 m.u.t.'	58
4.5.5 Forklaring til ark: 'QSTAT'	62
4.5.6 Forklaring til ark: 'Indikator 7 og 8: EQR og indikator 9: Q50 %'	62
4.5.7 Forklaring til ark: 'Indikator 9 – Q50'.....	63
4.5.8 Forklaring til ark: 'Konklusiv'	63
5. Resultater	65
5.1 Opgørelse af bæredygtig grundvandsressource.....	65
5.2 Estimat af den tilgængelige ressource for almen vandforsyning og alle indvindinger for deloplande	67
5.3 Grundvandsressourcen indenfor nuværende OSD/IOL.....	69
5.4 Ressource og areal på overfladen	72

5.5 Sammenligning med resultater for ni indikatorer og i forhold til konsolideringen af den kvantitative tilstandsvurdering	79
6. Klimaeffekter på ressourcens størrelse	89
6.1 Klimaeffektens betydning for størrelsen af udnyttelig vandressource	90
6.2 Sammenfatning af konsekvenser af klimafremskrivning for de 9 indikatorer	105
6.3 Udvalgte tematiske usikkerheder på klimafremskrivninger i forhold til ressourcevurdering	106
7. Diskussion og vidensbehov	109
7.1 Model grundlag og ensemblet bestående af de ni ressource indikatorer.....	109
7.2 Ønsker til vidensbehov	112
8. Referencer	113
Appendix 1 Resultat af ressource vurdering – Opgjort ud fra kørsler med 'Almene vandværker - VF'	119
Appendix 2 Resultat af ressource vurdering – Opgjort ud fra kørsler med 'Alle indvindinger - ALT'	123
Appendix 3 Sammenligning af vandbalancetal for Sjælland ved nye ressourceopgørelse sammenlignet med kvantitativ tilstand	127
Appendix 4 Indvindingsfordeling på magasin for VF scenariet (%) og middeldybde til topmagasin og primært magasin for domæner og deloplande	131
Appendix 5 Indvindingsfordeling på magasin for VF scenariet (%) og middeldybde til top/primært magasin for OSD/IOL (domæner og deloplande)	133

1. Forord

Nærværende rapport udgør et bidrag til vurdering af drikkevandsressourcens størrelse, baseret på modelberegninger udført for Miljøstyrelsen i efteråret 2022. Denne vurdering er en del af Miljøstyrelsens indsatser under Drikkevandsfonden på FL22 i forbindelse med analyse af forvaltningen af fremtidens drikkevandsressource. I analysen indgår desuden vurdering af drikkevandsbehov nu og i fremtiden samt studier af pilotområder.

Analysen er inddelt i tre hovedaktiviteter:

1. Drikkevandsressourcen
2. Drikkevandsbehovet
3. Forvaltningen af drikkevandsressourcen

Formålet er at bidrage til at indvinding af drikkevand fordeles på en samfundsmæssig hensigtsmæssig måde og foregår bæredygtigt, således at kvaliteten af grundvandet ikke forringes over tid og at kvantiteten fortsat er så god, at der er vand nok til naturen. Dette sætter en begrænsning for, hvor meget vand der kan indvindes.

Der er senest lavet estimater af den tilgængelige grundvandsressource i Ferskvandets kredsløb (Henriksen og Sonnenborg, 2003), men da dette studie ligger to dekader tilbage, og der efterfølgende er sket en betydelig metodeudvikling, vurderer Miljøstyrelsen at det er nødvendigt at lave en ny opgørelse. Den nye opgørelse er udført parallelt med de øvrige aktiviteter i delanalyse 2, der omhandler det fremtidige drikkevandsbehov. I opgørelsen er landet opsplittet i 58 deloplande. Disse 58 deloplande er fordelt på 7 DK-model domæner. Endvidere forholder den nye opgørelse sig til områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD) og indvindingsoplande til almene vandforsyninger (IOL). Opdelingen af landet er i forbindelse med nærværende opgørelse løbende udvekslet / koordineret med Miljøstyrelsen.

Nærværende rapport er en datarapport, der beskriver status for hovedaktivitet 1) der indebærer et overordnet estimat af den tilgængelige grundvands-ressource på landsplan samt regionalt niveau.

Der er her lagt vægt på, at opdelingen i 58 deloplande muliggør en fornuftig landsdækkende afgrænsning, der tager hensyn til afgrænsningen af DK-modellens 7 domænemodeller og til ID15 oplands/kystoplandsafgrænsninger, idet en oplandsbaseret vurdering af vandbalanceforhold, udnyttelsesgrad og vandløbspåvirkning giver en mere robust vurdering af den tilgængelige grundvandsressource.

Klimaeffekter er ikke modelleret i nærværende sammenhæng, men er beskrevet og diskuteret på basis af eksisterende litteratur og modelberegninger (Seidenfaden et al. 2022; Henriksen et al. 2021c; Sebok et al. 2022; Henriksen et al. 2023a).

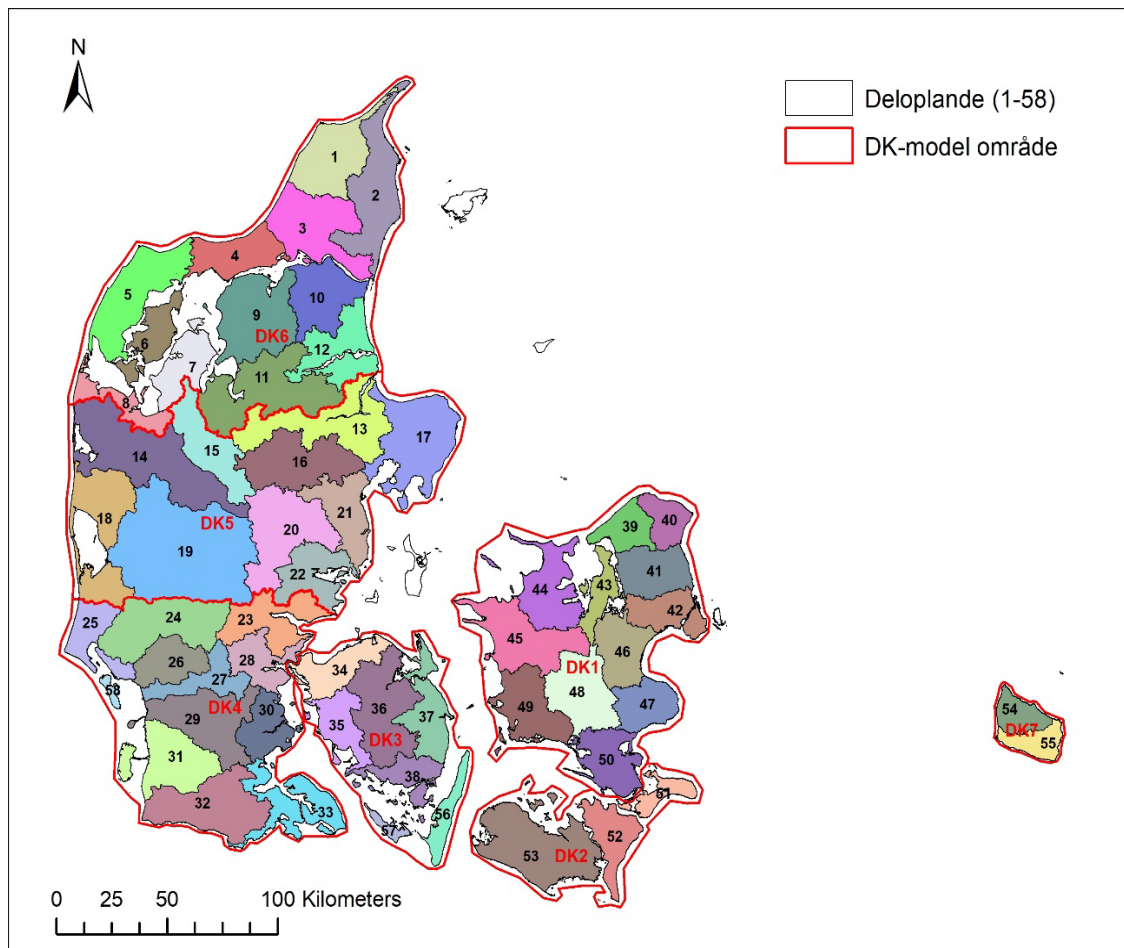
En særlig tak til Torben Sonnenborg og Ida K. Seidenfaden, GEUS for konstruktive input og kommentering af rapportens beskrivelser og diskussion af litteratur vedr. klimaeffekter på vandkredsløb og grundvand.

2. Sammenfatning

Sammenfatningen beskriver metodik (fra kapitel 4), resultater (fra kapitel 5), klimaeffekter (fra kapitel 6) og vidensbehov (fra kapitel 7) i forhold til udnyttelig grundvandsressource på landsplan, regionalt og indenfor OSD/IOL.

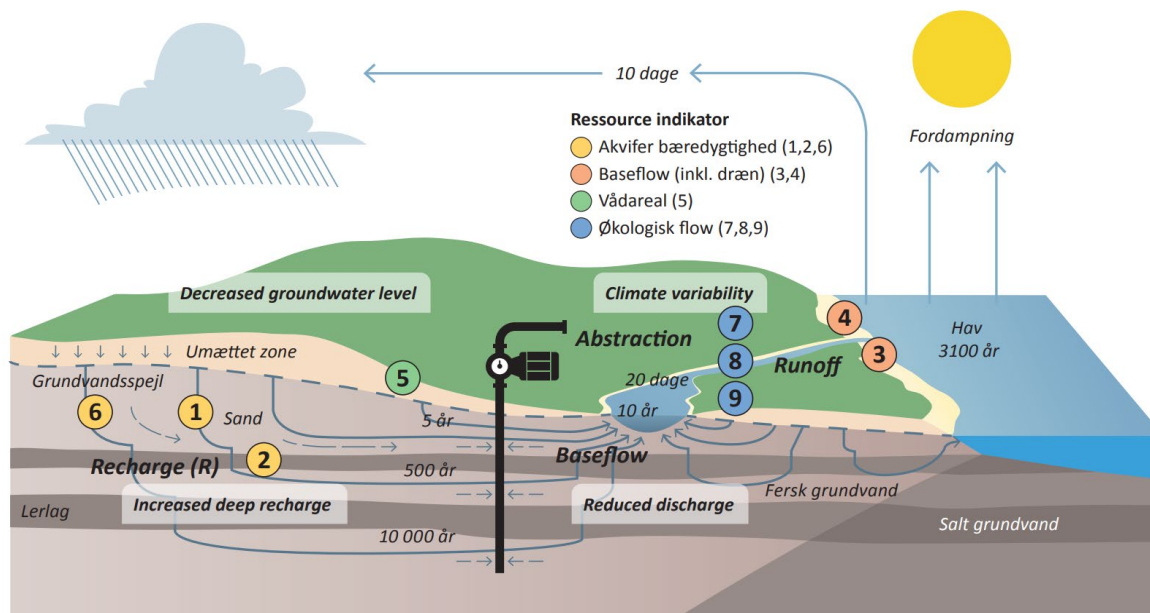
2.1 Metodik til vurdering af tilgængelige grundvandsressource på landsplan samt regionalt niveau

Der er foretaget en opgørelse af den udnyttelige drikkevandsressource baseret på 58 ressourceplande (Fig. 2.1), samt områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD) og indvindingsoplande til almene vandforsyninger udenfor særlige drikkevandsområder (IOL). Opgørelsen er baseret på 9 ensemble indikatorer (Fig. 2.2 og Tabel 2.1), der beskrives i det efterfølgende, samt modelberegninger med DK-modellen (<https://vandmodel.dk/>) for scenarier (0-50-100-150-200-300 procent af nuværende indvinding) for henholdsvis 'alle vandindvindinger' (ALT) og kun for almene vandindvindinger til vandforsyninger (VF).



Figur 2.1 Oversigtskort der viser 7 DK-model domæner (DK1-DK7) og 58 ressource deloplande (angivet med tal fra 1 til 58).

Herved er der foretaget opgørelser på basis af en 30-årig beregningsperiode (1991-2020), hvor der er anvendt midlede vandindvindinger til vandværker og industri for perioden 2017-2021. Markvandinger er indregnet i ALT scenarier 50-300%, svarende til vandingsbehov gældende for de i dag vandede arealer.



Figur 2.2 De ni indikatorer opstillet med henblik på vurdering af tilgængelig grundvandsressource

Tabel 2.1 De ni indikatorer opstillet med henblik på vurdering af tilgængelig grundvandsressource. I tabellen er indikatorer karakteriseret nærmere

Indikator (fokusområde)	Afhængighed af indvindingsstruktur	Aggregering	Kriterier	Tærskel Værdi	Klima-Effekt
1 Udnyttelsesgrad øvre sekundære magasin (akvifer bæredygtighed)	Moderat	Middelværdi udnyttelse (=indvinding/sekundær grundvandsdannelse)	% udnyttelse sekundært magasin (til magasin i 10-25 m's dybde)	Max 30% udnyttelse	Overvejende positiv
2 Udnyttelsesgrad primære magasin (akvifer bæredygtighed)	Stor	Middelværdi udnyttelse (=indvinding/primær grundvandsdannelse)	% udnyttelse primært magasin (til magasin i mere end 25 m's dybde)	Max 50% udnyttelse	Fortrinsvis positiv
3 Reduktion af baseflow (samlet vandløbspåvirkning)	Moderat	Middelværdi baseflow (=flux sz alle lag til vandløb)	% reduktion af baseflow summeret for delopland	Max. 10 % reduktion	Fortrinsvis positiv
4 Reduktion af baseflow + drænflow (samlet vandløbspåvirkning)	Lille	Middelværdi baseflow+ (= flux sz alle lag til vandløb +dræn)	% reduktion af baseflow og drænflow summeret for delopland	Max. 10 % reduktion	Overvejende positiv
5 Reduktion af areal af 'vådområder' (vådareal reduktions-%)	Stor	Vådareal reduktion (= % af opland med < 1m.u.t.)	% reduktion af real med dybde < 1 m.u.t.	Max. 5 % reduktion	Både positiv og negativ
6 Udnyttelsesgrad nulindvinding (akvifer bæredygtighed)	Ingen	Middelværdi udnyttelse (=35% af sekundær grundvandsdannelse)	Magasin samme som indikator 1	Max. 35% udnyttelse	Entydigt positiv
7 EQR-ændring 80% sandsynlighed (vandløbspåvirkning EQR fisk)	Meget stor	> 80% sandsynlighed forringet EQR fisk (One-out-all-out)	Alle ID15 punkter (største ændring som følge af vandindvinding)	Max -0.23 (EQR DFFVa)	Fortrinsvis negativ
8 EQR-ændring 50% sandsynlighed (vandløbspåvirkning EQR fisk)	Meget stor	> 50% sandsynlighed forringet EQR fisk (One-out-all-out)	Alle ID15 punkter (største ændring som følge af vandindvinding)	Max -0.16 (EQR DFFVa)	Fortrinsvis negativ
9 Q50 median flow reduktion i % (vandløbspåvirkning økologisk flow)	Meget stor	Q50 medianvandføring (One-out-all-out)	ID15 punkter med Q50 nul scenarie vandindvindings vandføring > 10 l/s	Max. 40% Q50 reduktion	Fortrinsvis positiv

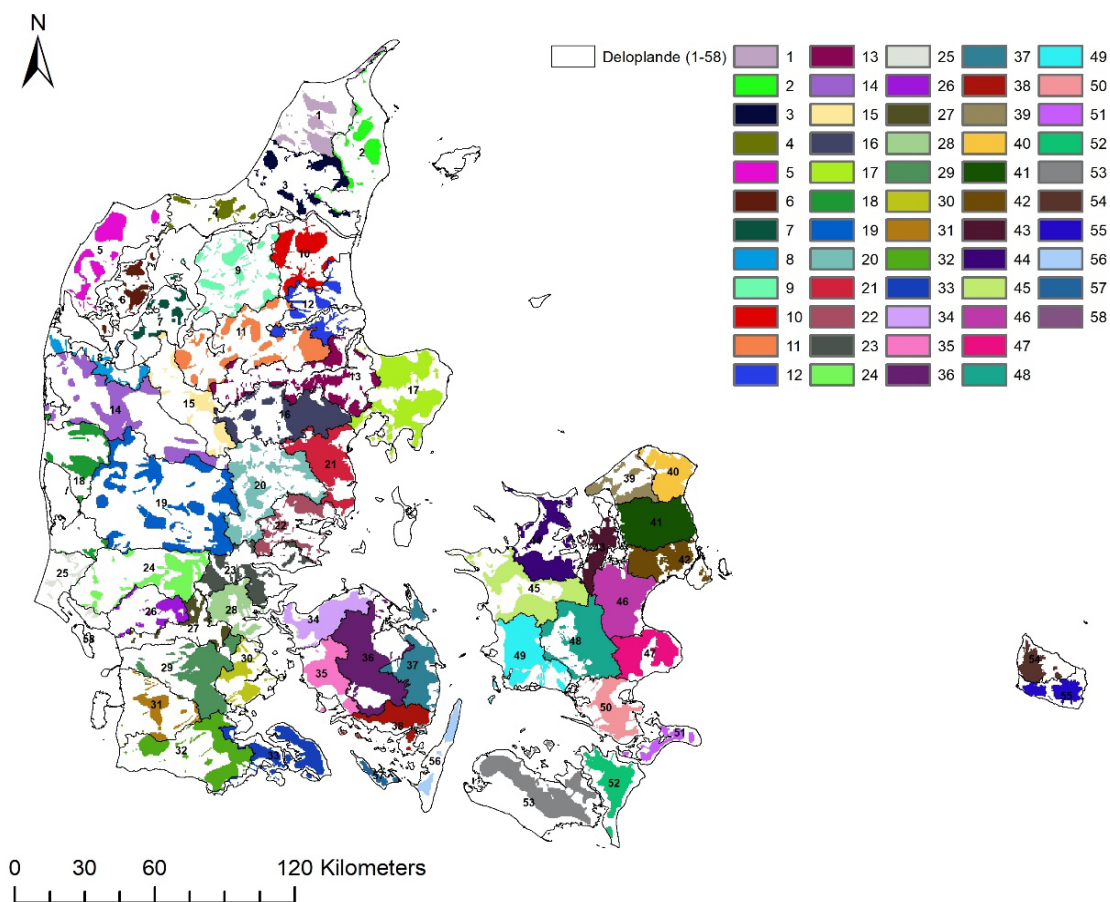
De ni indikatorer beskriver samlet set bæredygtig ressource i forhold til acceptable påvirkninger 'i gennemsnit' for en 30-års periode' under hensyn til (i) Akvifer bæredygtig (indikator 1,2 og 6); (ii) Påvirkning af grundvandsafstrømning til vandløb og dræn (indikator 3 og 4);

(iii) Påvirkning af grundvandsafhængige terrestriske økosystemer (indikator 5); samt (iv) Påvirkning af økologisk flow i lidt større vandløb (på ID15 niveau) bedømt ud fra EQR-fisk (Indikator 7, 8 og indikator 9). EQR-fisk er en empirisk formel opstillet af Aarhus Universitet, DCE (Graeber et al. 2014) som beregner det økologiske kvalitetselement for fisk (DFFVa), ud fra en formel hvor der indgår baseflow index (BFI), årlig hyppighed af flowevents der hhv. overskrider (Fre25) defineret i forhold til karakteristisk høj vandføring (svarende til 25% percentilen Q25) og årlig hyppighed af flowevents (Fre75), der underskrider en karakteristisk lav vandføring (svarende til 75% percentilen Q75), beregnet om et givent sandsynlighedsniveau (f.eks. 80% eller 50%) for overskridelse for et givent indvindingsscenarie i forhold til EQR værdi beregnet ud fra tilsvarende formel for nulindvinding.

Indikator 1 og 2 analyserer akvifer bæredygtighed for et sekundært magasin og et primært magasin på basis af 30 og 50 % af grundvandsdannelsen til de pågældende magasiner. Indikator 3 og 4 analyser påvirkning af grundvandsafstrømning i form af samlet baseflow til vandløb og sum af baseflow og drænflow. Indikator 5 vurderer bæredygtighed i forhold til reduceret vådareal (jf. grundvandspejl 1 m.u.t.). Indikator 6 vurderer bæredygtighed i forhold topmagasin i den upåvirkede situation ud fra 35% af grundvandsdannelsen. Indikator 7-8 vurderer bæredygtighed i forhold til reduktion af fisk EQR empirisk formel (DFFVa), jf. 80 og 50% sandsynlighed for tilstandsændring vurderet i forhold til mest påvirkede ID15 opland. Indikator 9 vurderer påvirkning af median afstrømning (Q50) ud fra max acceptabel reduktion på 40% på ID15 niveau.

Beregningerne er lavet under forudsætning af den indvindingsstruktur som vandindvindingen har haft, dvs. den regionale fordeling/placering af kildepladser og borer, indvindingsdybder og oppumpede vandmængder der er indrapporteret fra almene vandværker og industri til Jupiter for den seneste 5-års periode (2017-2021). I ALT scenarierne indgår markvandig som beregnet med modellen (kalibrering i forhold til aggregerede indberettede markvandingsdata). Markvanding følger sæsonmæssige vandingsbehov hvert år i 30-års perioden (1991-2020) jf. vandede arealer og simuleret jordfugtighed. I VF scenarier er markvanding og industri med egne indvindinger slukket. I de forskellige ALT scenarier er indvinding fra industri og almene vandværker skaleret op og ned, mens markvanding er beregnet uden skalering. I VF scenarier indgår udelukkende almene vandværker skaleret op og ned.

Den udnyttelige grundvandsressource er estimeret på basis af hvilken indikator der giver hhv. det mindste, næst mindste og tredje mindste ressourceestimat. Det er valgt at estimere en robust ressource ud fra det næstmindste indikatorestimat, og anføre en variationsramme estimeret ud fra indikatoren med det mindste og det tredje mindste ressourceestimat i hvert af de 58 deloplande. Robusthed er derfor i denne sammenhæng et udtryk for at de forskellige indikatorer hver for sig udgør en grænse i forhold til akvifer bæredygtighed, baseflow, reduceret vådareal og økologisk flow på ID15 niveau. Landsdækkende tal og et tal for de syv DK-model domæner er herefter aggregeret på basis af resultater for deloplande. Der er samtidig foretaget opgørelse af bæredygtig ressource indenfor OSD/IOL for såvel deloplande (se Fig. 2.3), som for de syv regioner (DK-model domæner).

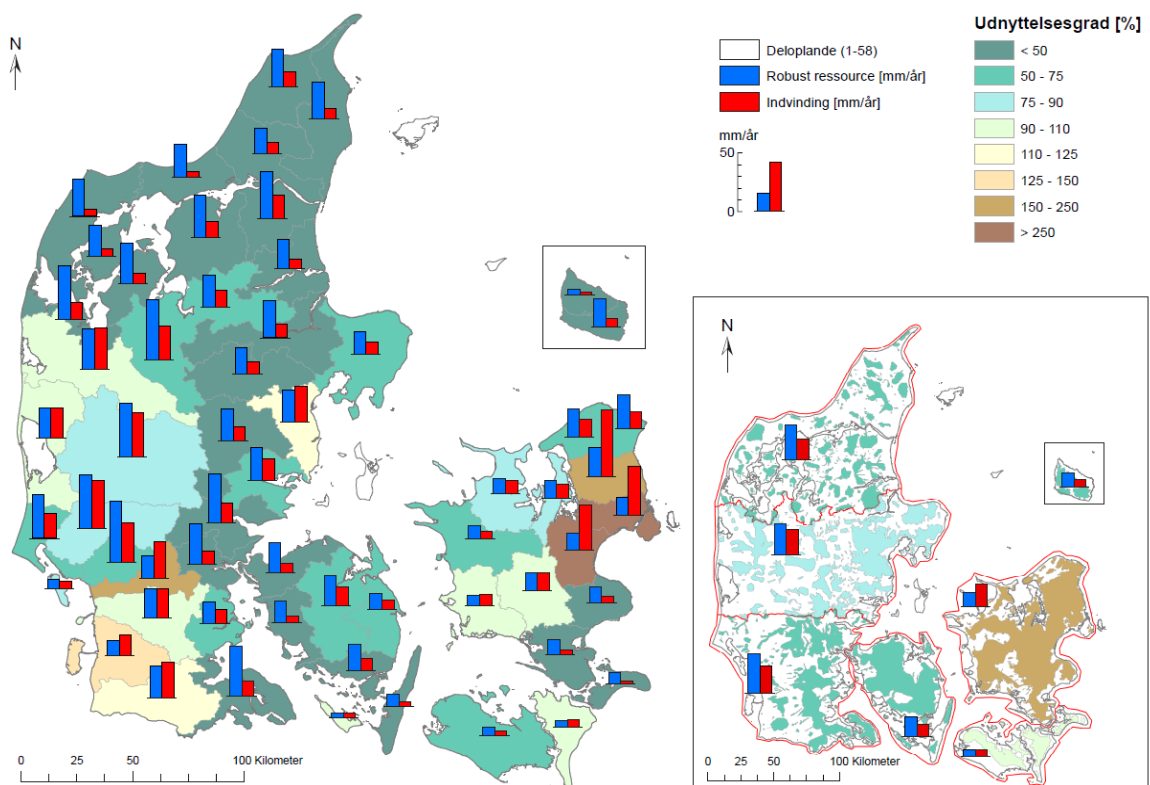


Figur 2.3 OSD/IOL opland indenfor 58 deloplande

2.2 Resultater for tilgængelig grundvandsressource på landsplan

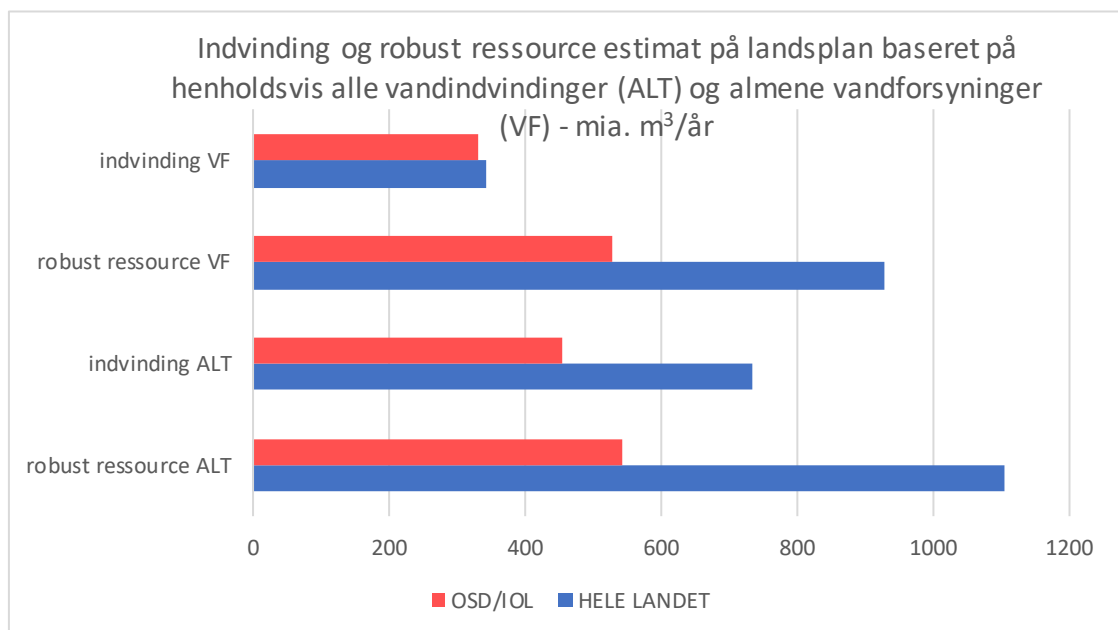
Den samlede bæredygtige grundvandsressource er opgjort til at udgøre i alt ca. 1,1 mia m³/år på landsplan, heraf ca. ½ mia. m³/år indenfor områder med særlige drikkevandsinteresser og indvindingsoplande til almene vandforsyninger (OSD/IOL). Variationsramme mellem mindste og tredjemindste indikator er opgjort til 0,8 – 1,3 mia. m³/år. Til sammenligning er ressourcen, når udelukkende almene vandforsyninger (VF) benyttes som grundlag, opgjort til 0,9 mia. m³/år (med en variationsramme på 0,7 – 1,1 mia. m³/år) på landsplan. Bæredygtig ressource på landsplan afhænger derfor af indvindingsstrukturen, idet ALT scenariet baseret på almene vandværker, industri og markvanding giver en samlet udnyttelig ressource, der er ca. 0,2 mia. m³/år større end bæredygtig vandindvinding på landsplan alene estimeret ud fra almene vandværker. Indenfor OSD/IOL giver de to opgørelser (ALT og VF) samme bæredygtige ressource på 0,5 mia. m³/år (variationsramme 0,4 – 0,6 mia. m³/år), se Figur 2.4 med hensyn til resultater for alle indvindinger (ALT).

I ALT scenariet er de mest intensive deloplande Storå, Ringkøbing, Århus, Konge å, Ribe å, Brede å, Vidå, Hillerød, København, Køge bugt, Suså, Slagelse og Falster. OSD/IOL-områder på Sjælland (Fig. 2.4 lille figur) har en udnyttelsesgrad, der overstiger den bæredygtige (robuste) ressource. Lolland-Falster-Møn er fuldt udnyttet, Midtjylland er 75-90 % udnyttet og Nordjylland, Sydjylland og Fyn er 50-75 % udnyttet.



Figur 2.4 Ny ressourceopgørelse af tilgængelig grundvandsressource på landsplan og indenfor OSD/IOL ud fra alle indvindinger (ALT scenariet)

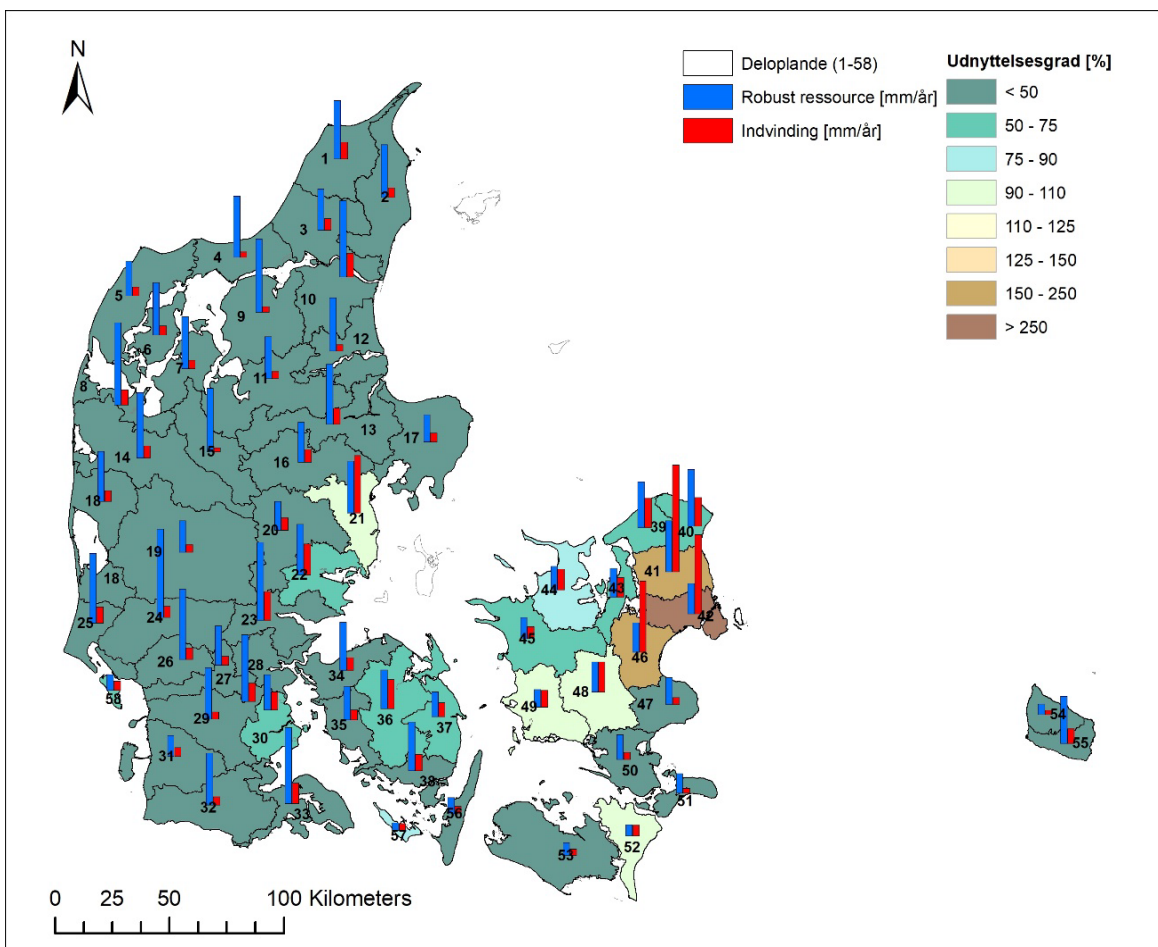
I figur 2.5 er vist ressourcevurderingen sammenfattet grafisk med søjler for vandindvinding i forhold til robust ressource for både VF og ALT scenariet, illustreret for både OSD/IOL og hele landet.



Figur 2.5 Beregnet tilgængelig grundvandsressource samt indvinding for hele landet og for områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD/IOL) på basis af alle vandindvindinger (ALT) og almene vandforsyninger (VF) svarende til robust ressourcekøn (mia.m³/år).

Når man benytter VF scenarier, estimeres dermed en mindre ressource på i alt 0,93 mia.m³/år på landsplan, primært fordi ressourceskønnet udenfor OSD/IOL bliver markant mindre for VF end for ALT.

Fig. 2.6 illustrerer udnyttelsesgraden for almene vandforsyninger alene (VF scenariet). Når man alene kigger på udnyttelsesgrad for VF ses samme hovedtendenser for Fyn, Sjælland, Lolland-Falster-Møn og Bornholm med enkelte ændringer (f.eks. for delopland 43 hvor udnyttelsesgraden rykker til en lavere kategori). De største forskelle ses for Jylland, hvor udnyttelsesgraden for VF (uden markvanding og industri) i de fleste deloplande rykker til den lave kategori (< 50% af robust ressource). Situationen i tre østjyske deloplande 21 Århus (udnyttelsesgrad 110-125 %), 22 Horsens (90-110 %) og 30 Haderslev (90-110%) er uændret i forhold til ALT.



Figur 2.6 Resultat af ressourceopgørelse for almene vandforsyninger (VF) for 58 deloplande. Med farveto-
ner er vist udnyttelsesgrad baseret på indvindingens %-del af opgjort robust ressource

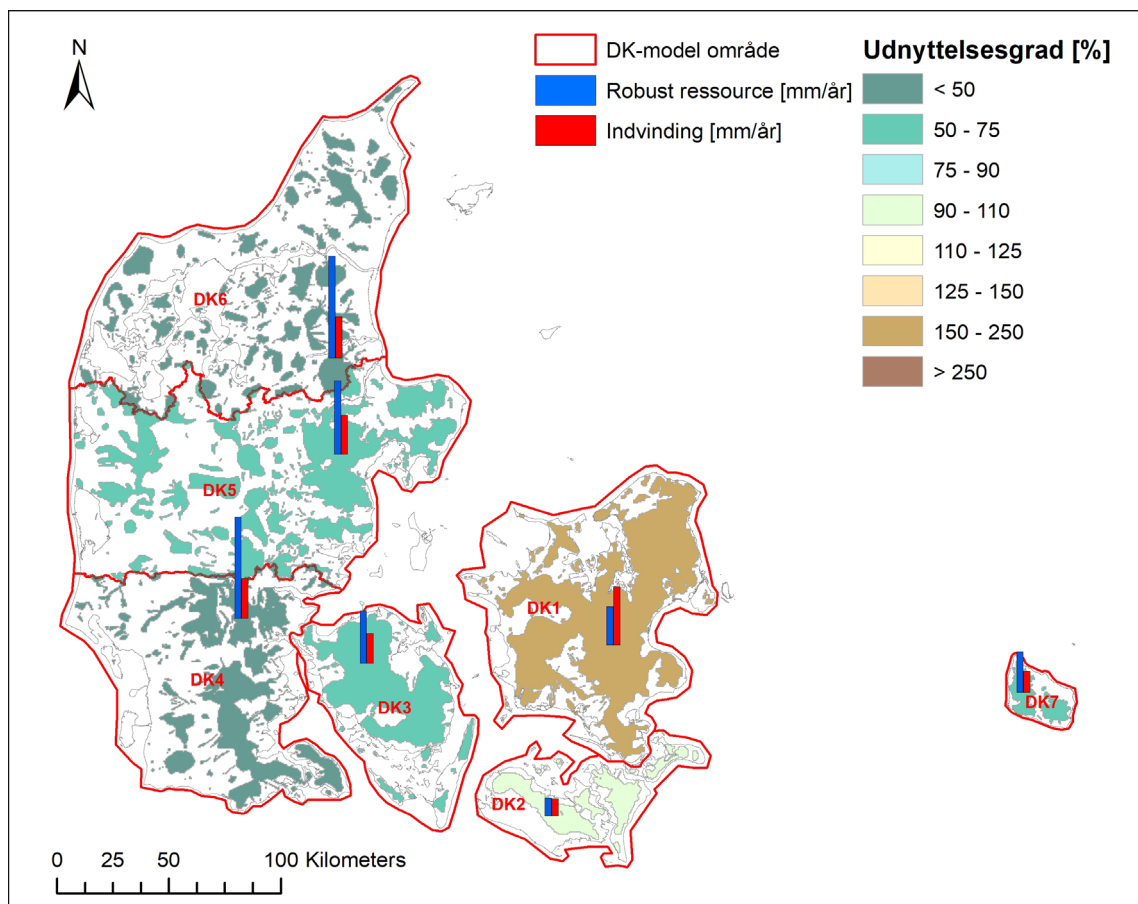
Estimatet af bæredygtig grundvandsressource for hele landet baseret på alle indvindinger (ALT) er ca. 10 % større end det seneste landsdækkende ressourceestimat fra 2003 opgjort til 1,0 mia. m³/år (Henriksen og Sonnenborg, 2003; Henriksen et al. 2008). Det skal dog bemærkes at tallet på 1,1 mia.m³/år (ALT) ikke er korrigeret for klimavariabilitet (i 2003 opgørelsen blev tre af fire indikatorer reduceret til ca. 80 % af ressourceestimatet, fordi

man antog at en serie tørre vintre og somre betød, at grundvandsdannelsen her var ca. 80 % af gennemsnitsværdier for en længere årrække).

Det fremgår af Figur 2.5, at ressourceskønnet indenfor OSD/IOL er stort set ens når man benytter ALT- og VF-scenarier. Så indenfor OSD/IOL konvergerer beregninger, og her fås med afrundede tal det samme estimat for robust ressource (forskul på ALT og VF er ca. 2 % uden afrunding). Det hænger hovedsagelig sammen med, at stort set hele indvindingen til almene vandforsyninger (333 ud af i alt 334 mill.m³/år sker indenfor OSD/IOL). Ca. 27 % af indvindingen indenfor OSD/IOL, eller ca.121 mill. m³/år (=454 – 333 mill.m³/år), går til industri og markvanding. Den samlede indvinding til almene vandværker, industri og markvanding er ca. 734 mill.m³/år, heraf indvindes 47% fra almene vandværker, mens 53 % indvindes fra markvanding og industri.

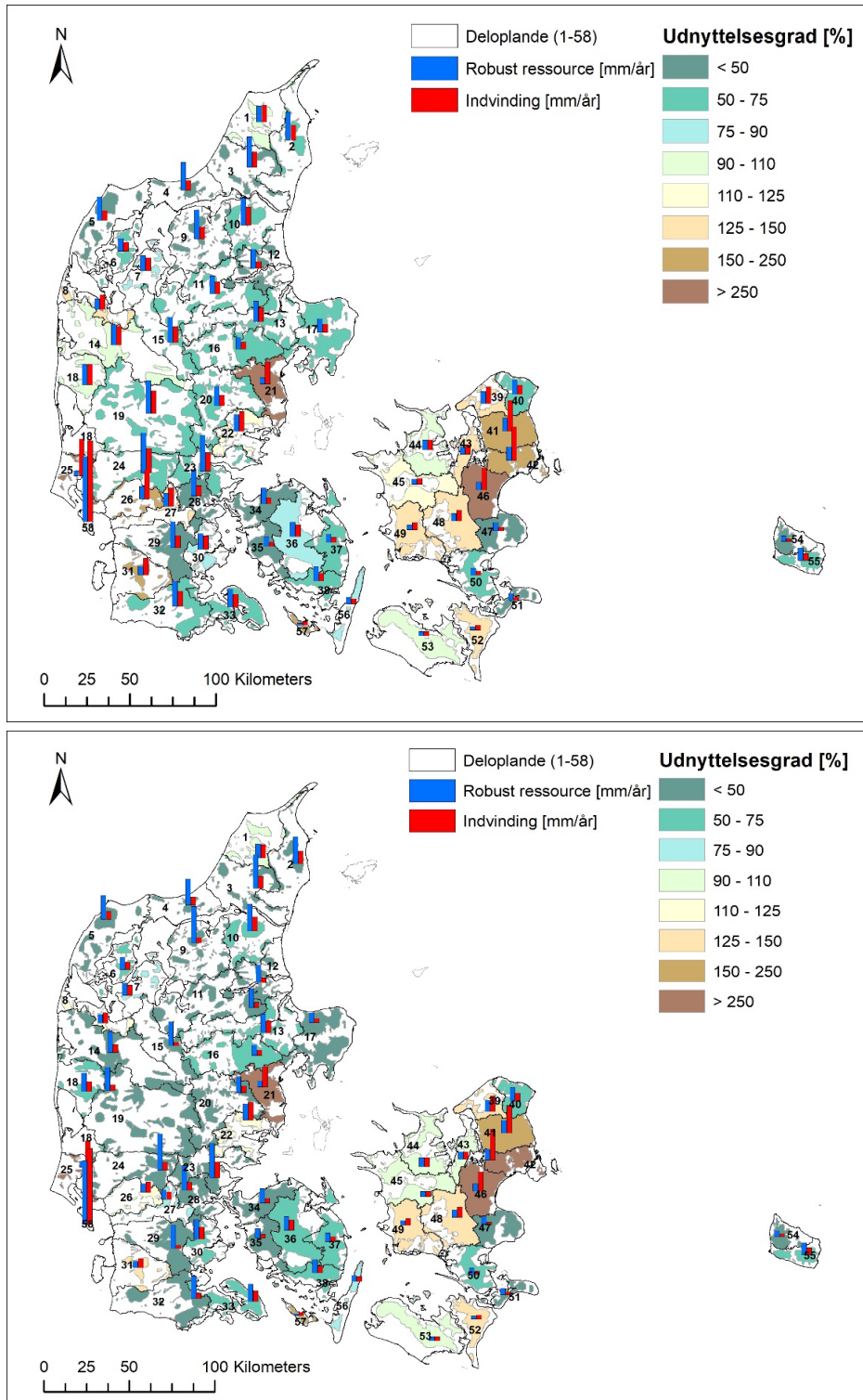
2.3 Regional fordeling af tilgængelig grundvandsressource indenfor OSD/IOL for almene vandværker (VF)

Resultatet af den nye ressourceopgørelses regionale fordeling indenfor OSD/IOL er i Fig. 2.7 vist for VF-scenariet og aggregeret på domæne (se Fig. 2.4 for tilsvarende for ALT).



Figur 2.7 Tilgængelig ressource opgjort på basis af almene vandforsyninger (VF) for syv DK-model domæner i mm/år samt udnyttelsesgrad der udtrykker indvindingens %-del af robust ressource estimat (se Fig. 2.4 for tilsvarende for ALT scenariet).

Det fremgår af Fig. 2.7 for almene vandforsyninger (VF) at der indvindes mindre end robust ressource indenfor OSD/IOL i 6 ud af 7 dk model domæner. I Figur 2.8 er vist estimerede ressourcer for OSD/IOL indenfor de 58 deloplande for hhv. ALT- og VF-opgørelser af indvindinger og robust ressource pr. arealenhed (søjler: mm/år).



Figur 2.8 Ressource estimat for ALT (øverst) og VF (nederst) indenfor OSD/IOL i 58 deloplande. Tal angiver gennemsnitstal for det samlede OSD indenfor hver af de 58 ressourceoplande. Da langt hovedparten af vandindvindingen på Sjælland og øerne er fra almene vandværker er de to kort tæt på at være ens her.

Sammenligner man 'ressource' udnyttelses-% for indvinding i forhold til estimeret bæredygtig ressource for ALT-OSD/IOL (øverst i Figur 2.8) og VF-OSD/IOL (nederst i Figur 2.8) fremgår det, at mange grundvandsforekomster på Sjælland og Lolland-Falster er vurderet fuldt (eller mere end fuldt) udnyttede, og de fleste ressource-oplande har samme 'ressource-udnyttelses interval'. Delopland 43 Jægerspris og delopland 45 Kalundborg rykker dog fra VF ressource-intervallet 90-110 % til ALT ressource-intervallet 110-125 %.

For Jylland er deloplandene Hjørring, Lemvig, Storå, Ringkøbing fjord, Århus, Horsens fjord, Esbjerg, Sneum å, Konge å, Brede å og Fanø for ALT-OSD/IOL vurderet mere end 90% udnyttet (delopland 1, 8, 14, 18, 21, 22, 25-27, 31, 58). Til sammenligning hermed viser VF-OSD/IOL når alene almene vandværker indgår i vurderingen, en meget mere positiv ressourcestilstand i mange jyske deloplande med relativ intensiv markvanding og industri indenfor OSD/IOL. Det gælder f.eks. Storå, Ringkøbing fjord og Konge å (delopland 14, 18 og 27) som uden markvanding og industri har en ressource-udnyttelse under 90%. For Fyn er delopland Ærø vurderet fuldt udnyttet i både ALT og VF indenfor OSD/IOL (delopland 57). Salling, Haderslev, Odense og Langeland er i ALT-OSD/IOL udnyttet 75-90% (i VF scenariet er Odense udnyttet under 75 %, øvrige oplande er uændret i forhold til ALT).

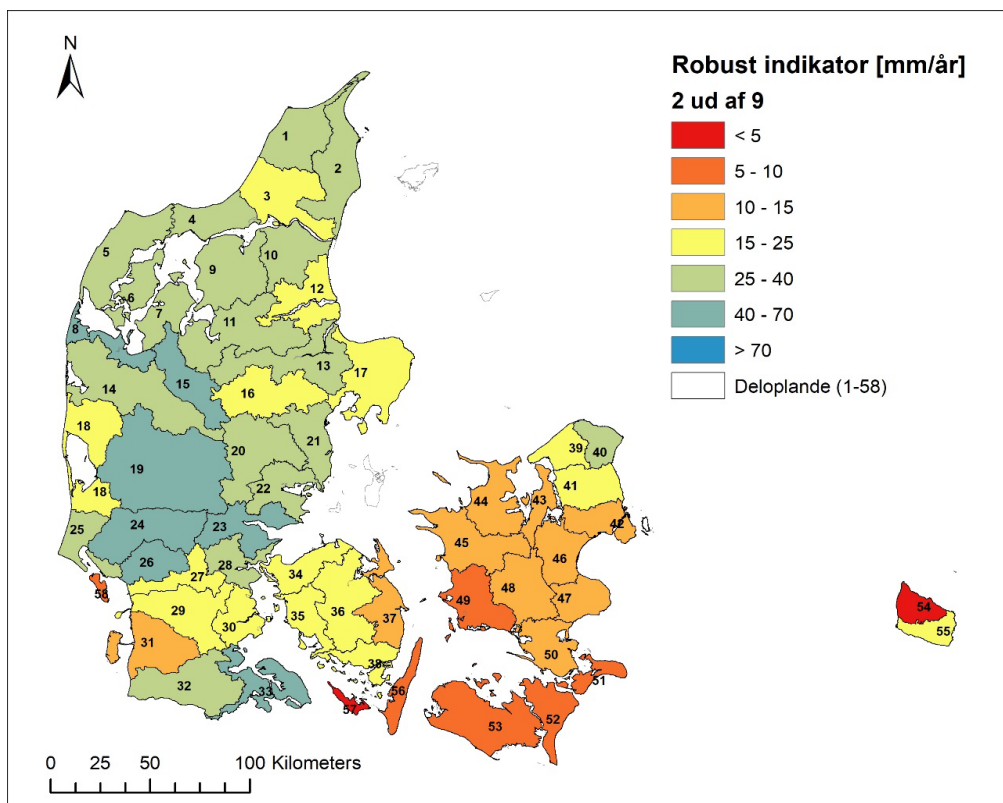
2.4 Usikkerheder på indikatorer og vurdering af grundvandsressource estimat

Ensemblet af indikatorer beskriver som nævnt begrænsninger i ressourcen i forhold til akvifer bæredygtighed (indikator 1,2 og 6), baseflow (indikator 3,4), vådområde areal (indikator 5) og environmental flow (indikator 7-9). Nedenfor i Fig. 2.9 er vist det samlede estimat af robust ressource (den næst mindste indikator i mm/år). I Fig. 2.10 er vist en sammenligning af de ni indikatorer for ALT scenariet.

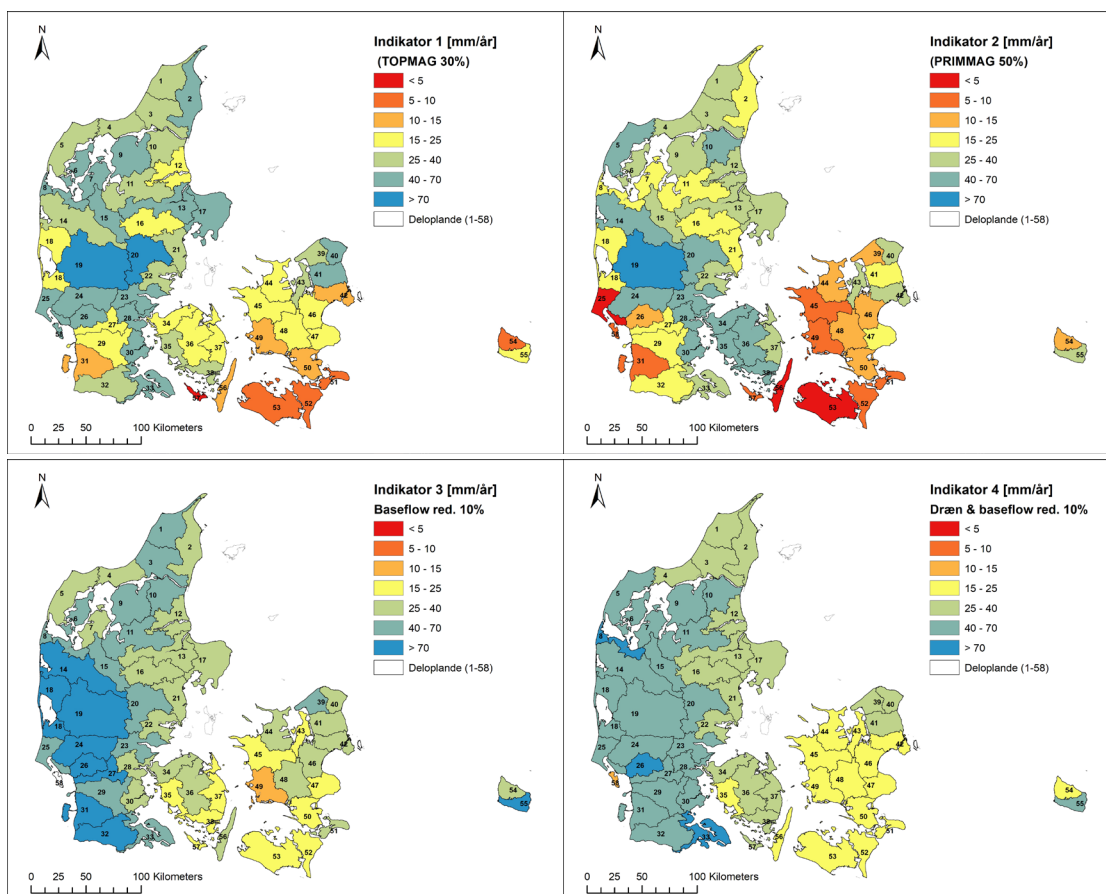
Sammenlignes afvigelsen på næstmindste og tredjemindste indikator for de 58 deloplande (Figur 2.10), er forskellen 16 % i gennemsnit. Af de 58 deloplande har 9 afvigelser mellem næstmindste og tredjemindste indikator estimat der overstiger 30%. Det drejer sig om: 19-Skjern å (47 % afvigelse), 25-Esbjerg (30 % afvigelse), 30-Haderslev (67 % afvigelse), 37-Østfyn (39% afvigelse), 38-Sydfyn (60% afvigelse), 42-Hillerød (55% afvigelse), 45-Kalundborg (52% afvigelse), 54-Nordbornholm (61% afvigelse) og 57-Ærø (33% afvigelse).

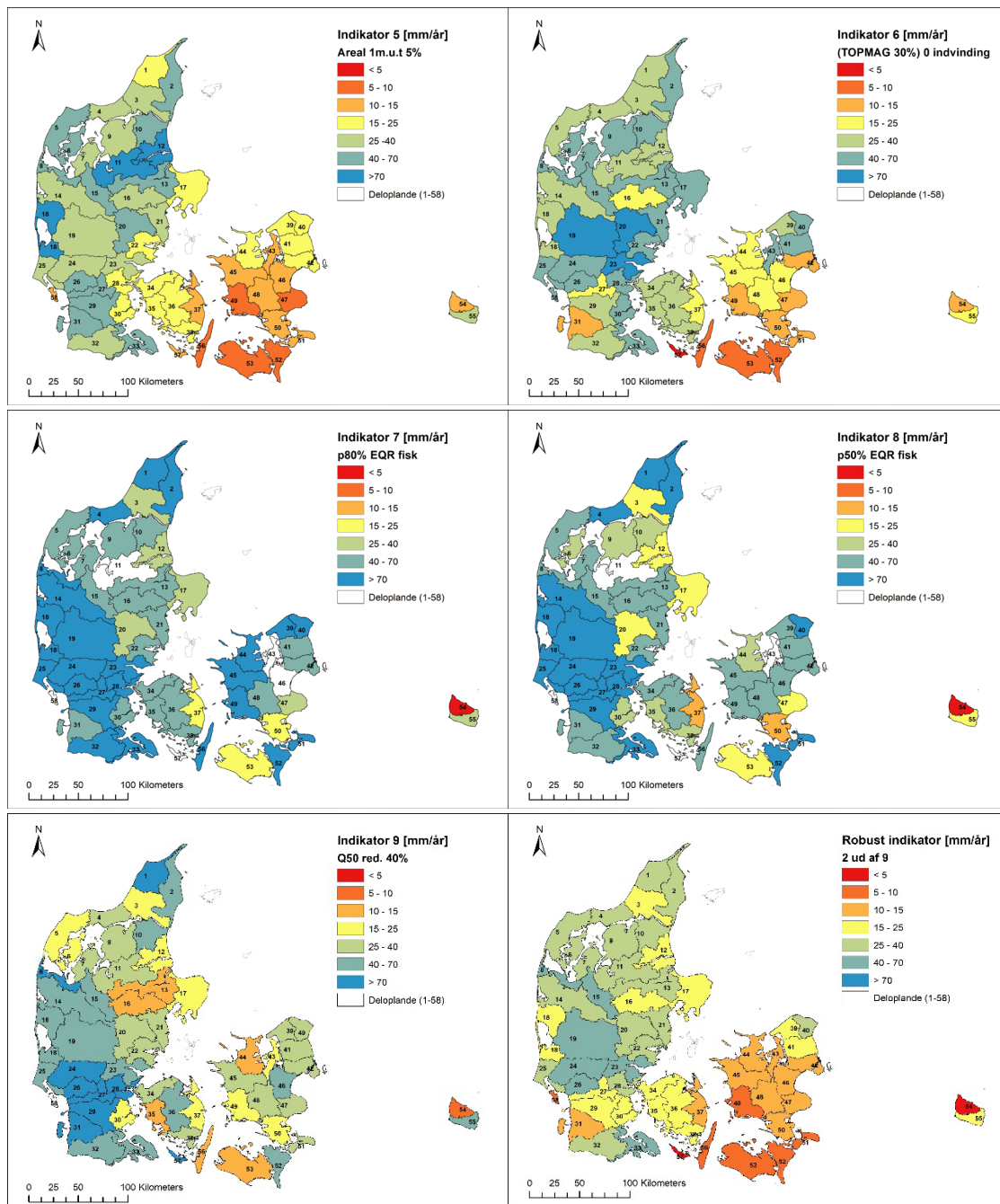
Figur 2.10 illustrerer at de forskellige indikatorer giver forskellige resultater. En sammenligning af ressource-estimatet og kvantitativ tilstandsvurdering viser rimelig god overensstemmelse (Figur 2.11). Mange af de deloplande der har været undersøgt fordi de var i risiko for ringe tilstand f.eks. på Sjælland, Øerne, Østjylland og Sydvestjylland har relativt høje udnyttelsesgrader (% i forhold til estimeret bæredygtig grundvandsressource).

Nedenfor i Figur 2.11 er hovedresultatet af nærværende ressourceopgørelse for OSD/IOL (se <https://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/beskyttelseszoner/>) sammenstillet med udpegede forekomster efter endelig tilstandsvurdering (Henriksen et al. 2021b).



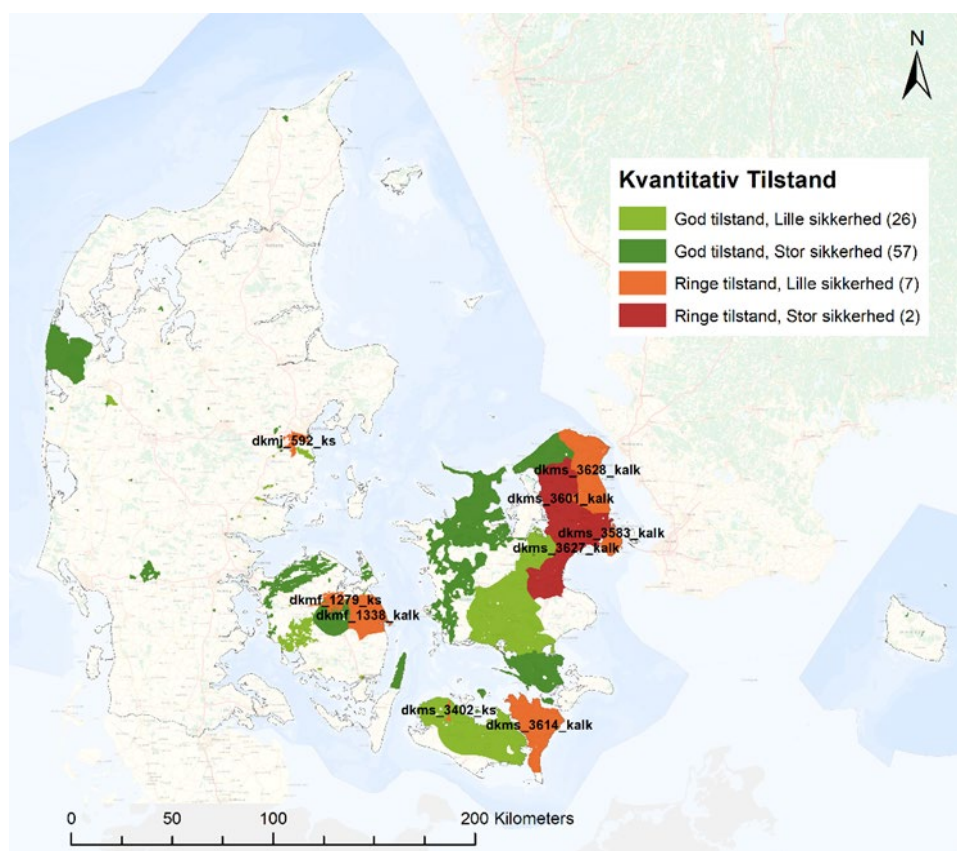
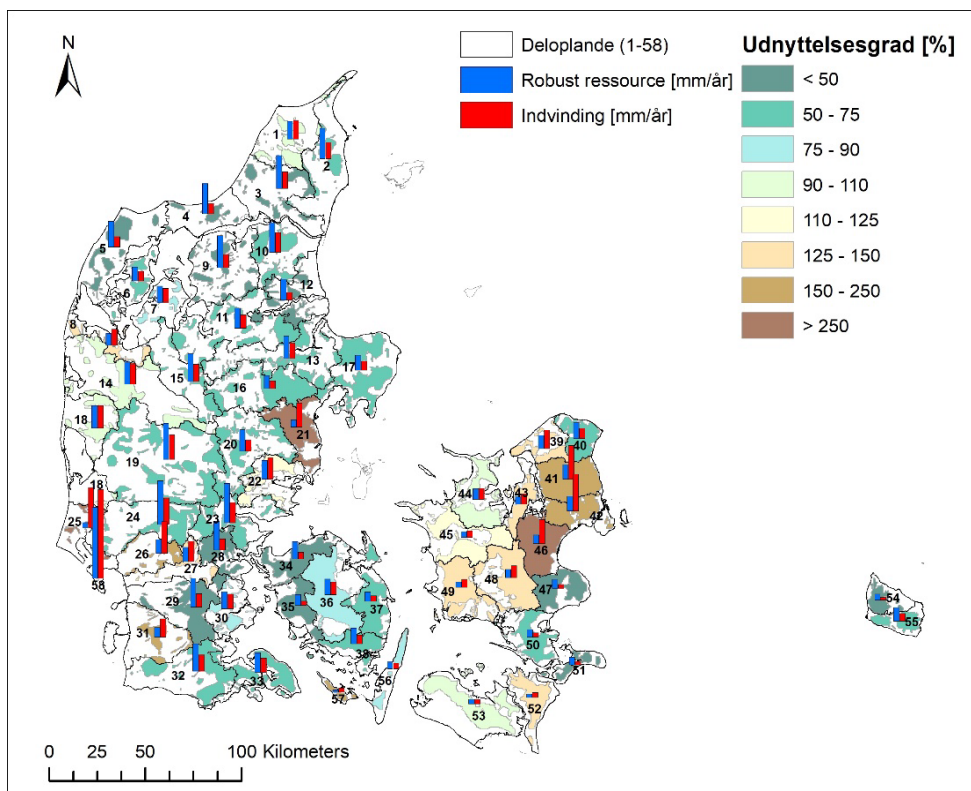
Figur 2.9 Resultat af robust ressource baseret på opgørelse ud fra ni indikatorer, hvor næstmindste (her benævnt 'Robust indikator' er brugt for alle indvindinger og vist i mm/år (ALT scenariet).





Figur 2.10 Sammenligning af ressource i mm/år med de ni ensemble indikatorer (ALT scenarier) samt robust indikator defineret som den næstmindste af de ni indikatorer. Nederst er vist vurderet udnyttbar grundvandsressource (som også vist i Fig. 2.9 i større format)

Kvantitativ tilstandsvurdering har vist at langt de fleste grundvandsforekomster blev vurderet i god tilstand (2041 ud af 2050 grundvandsforekomster). Kun ni forekomster blev vurderet i ringe tilstand. Det drejer sig om tre store kalk forekomster nord og syd for København, kalkforekomsten på Amager, kalkforekomsten på Falster og Østfyn, samt kvartære forekomster ved Odense, Århus og en mindre forekomst på Lolland. I alt indvindes der ca. 142 mio. m³/år fra disse forekomster i ringe kvantitativ tilstand, eller ca. 1/3 af den samlede vandindvinding fra almene vandværker. De seks kalkforekomster har et samlet areal på 2786 km² (Henriksen 2021b) og udgør ca. 15% af arealet for samtlige kalk magasiner i Danmark (Henriksen et al. 2023b).



Figur 2.11 Sammenligning af resultat af estimat for robust ressource udnyttelsesgrad (øverst – ALT med gennemsnit for OSD). Nederst resultater fra kvantitativ tilstandsvurdering for forekomster i risiko (Henriksen et al. 2021b).

Det skal bemærkes at det for langt de fleste forekomster var udslagsgivende, at der var problemer med akviferbæredygtigheden bedømt i forhold til trend i Sulfat og Klorid, forhøjet indhold, overskridelse af grænseværdier eller positiv trend af Sulfat eller Klorid, og ionbytning der peger på saltvandsindtrængning i et ferskt grundvandsmagasin. For tre af forekomsterne (de tre store forekomster omkring København) var der samtidig et problem med økologisk flow (EQR DFFVa). I ekspertvurdering blev samtlige data fra såvel model som overvågningsprogrammer sammenstillet og vurderet på GIS kort. Som vist på Figur 2.11 blev der også foretaget en vurdering af sikkerheden på vurderingen. Ekspertvurderingen blev foretaget for i alt ca. 90 grundvandsforekomster der alle havde en udnyttelsesgrad over 30%.

Det er primært dybdeantagelser vedr. fastlæggelse af topmagasin (med top 10-25 m under terræn) og primært magasin (>25 meter under terræn) der udgør en usikkerhed på beregninger. I 18 ud af de 58 deloplade er det indikator 1 eller 6 der definerer den udnyttbare ressource. Da der ikke er regnet på hverken indvindingsmuligheder fra mere terrænnær vandindvinding, eller påvirkninger fra en sådan indvinding på øvrige indikatorer f.eks. vådområder (indikator 5), baseflow påvirkning (indikator 3-4) eller økologisk flow (indikator 7-9), er det vanskeligt at vurdere, om man derved kunne forøge ressourcen, herunder evt. konsekvenser på akvifer bæredygtighed, baseflow, vådområder eller økologisk flow. I de deloplade hvor indikator 5 (våd areal) eller 7-9 (økologisk flow) definerer bæredygtig ressource, vil ressourcen evt. kunne forøges såfremt man optimerer placeringen indenfor deloplandet, således at de ID15 punkter eller kildepladser der giver de største effekter på f.eks. ændret Q50, ændret EQR for fisk eller vådarealændringer, flyttes til andre lokaliteter ved en optimering.

Forudsætninger for valg af tærskelværdier for de ni indikatorer er afgørende for opgørelsen af ressourcens størrelse, hvilket introducerer en meget væsentlig usikkerhed på fastlæggelse af max bæredygtig udnyttelsesgrad for hver af de ni indikatorer. Der er anvendt et forsigtighedsprincip i nærværende opgørelse i valg af tærskelværdier da der mangler viden.

I Danmark forekommer grundvandstørke typisk efter en serie tørre vintre og forår/somre typisk med 2-5 års varighed. Vi har set hændelser senest efter 2018, og tidligere i 1995-97 og 1972-76. På en længere tidsskala har man i Nordeuropa set megatørker et par gange i det seneste årtusinde. De gennemførte ressourceestimer tager ikke højde for egentlige grundvandstørke af denne type, og formentlig må man lave restriktioner i vandindvindingen, såfremt der indfinder sig en egentlig grundvandstørke. I ressourceopgørelsen fra 2003 blev det vurderet, at den bæredygtige ressource skal reduceres med ca. 20 % i en sådan grundvandstørke med varighed på 2-5 år. Der er ikke en indikator (blandt de ni valgte), som er særlig målrettet i forhold til f.eks. udtørring af vådområder eller vandløb, eller afsækning af det primære grundvandsspejl i tørkeperioder. Derfor er der et klart vidensbehov på dette område både med hensyn til relevant indikator, men også i forhold til modelgrundlag, idet såvel vandstande, hastigheder, temperatur og andre stressorer i overfladevand og grundvand vil skulle indarbejdes i environmental flow vurderingen.

2.5 Vurdering af klimaeffekter i forhold til udnyttelig grundvandsressource

Det har været udenfor rammerne af nærværende undersøgelse at beregne klimaeffekter på de ni indikatorer. I stedet er der foretaget en vurdering ud fra litteratur og andre gennemførte klimafremskrivninger af effekter på vandkredsløb med en skønsmæssig vurdering af effekten på bæredygtig grundvandsressource. Tabel 2.2 sammenfatter en vurdering af effekter på vandkredsløb og grundvand foretaget med DK model 2019 (Seidenfaden et al. 2022).

Tabel 2.1 Effekter af klimaændringer på vandkredsløb og grundvand for udvalgte regioner (Seidenfaden et al. 2022). Beregninger er baseret på RCP8.5 (højt emissionsscenario) for 2017-2100 i forhold til 1981-2010 på basis af 17 biaskorrigerede GCM/RCM klimamodeller. I tabel er vist %-vis ændring og standardafvigelse på tværs af ensemblet af de 17 klimamodeller

	Change RCP8 2071-2100	dk1 Sjælland	dk2 Øerne	dk3 Fyn	dk4-5-6 V. Jylland	dk4-5-6 Ø. Jylland	dk6 N. Jylland
Precipitation	% +- std	21% +-6%	23% +-5%	20%+-5%	15%+-6%	17%+-6%	19%+-7%
Evapotranspiration	% +- std	18% +-4 %	19%+-4%	20%+-4%	16%+-4%	17%+-4%	18%+-4%
Recharge	% +- std	25%+-11%	30%+-10%	22%+-12%	14%+-11%	15%+-12%	20%+-12%
Overland flow	% +- std	89%+-48%	50%+-21%	62%+-34%	37%+-22%	50%+-33%	54%+-34%
Drainage flow	% +- std	31%+-14%	36%+-12%	25%+-17%	20%+-17%	24%+-20%	25%+-19%
Stream flow	% +- std	35%+-16%	37%+-12%	23%+-14%	13%+-11%	18%+-14%	22%+-15%
Baseflow	% +- std	15%+-10%	8%+-5%	5%+-5%	6%+-5%	7%+-7%	11%+-8%
Irrigation	% +- std				40%+-16%	53%+-21%	43%+-17%

På basis af fremskrivninger i tabel 2.1 vurderes det at der vil være en positiv effekt på baseflow (indikator 3-4) samt på akvifer bæredygtighed (for indikator 6) i et fremtidigt klima.

Der vil være en mere blandet effekt for akvifer bæredygtighed hvor nogle områder hvor vandindvinding vil være stigende (indikator 1-2) f.eks. som følge af øget markvandsbehov eller hvor grundvandsspejlet generelt står højt og hvor fordampningen ændrer sig mere end grundvandsdannelsen, får en negativ effekt på bæredygtig ressource, mens andre områder med større dybde til grundvandsspejlet og øget grundvandsdannelse vil få en øget grundvandsressource. Det samme gælder omkring ændringer i det terrænnære grundvand (indikator 5) og omkring ændringer i medianvandføringen (Q50/indikator 9) hvor effekten af klimaændringer vil være blandet.

Med hensyn til klimaeffekter på økologisk flow (indikator 7-8) vil effekter alt andet lige være negative, på grund af dels stigninger i temperaturen, samt øget udtørring af mindre vandløb i sommer- og efterårsperioden.

Der er store usikkerheder på tværs af klimamodellerne (GCM/RCM) omkring fremskrivning af specielt baseflow hvor standardafvigelsen i flere regioner har samme størrelse som middel fremskrivningen. Tallene i tabellen er gennemsnitstal for seks områder.

2.6 Vidensbehov i forhold til forbedret opgørelse af udnyttelig grundvandsressource nu og i et fremtidigt klima

Ressourceopgørelsen er ikke fuldt ud landsdækkende da øer som Samsø, Læsø, Anholt mm. endnu ikke indgår i beregninger af vandressourcen på nationalt plan, selvom beregninger for øer med egen indvinding (Fanø, Ærø, Langeland mm.) har vist problemer med bæredygtig grundvandsressource. Detaljering af beregninger med DK-model fra 500m til 100m gridopløsning vil kunne forbedre ressourceopgørelsen i forhold til primært påvirkning af vådområder hvis de potentielt påvirkede områder skal vurderes mere detaljeret i forhold til 'målsatte vådområder' (evt. suppleret med maskinlæring og yderligere nedskalering). Påvirkning af økologisk flow (indikator 5-7) som følge af indvindinger til markvanding, industri og almen vandforsyning vil også kunne styrkes med en 100m model, ligesom analyser af strækninger f.eks. med udtørring i et fremtidigt klima vil kunne foretages med et forbedret modelgrundlag.

En ny indikator 10 der beskriver tørlægning af vandløbsstrækning mm. i perioder med længerevarende hydrologisk, eller grundvandstørke, bør evt. udvikles. Nærværende undersøgelse har givet et bud på hvilke indikatorer der er begrænsende i forskelle deloplande og giver derved et første fingerpeg om hvad man kan gøre for at sikre bæredygtig udnyttelse. Der er anvendt hhv. 30% og 50% udnyttelsesgrad for indikator 1/6 og 2, samt 10% baseflow reduktion for indikator 3 og 4. Der er imidlertid behov for mere viden om disse kriterier under forskellige hydrogeologiske og evt. hydrologiske og biologiske forhold. Det samme gælder indikator 7-8-9. Indikatorsystemet kan evt. udbygges med flere relevante stressorer f.eks. integration af vandkemi (forurening) og opstillede dybde kriterier for topmagsin og primært magasin. Der kan også være behov for at opstille evt. supplerende kriterier der tager udgangspunkt i trykniveau (afsækning af trykniveau).

Der er antaget uændret indvindingsstruktur. Der er et klart behov for vurdering af ændret indvindingsstruktur (f.eks. central versus decentral indvinding, udvalgte scenarier). Behov for beregninger af ændret markvanding, f.eks. vil nye arealer få behov for vanding i et fremtidigt klima, ligesom at ændret arealanvendelse (vegetation, dræning, jordbehandling osv.) bør indgå i udvalgte analyser. Karakterisering af forureningsudbredelser i de forskellige magasiner er desuden nødvendig, såfremt man har behov for nærmere at kunne kvantificere ressourcestørrelser på forskellige typer vandkvalitet. Vandbehandling kunne også indgå i kvantificering af ressourcen. Udpumpning af grundvand er heller ikke indregnet i nærværende analyse, og spørgsmålet er også om afværgetiltag skal inddrages i beregninger.

Der er behov for scenarie kørsler. Byudvikling/urbanisering, klimatilpasning, f.eks. effekter af øget dræning og klimatilpasning på ressourcens størrelse bør vurderes nærmere for at undgå 'maladaptation'. Hvad betyder det for grundvandsressourcen når man etablerer flere åer/søer, og hvordan påvirker skovrejsning grundvandsdannelsen? Hvordan opstilles relevante scenarier for udvidelse af vandede arealer (øget markvanding), og hvordan modellerer man sjældne tørkehændelser, såsom megadroughts, svarende til 500 års hændelser? Endelig vurderes det, at der er behov for udbygning af dataudstilling med tidsseriedata for 30-års perioder (vandmodel.dk) og dialog med kommuner omkring resultater af den nye ressourceopgørelse. Hvordan kan reeltidsdata og naturbaserede klimatilpasningsløsninger, incl. tørke- og vådhedsprognoser nyttiggøres i forhold til den daglige planlægning, vandind-

vindingstilladelser i kommunerne, og skal ressource indikatorer indgå i visualisering og udstilling af data og resultater f.eks. på vandmodel.dk og/eller HIP data?

3. Introduktion

Bæredygtig grundvandsudnyttelse er et vidtfavnende begreb, der omfatter økonomisk og social bæredygtighed, bæredygtighed i forhold til drivhusgasser, bæredygtig grundvandsindvinding og bæredygtig arealanvendelse (Henriksen og Refsgaard 2013). Nærværende ressourceopgørelse behandler kun bæredygtig grundvandsindvinding, der inkluderer: (a) at undgå uønskede følgevirkninger på grundvandsakviferen af vandindvindingen (akviferbæredygtighed), og (b) beskyttelse af økosystemernes levedygtighed i relation til vandindvinding (environmental flow eller recipient bæredygtighed).

Akvifer bæredygtighed kan her defineres som: Den mængde grundvand der kan indvindes uden uacceptable følgevirkninger på grundvandets trykniveau og vandkvalitet, sammenlignet med det upåvirkede magasin. Tilsvarende defineres recipient-bæredygtighed som: Afstrømningskarakteristika (mængde, hyppighed, timing, varighed, fluktuationer og forudsigelighed/variabilitet af hændelser) der er nødvendige for at vedligeholde (eller re-etablere) det naturlige afstrømningsregime, som understøtter specificerede, værdifulde egenskaber ved et økosystem (Henriksen og Refsgaard, 2013).

I Danske vandområdeplaner har man i det første screeningstrin anvendt en udnyttelsesgrad på max 30% af grundvandsdannelsen til grundvandsforekomster og max 80% sandsynlighed for tilstandsændring for ID15 punkter for fisk (DFFVa) og smådyr (DVFI). Herved antager man underforstået baseret på et forsigtighedsprincip at 70% af grundvandsdannelsen bidrager til opretholdelse af akvifer bæredygtighed og vandbehov til hhv. terrestriske og akvatiske økosystemer. Såfremt en forekomst er udnyttet mere end 30% af grundvandsdannelsen bliver der i en fase 2 i vandområdeplaner lavet en detailundersøgelse baseret på tilgængelig grundvandskemiske data for sulfat, klorid, ionbytning samt EQR observationer og GIS kort der sammenfatter modeldata og monitoringsdata (Henriksen et al. 2021b).

Opgaven i nærværende rapport bør følge anbefalinger fra seneste landsdækkende opgørelse i ferskvandets kredsløb (Henriksen and Refsgaard 2013; Henriksen et al. 2008) om anvendelse af 'multiple indikatorer for akvifer-bæredygtighed og recipient-bæredygtighed til karakterisering af den kvantitative tilstand af grundvandsforekomster. Tærskelværdierne for god/usikker tilstand for de enkelte indikatorer bør desuden afspejle et forsigtighedsprincip, som sikrer god status hvis indikatorer er overholdte.

Formålet med opgørelsen kan formuleres som følger:

Opgørelsen skal bidrage til, at indvinding af drikkevand foregår på en bæredygtig måde, så kvaliteten af grundvandet ikke forringes over tid og mængden fortsat er så stor, at der er vand nok til naturen.

Mere specifikt er formålene med opgørelsen:

1. Et estimat af den tilgængelige ressource for samtlige vandindvindinger (ALT scenariet), samt hvis modellen alene køres med indvinding til almen vandforsyning (VF scenariet)
2. En opgørelse for 58 deloplande og underopdelt på områder med særlig drikkevandsinteresser og indvindingsoplande til almene vandforsyninger (OSD/IOL)

3. Et bud på, hvordan grundvandsressourceopgørelsen på et overordnet niveau omregnes til areal på overfladen
4. En evaluering af estimerede ressourcer på basis af resultater af konsolideringen af den kvantitative tilstandsvurdering (der sikrer at ændringer i grundvandskemien for klorid, sulfat og ionbytning mm. inddrages i estimatet af grundvandsressourcen)
5. En kort gennemgang af den eksisterende viden om klimaændringernes betydning for den tilgængelige grundvandsressource incl. fordeling på landsdele

Leverancer omfatter nærværende rapport som beskriver metodik (kapitel 4), resultater og usikkerheder (kapitel 5), vurdering af klimaeffekter på ressourcens størrelse (kapitel 6) samt diskussion af vidensbehov (kapitel 7), samt en datafil, som indeholder resultaterne af opgørelsen samt nødvendige baggrundsdata. Datafilen vil gøres tilgængelig også via <https://vandmodel.dk>.

Afreporteringen skal anvendes som bilag til Miljøstyrelsens samlede afreportering omkring forvaltning af fremtidens drikkevandsressource, der er udført som en del af Miljøstyrelsens indsatser under Drikkevandsfonden på FL22 (se forord).

4. Metodik

Den tilgængelige grundvandsressource er opgjort på baggrund af et ensemble af indikatorer (Henriksen et al. 2008). Ensemblet af indikatorer er nærmere beskrevet i kapitel 4.1 – 4.4. Indikator 1 og 2 forholder sig til indvindingens størrelse i forhold til den tilgængelige grundvandsressource (dvs. udnyttelsesgraden bestemt ud fra indvindingen og grundvandsdannelsen indenfor de pågældende områder for et øvre sekundært og primært magasin). Indikator 3 og 4 omhandler indvindingens påvirkning på vandløbsafstrømningen indenfor deloplandet baseret på den samlede vandbalance for oplandet. Der arbejdes desuden med et par indikatorer for påvirkning af arealet med vådområder bestemt ud fra det terrænnære grundvandsspejl (indikator 5) indenfor hvert delopland, samt en indikator 6 baseret på udnyttelsesgrad for det 'øvre sekundære magasin' uden indvinding (jf. Henriksen et al. 2008). Markvanding er dynamisk beregnet med modellen på basis af vandede arealer og vandindhold i rodzonen (Stisen et al. 2019; Henriksen et al. 2019; Henriksen et al. 2015) på daglig basis og for hvert år i 30-års perioden. Øvrige indvindinger bl.a. almene vandforsyninger er midlet for 5-års perioden 2017-2021, og anvendt med konstant indvinding i hvert scenarie (50 – 300 scenariet). Valget af 5-års perioden er besluttet i samråd med MST og begrundes med et ønske om et indvindingsdatasæt der afspejler den aktuelle indvindingsstruktur, samtidig med at midling over fem år (2017-2021) forøger repræsentativiteten.

Definitionen på øvre sekundært og primært magasin er fastlagt således, at det øvre sekundære magasin er vertikalt afgrænset af en mindstedybde på 10m så det repræsenterer et øvre magasin der er adskilt fra det terrænnære grundvand, som typisk er defineret indenfor de øverste 10 m under terræn (Henriksen et al. 2022; Kidmose og Henriksen 2022). Det primære magasin er defineret som et magasin der dels har en middeldybde til toppen af det øvre grundvandsmagasin på ca. 25 m, og dels har en passende stor vandindvinding fra dette magasin eller fra dybere liggende magasiner.

For indikator 1-9 estimeres en ressource for hvert delopland på basis af 30 års dekade perioden 1991-2020, ud fra middelværdier for denne periode. Opgørelsen er foretaget både for det samlede delopland, og for OSD området (inkl. IOL udenfor OSD til almene vandværker) indenfor hvert delopland benævnt OSD/IOL. Der er lavet en vurdering både baseret på almene vandværker og for alle indvindinger. Der er således 4 resultatsæt for hvert delopland med 5 indikatorer (1-5). Indikator 6 er den eneste indikator der ikke afhænger af indvindingsstruktur, da den beregnes ud fra nul-kørslen (indikator 6 giver derfor samme resultat for almene vandværker som for alle vandværker, når ressourcen opgøres).

Som et supplement er der beregnet tre yderligere indikatorer, der beskriver EQR ændring for fisk for hvert delopland på basis af ID15 punkter (dvs. oplande med ca. 10 km² oplande / der er i alt ca. 3000 ID15 punkter for Danmark) samt reduktionen i medianvandføring (Q50). De supplerende indikatorer er beregnet for det samlede delopland, og det antages at resultater også er repræsentative for OSD/IOL. Det skyldes at ID15 punkter med væsentlig vandløbspåvirkning beregnet ud fra EQR ændring og Q50 reduktion i langt hovedparten af deloplande er defineret ud fra OSD/IOL, hvor indvindingen er mest intensiv indenfor deloplandet. Indikator 7 viser ressourcen under forudsætning af max 80% tilstandsæ-

dring (jf. vandplan for EQR ændring for DFFV_a for fisk), Indikator 8 er baseret på udpegning af EQR ændringer for fisk over 50% sandsynlighed for tilstandsændringer (ligeledes 'one out all out'). Indikator 9 belyser bæredygtighed i forhold til om der er ID15 punkter der har en reduceret Q50 påvirkning fra vandindvinding, der overstiger 40 % reduktion. Indikator 7-9 er bestemt ud fra max påvirkningen i et delopland (det ID15 punkt der har den største vandføringsreduktion for 50% percentilen). Q50 har tidligere været anvendt i Vandplan 3 som en supplerende vandføringsvariabel, der indgik i konsolideringen af tilstandsvurderingen (Henriksen et al. 2021b). Der ses ved denne indikator bort fra ID15 punkter, der har en Q50 ved nulørslen under 10 l/s. I tabel 1 er de 9 udvalgte ensemble ressource indikatorer beskrevet. I forhold til Henriksen et al. (2008), hvor der i seneste nationale ressourceopgørelse fra 2003 (Henriksen og Sonnenborg, 2003) blev anvendt 4 indikatorer, er indikator 1, 2 og 6 i princippet en slags gengangere, idet de antager hhv. max 30% udnyttelse af grundvandsdannelsen for aktuel indvinding til sekundært magasin (indikator 1), max 35% udnyttelse af grundvandsdannelsen uden indvinding til primært magasin (indikator 2) og max 50% udnyttelse af grundvandsdannelsen for aktuel indvinding til primært magasin. I de nye beregninger er indvinding i og under det respektive magasin akkumuleret for deloplande og OSD/IOL.

I opgørelsen fra 2003 blev beregningslag 3 for øerne og beregningslag 5 for Jylland udvalgt som det magasin hvorfra aktuel og nul indvindings-grundvandsdannelsen blev baseret på. I den nye opgørelse arbejdes der med en udvælgelse af sekundært magasin (indikator 1 og 6) og primært magasin (indikator 2) baseret på de magasiner hvor der er mindst 10m og mindst 25m til top af magasin i gennemsnit over deloplandets (eller OSD/IOL) areal, samtidig med at langt størstedelen af indvindingen sker i eller under det sekundære magasin. I visse deloplande er kalken (magasin 11) imidlertid beliggende med en middeldybde, der ikke opfylder kravet om mindst 25's dybde til primære magasiner. Her er der derfor foretaget justeringer i fastlæggelsen af magasiner svarende til hhv. sekundære og primære magasinlag.

I forhold til kvantitativ tilstandsvurdering hvor der er arbejdet med beregnede udnyttelsesgrader for 3D afgrænsede grundvandsforekomster hvor der blev indregnet grundvandsdannelsen fra 'alle sider' (hhv. fra top, fra siden og fra evt. dybere liggende forekomster), er der i nærværende ressourceopgørelse for de 58 deloplande alene beregnede grundvandsdannelsen fra 'toppen'. For nogle deloplande kan dette, hvor der forekommer grundvandsstrømning i primære magasiner på tværs af deloplande, som f.eks. i det vestlige Jylland fra Skjern å oplandet mod delopland omkring Ringkøbing fjord, eller fra Varde-Sneum å deloplande mod Ho bugt og Esbjerg, give en undervurdering af 'grundvandsdannelsen' til specielt primære magasiner (indikator 2), som kan give 'outliers' der undervurderer ressourcen for denne indikator i enkelte deloplande eller OSD/IOL indenfor deloplande (det skønnes at en underestimering på op til 100% for indikator 2 på deloplandsniveau er mulig).

Outliers kan også forekomme for øvrige indikatorer. Disse forhold vil blive nærmere illustreret, når resultater af valgte 9 indikatorer beskrives for de enkelte deloplande. For at sikre en rimelig robust opgørelse er det valgt i nærværende opgørelse at arbejde med et krav om at mindst to indikatorer (dvs. næstmindste indikator) indgår i definitionen af bæredygtig ressource. For deloplande, hvor der er beregnet 9 indikatorer er ressourcen estimeret ud fra 12.5 % percentilen (som svarer til, at det er resultatet med den indikator, der giver det

næstlaveste ressource-estimat der beregnes i excel tabellen). For enkelte deloplande har dette ikke været muligt enten fordi EQR-værdier ikke har kunnet extrapoleres eller fordi der ikke har været vandløb konkret repræsenteret i modellen, som f.eks. for delopland 58 Fanø. For Fanø og deloplande med mindre end 9 indikator er 12.5 % percentilen (fraktalfunktionen i excel) benyttet til at estimere en interpoleret ressource, som på samme måde styrker en mere robust opgørelse af ressourcen.

Efter at de 58 deloplande er estimeret for hhv. hele deloplandet og OSD/IOL del indenfor dette med de 9 indikatorer for hhv. alle indvindinger (ALT) og almene vandforsyninger (VF), er der beregnet aggregerede resultater for de 7 DK model domæner (dk 1: Sjælland, dk 2: Lolland-Falster-Møn, dk 3: Fyn-Langeland-Ærø, dk 4: Syddjylland incl. Fanø, dk 5: Midtjylland, dk 6: Nordjylland og dk 7: Bornholm).

Der er således 2 resultatsæt for hvert delopland med 3 vandløbspåvirkningsindikatorer (7-9) der inddrager den rumlige fordeling indenfor deloplandet. Det skal bemærkes at EQR-ændringer er relativt komplekse. Beregninger af ressourcen for indikator 7-9 er derfor foretaget i to trin. Først er det fastlagt i hvilket interval (f.eks. 0-50, 50-100, 100-150, 150-200, 200-300 eller > 300% scenariet den bæredygtige ressource overskrides) f.eks. ved krav til EQR eller 40% Q50 reduktion for det maksimalt påvirkede vandløbs-ID15 punkt. Dernæst er der foretaget en interpolation, eller ekstrapolation hvis bæredygtig ressource er større en 300 scenariet. I nogen tilfælde giver EQR værdier en ikke lineær påvirkningsudvikling, f.eks. kan EQR værdi være aftagende, selvom indvinding øges for et maksimalt påvirket punkt. Da der både er foretaget beregning med indikator 7 (EQR kriterium på 80% sandsynlighed for tilstandsændring, og indikator 8 EQR kriterium på 50% sandsynlighed for tilstandsændring), giver det en øget robusthed at begge indikatorer er anvendt, selvom indikator generelt vil give et lavere ressource estimat end indikator 7. Som vist (se Danapour et al. 2019/2021), er flow og reduktioner af vådareal (indikator 3-5, og indikator 9 Q50) typisk lineære hvorfor de er bedre egnede til optimeringsberegninger, end EQR ændringer er det. I tabel 4.1 er de anvendte 9 ensemble ressource indikatorer karakteriseret og sammenfattet.

Det skal bemærkes, at forudsætningerne for valg af tærskelværdier for hver enkelt indikator er afgørende for estimatet af ressourcens størrelse. Der mangler i mange tilfælde viden om, hvad der er bæredygtigt, hvilket introducerer en meget væsentlig usikkerhed på fastsættelse af max udnyttelsesgrad, eller max påvirkning af det øverste grundvandsspejl eller vandføring / EQR-værdi ved indvinding.

Det har ikke været hensigten at kvantificere denne usikkerhed, men derimod at foretage en ensartet ressourceopgørelse for hele landet, der er så robust som mulig, og hvor troværdigheden af indikatorer baseres på en kvalitativ vurdering. Valget af tærskelværdier på 30% og 50% for indikator 1-2 afspejler et forsigtighedsprincip (i forhold til resultater af konsolidering af vandområdeplaner, selvom de 30% for top magasin også blev anvendt i sidste landsdækkende ressourceopgørelse fra 2003), og det samme gør valget af 10% for indikator 3-4 (her blev også anvendt 10% i forhold til middelvandføring). Tærskelværdien for vådareal reduktion på max 5 % er ligeledes valgt jf. et forsigtighedsprincip, og indikator 5 har ikke tidligere være anvendt, så vi har ingen erfaringer at bygge dette valg på. Sandsynlighed på 80% for tilstandsændring for fiske EQR for indikator 7 svarer til vandområdepla-

ner, og her er garderet med en yderligere indikator 8 baseret på max 50% sandsynlighed for tilstandsændring. Endelig er indikator 9 baseret på en tærskelværdi på max 40% reduktion af medianvandføring Q50, medtaget for at sikre at flow størrelser der indgår i normaliseringen af samtlige økologiske flow variable, kun påvirkes med max 40% for et id15 punkt i forhold til reduktion af Q50.

Tabel 4.1 – Karakterisering af de 9 udvalgte ensemble ressource indikatorer. For alle indikatorer er anvendt beregnet middelværdi for 30-årsperioden 1991-2020 kørt med midlet indvinding for almene vandværker og industri baseret på 2017-2021, og nedbørs- og fordampningsvariationer samt tilhørende markvædningens behov modelberegnet ud fra vandede arealer

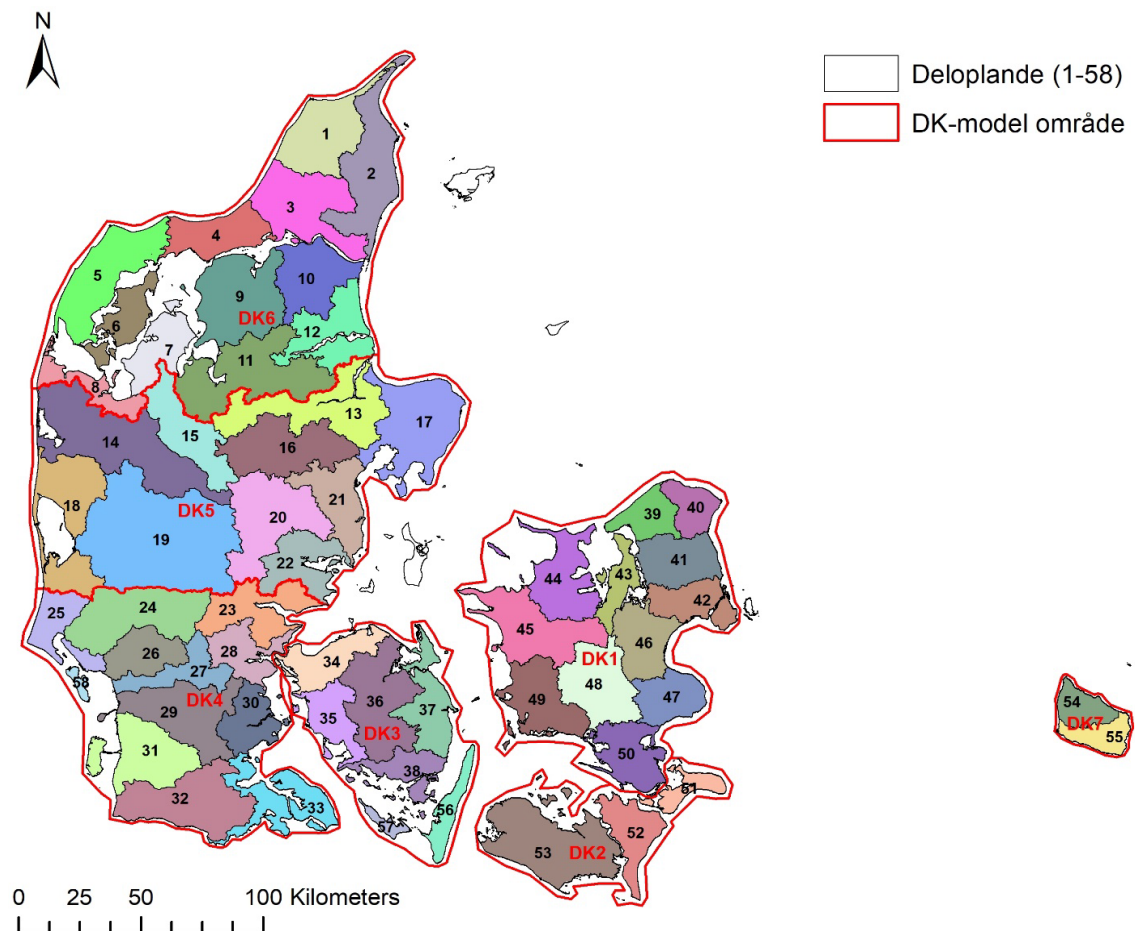
Indikator (målgruppe)	Afhængig af indvindingsstruktur (placering og dybde)	Middelværdi eller Q punkt (one out all out)	Kriterier	Tærskel Værdi
1 Udnyttelsesgrad i forhold til topmagasin / øvre sek.magasin (akvifer bæredygtighed)	Moderat	Middelværdi	Middeldybde til top af magasin >10 m og < 25 m	Max 30% udnyttelse
2 Udnyttelsesgrad primære magasin (akvifer bæredygtighed)	Stor	Middelværdi	Middeldybde til top af magasin >25m og/eller 'betydelig indvinding' i+under	Max 50% udnyttelse
3 Reduktion af baseflow (vandløbspåvirkning)	Moderat	Middelværdi	Akvifer-vandløb flow akkumuleret for delopland	Max. 10 % reduktion
4 Reduktion af baseflow og drænflow (vandløbspåvirkning)	Lille	Middelværdi	Dræn flow akkumuleret for delopland (vægtet)	Max. 10 % reduktion
5 Reduktion af areal af 'vådområder' (vådområdepåvirkning)	Stor	Middelværdi	Reduktion af real med dybde < 1 m.u.t.	Max. 5 % reduktion
6 Udnyttelsesgrad nulindvinding (akvifer bæredygtighed)	Ingen	Middelværdi	Magasin som for 1	Max. 30% udnyttelse
7 EQR-ændring 80% sandsynlighed (vandløbspåvirkning)	Meget stor	One-out-all-out	Alle ID15 punkter (største ændring)	Max -0.23 (EQR)
8 EQR-ændring 50% sandsynlighed (vandløbspåvirkning)	Meget stor	One-out-all-out	Alle ID15 punkter (største ændring)	Max -0.16 (EQR)
9 Q50 median flow reduktion i % (vandløbspåvirkning)	Meget stor	One-out-all-out	ID15 punkter med nul-flow > 10 l/s	Max. 40% reduktion

Udover fastsættelse af indikatorer er der en række øvrige usikkerheder f.eks. på modelparametre, modelstruktur og input data (f.eks. nedbør, vandindvinding og fordampning) (Henriksen et al. 2017). Der er også væsentlige usikkerheder på klimavariabilitet og klimaændringer, som ikke er indregnet i de valgte indikatorer baseret på vandbalancen. Her vil rapporten diskutere nogen af disse usikkerheder på basis af litteraturen og andre danske undersøgelser bl.a. fra HIP, NIFA og øvrige projekter (Karlsson et al. 2015; Trolle et al. 2016; Refsgaard et al. 2016; Sonnenborg et al. 2015; Henriksen et al. 2022; Seidenfaden et al. 2022; Chan et al. 2021; Colgan et al. 2022).

En oplandsbaseret vurdering af vandbalanceforhold, udnyttelsesgrader og vandløbspåvirkning giver en mere robust vurderingen af den tilgængelige grundvandsressource og 58 deloplande er derfor udpeget. De følger DK-modellens domæneafgrænsninger samt ID15 oplands/kystoplandsafgrænsninger, se Figur 4.1.

Der er ved afgrænsningen af deloplande foretaget en række tilpasninger. Dels har det været tilstræbt at afgrænsningen af deloplande har en rimeligt ensartet størrelse (skala) og repræsentativitet i forhold til forskellige oplands- og geologiske forhold.

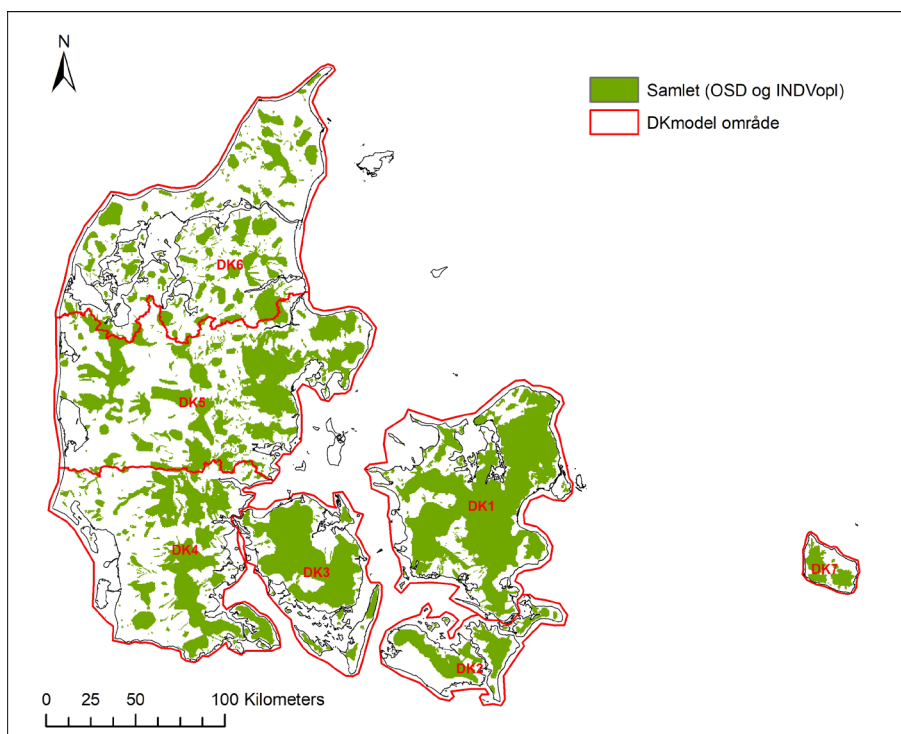
Afgrænsninger er tilpasset ID15 oplandsgrænser og så vidt muligt også kystoplandsgrænser. Dette princip er dog imødegået langs kysten, således at afgrænsningen er tilpasset kystlinien. Der er således anvendt topografiske afgrænsninger frem for grundvandsoplandsgrænser. For en indikator som indikator 2 kan dette give outliers eller fejl i opgørelsen, i tilfælde, hvor der sker en stor indstrømning i det primære grundvand fra nabo deloplande (gælder eksempelvis for delopland 18 og delopland 25), hvor der er en underestimering af ressourcens størrelse med indikator 2. For indikator 1 og 6, hvor det øvre sekundære magasin (med dybde til top magasin på 10-25 m benyttes) vil brugen af topografisk opland give mindre fejl, da eksempelvis det terrænnære grundvand og øvre sekundære grundvandsspejl typisk vil følge den topografiske oplandsgrænse.



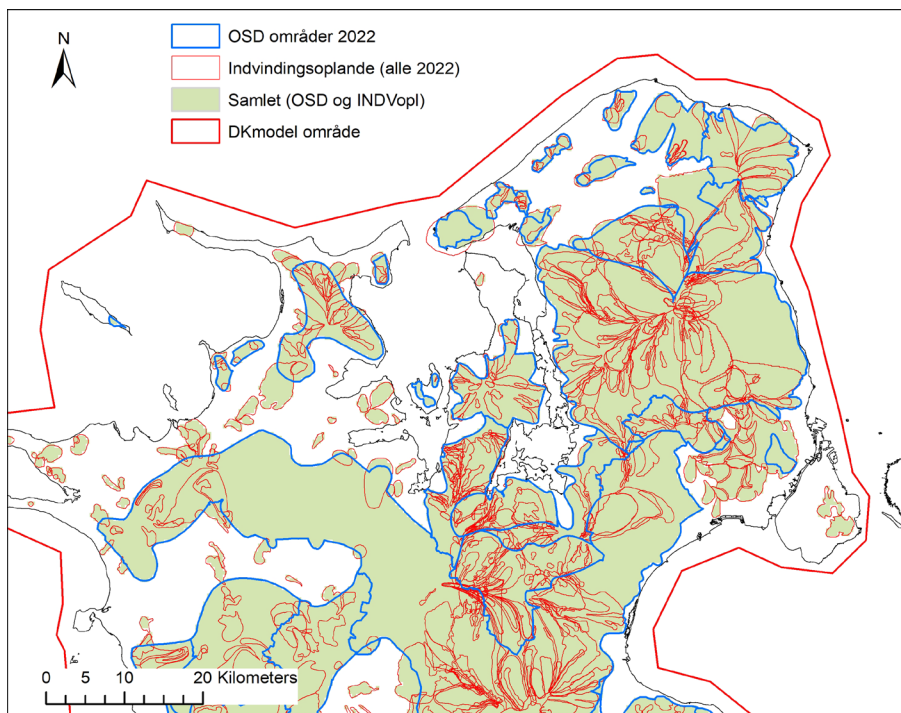
Figur 4.1. Deloplande samt DK-modelområder. Hvert delopland er angivet med nummer og farve.

Figur 4.2 viser foreningsmængden af OSD og indvindingsoplande (OSD/IOL), de 58 deloplande og de 7 DK model domæner. Figur 4.3 viser det samlede OSD/IOL for (en del af) domænet DK 1 Sjælland. På figuren er vist alle indvindingsoplande (IOL), hvor nogen ligger udenfor OSD. Det er fællesmængden af IOL og OSD der er aggregeret til OSD/IOL.

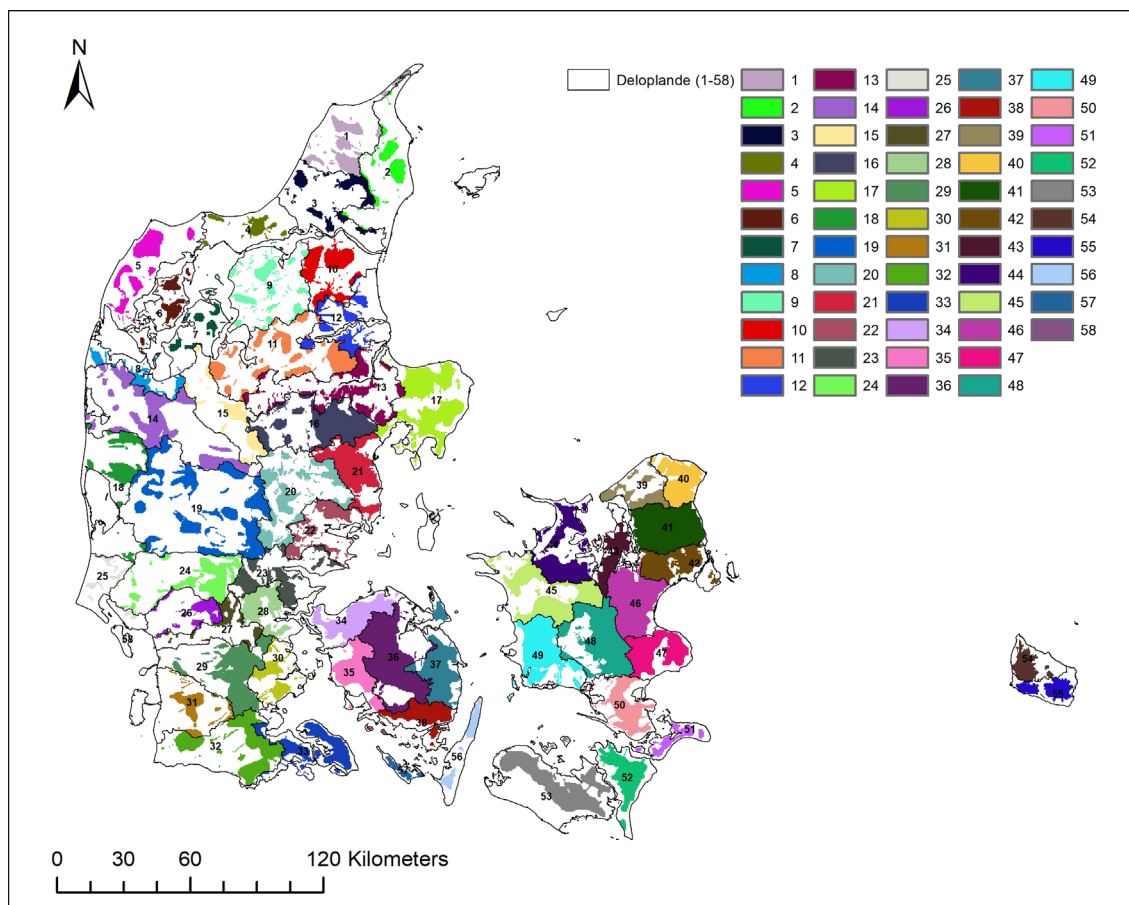
For hvert domæne og hvert delopland (se Figur 4.4) foreligger der således resultater for både det samlede opland og for OSD/IOL indenfor det samlede opland (indikator 1-9), for både scenarier med alle vandværker (i datafil ALT) og for almene vandværker (VF).



Figur 4.2. Foreningsmængden med OSD og indvindingsoplande for hele Danmark.



Figur 4.3. Eksempel på samlet OSD/IOL aggregeret område for del af DK-model domæne Sjælland.



Figur 4.4 OSD/IOL indenfor de enkelte deloplande.

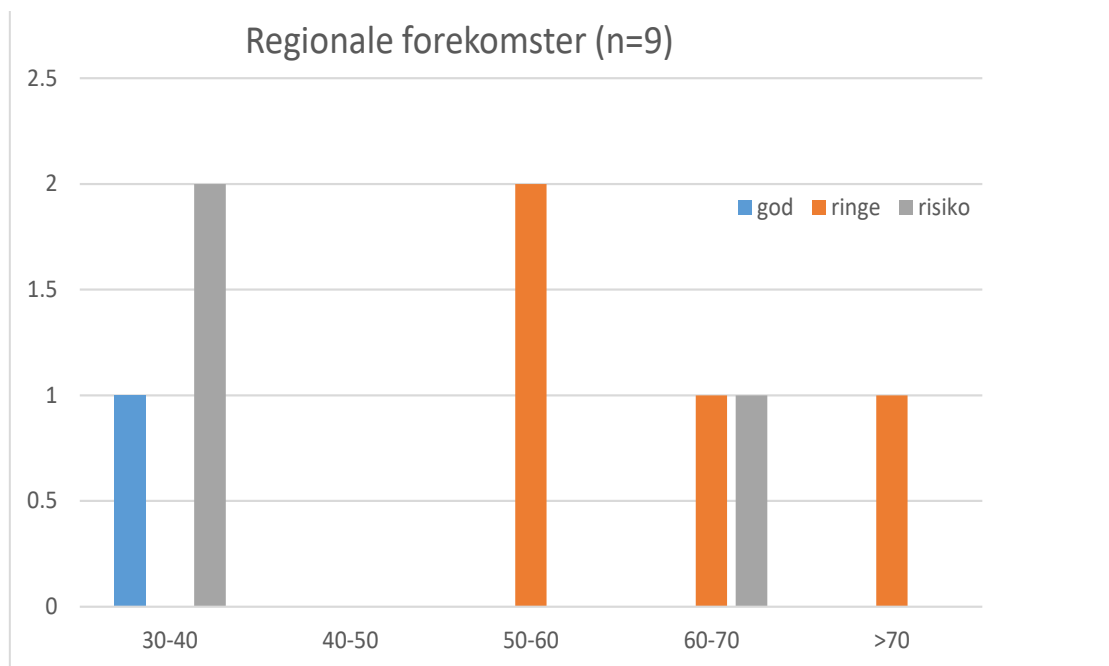
Det fremgår af Figur 4.4, at mange deloplande på Sjælland, Fyn og Østjylland udgør en relativ stor del af det enkelte delopland, mens det omvendte er tilfældet i Vest-, Midt- og Nordjylland.

4.1 Ressource tilstandsvurdering og ressource udnyttelsesgrad

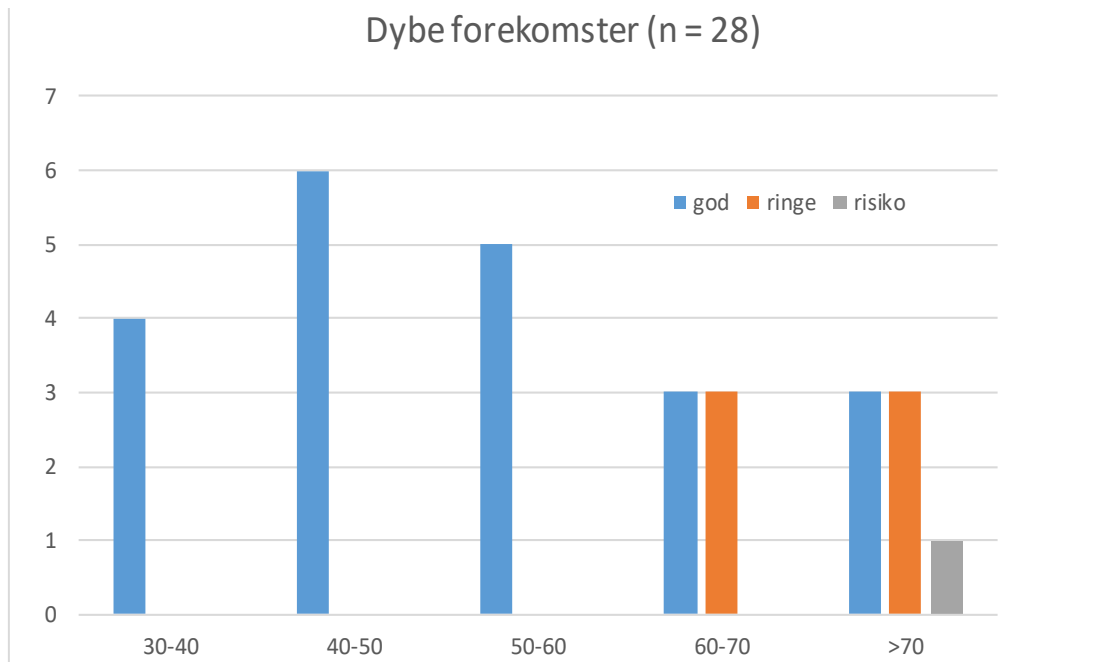
Det er valgt at inddrage erfaringer med tærskelværdier for akvifer bæredygtighed fra de seneste to vandområdeplaner. Det er gjort for at sikre at den viden der er indsamlet som led i konsolideringen af tilstandsvurderingen for større forekomster indgår i fastlæggelsen af forsigtighedsprincip baserede akvifer bæredygtigheds-tærskelværdier for hhv. top magasin (indikator 1) og primært magasin (indikator 2), samt for vandløbspåvirkning for medianvandføring for Q50 (indikator 5). I forbindelse med konsolideringen har der været kigget grundigt på ændringer i grundvandskemien som følge af vandindvinding i udpegede større forekomster som efter basisanalysen blev udpeget som værende i risiko for ringe kvantitativ tilstand. Det sammen gælder for vandløbspåvirkninger, hvor der har været inddraget også målte EQR værdier for ørred, fisk og smådyr i konsolideringen og ekspertvurdering gennemført af deltagere fra GEUS og MST for hver enkelt forekomst i risiko.

4.1.1 Resultater fra kvantitativ tilstandsvurdering

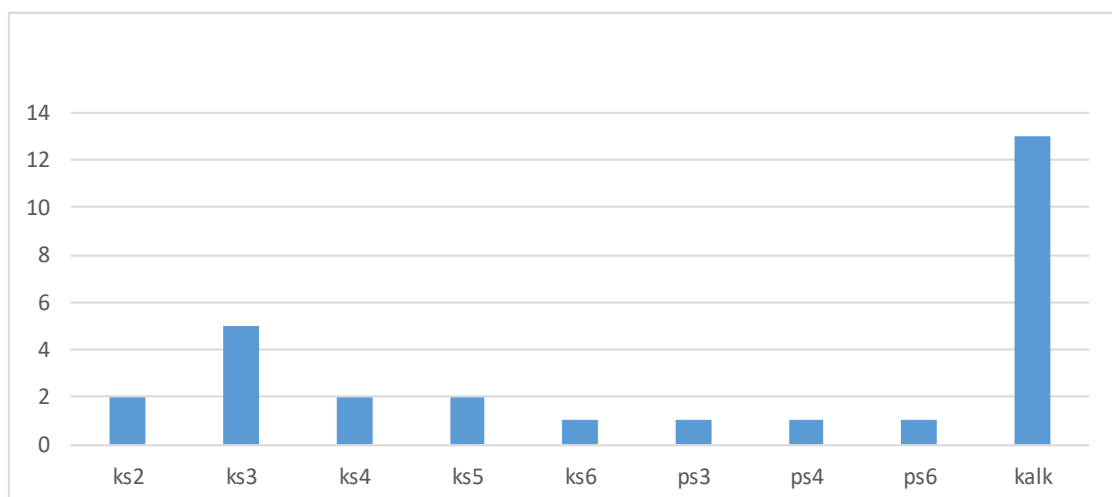
Der er foretaget en analyse af Vandområdeplan 2 og 3 (VP2 og VP3) ekspertvurderinger af forekomster med udnyttelsesgrad > 30% fra konsolideringer af tilstandsvurderinger. Nedenfor er resultater herfra analyseret i forhold til udnyttelsesgraden og endelige tilstandsvurdering. Det skal bemærkes at de to ekspertvurderinger, er baseret på lidt forskellige metodikker og datagrundlag, ligesom afgrænsning af grundvandsforekomster var en anden i VP2 end i VP3. Resultater fra VP3 omfatter alene de ca. 25 større grundvandsforekomster, idet de små forekomster < 15 km² ikke vurderes repræsentative for deloplands-skalaen. I VP2 vurderingen resulterede ekspertvurderingen i tre forekomster, som var i ringe tilstand, 6 forekomster der var i risiko, og 8 forekomster der var i god tilstand. I VP3 vurderingen endte 8 forekomster i ringe tilstand, og 17 forekomster i god tilstand. I VP2 var der i afgrænsningen for visse forekomster en kobling af KS3 med kalk, i VP3 var kalk altid et adskilt magasin (og forekomst). For de to koblede forekomster fra VP2 der blev vurderet i risiko, har vi valgt at vise dem særskilt i analysen med grå farve (i risiko), mens øvrige enkeltforekomster i kalk er placeret i enten god eller ringe tilstand, da forekomster i risiko blev placeret i god tilstand efter tilstandsvurderingen. Se figur 4.5-4.7.



Figur 4.5 Analyse af sammenhæng mellem udnyttelsesgrad for regionale grundvandsforekomster på baggrund af ekspertvurderinger udført som del af basisanalyse og tilstandsvurdering fra VP2 og VP3 (antages repræsentative for øvre, sekundære forekomster).



Figur 4.6 Analyse af sammenhæng mellem udnyttelsesgrad for grundvandsforekomster på baggrund af ekspertvurderinger for dybe forekomster udført som del af basisanalyse og tilstandsvurdering fra VP2 og VP3 (repræsentative for primære magasiner. I figuren er der en forekomst 'i risiko'



Figur 4.7 Antal dybe forekomster der er ekspertvurderet på forskellige typer i VP2 og VP3.

Baseret på de ekspertvurderede forekomster fra VP2 og VP3 kan man som en absolut øvre grænse for en acceptabel udnyttelsesgrad argumentere for, at alle forekomster i hvert fald skal opfylde følgende kriterier), vurderet i forhold til middeldybden til forekomster:

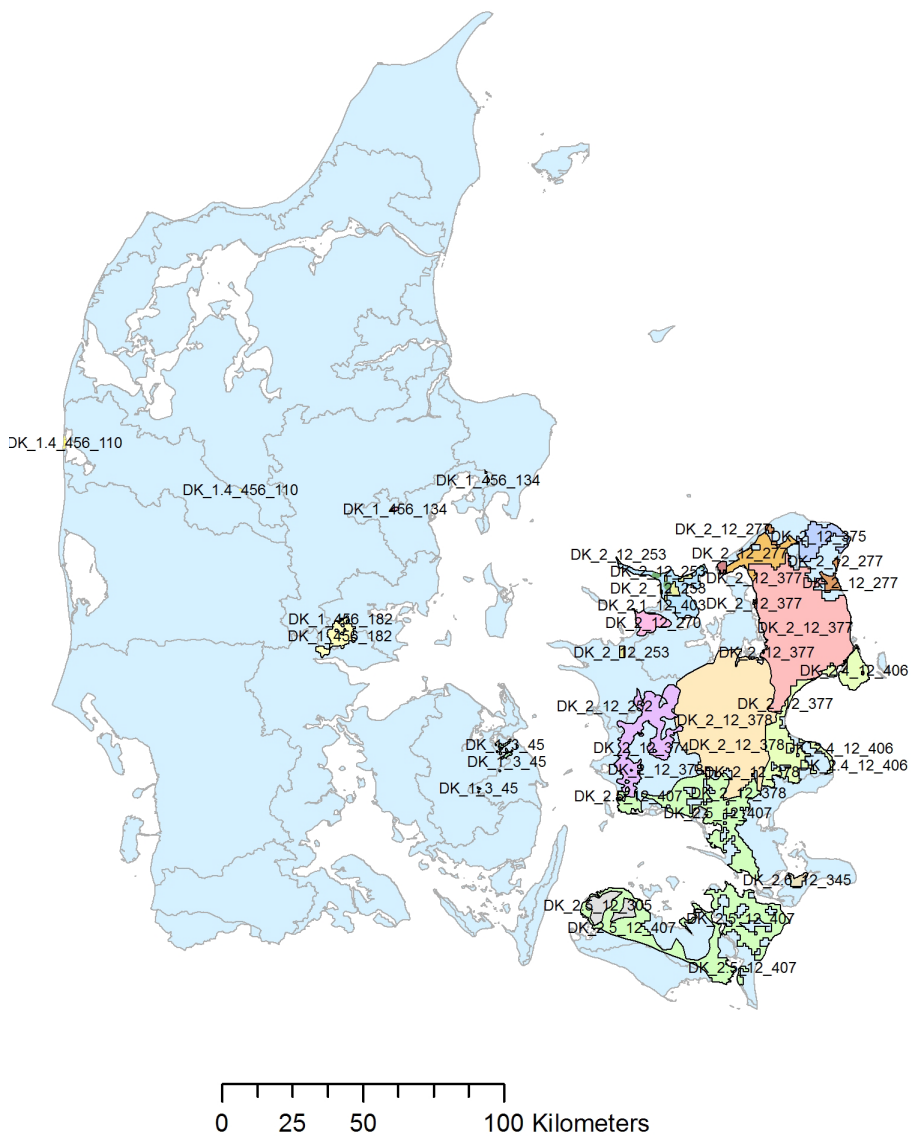
(som en absolut øvre grænse):

- Regionale sandmagasiner grundvandsforekomster (GVF) med middeldybde til top af magasin >10m og <25m under terræn: Udnyttelsesgrad max 30 % (det vil sige der for indikator 1 altid bruges en udnyttelsesgrad på 30% i nærværende opgørelse uanset om det er magasin 2, 3 eller 4, der repræsenterer øvre sekundære magasiner med middeldybde >10m og mindre end 25 m). Gældende for indikator 1 og indikator 6

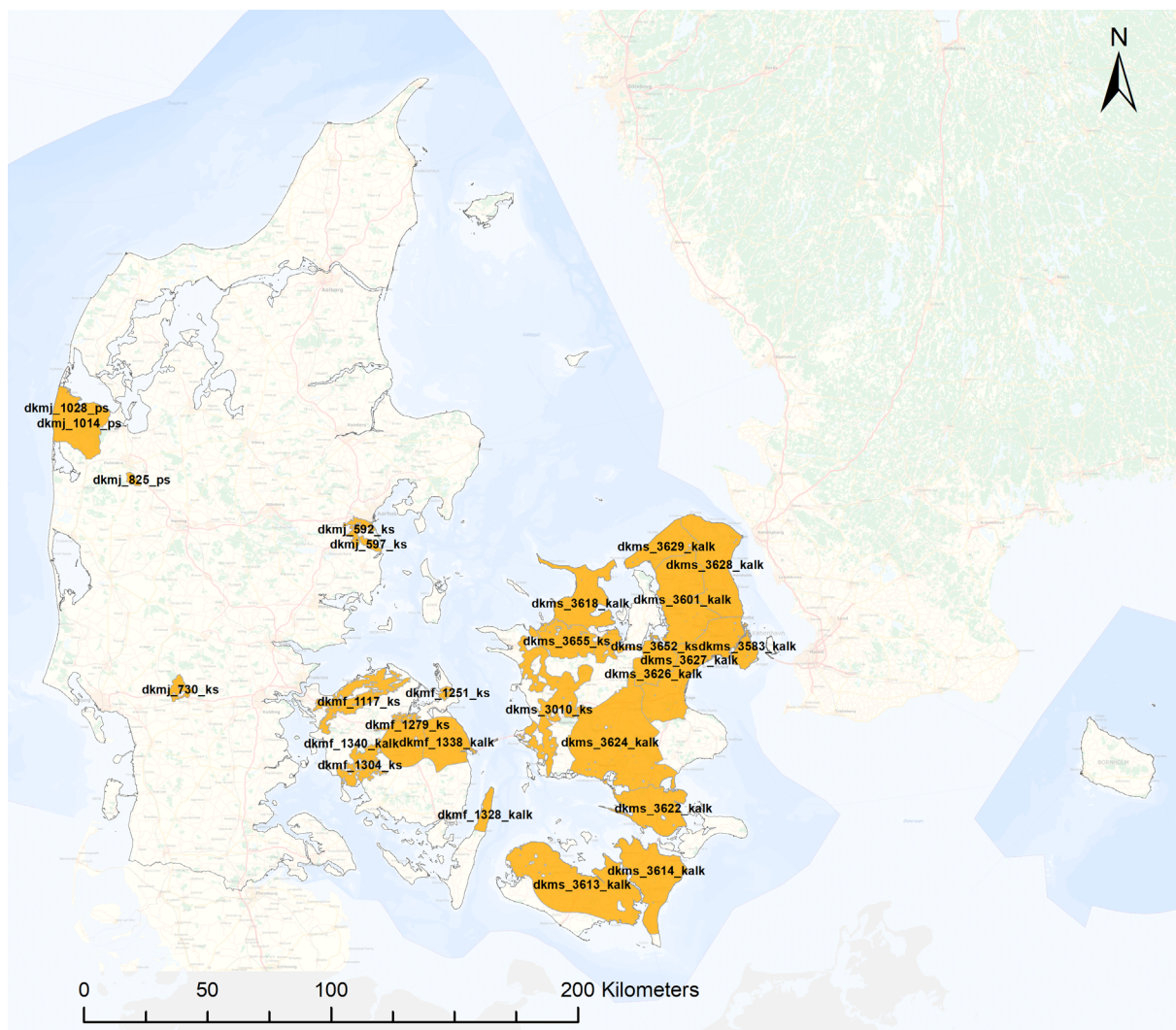
- Primære magasin med top > 25 m (middel) under terræn hhv. ks og ps-forekomster, samt alle kalkforekomster uanset om middeldybde er > 25 m.u.t.: Udnyttelsesgrad max 50 % for primært magasin i alle tilfælde (gældende for indikator 2)

Der mangler desuden viden om udnyttelsesgrad for regionale magasiner, da der ikke er lavet ekspertvurderinger for kvartære og prækvartære sandmagasiner (herunder frie magasin), som der er for artesiske magasiner, magasiner i dybde dale mm. Ingen af de 13 kalkforekomster, der er vurderet i ringe tilstand i VP2 og VP3 havde en udnyttelsesgrad mindre end 50%.

I Tabel 4.2 er resultater af ekspertvurdering fra VP2 og VP3 sammenstillet. Fig. 4.8 og 4.9 er vist placering af konsoliderede grundvandsforekomster fra VP2 og VP3.



Figur 4.8 Forekomster der indgik i konsolidering i VP2 (Henriksen et al. 2014b)



Figur 4.9 Forekomster der indgik i konsolidering af VP3 (Henriksen et al. 2021b)

Tabel 4.2 Opsummering af resultater på basis af kvalitativ viden fra kvantitativ tilstandsvurdering i VP2 og VP3. Tabellen angiver forekomstnavn, magasintype, areal (mangler), udnyttelsesgrad i % af grundvandsdannelse til forekomst, tilstandsvurdering, samt EQR ændringer (rød: mere end 80% sandsynlighed for tilstandsændring med en klasse, gul 50-80% sandsynlighed og gul: 20-50% sandsynlighed for tilstandsændring med en klasse for fisk). Endelig er vist %-vis ændring i Q50 og Q90 (rød: >45% reduktion, orange: 25-45 % reduktion og gul: 10-25% reduktion af Q50 eller Q90). (Kilder: Henriksen et al. 2014b og Henriksen et al. 2021b,c)

Regionale forekomster

Navn	GVF		Areal	Udnyttels	Tilstand	dEQRmax	Q50%max	Q90%max
DK_2_12_377	kalk/ks3	regional		78	ringe			
dkms_3627_kalk	kalk	regional		68	ringe	rød	rød	rød
DK2_12_378	kalk/ks3	regional		65.2	risiko			
dkmf_1338_kalk	kalk	regional		58	ringe	grøn	gul	gul
dkms_3614_kalk	kalk	regional		52	ringe	grøn	gul	orange
DK_1_456_182	ks1	regional		33.4	god			
DK2.4_12_406	kalk	regional		32.3	risiko			
DK2.5_12_407	kalk	regional		30.6	risiko			
dkms_3613_kalk	kalk	regional		30	god	gul	orange	gul

Dybe forekomster

Navn	GVF		Areal	Udnyttels	Tilstand	dEQRmax	Q50%max	Q90%max
dkmf_1340_kalk	kalk	dyb		83	god	grøn	gul	orange
dkmf_1304_ks	ks3	dyb		79	god	grøn	orange	orange
dkms_3601_kalk	kalk	dyb		75	ringe	rød	rød	rød
dkmf_1279_ks	ks3	dyb		72	ringe	grøn	grøn	grøn
dkmf_1251_ks	ks3	dyb		72	god	grøn	grøn	grøn
dkms_3628_kalk	kalk	dyb		71	ringe	rød	rød	rød
dkmj_597_ks	ks5	dyb		68	god	gul	rød	rød
DK_2_12_375	kalk	dyb		67.4	god			
DK_2_12_374	ks4	dyb		65.3	ringe			
DK_2_12_270	ks4	dyb		65	god			
DK_2.5_12_305	kalk	dyb		64.1	ringe			
dkmj_592_ks	ks5	dyb		63	ringe	gul	gul	rød
DK_1_456_134	ks2	dyb		59.9	god			
dkms_3629_kalk	kalk	dyb		58	god	gul	gul	gul
dkmj_730_ks	ks6	dyb		57	god	grøn	gul	gul
DK_2.2_12_404	kalk	dyb		54.3	god			
dkmj_825_ps	ps3	dyb		54	god	grøn	grøn	grøn
dkms_3618_kalk	kalk	dyb		45	god	gul	gul	orange
dkmf_1117_ks	ks2-ks3	dyb		44	god	grøn	orange	grøn
dkms_3655_ks	ks3	dyb		44	god	gul	orange	gul
dkms_3010_ks	ks3-ks4	dyb		44	god	gul	orange	gul
dkms_3624_kalk	kalk	dyb		44	god	gul	orange	rød
dkms_3622_kalk	kalk	dyb		41	god	orange	orange	orange
dkmj_1028_ps	ps6	dyb		37	god	grøn	grøn	grøn
dkmj_1014_ps	ps4	dyb		35	god	grøn	grøn	gul
dkmf_1328_kalk	kalk	dyb		31	god	grøn	gul	gul
dkms_3626_kalk	kalk	dyb		29	god	gul	rød	rød
DK2.1_12_403	kalk	dyb		71.4	risiko			

4.1.2 Vandløbspåvirkning: Baseflow på deloplandsniveau

Kriterier BASEFLOW påvirkning:

Her benyttes Gleeson and Richter (2017) som anbefaler en bæredygtig udnyttelse på max 10% reduktion af baseflow. Der er udtrukket hhv. reduktion af samlet baseflow på deloplandsniveau, samlet drænflow og vægtet baseflow & drænflow. Der er beregnet to indikatorer begge med kravværdi på max 10% reduktion:

- Indikator 3: indvinding svarende til max 10% reduktion af baseflow (beregnet som grundvandsafstrømning til vandløb fra alle lag, bestemt ved differens mellem udstrømning og evt. lækage fra vandløb til grundvand)
- Indikator 4: indvinding svarende til max 10% reduktion af vægtet baseflow og drænflow reduktion (forholdsmæssigt).

Både drænflow og grundvandsafstrømning til vandløb kommer fra grundvand, og repræsenterer en påvirkning af terrestriske og akvatiske økosystemer (Nilsson et al. 2019).

4.1.3 Hovedprincip for fastsættelse af indikatorer til vurdering af udnyttelsesgrad for deloplande samt OSD/IOL indenfor hvert delopland

Når der skal fastsættes vandbalance indikatorer for deloplande (indikator 1-6) skal der tages højde for såvel skalaforhold som klimavariationer (f.eks. en række tørre år i en 30 års periode). Endelig kan der være områder med dårlig vandkvalitet (Henriksen og Sonnenborg 2003).

Indikator 1 'Øvre magasin' tager udgangspunkt i udnyttelsesgrad vurderet for 'øvre magasiner', altså repræsentative for det øverste magasinlag med mindst 10% indvinding ud af den samlede indvinding. Her benyttes en udnyttelsesgrad på 30 % såfremt middeldybden til top af magasin er ≤ 25 m. Hvis magasinet har middeldybde over 25 m antages en udnyttelsegrad på 50%.

Indikator 2 'Dybere magasin' tager udgangspunkt i et dybere magasin, der har den største indvinding. Her benyttes en udnyttelsesgrad på 60% for kalk og 50% for øvrige magasintyper, såfremt middeldybde til magasin top er over 25m. Alternativt benyttes udnyttelsesgrad på 30%.

Indikator 3 'Baseflow SZ til vandløb' tager udgangspunkt i et krav om max 10 % reduktion af baseflow i forhold til 0-scenarie.

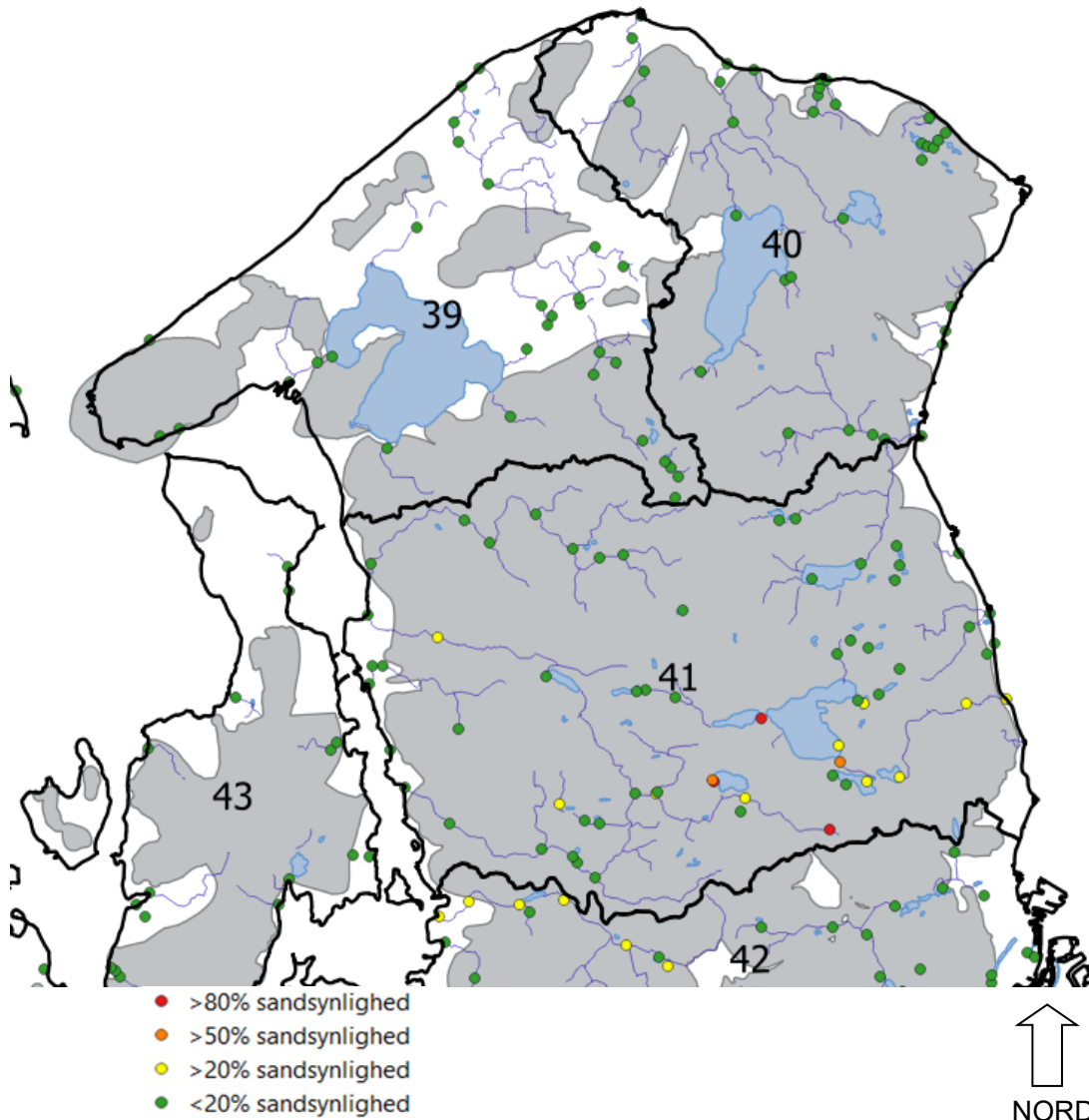
Indikator 4 'Sum baseflow & dræn' tager udgangspunkt i et krav om max 10% reduktion af baseflow og dræn sum i forhold til 0-scenarie.

Indikator 5 'Sænkning af grundvandsspejl'. Tager udgangspunkt i arealet i nulkørslen der har en dybde til det terrænnære grundvandsspejl på 1 meter under terræn og % vis reduktion ved øget vandindvinding

Indikator 6 'Udnyttelsesgrad på 35% for øvre magasin beregnet ud fra kørsel med nul indvinding'

4.2 Vandløbspåvirkning EQR på ID15 niveau

I figur 4.8 er vist påvirkning af ID15 punkter for scenariet alle indvindinger 100 %.



Figur 4.8 Eksempel på beregning af vandløbspåvirkning i forhold til EQR-ændringer af ID15 punkter for scenariet alle vandindvindinger 100 % (ALT). I delopland 39 og 40 er der udelukkende punkter påvirket under 20% sandsynlighed for tilstandsændring (grønne), mens opland 41 har et par punkter i med mere end 80% sandsynlighed (røde) og et par punkter med 50-80 % sandsynlighed (orange) samt et antal punkter med 20-50 % sandsynlighed for tilstandsændring (gule).

I ressourcevurderingen undersøges for hvert delopland, om der er røde og orange Q-punkter i et delopland ved et givent scenarie (her vises scenariet for 100% indvinding svarende til hovedscenariet almene vandværker). Det fremgår, at delopland 39 og 40 har grønne ID15-punkter, dvs. at på 100% scenarie niveau er udnyttelsen 'bæredygtig'. Delopland 41 har orange og gule punkter. Det betyder, at 100 % scenariet er bæredygtigt i forhold til indikator 7, men idet der er orange punkter, så er 100% indvinding ikke bæredygtigt i forhold til indikator 8. Det skal bemærkes, at nogen oplande og scenarier kan vise ret

komplekse påvirkningsmønstre (se Appendix 1 hvor påvirkninger er vist for udvalgte deloplande på Sjælland og i Midtjylland).

I nogen tilfælde vil tilvæksten i EQR ændring dog være kompleks. Hvor det har været muligt, er der også estimeret en ressource for EQR, og hvis ikke det har været muligt er angivet N.A. Da referencen er nul-indvinding, mens 50% scenariet i Jylland med markvanding er 'sammensat' af en uændret markvanding i alle scenarier fra 50% til 300%, kan der godt være deloplande, som har en negativ påvirkning allerede ved 50% scenariet, uden at 100% scenariet viser påvirkning over tærskelværdi (for enkelte Q-punkter). EQR-ændringer er således lidt vanskelige at benyttet f.eks. til optimeringsformål.

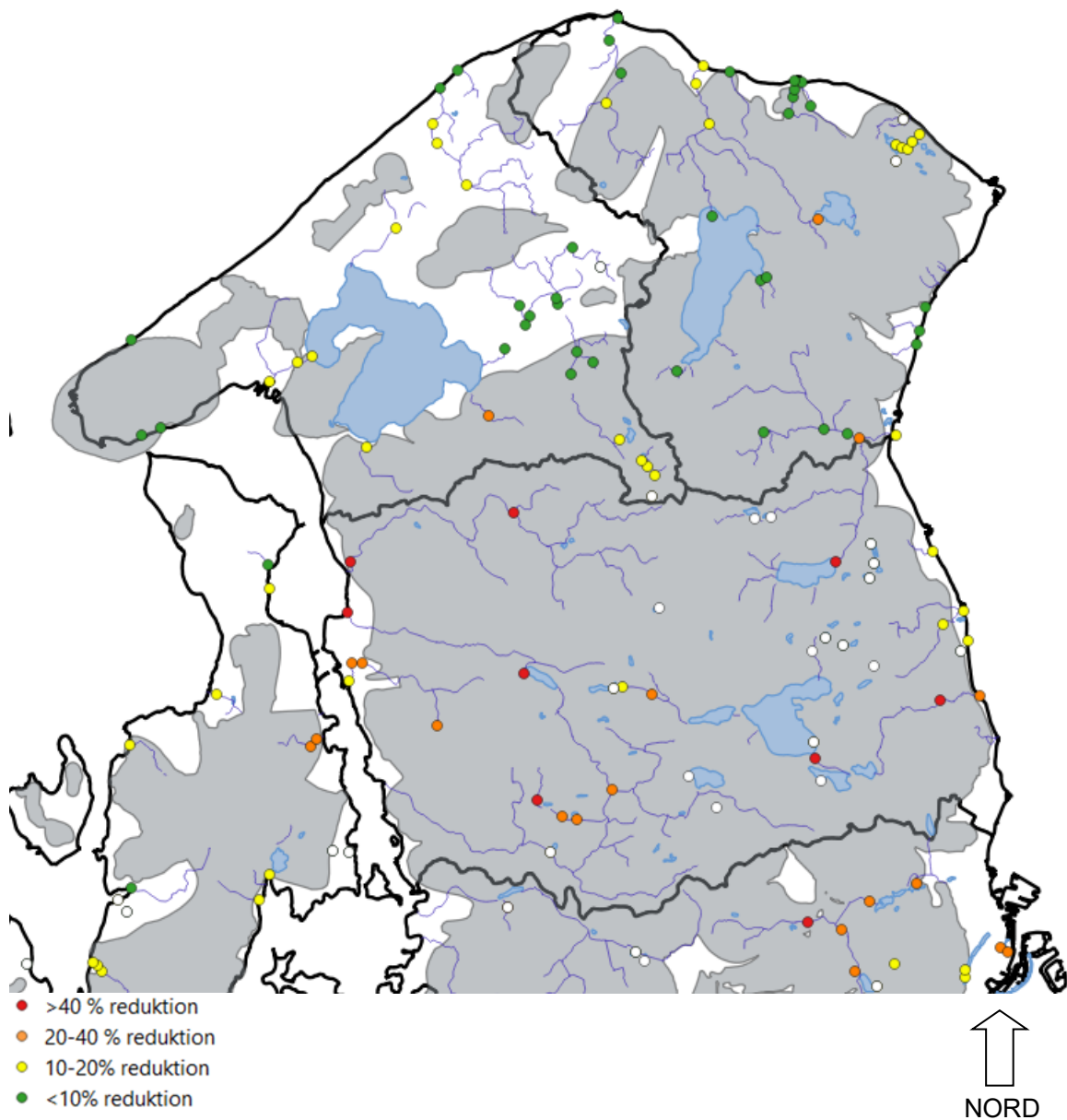
Det bemærkes desuden at 'one out all out' ikke er specielt robust overfor indvindingsstruktur. Alle beregninger af indikator 7-8 er sensitive overfor lokale indvindingsforhold. Da der ikke er foretaget beregninger af ændret indvindingsstruktur, så er resultater relativt grove i forhold til en ressourcevurdering.

Udover indikator 7 og 8 baseret på EQR ændringer, er tilføjet en indikator 9 der beskriver påvirkning af Q50, som er en normaliseringsstørrelse der indgår i beregningen af f.eks. frekvenser, varighed og percentilværdier (f.eks. Q90) i indikatorsystemet. Et eksempel på beregnet ændring af indikator 9 for id15 er vist i figur 4.9. Q50 har i øvrigt været anvendt i optimering af påvirkning af flow i stedet for EQR ændringer da disse kan være ikke lineære se Danapour et al. (2021), se tabel 4.3 for Storå og benyttede kriterier relateret til Q50 og Q95. Q50 og Q95 har seneste indgået i konsolidering for VP3.

Tabel 4.3 For Storå har Danapour et al. (2021) brugt Q50 og Q95 i en optimering af indvindingen i Storå, med tærskelværdier på hhv. 20 og 40% reduktion.

Scenario Name	No. of Clusters	Constraint Metrics	Max. Allowable Reduction for Each Q-Point Relative to Zero Pumping (%)	Min-Max Reduction Permitted for Pumping Factors Relative to Zero Pumping (%)	Total Pumping Volume (m ³ /year)	Normalized Change in Total Pumping Volume (%) Relative to Baseline
Baseline (actual total pumping)	—	—	—	—	5.10E+07	—
Q95_20%MaxRed_nc1	1	Q95_mean	20	0-200	1.90E+07	-63
Q95_20%MaxRed_nc20	20	Q95_mean	20	0-200	4.45E+07	-13
Q95_20%MaxRed_nc40	40	Q95_mean	20	0-200	5.08E+07	-0.4
Q50_20%MaxRed_nc20	20	Q50_mean	20	0-200	6.27E+07	23
Q50_40%MaxRed_nc20	20	Q50_mean	40	0-200	8.81E+07	73
Q95_40%MaxRed_nc20	20	Q95_mean	40	0-200	7.28E+07	43
Q95_1992_40%MaxRed_nc20	20	Q95_1992_mean	40	0-200	4.42E+07	-13
Q95_40%MaxRed_NB1_nc20	20	Q95_mean	40	50-150	6.61E+07	30
Q95_40%MaxRed_NB2_nc20	20	Q95_mean	40	70-100	4.98E+07	-2

På baggrund af ovenstående arbejdes der for indikator 9 med et kriterium på max 40 % reduktion i Q50.



Figur 4.9 Ændring i Q50 for alle vandindvindinger 100% scenariet (ALT). De 'hvide punkter' er vandløbspunkter (ID15) som har Q50 på < 10 l/s. Der ses bort fra sådanne punkter i analysen af indikator 9 (Q50).

Indikator 7 'EQR-ændring mere end 80% sandsynlighed for tilstandsændring' ('one out all out')

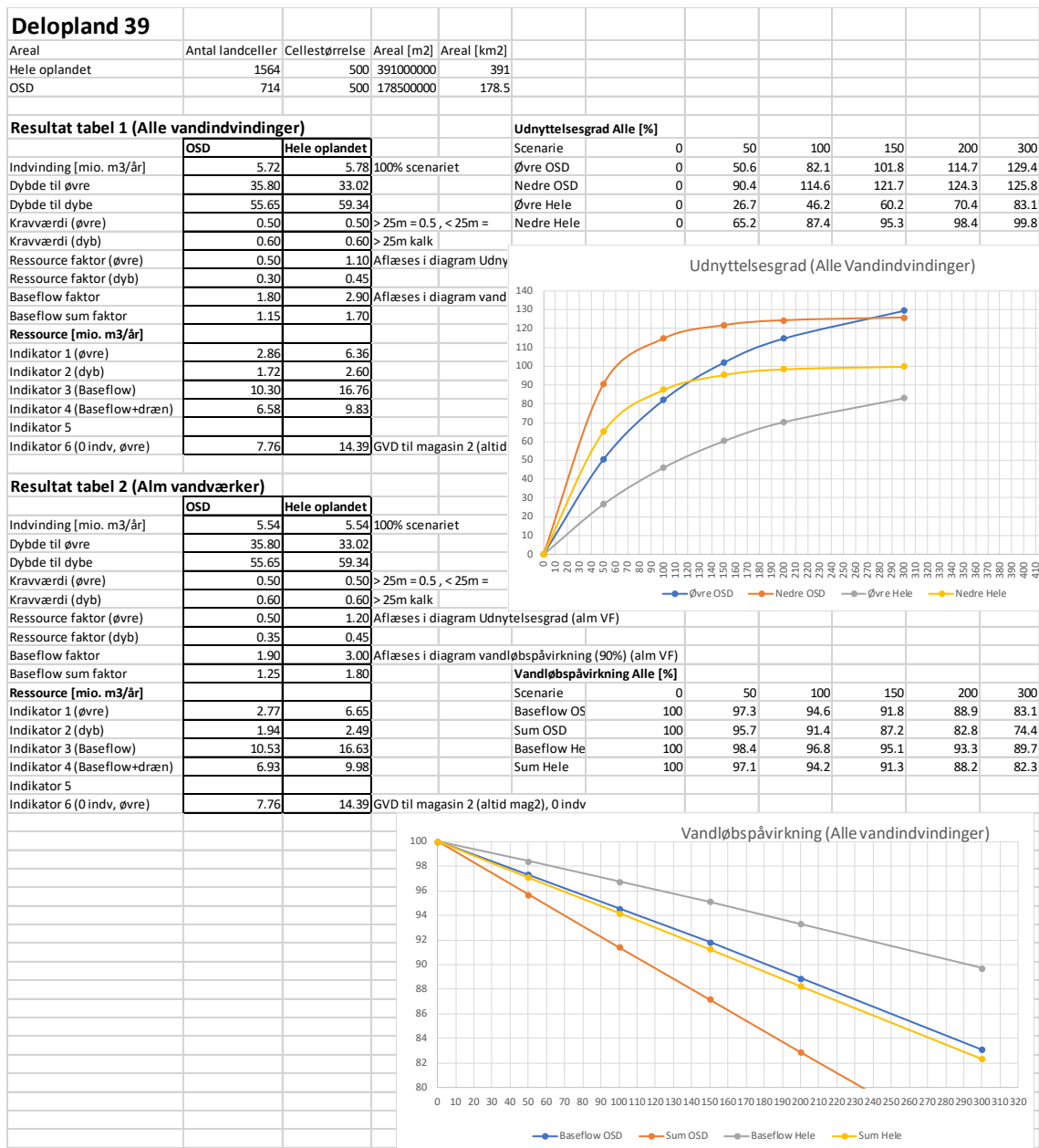
Indikator 8 'EQR-ændring mere end 50% sandsynlighed for tilstandsændring' ('one out all out')

Indikator 9 Max Q50 ændring' på mere end 40 % ('one out all out')

4.3 Eksempel på delopland 39 Frederiksværk – Helsingør base- ret på pivot tabel (leveret ultimo december 2022)

I første omgang er metodikken udviklet på basis af vandbalanceudtræk for udvalgte deloplande samt på domæne niveau for Sjælland og i Midtjylland. Det blev dog hurtigt klart at landsdækkende udtræk af diverse temakort var fordelagtig, og derfor blev der foretaget udtræk fra MIKE SHE kørsler for samtlige scenarier af en lang række temaer f.eks. dybde til terrænnært grundvand, middeldybder til magasiner, flux fra grundvand til dræn og til vandløb, indvinding, grundvandsdannelse osv. Disse temakort blev udtrukket for 30-års dekadeprioden på basis af nul, 50, 100, 150, 200, 300 scenariekørsler for hhv. almene vandforsyninger (VF) og alle indvindinger incl. markvanding og industri (ALT), og processe- ret så der herefter forelå landsdækkende tif filer. På basis af disse filer, er der herefter ud- trukket datagrundlag for deloplande (incl. OSD/IOL her indenfor) for VF og ALT, og lavet pivottabel som blev leveret til MST ultimo december 2022.

Et eksempel på estimering af indikatorer er vist i Figur 4.10 og 4.11. Resultater findes ved- lagt i excelark for delopland 39. Resultater for deloplande er udtrukket fra excelark (pivotta- bel) med pivot-tabel, og herfra bearbejdet. De indgår her som en illustration af metodik for indikator 1-4 og 6.

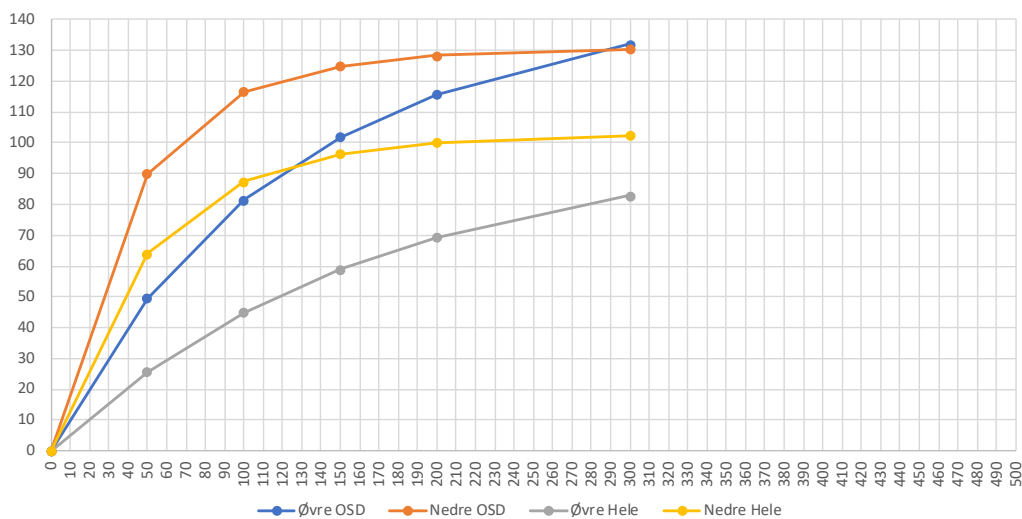


Figur 4.10 Resultater for delopland 39 med samlet ressourcevurdering for indikator 1-4 og 6. Alle vandindvindinger (Tabel 1 fra excelark 39) og Almene vandværker (Tabel 2 fra excel ark 39). Desuden er vist kurver for udnyttelsesgrader og vandløbspåvirkning. For hvert hovedscenarie Alle indvindinger og Almene vandværker er resultater vist for både det samlede delopland og for OSD/IOL oplandet indenfor dette.

Udnyttelsesgrad ALM VF [%]

Scenario	0	50	100	150	200	300
Øvre OSD	0	49.4	81.4	102.0	115.8	132.2
Nedre OSD	0	90.1	116.6	125.0	128.3	130.4
Øvre Hele	0	25.7	44.9	58.9	69.4	83.0
Nedre Hele	0	63.9	87.5	96.4	100.2	102.3

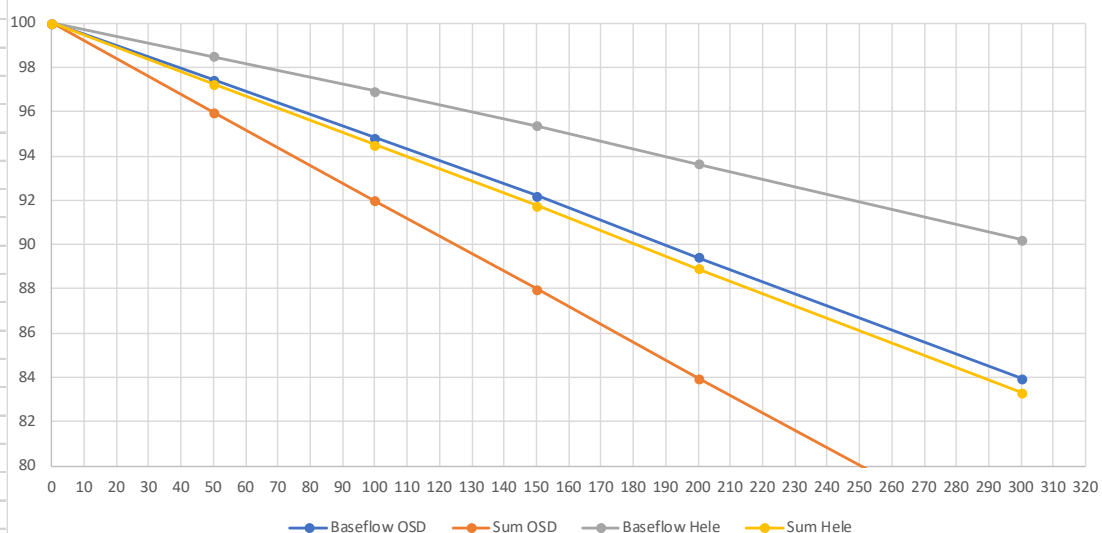
Udnyttelsesgrad (Alm Vandforsyning)



Vandløbspåvirkning Alm VF [%]

Scenario	0	50	100	150	200	300
Baseflow OS	100	97.4	94.8	92.2	89.4	84.0
Sum OSD	100	96.0	92.0	88.0	84.0	76.1
Baseflow He	100	98.5	96.9	95.3	93.7	90.2
Sum Hele	100	97.2	94.5	91.8	88.9	83.3

Vandløbspåvirkning (Alm Vandforsyning)



Figur 4.11 Tabeller og kurver for udnyttelsesgrad og vandløbspåvirkning for almene vandværker for delopland 39. Resultater for både hele deloplandet og OSD/IOL delen.

Tabel 4.3 Excelark deloplånd 39 fra pivot-tabel. Øverst resultater for både OSD/IOL og hele deloplånd for ALT (alle vandindvindinger), dernæst for VF (almene vandværker), nederst dybde til magasiner (se evt. vedlagte excelark for deloplånd 39)

Alle resultater		Scenario - Percent indvinding										Magasin dybder		indvinding		%fordeling				
		0		50		100		150		200		300								
All indvinding/AlmVF	element	magasinlag	OSDwb39	wb39	OSDwb39	wb39	OSDwb39	wb39	OSDwb39	wb39	OSDwb39	wb39	OSDwb39	wb39	OSDwb39	wb39	OSDwb39	wb39		
ALT	abs	all	16.0	7.4	32.0	14.8	48.1	22.2	64.1	29.6	96.2	44.3								
		mag1	16.0	7.4	32.0	14.8	48.1	22.2	64.1	29.6	96.2	44.3	0.0	0.0	0.0	0.0				
		mag2	16.0	7.4	32.0	14.8	48.1	22.2	64.1	29.6	96.1	44.3	3.8	1.7	11.9	11.7				
		mag3	14.1	6.5	28.2	13.0	42.4	19.6	56.5	26.1	84.7	39.1	7.3	3.4	22.8	22.8				
		mag4	10.5	4.8	20.9	9.7	31.4	14.5	41.9	19.4	62.8	29.0	2.0	0.9	6.1	6.4				
		mag5																		
		mag6																		
		mag7																		
		mag8																		
		mag9																		
		mag10																		
		kalk			9.5	4.4	19.0	8.7	28.5	13.1	38.0	17.5	56.9	26.2			19.0	8.7	59.2	59.1
	d2p	top	-3.8	-2.9	-3.8	-3.0	-3.9	-3.1	-4.0	-3.1	-4.1	-3.2								
	dr2riv	top	118.7	117.2	113.1	113.3	107.6	109.4	102.1	105.5	96.6	101.5	85.9	93.7						
	gvd	mag1	161.8	140.4	164.3	142.2	166.7	143.9	169.3	145.7	170.4	146.0	174.4	148.1						
		mag2	124.2	105.2	127.6	107.4	131.0	109.7	134.7	112.2	138.3	114.6	146.7	120.1						
		mag3	22.9	21.3	27.9	24.4	34.4	28.2	41.6	32.5	49.3	37.1	65.5	47.1						
		mag4	7.8	6.0	12.1	8.5	18.3	12.0	25.3	15.9	32.6	20.1	47.6	29.0						
		mag5																		
		mag6																		
		mag7																		
		mag8																		
		mag9																		
		mag10																		
		kalk			6.3	4.4	10.5	6.7	16.6	10.0	23.4	13.7	30.5	17.7	45.3	26.3				
	sz2riv	top	28.6	38.3	27.9	37.6	27.1	37.0	26.3	36.4	25.5	35.7	23.8	34.3						
	udn	mag1			9.8	5.2	19.2	10.3	28.4	15.2	37.6	20.3	55.1	29.9						
		mag2			12.6	6.9	24.5	13.5	35.7	19.8	46.3	25.8	65.6	36.9						
		mag3			50.6	26.7	82.1	46.2	101.8	60.2	114.7	70.4	129.4	83.1						
		mag4			86.8	57.0	114.5	81.0	124.2	91.4	128.6	96.4	131.8	100.2						
		mag5			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
		mag6			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
		mag7			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
		mag8			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
		mag9			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
		mag10			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
		kalk			90.4	65.2	114.6	87.4	121.7	95.3	124.3	98.4	125.8	99.8						
	drfact	top	100.0	100.0	95.3	96.6	90.6	93.3	86.0	90.0	81.4	86.6	72.3	79.9						
	szfact	top	100.0	100.0	97.3	98.4	94.6	96.8	91.8	95.1	88.9	93.3	83.1	89.7						
	sumfact	top	100.0	100.0	95.7	97.1	91.4	94.2	87.2	91.3	82.8	88.2	74.4	82.3						
ALT Total			766.7	729.8	1100.1	928.1	1293.6	1045.6	1442.1	1130.9	1572.4	1200.6	1815.5	1324.6						
VF	abs	all	15.5	7.1	31.1	14.2	46.6	21.3	62.1	28.4	93.2	42.5								
		mag1	15.5	7.1	31.1	14.2	46.6	21.3	62.1	28.4	93.2	42.5	0.0	0.0	0.0	0.0				
		mag2	15.5	7.1	31.1	14.2	46.6	21.3	62.1	28.4	93.2	42.5	3.8	1.7	12.2	12.2				
		mag3	13.6	6.2	27.3	12.4	40.9	18.7	54.5	24.9	81.8	37.3	7.3	3.3	23.4	23.4				
		mag4	10.0	4.6	20.0	9.1	30.0	13.7	40.0	18.3	60.0	27.4	1.8	0.8	5.8	5.8				
		mag5																		
		mag6																		
		mag7																		
		mag8																		
		mag9																		
		mag10																		
		kalk			9.1	4.2	18.2	8.3	27.3	12.5	36.4	16.6	54.6	24.9			18.2	8.3	58.6	58.6
	d2p	top	-3.8	-3.0	-3.9	-3.0	-3.9	-3.1	-4.0	-3.1	-4.1	-3.2								
	dr2riv	top	113.5	113.5	108.4	109.8	103.3	106.2	98.1	102.4	98.2	95.0								
	gvd	mag1	164.1	142.0	166.3	143.7	168.7	145.3	169.6	145.5	172.8	147.1								
		mag2	127.4	107.3	130.6	109.5	134.0	111.8	137.3	114.0	144.9	119.1								
		mag3	27.6	24.2	33.5	27.7	40.1	31.7	47.1	35.9	61.9	45.0								
		mag4	11.6	8.3	17.3	11.4	23.6	15.0	30.3	18.8	44.0	26.9								
		mag5																		
		mag6																		
		mag7																		
		mag8																		
		mag9																		
		mag10																		
		kalk			10.1	6.5	15.6	9.5	21.8	12.9	28.4	16.6	41.9	24.4						
	sz2riv	top	27.9	37.7	27.2	37.1	26.4	36.5	25.6	35.8	24.0	34.5								
	udn	mag1	9.5	5.0	18.7	9.9	27.6	14.6	36.6	19.5	53.9	28.9								
		mag2	12.2	6.6	23.8	13.0	34.8	19.0	45.2	24.9	64.3	35.7								
		mag3	49.4	25.7	81.4	44.9	102.0	58.9	115.8	69.4	132.2	83.0								
		mag4	85.8	55.2	115.8	79.9	126.9	91.3	132.1	97.1	136.3	101.8								
		mag5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
		mag6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
		mag7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
		mag8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
		mag9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
		mag10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
		kalk			90.1	63.9	116.6	87.5	125.0	96.4	128.3	100.2	130.4	102.3						
	drfact	top	95.6	96.8	91.3	93.7	87.0	90.6	82.7	87.4	74.3	81.1								
	szfact	top	97.4	98.5	94.8	96.9	92.2	95.3	89.4	93.7	84.0	90.2								
	sumfact	top	96.0	97.2	92.0	94.5														

Opskriften på bearbejdning af resultater kan resumeres som følgende:

1. Fra hoved excel ark (Vandbalancedata17dec2022.xls) pivottabel er 'værdier' kopieret til faneblad for delopland 39 (efter at delopland 39 og OSD/IOL for delopland 39) valgt fra 'med summer'. %-indvinding for magasiner beregnes i fire kolonner yderst til højre
2. Ud fra indvindingsfordelingen vælges øvre og dybere magasiner. Øvre magasin er her Magasin 3 (ca. 23 % af samlet indvinding) og dybere magasin er kalk (ca. 59% af samlet indvinding).
3. Resultattabel 1 og 2 (Figur 4.6) kan nu udfyldes med middeldybde til øvre (Magasin 3) og dybere (kalk). Bemærk at middeldybde til magasin er mere end 25 m (hentes fra nederste variabel på arket i tabel 4.3 (Depth_to_top) for de pågældende lag.
4. Herefter indtastes kravværdier, i det her tilfælde 0.5 for Magasin 3 og 0.6 for Kalk.
5. De korrekte værdier for udnyttelsesgrader fra scenarier hentes fra korrekte celler for hhv. alle indvindinger (både for OSD/IOL og for hele delopland) og almene indvindinger (både for OSD/IOL og for hele delopland). Værdier plottes i et XY plot, og ressource-faktorer aflæses for de respektive kurver for Magasin 3 og Kalk og indtastes (Alle indvindinger Figur 4.5: OSD/IOL øvre 0.5 og dybere 0.3, Hele opland øvre 1.1 og dybere 0.5; Almene vandværker Figur 4.5: OSD/IOL øvre 0.5 og dybere 0.3, hele opland øvre 1.2 og dybere 0.45).
6. Samme princip for indikator 3 baseflow og 4 sum baseflow+drænflow. Baseflow faktor og baseflow sum faktor aflæses på diagram (alle indvindinger: 1.8 og 1.15 for OSD/IOL ud fra alle indvindinger; 2.9 og 1.7 for hele delopland 39; almene vandværker: 1.9 og 1.25 for OSD/IOL og 3 og 1.8 for hele oplandet)
7. Grundvandsdannelse for indikator 6 hentes fra samlet indvinding øvre magasin og ressource beregnes ud fra antagelse om max 35% udnyttelse af grundvandsdannelse til øvre magasin baseret på nul-indvinding

Resultater for deloplandet hentes herefter over i et resultatark for samtlige deloplande, og opsummeres for samtlige 6 vandbalance indikatorer for domæner og hele landet. Der indarbejdes desuden resultater for påvirkning af vådarealer (indikator 5), EQR-påvirkning (indikator 7-8) og Q50 indikatoren (indikator 9).

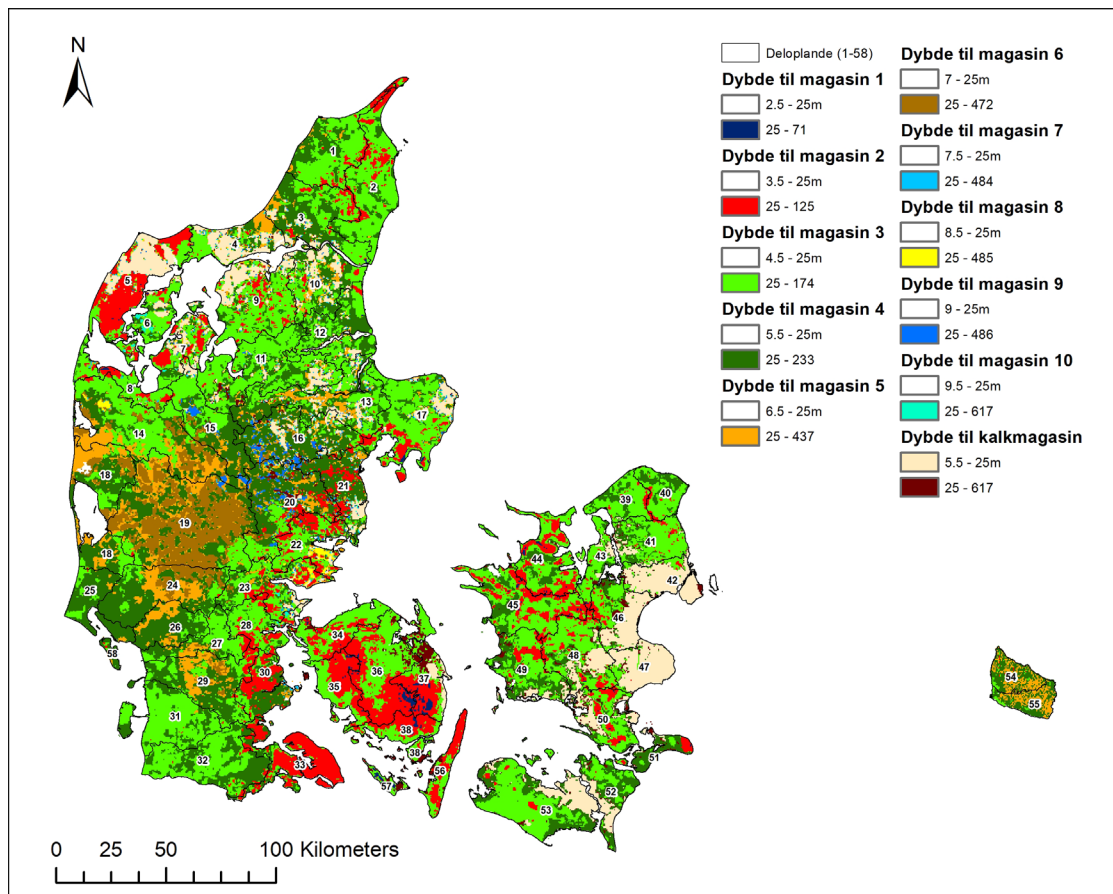
Tabel 4.4 Eksempel for delopland 39 Frederiksværk – Helsing (indikator 1-4 og 6).

Resultat tabel 1 (Alle vandindvindinger)		
	OSD	Hele oplandet
Indvinding [mio. m ³ /år]	5.72	5.78
Dybde til øvre	35.80	33.02
Dybde til dybe	55.65	59.34
Kravværdi (øvre)	0.50	0.50
Kravværdi (dyb)	0.60	0.60
Ressource faktor (øvre)	0.50	1.10
Ressource faktor (dyb)	0.30	0.45
Baseflow faktor	1.80	2.90
Baseflow sum faktor	1.15	1.70
Ressource [mio. m³/år]		
Indikator 1 (øvre)	2.86	6.36
Indikator 2 (dyb)	1.72	2.60
Indikator 3 (Baseflow)	10.30	16.76
Indikator 4 (Baseflow+dræn)	6.58	9.83
Indikator 5		
Indikator 6 (0 indv, øvre)	7.76	14.39
Resultat tabel 2 (Alm vandværker)		
	OSD	Hele oplandet
Indvinding [mio. m ³ /år]	5.54	5.54
Dybde til øvre	35.80	33.02
Dybde til dybe	55.65	59.34
Kravværdi (øvre)	0.50	0.50
Kravværdi (dyb)	0.60	0.60
Ressource faktor (øvre)	0.50	1.20
Ressource faktor (dyb)	0.35	0.45
Baseflow faktor	1.90	3.00
Baseflow sum faktor	1.25	1.80
Ressource [mio. m³/år]		
Indikator 1 (øvre)	2.77	6.65
Indikator 2 (dyb)	1.94	2.49
Indikator 3 (Baseflow)	10.53	16.63
Indikator 4 (Baseflow+dræn)	6.93	9.98
Indikator 5		
Indikator 6 (0 indv, øvre)	7.76	14.39

4.4 Endelig ressource vurdering

Forud for drøftelsen af rapporteringen af den endelige ressourcevurdering på et møde primo januar 2023 med deltagelse af MST og GEUS, blev det vurderet at det var vigtigt yderligere at automatisere dataprocesseringen dels for at spare tid og ressourcer, og dels for at reducere manuel bearbejdning (f.eks. estimering af ressource ud fra kurver for udnyttelsesgrad vist ovenfor). Der er derfor i Excel dataarket foretaget en udbygning med yderligere dataværdier der bruges i beregningerne, ligesom der for hver indikator (eller en kombination af indikatorer) er lavet supplerende beregnings ark, der samler resultater for indikatorer. Endelig er der lavet et konklusivt ark der opgør ressourcen svarende til et robust estimat baseret på at der som minimum skal to uafhængige indikatorer til at fastlægge den nedre grænse for bæredygtig vandindvinding i et delopland.

Resultater præsenteres for deloplande 1 - 58, DK-modelområde, samt OSD/IOL delen. For hele landet er det defineret magasinlag 1 – 10 samt kalk, og i Figur 4.12 er vist middeldybde til top af magasinlagene dybere end 25m under terræn, det som i beregningen af udnyttelsesgraden betegnes som dybden til 'primære magasiner'.



Figur 4.12. Dybde større end 25m til magasin. For kalken vises også dybde < 25m.

4.5 Bæredygtig ressource på domæneniveau og OSD/IOL indenfor samlet domæne

De 9 indikatorer er som omtalt ovenfor opgjort indenfor hvert delopland og for OSD/IOL indenfor dette. På basis heraf er beregnet en robust ressource på basis af de to mindste indikatorværdier (som ud fra 9 indikatorer svarer til 0.125 percentilen).

Nedenfor følge i underafsnit en mere teknisk forklaring på variable og det endelige resultatark, for indikatorer og for det konklusive ark.

4.5.1 Forklaring til ark: 'Vandbalancedata'

Vandbalancedata excelfilen er bygget op af fanebladene:

- Vandbalancedata
- Indikator 1,2,6 (resultater af akvifer bæredygtighed- / udnyttelsesgradsindikatorer)
- Indikator 3,4 (resultater af deloplandsaggregerede vandløbspåvirkninger)
- QSTAT (resultater for Qpunkter af EQR værdier og ændringer for fisk, samt Q50 og Q90 værdier og ændringer på id15 niveau)
- Indikator 5 (resultater af vandindvindingens arealpåvirkning af vådområde defineret som et terrænnært grundvandsspejl der i gennemsnit står 1 m.u.t.)

- Indikator 7 (påvirkning af EQR værdier for fisk på 80% sandsynlighed for tilstandsændring for det mest påvirkede ID15 punkt)
- Indikator 8 (påvirkning af EQR værdier for fisk på 50% sandsynlighed for tilstandsændring for det mest påvirkede ID15 punkter)
- Indikator 9 (påvirkning af Q50 percentilen for det mest påvirkede ID15 punkt)
- Konklusiv (resultater for samtlige deloplande samt OSD/IOL del for ALT og VF scenarier med beregning af robust resourceskøn baseret på mindst 2 indikatorer)

Faneblad 'vandbalancedata' indeholder beregnede middelværdier af forskellige vandressource variable der indgår i opgørelsen af ressource ud fra 9 indikatorer.

Kolonne A (scenarie_navn) indeholder mere end 500 rækker med resultater af multiple variable for hvert scenarie f.eks. nul (0_), aktuel indvinding (100_), 50% øget indvinding (150_), fordoblet indvinding (200_) og tredoblet indvinding (300_). Nul scenariet har f.eks. en variabel for dybde til terrænnært grundvand i gennemsnit ('0_d2p_top' jf. nul scenarie, depth to phreatic som fx er -2.297 meter for dk1 Sjælland idet en negativ dybde angiver et grundvandsspejl under terræn), eller grundvandsdannelse til fx magasin 1 (i alt 11 magasiner mag1-mag10) samt kalk: ('0_gvd_mag1' som for dk1 er 104.2 mm/år og '0_gvd_kalk' ~ der for dk1 er 15.6 mm/år).

Bemærk at kolonne B (Indvinding) og C (AlmVF) kan bruges til at vælge hovedscenarie: 0 – 300) og alle indvindinger (ALT) eller almene vandforsyninger (VF).

Kolonne D (element), E (magasinlag) og F (magnr) beskriver hvad den pågældende række (variabel) refererer til i forhold til magasinlag (bemærk at 'top' her refererer til DK-model 2019's toplag, som overalt har en lagtykkelse på 2 meter). Der er også angivet et topmagasin (topmag) og et primært magasin (primmag) som holder styr på grundvandsdannelse beregnet til det øvre sekundære magasin og det dybere primære magasin der benyttes i beregninger af udnyttelsesgrader for indikator 1 (topmag), 2 (primmag) og 6 (topmag).

Af øvrige variable for nul kan fremhæves '0_mut1pct' som angiver den %vise del af deloplandsarealet der udgøres af vådområder defineret ved en gennemsnitsdybde til terrænnært grundvand i toplaget på 1 meter under terræn (for 30-årsperioden 1991-2020). For dk1 Sjælland er eksempelvis 0_mut1pct beregnet til 0.4 (altså ca. 40 %).

For scenarier 50 til 300 kan nævnes variable for vandindvinding _abs, der er akkumuleret for vandindvinding i hvert enkelte lag, samt fra underliggende lag. For scenarie 100 (aktuel indvinding) er der eksempelvis 100_abs_all som er samtlige indvindinger inklusiv industri og markvanding for alle lag fra top lag og ned i modellen. For dk1 udgør 100_abs_all 18.23 mm/år. For dk1 er 100_abs_mag1 ligeledes 18.23 mm/år, da der ikke findes indvindinger fra toplaget på Sjælland. Indvinding fra 100_abs_mag2 er for dk1 18.18 mm/år der er derfor heller ikke megen indvinding fra magasin 1. Fra kalk indvindes på Sjælland 13.59 mm/år altså en relativ stor andel af den samlede vandindvinding.

Bemærk at resultater for almene vandværker alene scenarier indeholder i scenarie navnet et VF f.eks. 100_VF_abs_kalk (kolonne C har her markøren VF i stedet for ALT).

Bemærk også at markvanding som kun er medregnet i scenariet ALT, ikke skaleres op og ned, men er forholdsvis konstant i alle scenarier fra 50 til 300 (beregnes af modellen på basis af simuleret vandindhold i rodzonen).

Helt generelt bør man huske at scenarier alene baseret på almene vandværker (VF) er skalerede jf. primært proportionalitet (det er kun hvis modellen 'løber tør' og slukker indvindingsboringer i de høje scenarier at der evt. ikke vil være fuld proportionalitet), fra nul indvinding og op til 3 gange aktuel indvinding (i 300 scenariet). I samtlige indikatorberegninger har vi derfor valgt at inddrage den simulerede vandindvinding (abs) opgjort ud fra simuleringskørsler, sådan at det er denne indvinding der interpoleres eller ekstrapoleres ud fra. Når det kommer til scenarier for ALT benyttes en tilsvarende fremgangsmåde. Her har scenarierne 50, 100, 150, 200 og 300 imidlertid tilnærmelsesvis 'den samme markvandingsmængde'. Det betyder at der i områder med intensiv markvanding (som findes i domæne 4-6 for Syd-, Midt- og Nordjylland), er fuld markvanding allerede i 50% scenariet. Markvandingsmængder beregnes af modellen ud fra vandede arealer og simuleret vandindhold i rodzonen (på daglig basis for 30-års perioden).

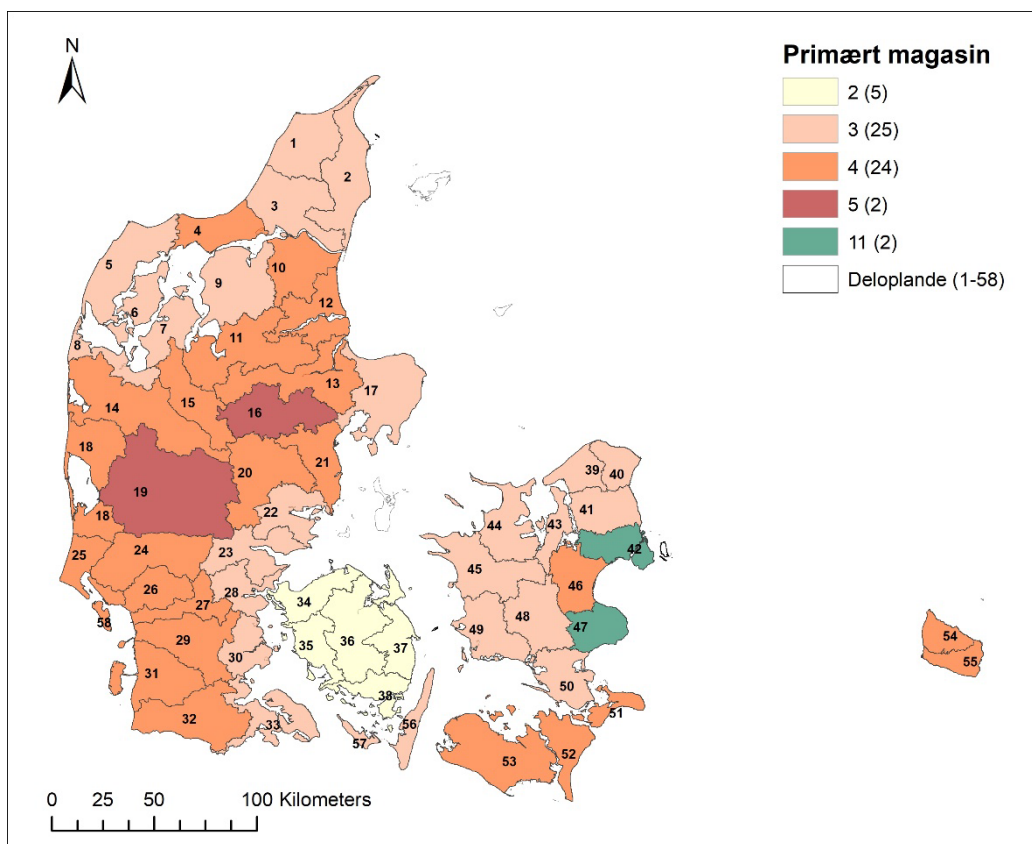
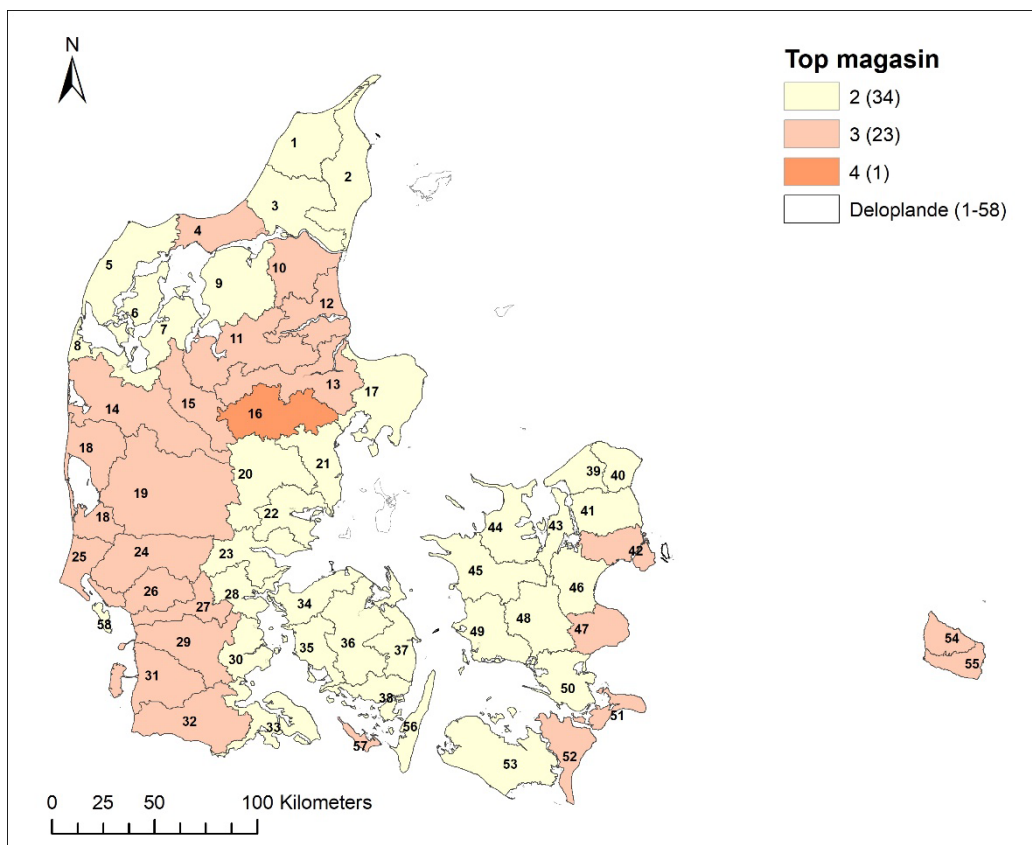
4.5.2 Forklaring til ark: 'Indikator 1-2 og 6 Udnyttelsesgrad øvre sekundære, primære og nulindvinding'

I faneblad Indikator 1-2 og 6 er først vist grundvandsdannelsen for samtlige scenarier fra 0 til 300 for hvert af de 11 magasiner incl. kalken (række 2 – 122). Herefter følger total vandindvinding for de samme scenarier (række 123-132). Begge dele i mm/år for samtlige domæner og deloplande både for samlede opland og for OSD/IOL (kolonne G, E og F).

Der er foretaget en manuel fastlæggelse for hver kolonne (delopland) af top_magasin (ud fra almene vandværker VF) og primært magasin i række 149-150 (eksempelvis er for dk1 top magasin 'mag2' og primært magasin 'mag3'). Den manuelle fastlæggelse har taget dels indvindingsfordeling ved 100% scenariet (nuværende indvinding for vandforsyningsboringer) i betragtning (række 136-146) og dels dybden (middel) til top af magasinet (række 151-161). Kriterierne for dybde har her været at der som minimum skal være en middeldybde til topmagasinet på 10m, og en middeldybde til primært magasin på mindst 25m. Eksempel: For dk1 er middeldybden til top af magasin 1: 4.8 m, magasin 2: 14.9 m og magasin 3: 30.8m. For dk1 er topmagasin derfor fastlagt til 'mag2' og primært magasin fastlagt til 'mag3'. I Figur 4.13 er fastlagte magasin for topmagasin og primært magasin vist.

I enkelte tilfælde er primært magasin fastlagt ud fra dybdekriteriet relativt dybtliggende (f.eks. på Fyn for delopland wb34 – wb 39) hvor dybden til magasin 3 er mere end 50 meter. Her er det undtagelsesvist valgt er placere både topmagasin og primært magasin i magasin 2.

Der findes også eksempler hvor dybden til kalken er mindre end 25 m (f.eks. omkring København for wb 42). I sådanne tilfælde er primært magasin placeret i kalken.

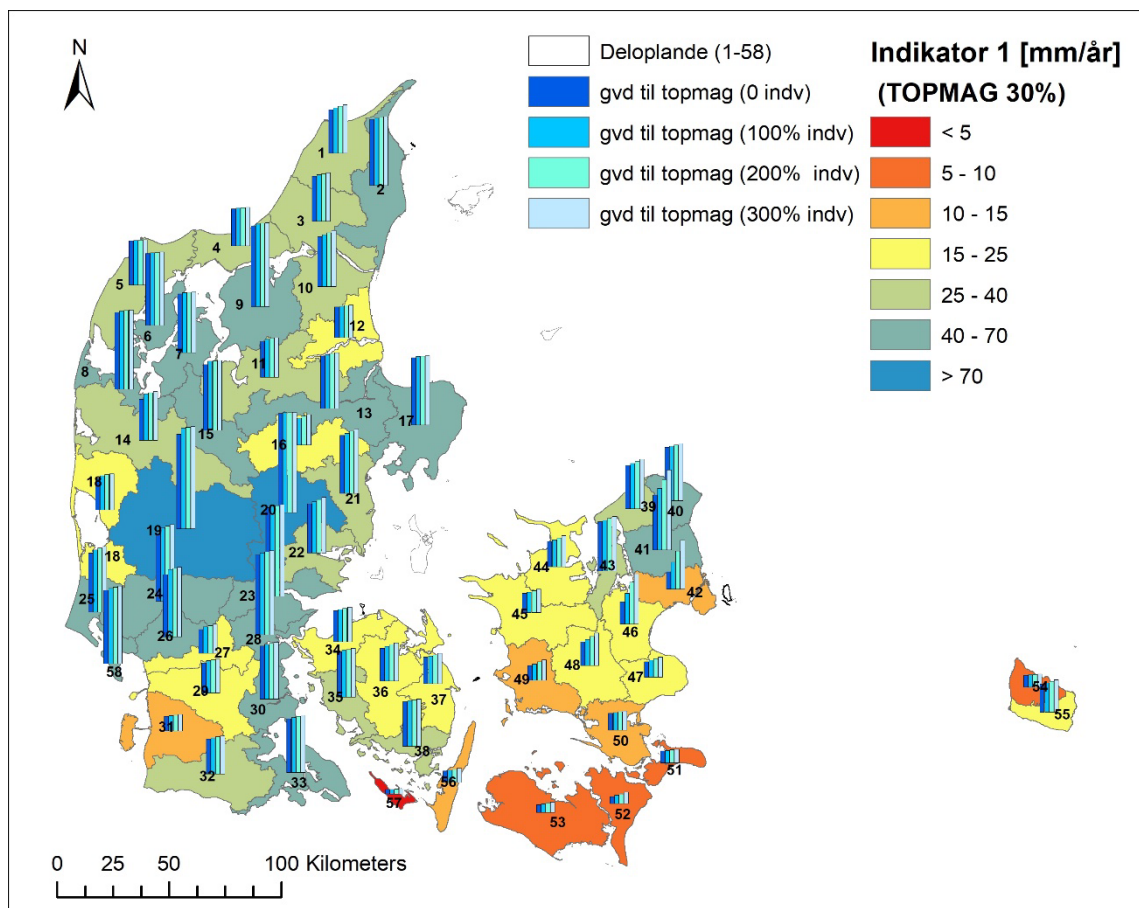


Figur 4.13 Fastlagte magasiner der anvendes i indikator 1, 2 og 6: Øverst: Topmagasin (indikator 1 og 6) og nederst: Primært magasin (indikator 2)

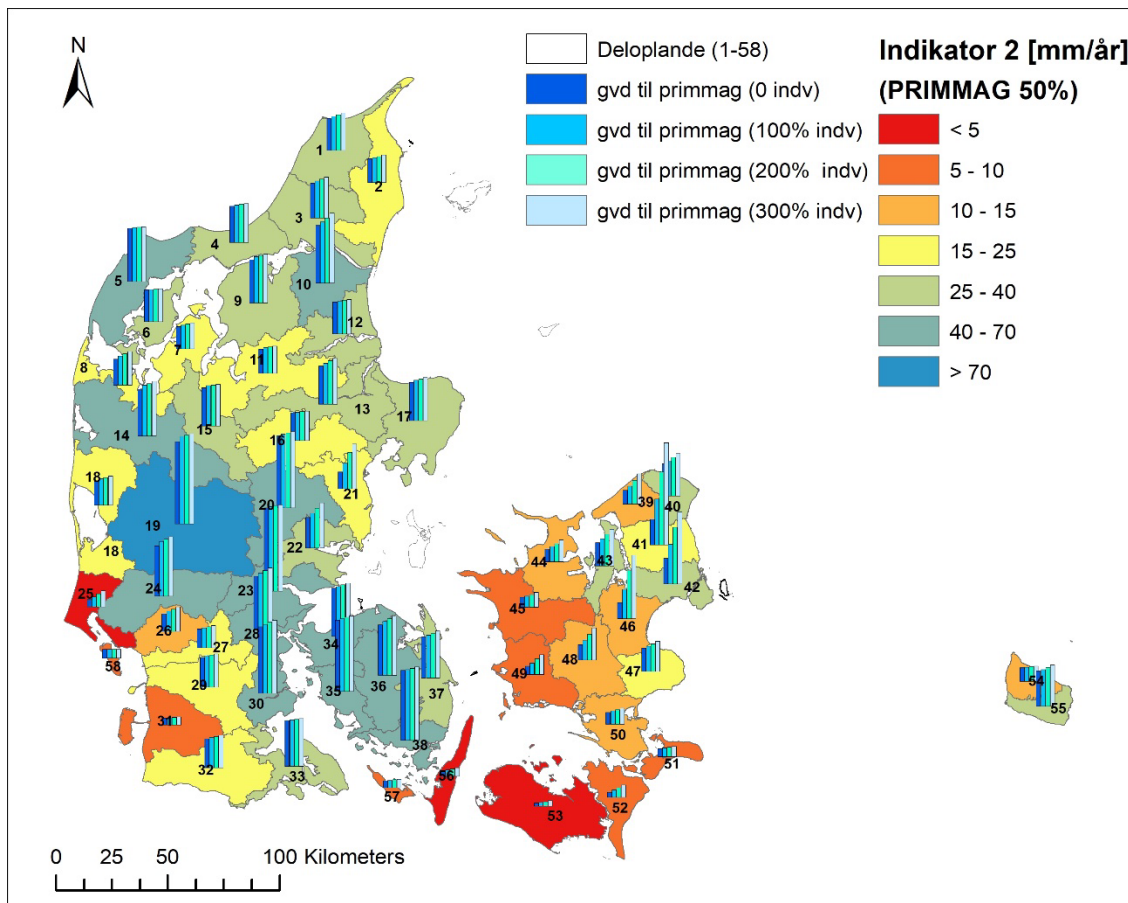
For topmagasin er benyttet et kriterie for max udnyttelsesgrad på 30% (indikator 1) og grundvandsdannelsen for topmagasin. For primært magasin (indikator 2) er benyttet et kriterie for max udnyttelsesgrad på 50% og grundvandsdannelsen til primært magasin. Det vil sige at selvom et kalkmagasin evt. har en middeldybde på mindre end 25 m, så er det i opgørelsen antaget at en udnyttelsesgrad på max 50% er bæredygtig. For indikator 6 benyttes grundvandsdannelsen for nul kørsel for topmagasin og en udnyttelsesgrad på 35%.

I Figur 4.14 og 4.15 er vist et eksempel på beregnede grundvandsdannelser til topmagasin og primært magasin for indikator 1 og 2 for scenarierne 0, 100, 200 og 300 for ALT scenarieret. Som baggrund er vist den estimerede robuste ressource for indikator 1 og 2.

Rent teknisk er beregninger af grundvandsdannelser og udnyttelsesgrad for topmagasin og primært magasin foretaget og vist i række 163-184 og 185-204 for hhv. ALT og VF scenarier. I række 205-209 er der foretaget en beregning af indikatorer ved interpolation og extrapolation (lognormal transformeret), opgjort i mm/år. På række 211-216 er ressource tal opgjort i mill. m³/år på basis af arealer (række 134) for indikatorer.



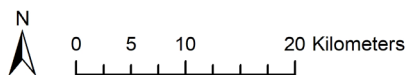
Figur 4.14 Grundvandsdannelse til topmagasin for indikator 1 for udvalgte scenarier (ALT).



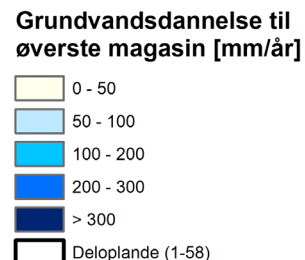
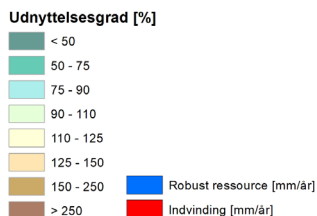
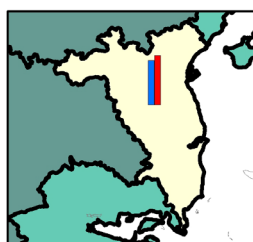
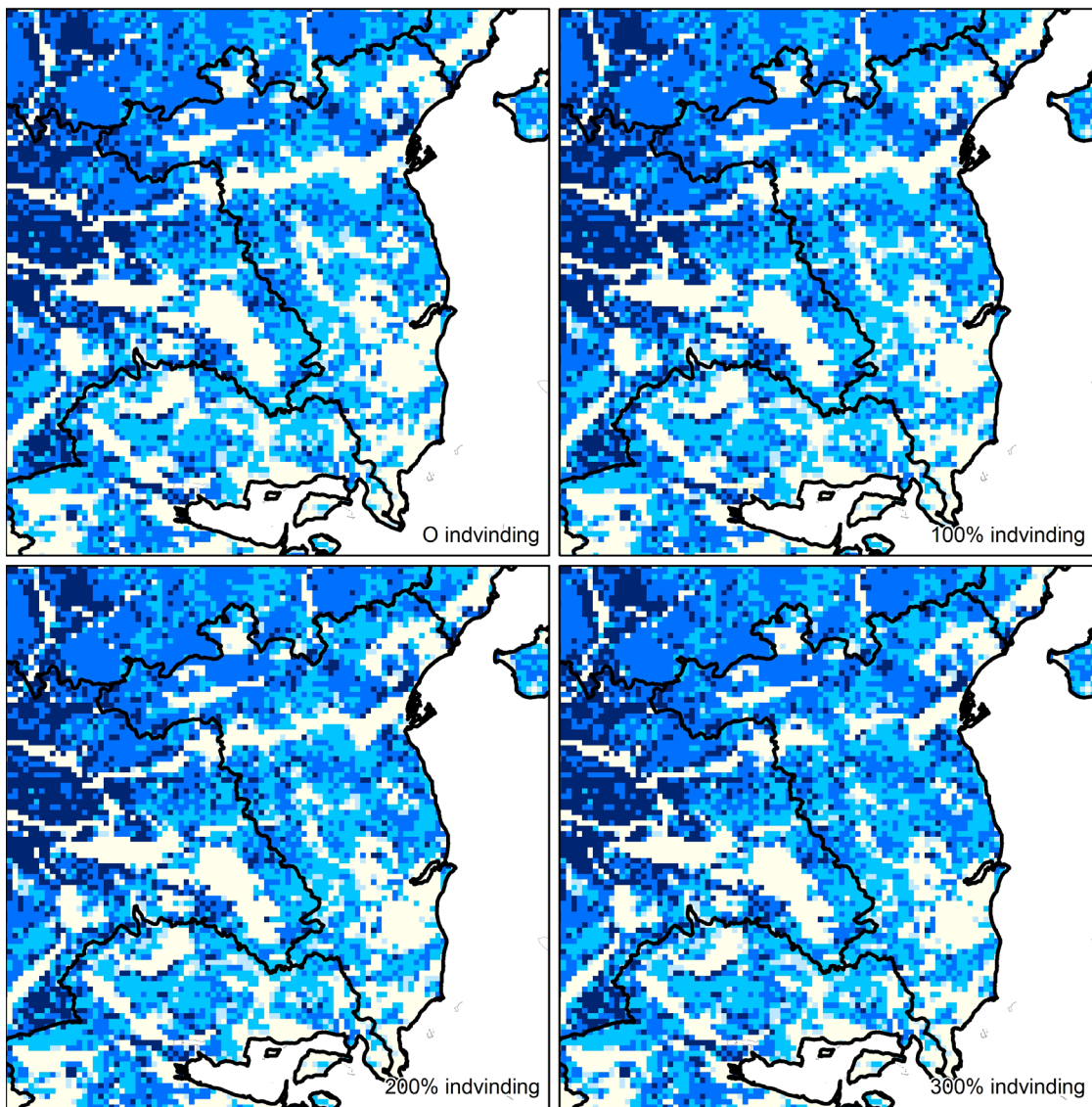
Figur 4.15 Grundvandsdannelse til primært magasin for indikator 2 for udvalgte scenarier (ALT).

Det fremgår af Figur 4.14 og 4.15 at grundvandsdannelsen i visse oplande øges meget som følge af øget vandindvinding (induceret grundvandsdannelse). Det ses f.eks. for opland 41, 42 og 46 for det primære magasin (Fig. 4.15). Der sker også en forøgelse for topmagasin, om end mere moderat (Fig. 4.14). Man skal desuden være opmærksom på at det Jylland gælder at markvandingen er nærmest konstant i samtlige scenarier, derfor ses et spring fra 0 til 100 scenariet, men kun mere moderate ændringer fra 100 op til 300, da alene vandforsyninger og industri kun udgør end mindre del af den samlede vandindvinding. I figur 4.16 og 4.17 er vist eksempler på hvordan grundvandsdannelsen ændrer sig (induceret grundvandsdannelse) når vandindvinding intensiveres fra 0% til 100%, 200% og 300% for delopland 21 Århus og delopland 48 Suså (samlet indvinding alle magasiner i 100% scenariet er vist i figur 4.18 for Århus og Suså). Beregninger for topmag vist i Figur 4.14 er akkumulerede værdier for grundvandsdannelsen til magasin 2 for delopland 21 Århus. På samme måde er vandindvindingen fra magasin 2 og dybere magasiner akkumuleret for deloplandet. På basis heraf er der beregnet en udnyttelsesgrad for magasin 2. På figuren er tal for deloplandet vist i en lille tabel øverst. Det fremgår at kriteriet på max 30% udnyttelse nås i intervallet 100%-200% indvinding. Der induceres en forøget grundvandsdannelse på ca. 10% af grundvandsdannelsen ved nul indvinding. For indikator 2 er induceret grundvandsdannelse væsentlig større. Indikator 6 arbejder på basis af nul indvinding. Der ses for indikator 6 bort fra induceret grundvandsdannelse (kriterium er dog 35% i stedet for 30%). Suså har større induceret grundvandsdannelse end Århus (jf. Fig.4.14/4.17).

Århus (opland 21)

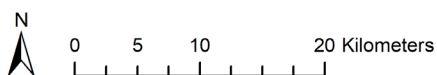


Århus - magasin 2		Robust ressource 26 mm/år	
Scenarie	Indvinding [mm/år]	Grundvandsdannelse til øverste magasin [mm/år]	Udnyttelsesgrad
0 indvinding	0	141	
100% indvinding	29	146	20%
200% indvinding	56	151	37%
300% indvinding	81	157	51%

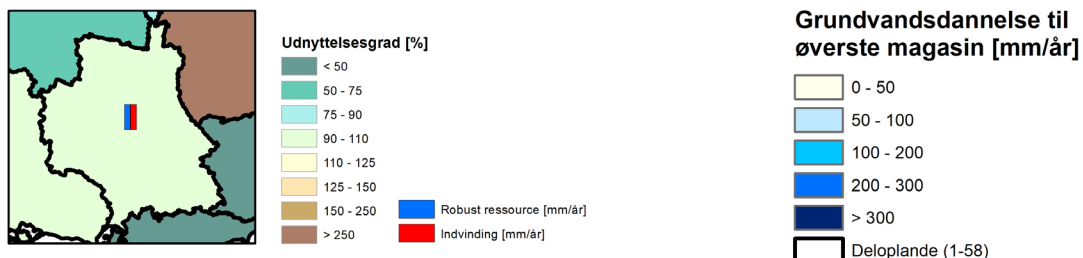
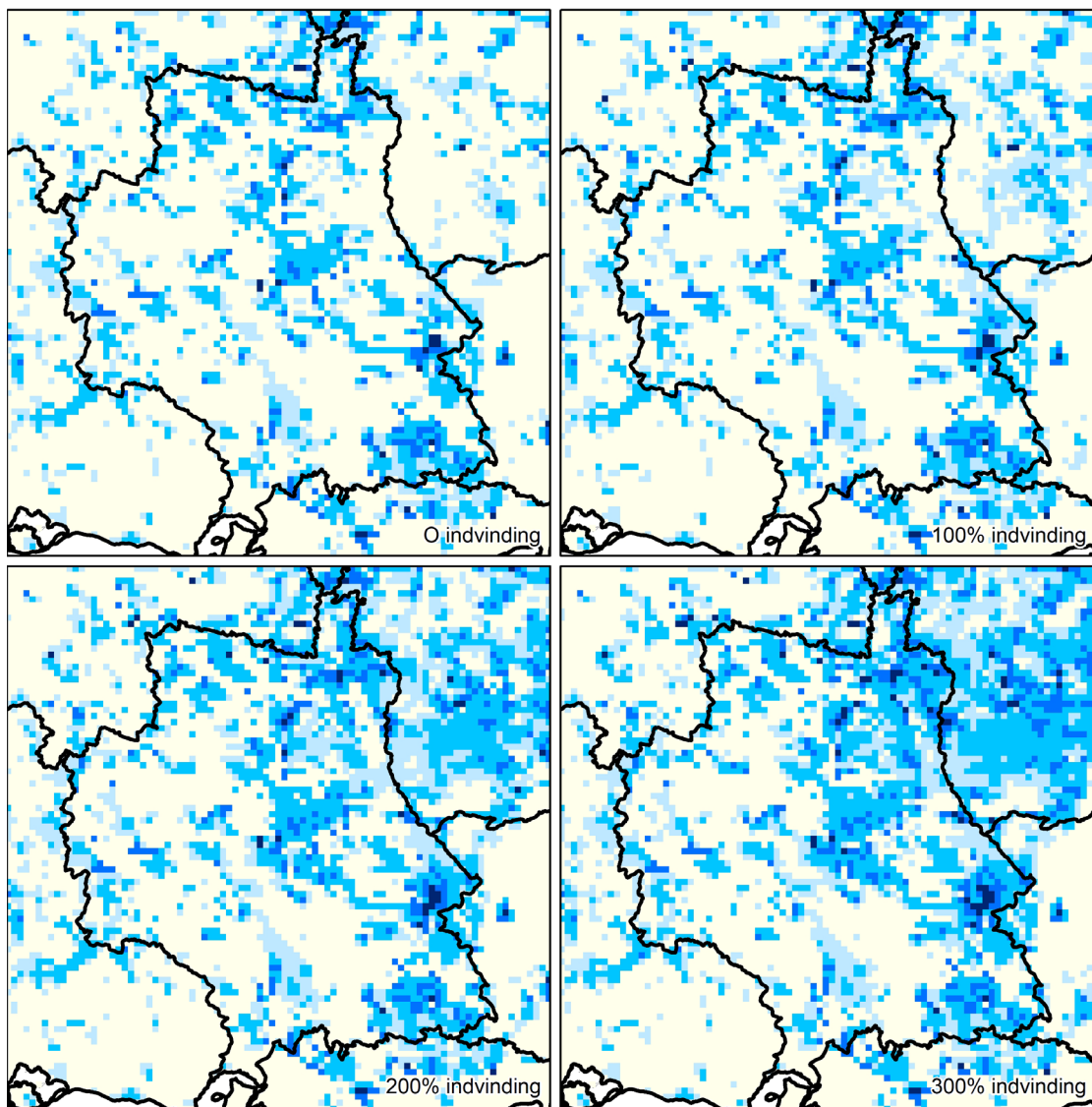


Figur 4.16 Grundvandsdannelse til sekundært magasin for indikator 1 (topmag) for udvalgte scenarier (ALT) – eksempel på ændring af grid værdier for 0%, 100%, 200% og 300% scenariet for alle vandindvindinger (se figur 4.18 for vandindvindinger i 100% scenariet). Udnyttelsesgrad baseret på indvindings-% del af opgjort robust ressource

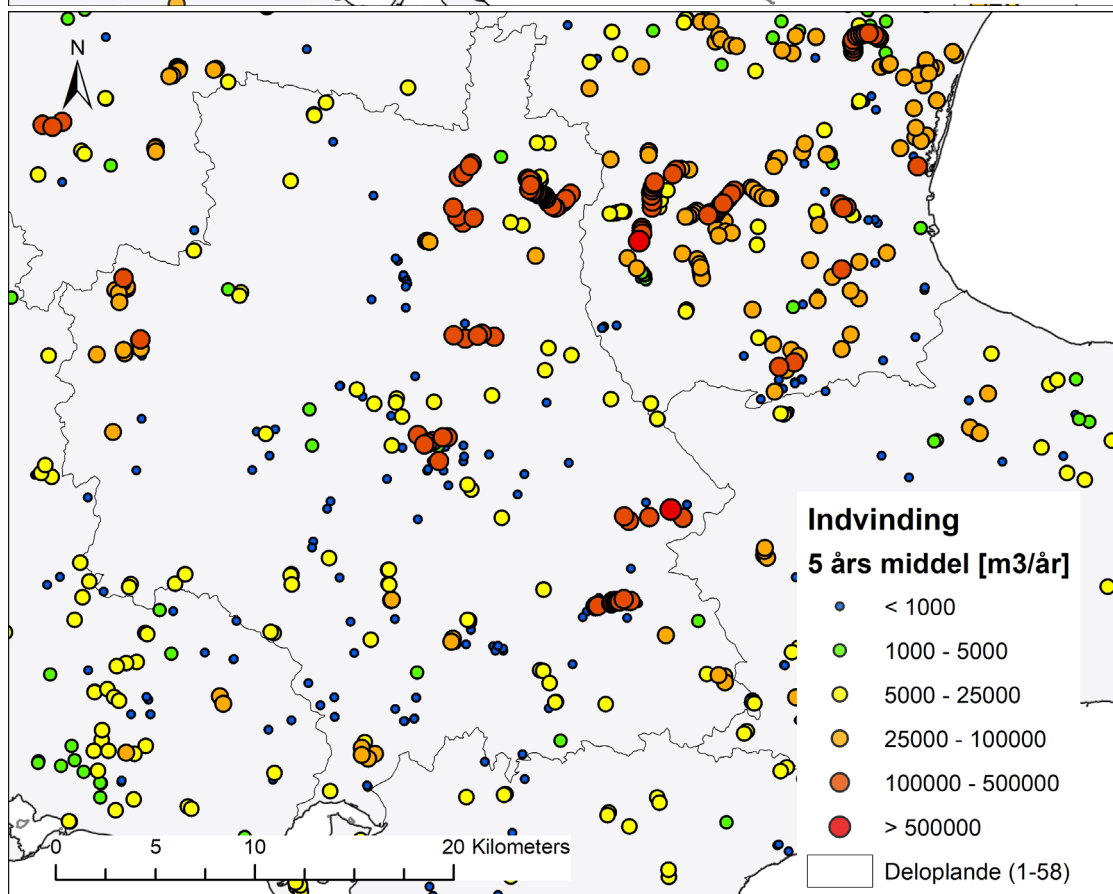
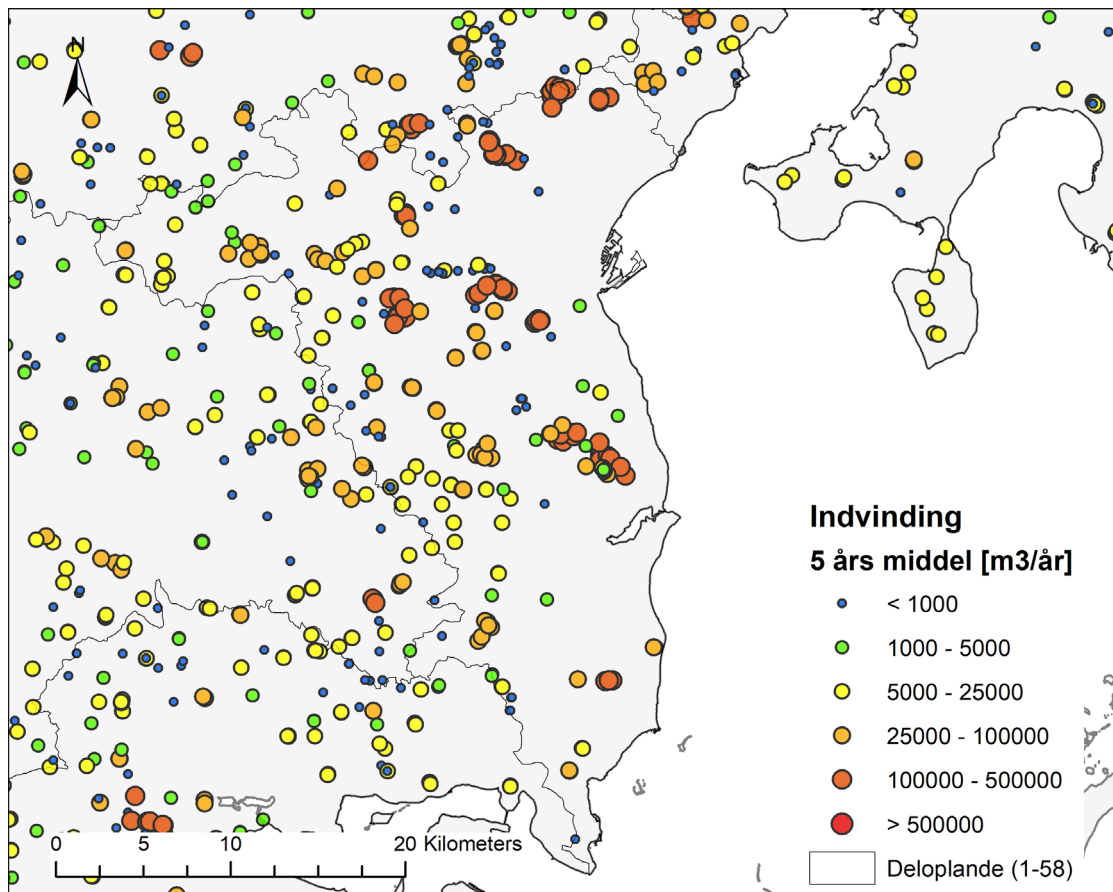
Suså (opland 48)



Scenarie	Robust ressource 15 mm/år		
	Indvinding [mm/år]	Grundvandsdannelse til øverste magasin [mm/år]	Udnyttelsesgrad
0 indvinding	0	58	
100% indvinding	15	64	24%
200% indvinding	30	71	42%
300% indvinding	44	79	56%



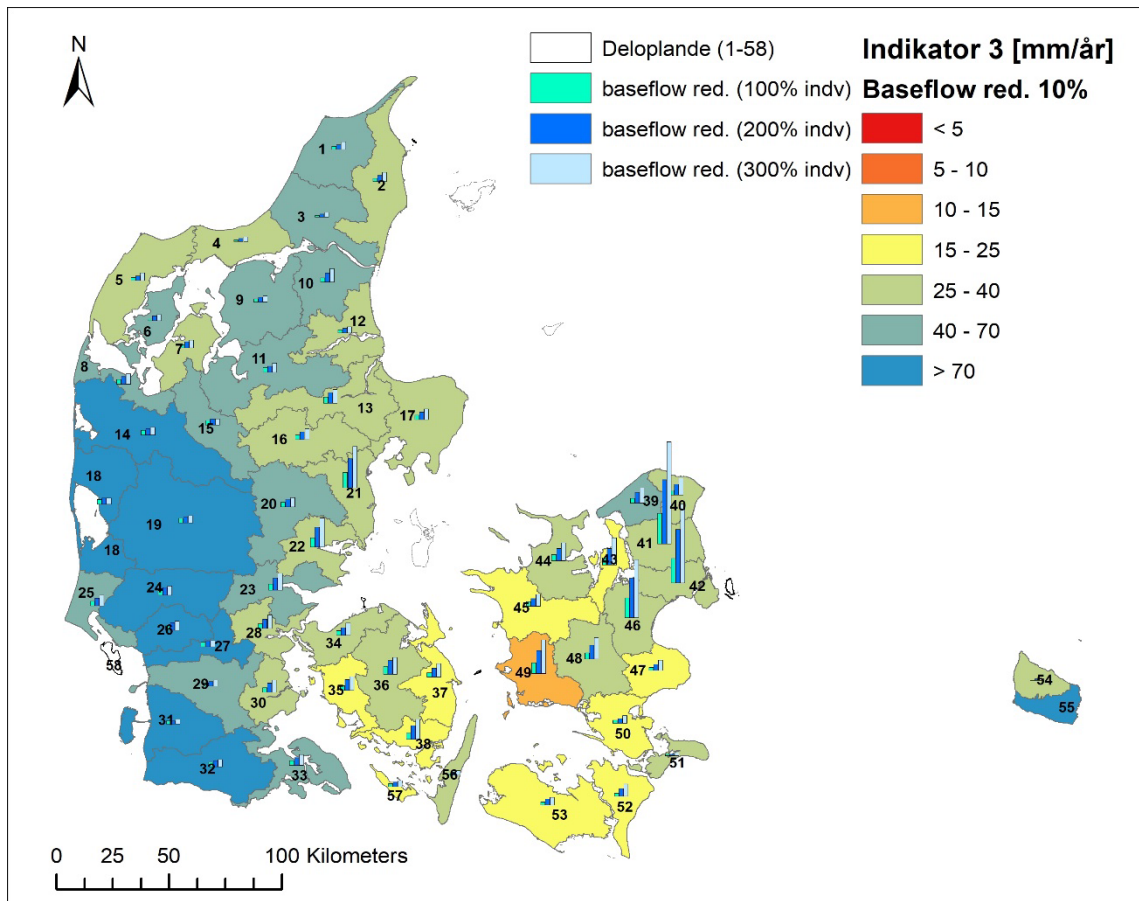
Figur 4.17 Grundvandsdannelse til sekundært magasin for indikator 1 (topmag) for udvalgte scenarier (ALT) – eksempel på ændring af grid værdier for 0%, 100%, 200% og 300% scenarier for alle vandindvindinger (se figur 4.18 for vandindvindinger i 100% scenarieret). Udnyttelsesgrad baseret på indvindings-% del af opgjort robust ressource



Figur 4.18 Akkumuleret indvinding (ALT) for alle magasiner for Århus (øverst) og Suså (nederst)

4.5.3 Forklaring til ark: 'Indikator 3-4 – reduceret baseflow og dræn/baseflow'

Faneblad Indikator 3,4 indeholder beregninger på basis af akkumulerede indvindingstal abs (række 2-11) samt akkumuleret flow for deloplande svarende til 'drain to river' (dr2riv) og 'baseflow to river' (sz2riv) for scenarier (række 12-33). Række 34-53 viser beregnede tal for reduktion af baseflow samt reduktion af 'kombineret dvs. vægtet drænflow og baseflow). Række 54-57 indeholder beregning af lineært interpolerede indikatorer for baseflow (indikator 3) og kombineret dræn+baseflow (indikator 4) under antagelse af max 10 % reduktion. I Figur 4.19 er vist baseflow reduktion (indikator 3) for udvalgte ALT scenarier.



Figur 4.19 Estimeret ressource for indikator 3 Baseflow reduktion, samt illustration af baseflow reduktion for udvalgte scenarier (0, 100, 200 og 300 for ALT).

4.5.4 Forklaring til ark: 'Indikator 5 - % ændret vådareal 1 m.u.t.'

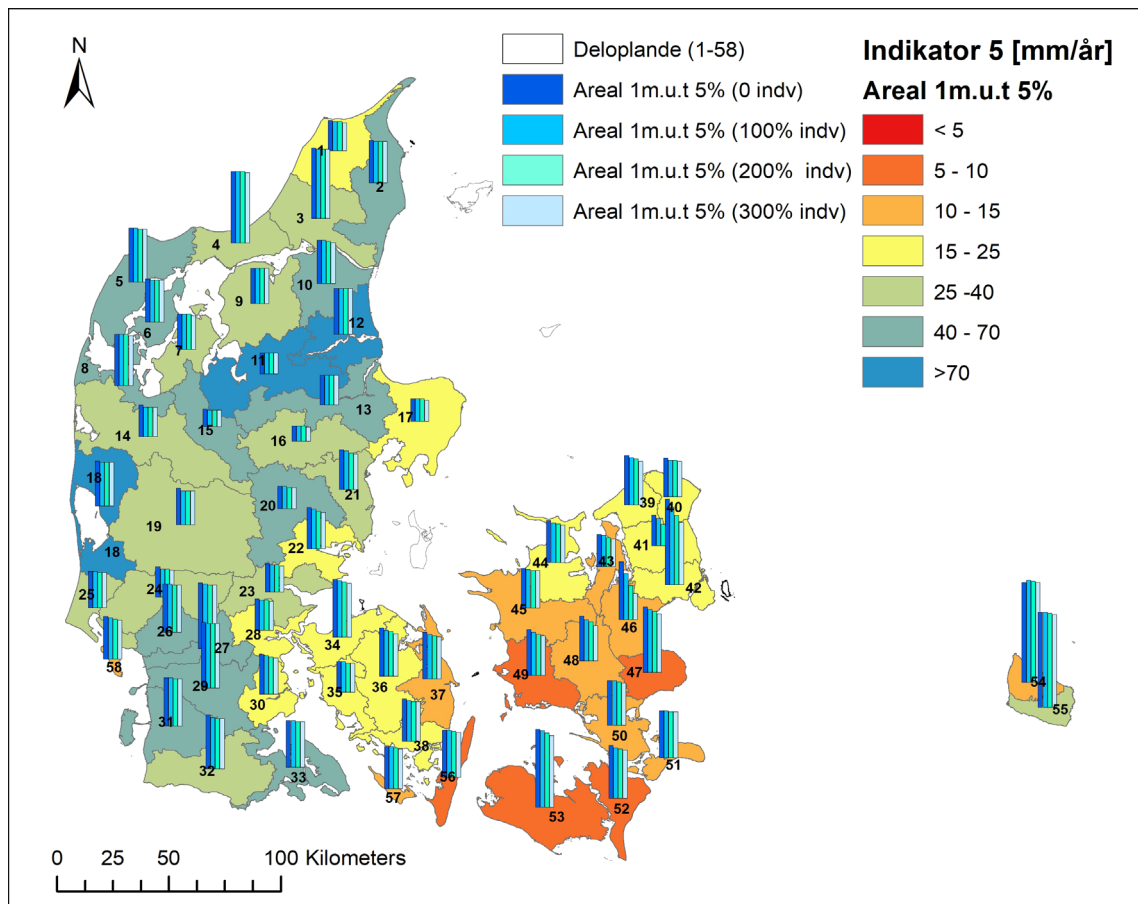
Faneblad indikator 5 er i række 1-24 opdelt på hhv. almene vandværker (VF) og i række 31-54 alle indvindinger (ALT). Først er vist resultater for akkumuleret vandindvinding fra alle lag ('abs_all') og simuleret areal med dybde til terrænnært grundvandsspejl mindre end 1 m.u.t. for de enkelte scenarier (række 4-8 og række 9-14).

Dernæst (f.eks. for ALT række 15-19) er beregnet %-vis reduktion af 'vådområde areal'. I række 20 for ALT (række 50 for VF) er beskrevet i hvilket interval 5 % reduktion overskri-

des. Endelig er i række 21-22 (for ALT) angivet nedre og øvre 'ressource' på basis af samlet simuleret indvinding. I række 53 (for ALT) er der foretaget en simpel 'lineær interpolation'. Såfremt overskridelsen sker ved en indvinding over 300 scenariet ekstrapoleres, på basis af udviklingen i 'intervallet 200-300'.

Til slut beregnes ressourcen i mill. m³/år (ALT række 26-27 og VF række 56-57).

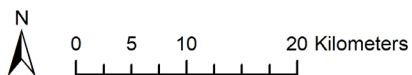
I Figur 4.20 er vist våd arealprocenter ved fire udvalgte scenarier (søjler på en baggrund af estimeret ressource på basis af indikator 5 for deloplande).



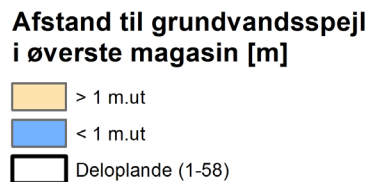
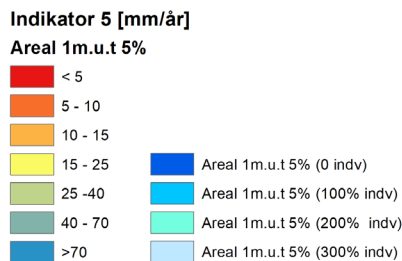
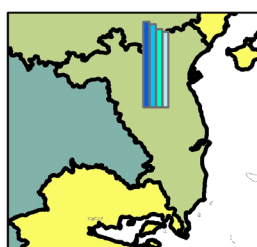
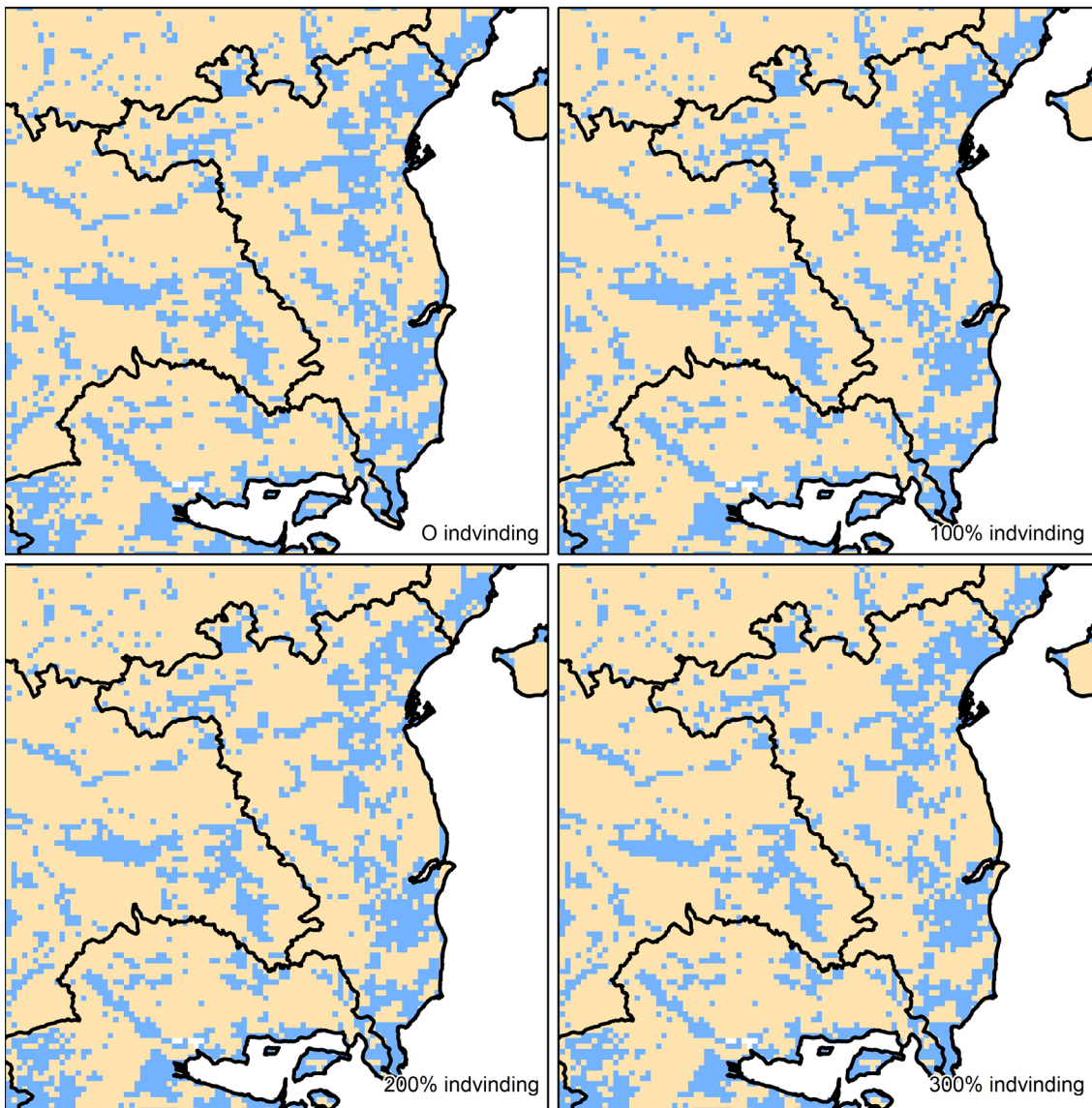
Figur 4.20 Estimeret ressource for indikator 5 Reduceret vådareal /GATØ, samt illustration af vådareal for udvalgte scenarier (0, 100, 200 og 300 for ALT).

I Figur 4.21 og Figur 4.22 er illustreret hvordan vandindvinding ved fire scenarier påvirker gridværdier af dybde til terrænnært grundvand hhv. over og under 1 m.u.t. for delopland 21 Århus og delopland 48 Suså.

Århus (opland 21)

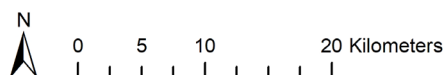


Århus			
Scenarie	Indvinding [mm/år]	Areal < 1 mut [km²]	Ændring km² og (%)
0 indv		223	
100% indvinding	29	211	-12 (-5%)
200% indvinding	56	202	-21 (-9%)
300% indvinding	81	194	-29 (-13%)

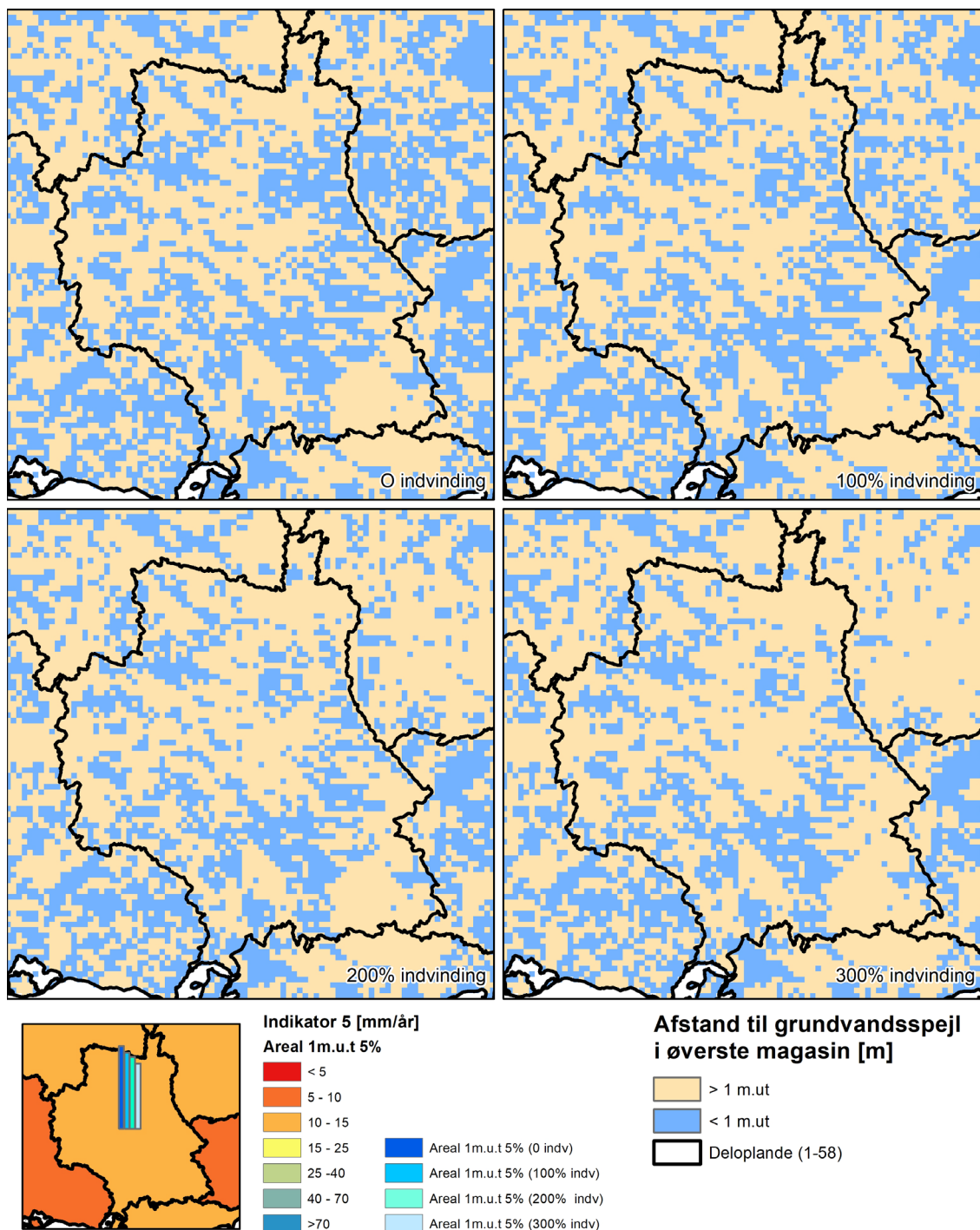


Figur 4.21 Illustration af påvirkning af vådareal (grids med dybde til grundvandsspejl <math>< 1\text{ m.u.t}</math>) ved øget indvinding (0%, 100%, 200% og 300% for alle vandindvindinger) for delopland 21 Århus (placering af indvindinger er vist i figur 4.18)

Suså (opland 48)



Suså			
Scenario	Indvinding [mm/år]	Areal < 1 m.ut [km ²]	/Endring km ² og (%)
0 indv	0	315	
100% indvinding	15	293	-23 (-7%)
200% indvinding	30	274	-41 (-13%)
300% indvinding	45	249	-66 (-21%)



Figur 4.22 Illustration af påvirkning af vådareal (grids med dybde til grundvandsspejl < 1 m.u.t.) ved øget indvinding (0%, 100%, 200% og 300% for alle vandindvindinger) for delopland 48 Suså. Placering af indvindinger er vist i figur 4.18.

4.5.5 Forklaring til ark: 'QSTAT'

Beregninger af indikatorer 7, 8 og 9 er baseret på data der er processeret og findes i QSTAT folder, der indeholder beregnede resultater for samtlige Qpunkter. Nedenfor er vist et udklip for de første ID15-punkter ud af alle ca. 3000 rækker, resultater fra 0-kørsel, og ændringer for et enkelt scenarie (her vist 50 ALT scenariet).

Tabel 4.5 Udklip af QSTAT faneblad med data for samtlige ca. 3000 ID15 punkter (indikator 7-9).

	X	Y	km	w	os	DFFV_EQR_0	Q50_0	Q90_0	dEQRd50	Q50pct50	Q90pct50
32230886	709510	6186350	DK1	41	1	1.154672612	0.071440384	0.039736674	-0.027617332	-0.285524864	-0.284692945
32230941	715430.6343	6183840	DK1	41	1	0.882262582	0.022202492	0.009994363	-0.054278526	-0.132296807	-0.186610152
72201261	711927.2178	6189493.383	DK1	41	1	0.917770632	0.182886407	0.134593314	-0.077508822	-0.137704215	-0.12999398
72201143	715961.0915	6187270.812	DK1	41	1	0.98221013	0.473516345	0.241363198	-0.136345029	-0.117867232	-0.154549714
32230874	709408.9136	6186426.089	DK1	41	1	0.607248921	0.004114501	0.002581638	-0.067194045	-0.573197539	-0.582694644
32241161	707154.953	6176919.291	DK1	42	1	0.353987827	0.001956036	0.000201297	-0.076450752	-0.178075117	-0.037337629
71270810	708902.7785	6167711.607	DK1	42	1	0.422392294	0.083749361	0.034072824	-0.109826663	-0.420452013	-0.366683675
32230699	711090	6185440	DK1	41	1	0.698686475	0.119799271	0.082331724	-0.041160093	-0.238476065	-0.273586829

Fanebladet indeholder ID15 nr, koordinater, domæne (her dk 1 Sjælland), wb nr. (her vist ganske få id15 punkter fra wb 41 Hillerød og wb 42 København), samt en OSD/IOL markør (hvor 1 betyder at Qpunkt ligger indenfor OSD/IOL opland, 0 betyder at det ligger udenfor OSD/IOL). Herefter følger resultater for nul kørsel for DFFVa EQR, resultater for median (Q50) og low flow (Q90) begge dele i m³/s, samt ændringer i EQR værdi (absolut værdi) og % vis reduktion af Q50 og Q90 (negativ fortegn betyder reduktion i størrelsen). Det første Qpkt. Har eksempelvis en reduktion i Q50 på ca. 29 % og en EQR reduktion på 0.028.

4.5.6 Forklaring til ark: 'Indikator 7 og 8: EQR og indikator 9: Q50 %'

Indikatorerne 7-8 undersøger om et enkelt Q-punkt indenfor et delopland har en ændring i EQR der overstiger givne kriterier for hhv. 80 % og 50 % EQR ændring. Analysen har vist at i langt størstedelen af alle deloplande er Q-punkter ved max påvirkninger i EQR i forhold til nul kørslen sammenfaldende med OSD/IOL delen. En medvirkende årsag hertil er, at markvanding "er uændret" mellem scenarier (fra 50-300 i ALT scenariet, markvanding er ikke med i VF scenariet). På faneblad Indikator 7 er beregninger rapporteret med analyse af om EQR-ændringer overstiger en reduktion på 0.23 svarende til 80% sandsynlighed for tilstandsændring for fisk. Beregninger følger overordnet set samme struktur som Indikator 5, med hensyn til simuleret indvinding og ændringer i dette tilfælde for EQR fisk.

Processeringen er foregået ved i QSTAT at gennemgår delopland for delopland for hhv. VF og ALT ved udvælgelse af Q-punkter tilhørende hvert delopland, og undersøge Q-punkt med største ændringer i EQR fra 300 scenariet og nedefter. Herefter er det interval identificeret hvor EQR ændring overstiger 80% kriteriet, hvorefter der er interpoleret lineært mellem beregnede EQR ændringer, evt. ekstrapoleret. På fanebladet er hvor der er ekstrapoleret kun vist EQR ændringer for scenarierne 200 og 300. Hvor ændringer sker mellem beregnede scenarier er der vist flere resultater for øvrige scenarier. På grund af større kompleksitet for EQR ændringer, kan der forekomme deloplande, hvor der ikke kan ekstrapoleres en værdi. Sådanne er markeret ved N.A.

For indikator 8 er EQR ændringer vurderet i forhold til 50% sandsynlighed for tilstandsændring, dvs. max reduktion i EQR på 0.16. Metodik er i øvrigt svarende til indikator 7.

4.5.7 Forklaring til ark: 'Indikator 9 – Q50'

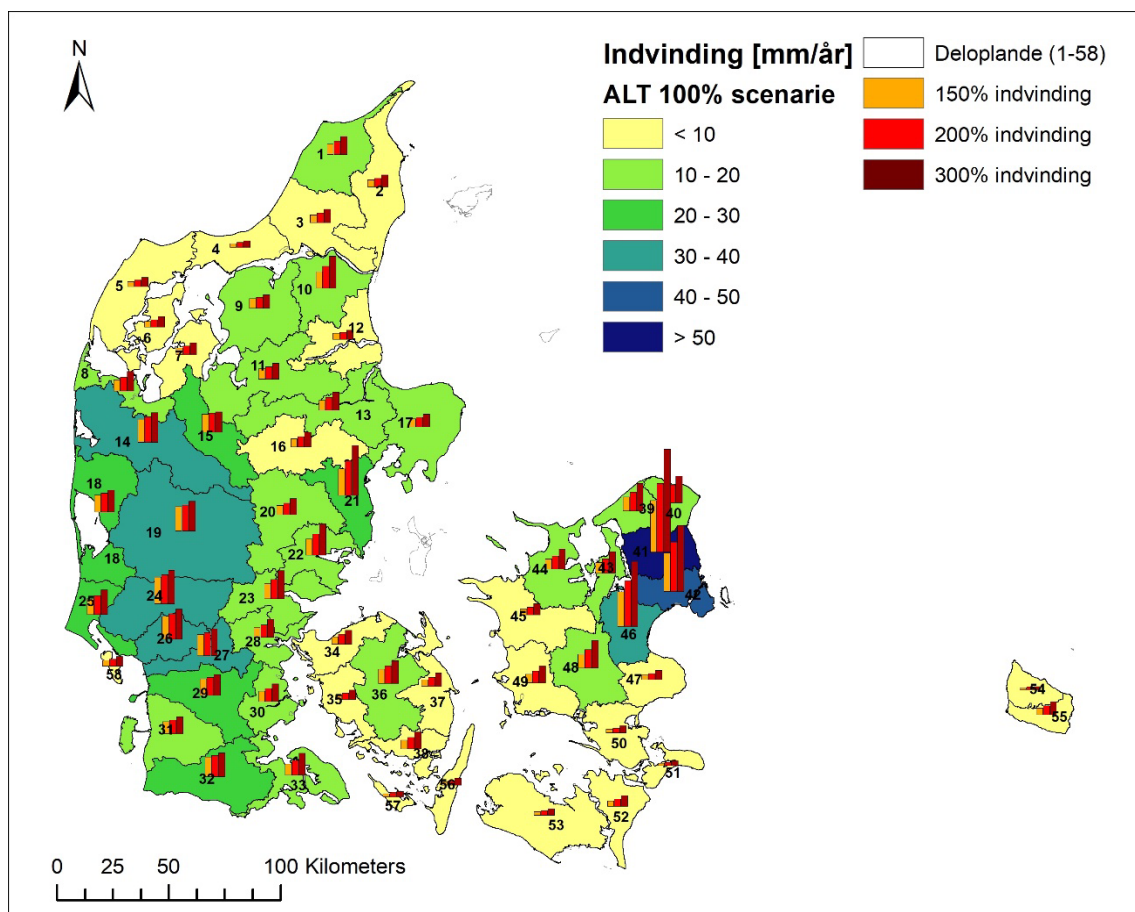
Beregninger for indikator 9 er i princippet helt tilsvarende indikator 7-8, blot er kriteriet her max 40% reduktion i median vandføring (Q50) ved et Q-punkt i et delopland.

4.5.8 Forklaring til ark: 'Konklusiv'

Faneblad 'Konklusiv' indeholder resultater fra øvrige faneblade for de 9 indikatorer for hhv. ALT og VF omregnet til mill. m³/år for de enkelte deloplande og for OSD/IOL del indenfor hvert delopland.

Der er beregnet en samlet ressource, angivet robust ressource, på basis af 0.125 percentilen på tværs af de 9 indikator resultater. Denne percentil finder, der hvor alle resultater foreligger, det næstmindste indikatorresultat. Der er således tilstræbt at frasortere 'outliers' f.eks. kan indikator 2 for visse oplande f.eks. Esbjerg og Ringkøbing undervurdere grundvandsdannelsen (da noget af grundvandet indstrømmer horisontalt gennem dybere magasiner). Ved at baseret ressourcestørrelsen på mindst to indikatorer, opnås et mere robust resultat.

I Figur 4.23 er vist en illustration af vandindvinding for deloplande for ALT scenarier.

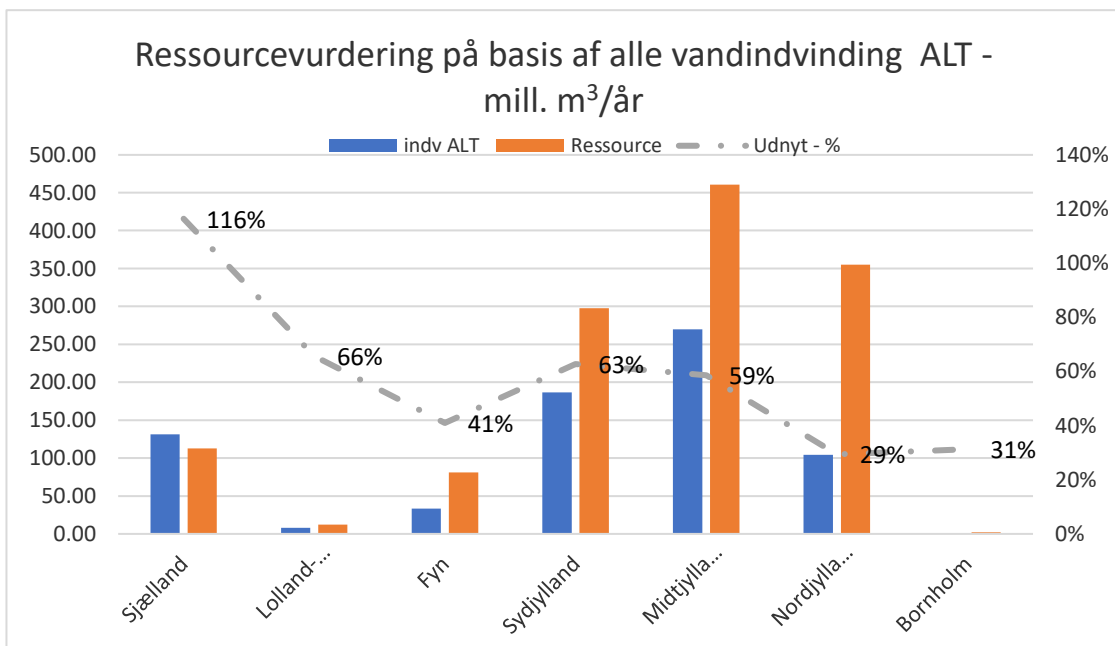
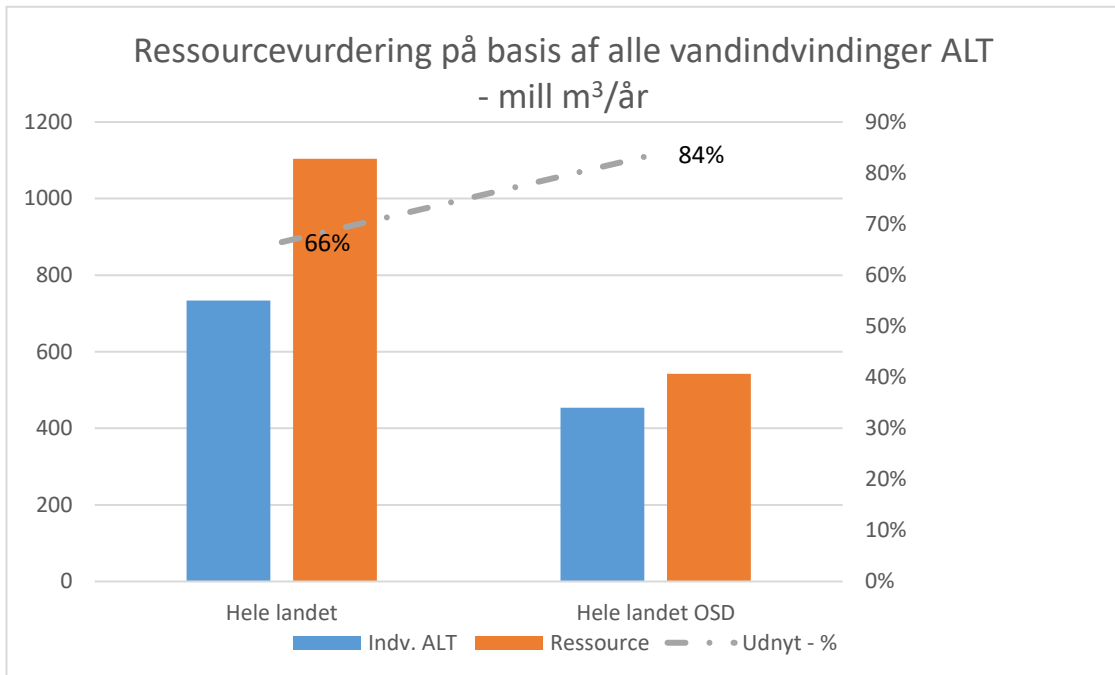


Figur 4.23 Vandindvinding for ALT scenarier for 100 % scenariet (nuværende indvinding fra alle vandværker), samt illustration af 150, 200 og 300 scenarier. Bemærk at indvinding pr. arealenhed er relativ høj omkring København samt i markvandsområder i Midt- og Vestjylland (fra 30 mm/år til over 50 mm/år).

5. Resultater

Nærværende afsnit indeholder en præsentation af opgørelsen af bæredygtig grundvandsressource først opgjort i mill. m³/år (afsnit 5.1-5.3) og senere illustreret pr. arealenhed i mm/år (afsnit 5.4). Endelig er resultater sammenlignet med vandområdeplaner (afsnit 5.5).

5.1 Opgørelse af bæredygtig grundvandsressource



Figur 5.1 Opgørelse af ressource aggregeret for hele landet og syv DK model områder (udfra ALT – alle vandindvindinger incl. industri og markvanding)

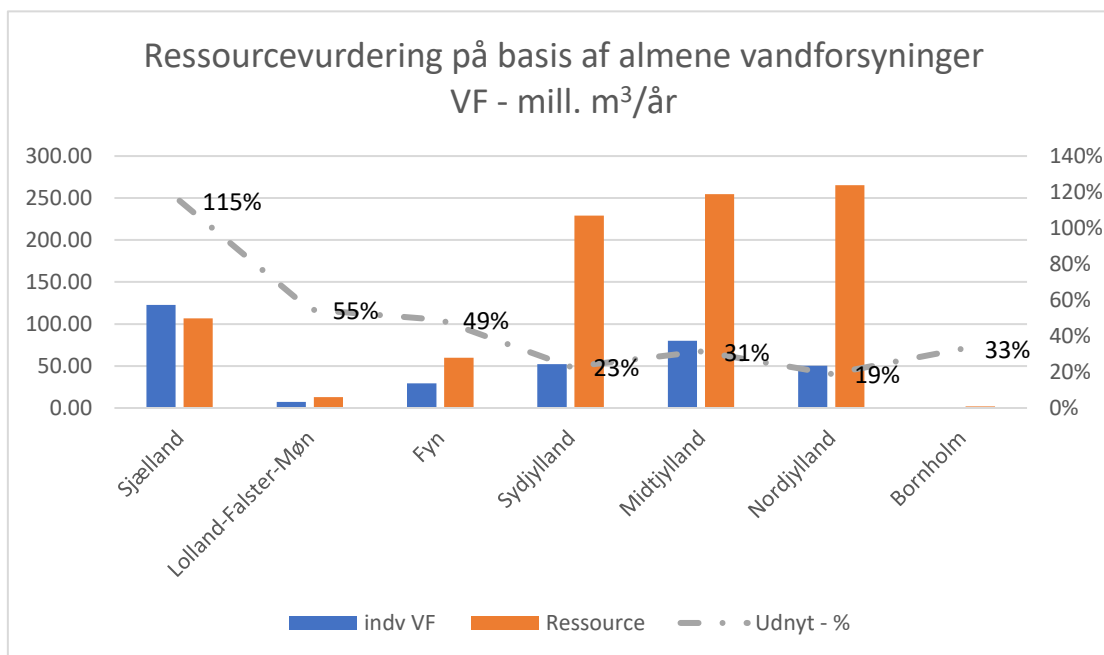
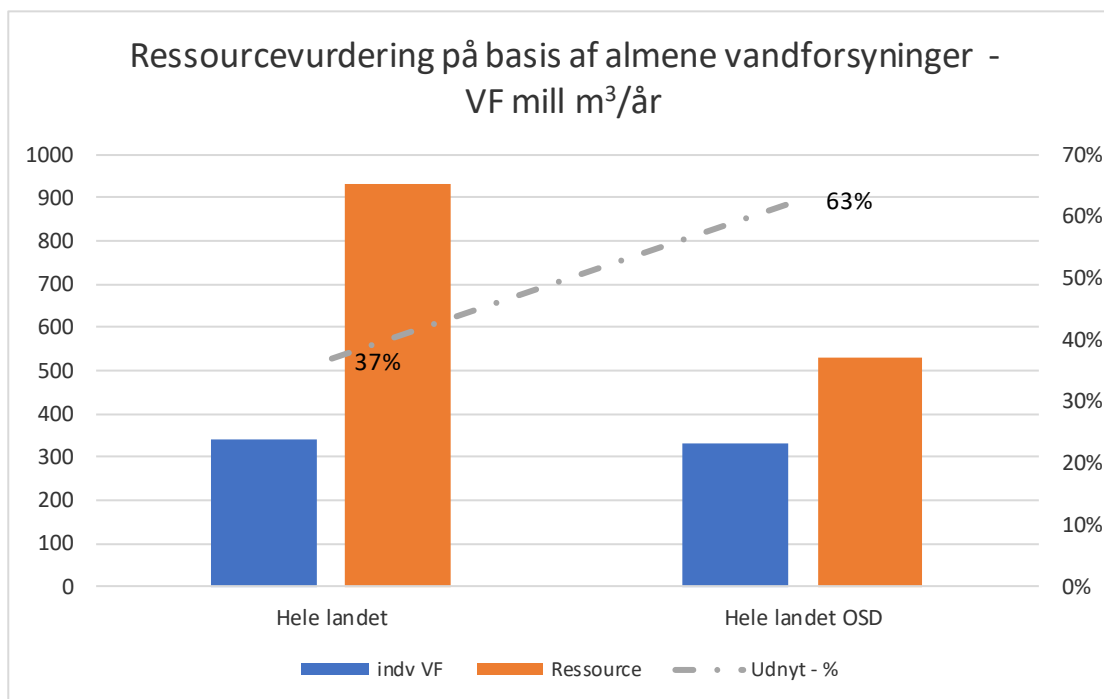
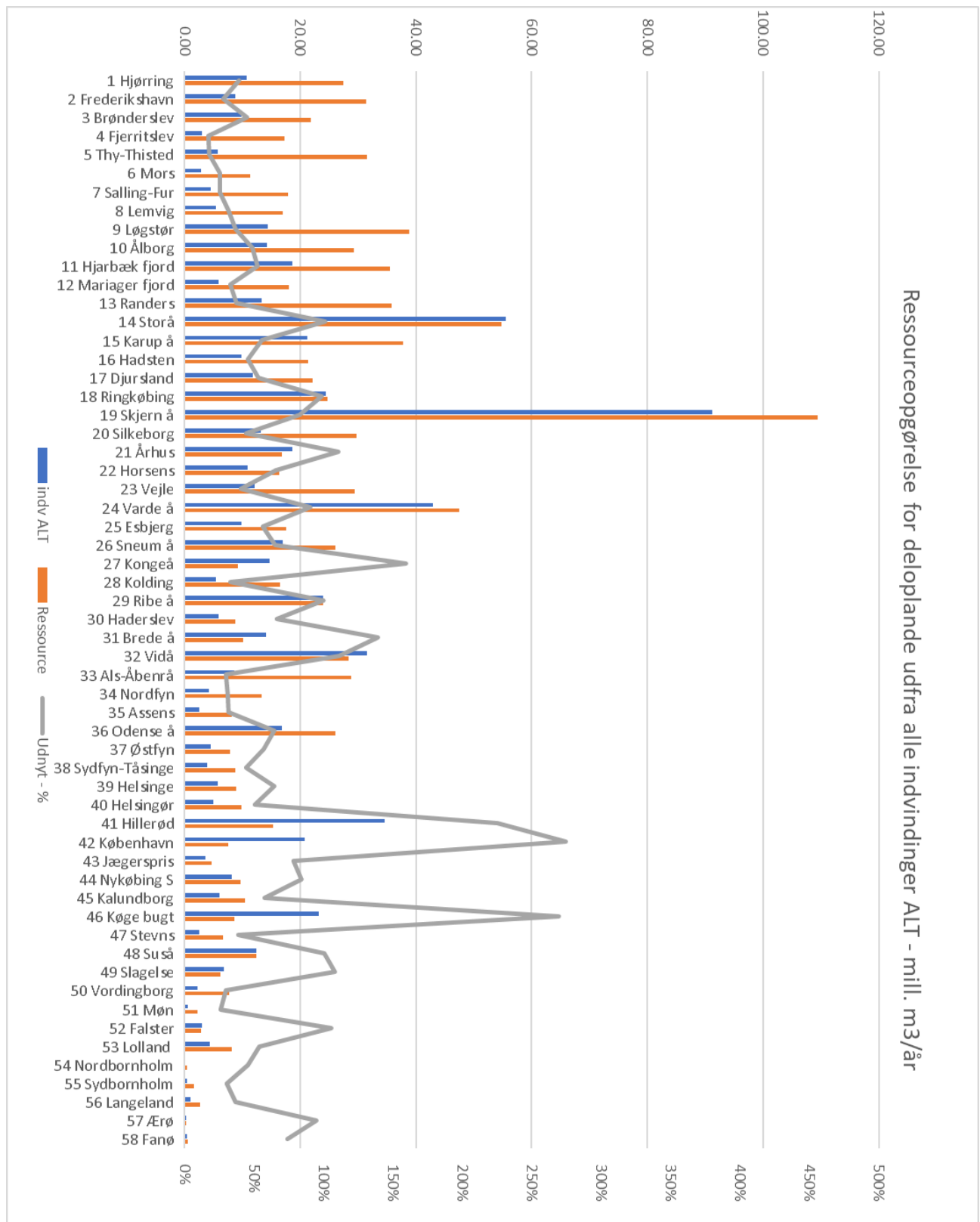
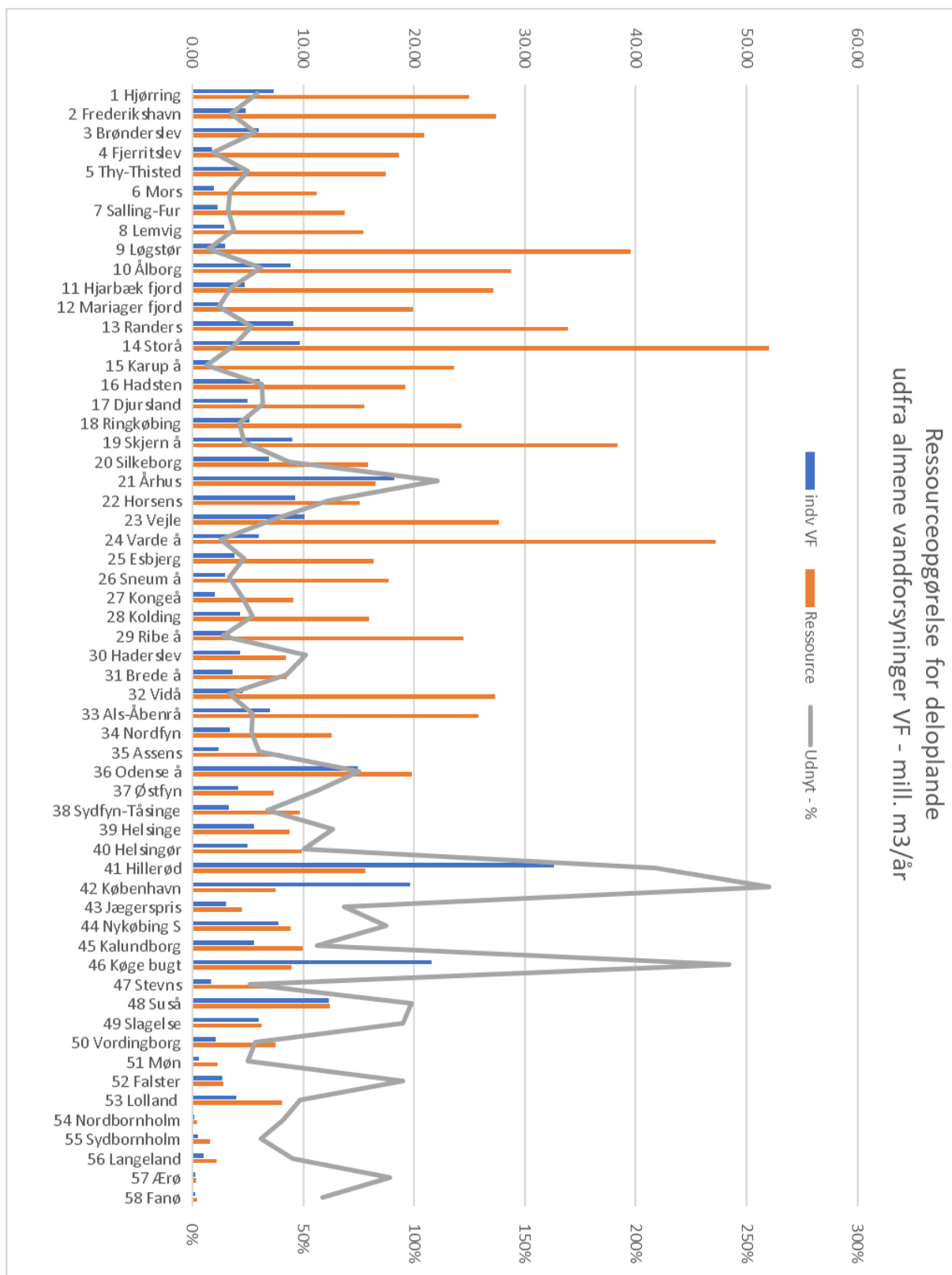


Fig 5.2 Opgørelse af ressource baseret på scenarier for almene vandforsyninger for hele landet aggregeret for domæner og hele landet ud fra resultater for 58 deloplande

5.2 Estimat af den tilgængelige ressource for almen vandforsyning og alle indvindinger for deloplande

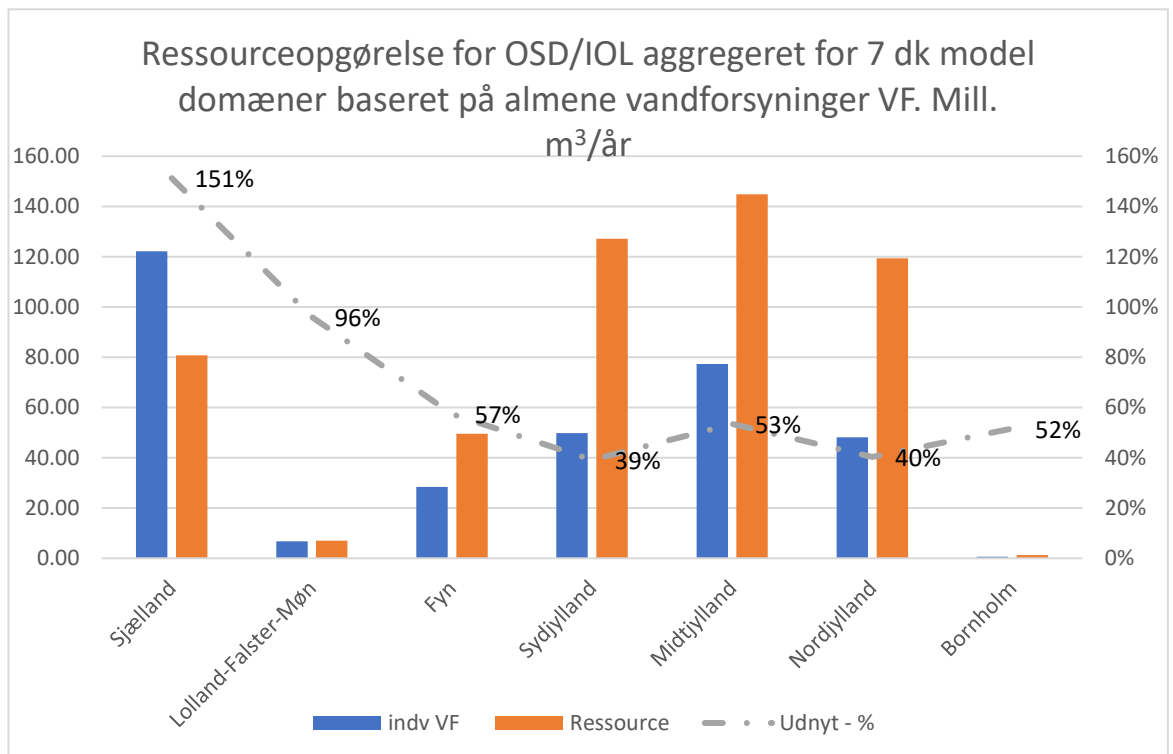
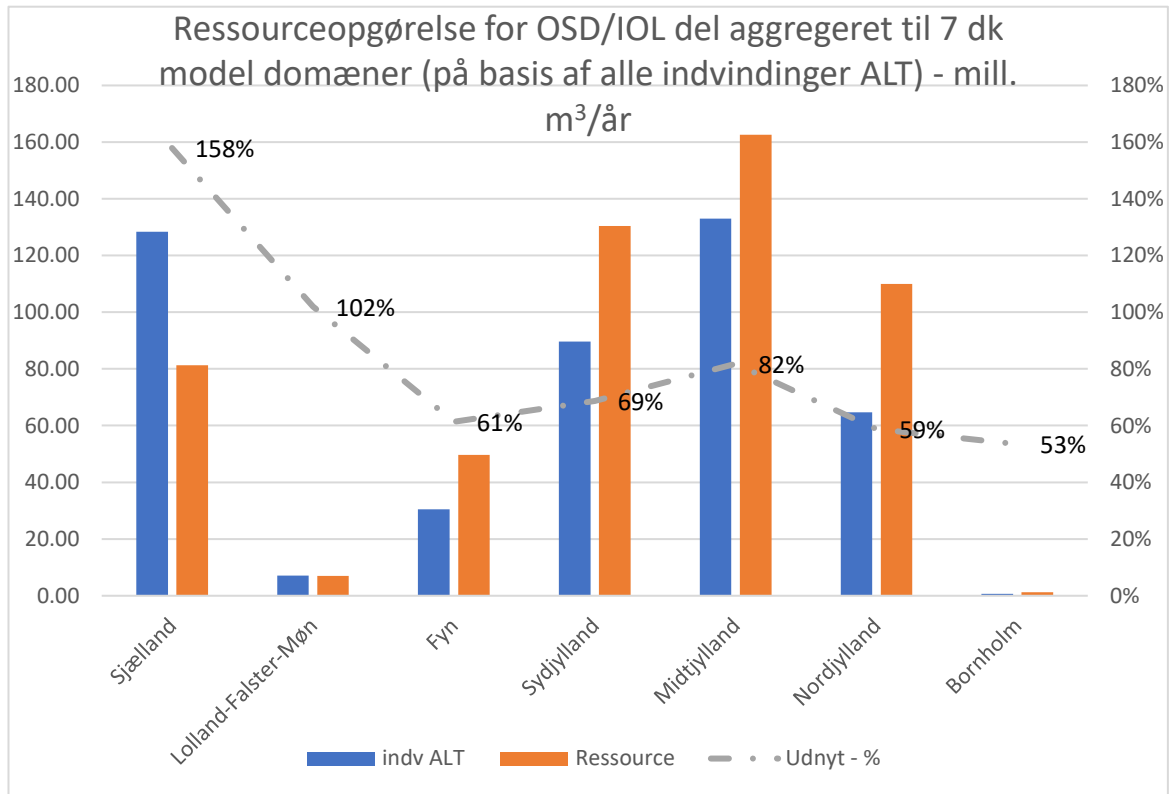


Figur 5.3 Ressourceopgørelse for deloplande baseret på alle indvindinger (ALT – mill. m³/år)

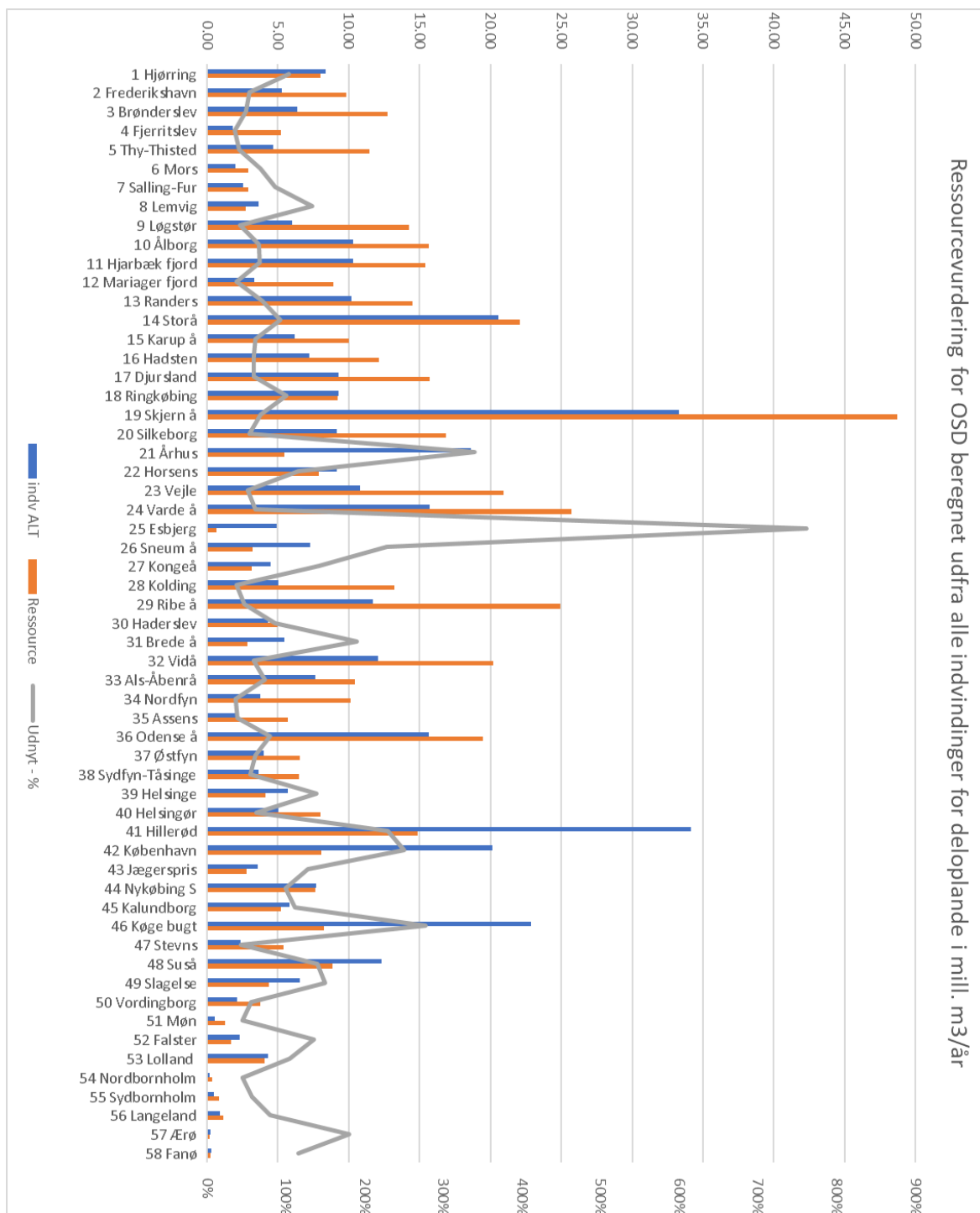


Figur 5.4 Ressourceopgørelse for deloplade baseret på almene vandværker (VF – mill. m³/år)

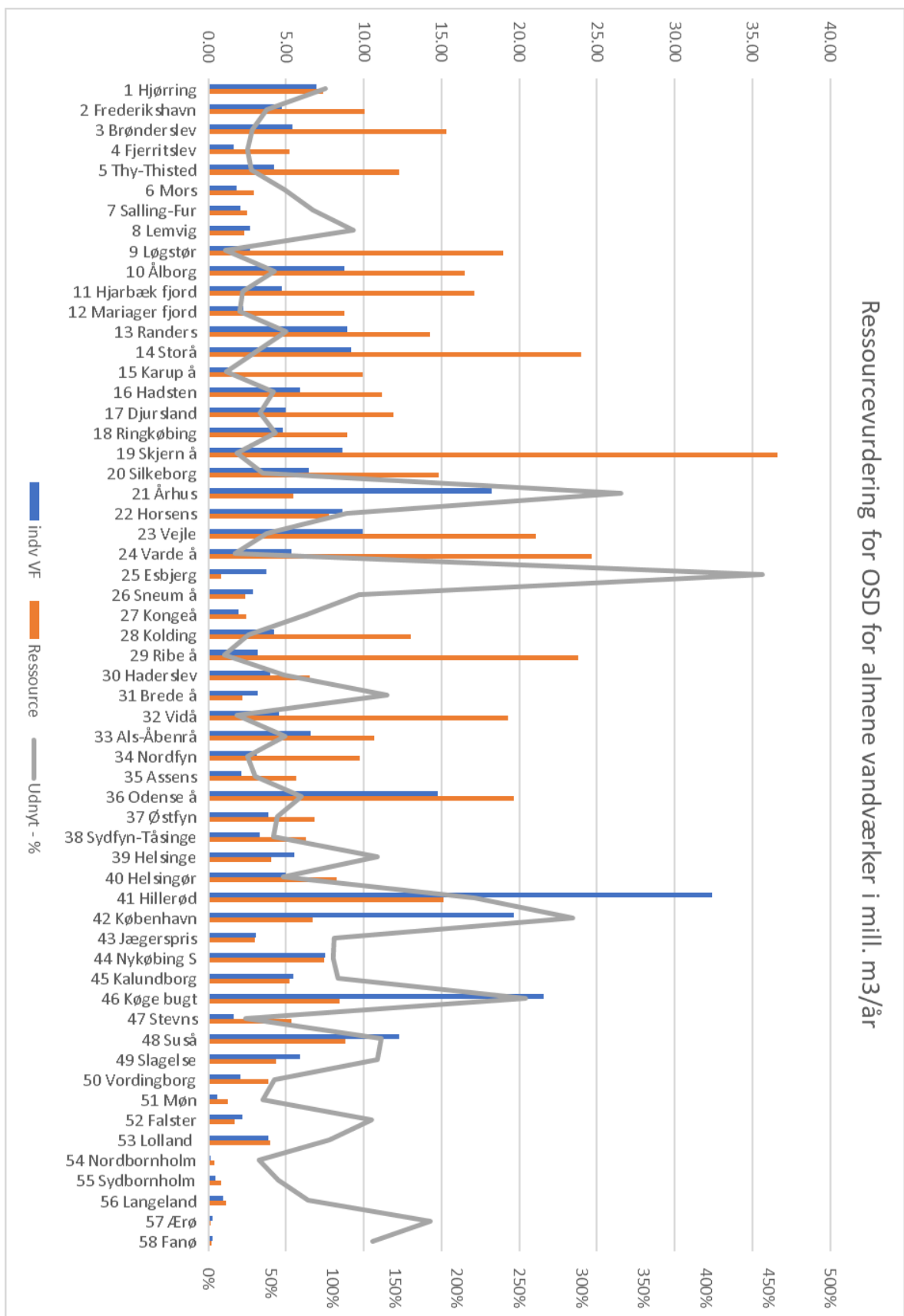
5.3 Grundvandsressourcen indenfor nuværende OSD/IOL



Figur 5.5 Ressourceopgørelse for OSD/IOL aggregeret til 7 dk model domæner for alle indvindinger (øverst ALT) og almene vandværker (nederst VF) i mill. m³/år

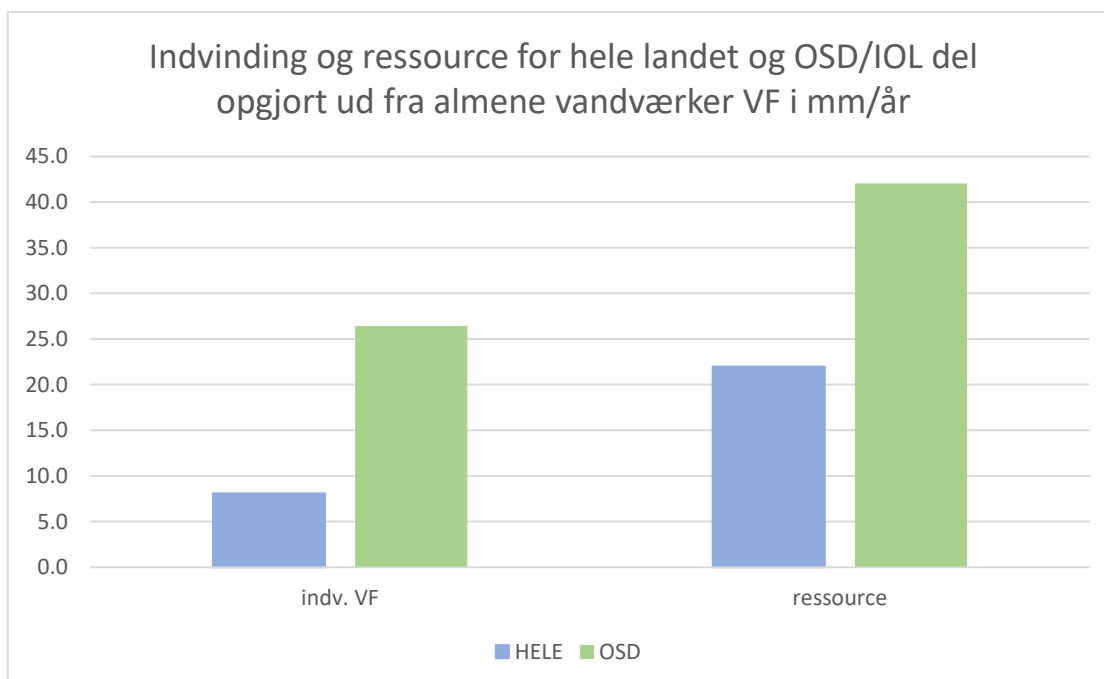
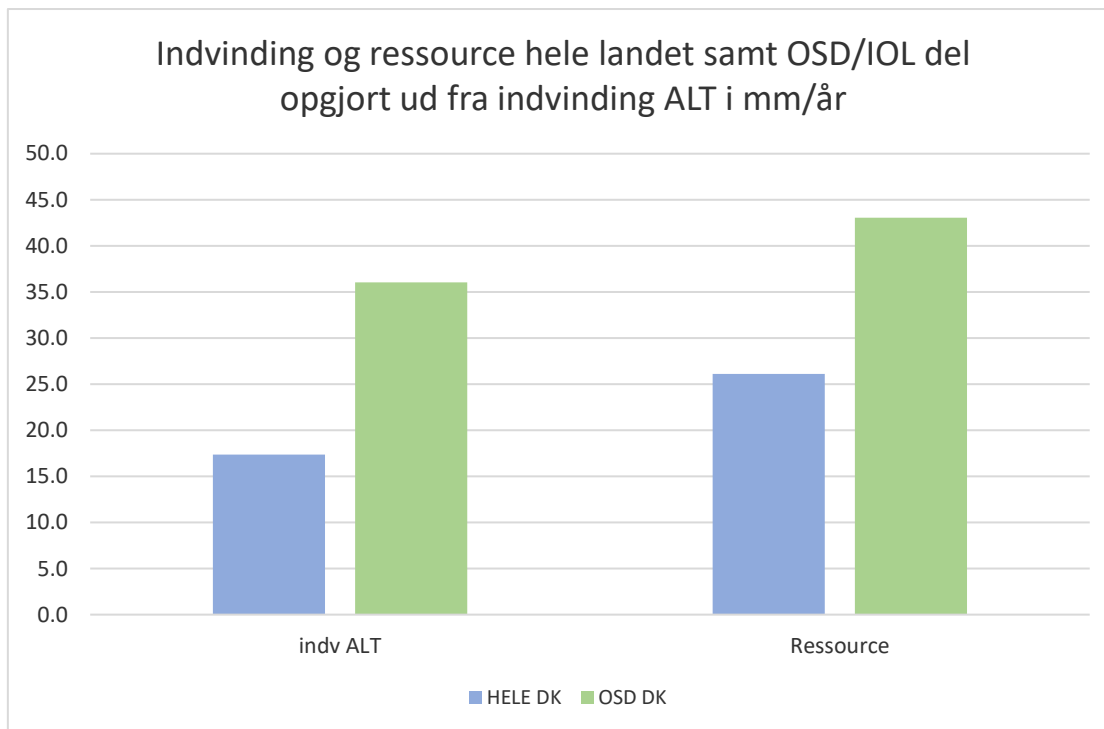


Figur 5.6 Ressourceopgørelse for OSD/IOL aggregeret til 7 dk model domæner for alle indvindinger (øverst ALT) og almene vandværker (nederst VF) i mill. m³/år

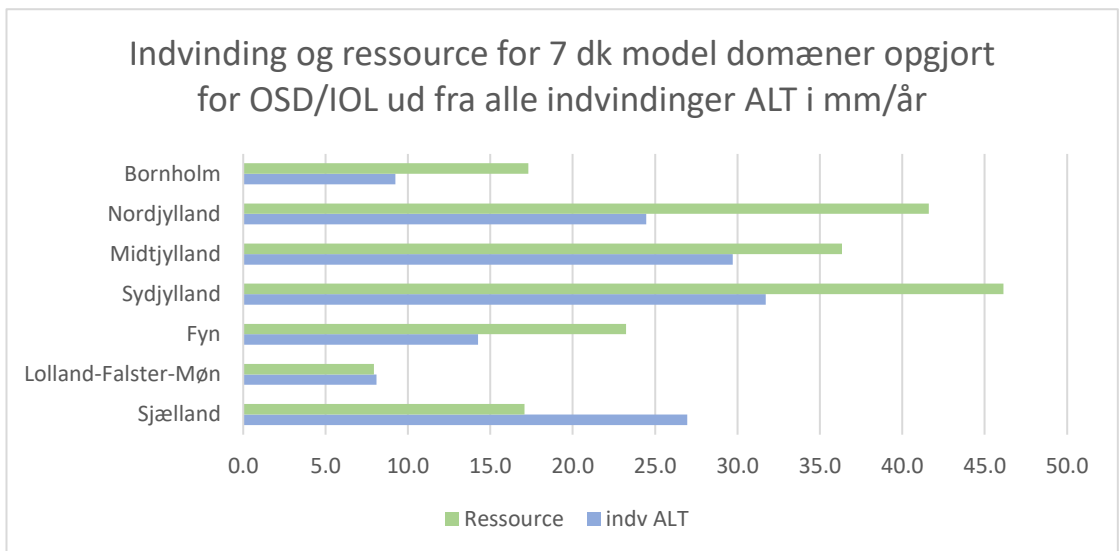
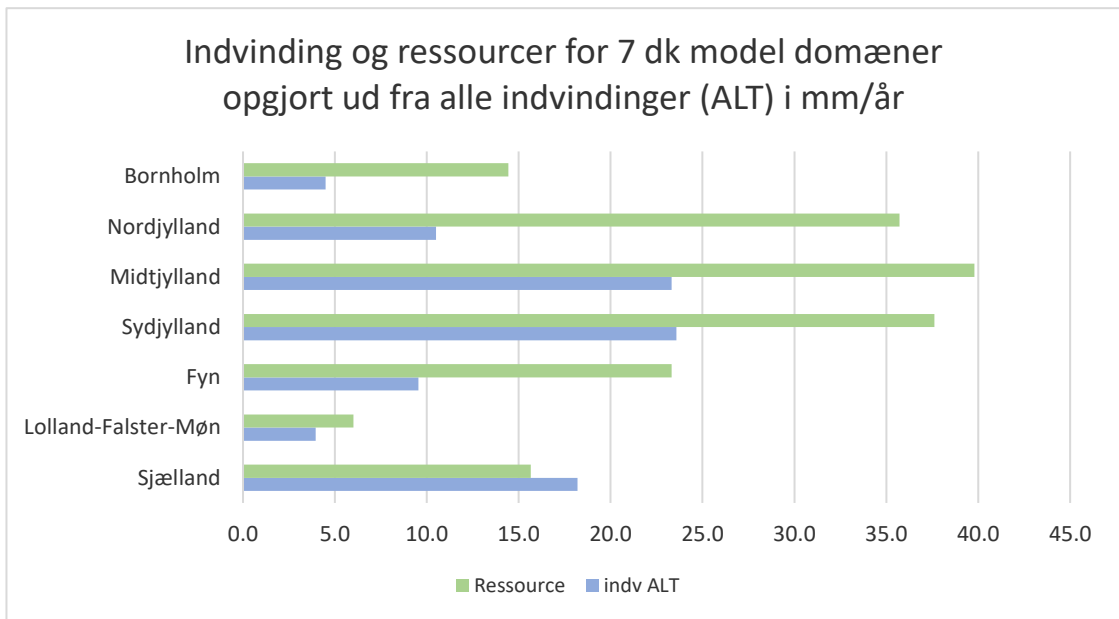


Figur 5.7 Ressourceopgørelse for OSD/IOL aggregeret til 7 dk model domæner for alle indvindinger (øverst ALT) og almene vandværker (nederst VF) i mill. m³/år

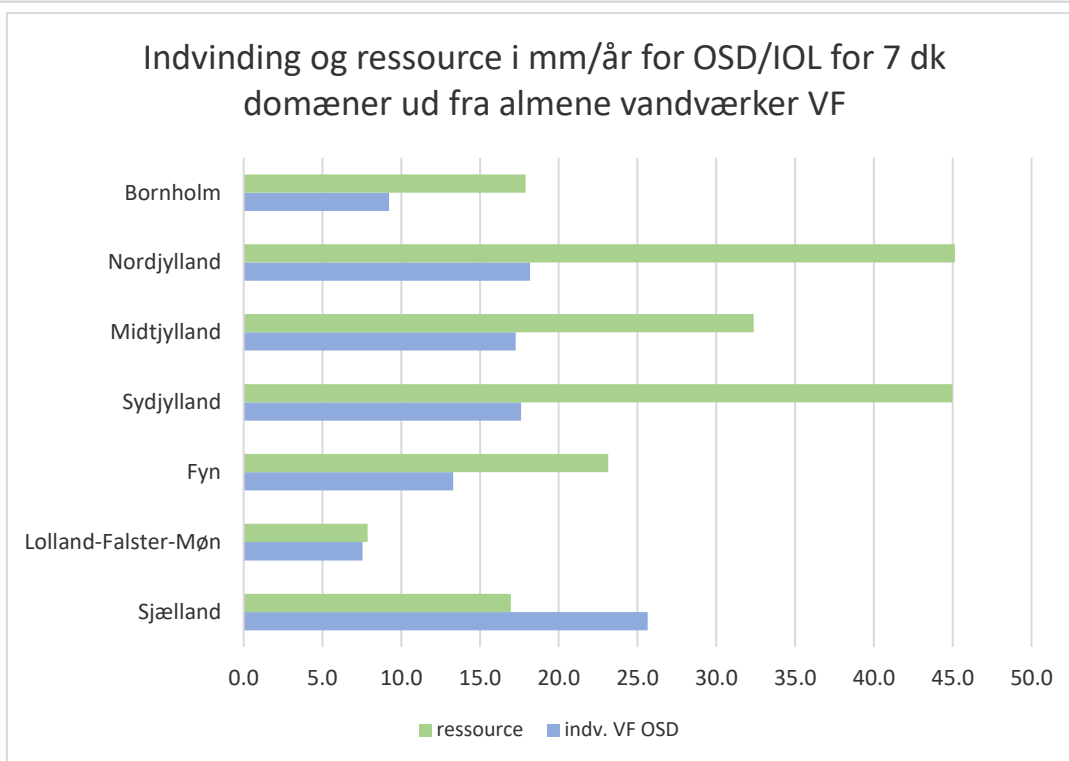
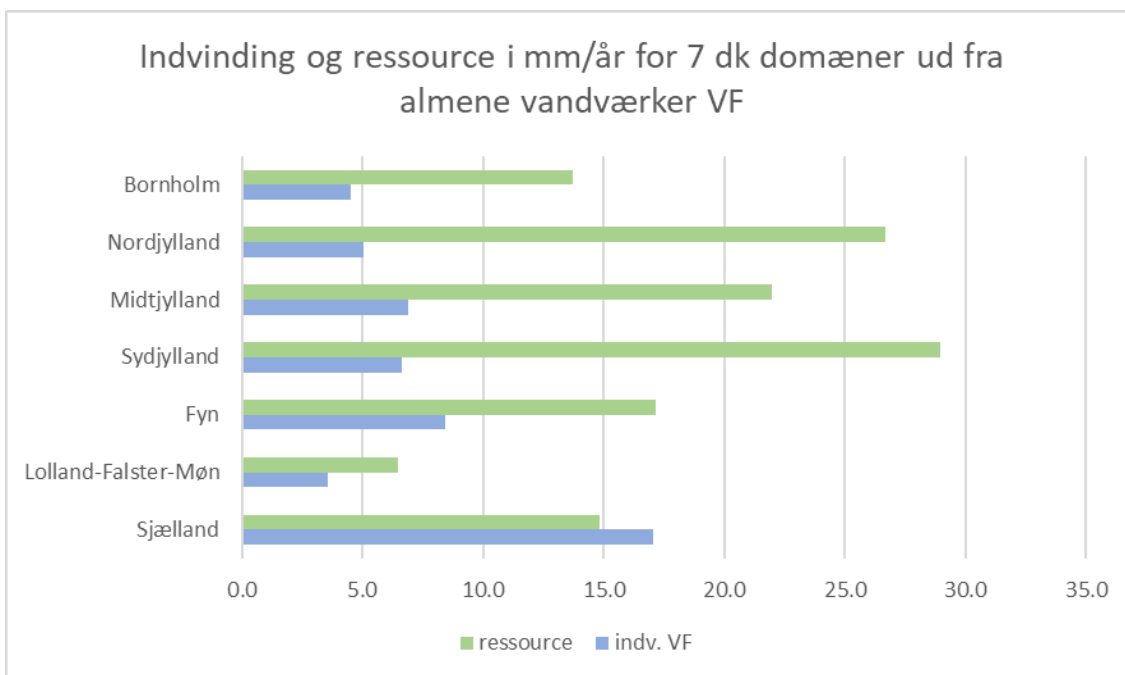
5.4 Ressource og areal på overfladen



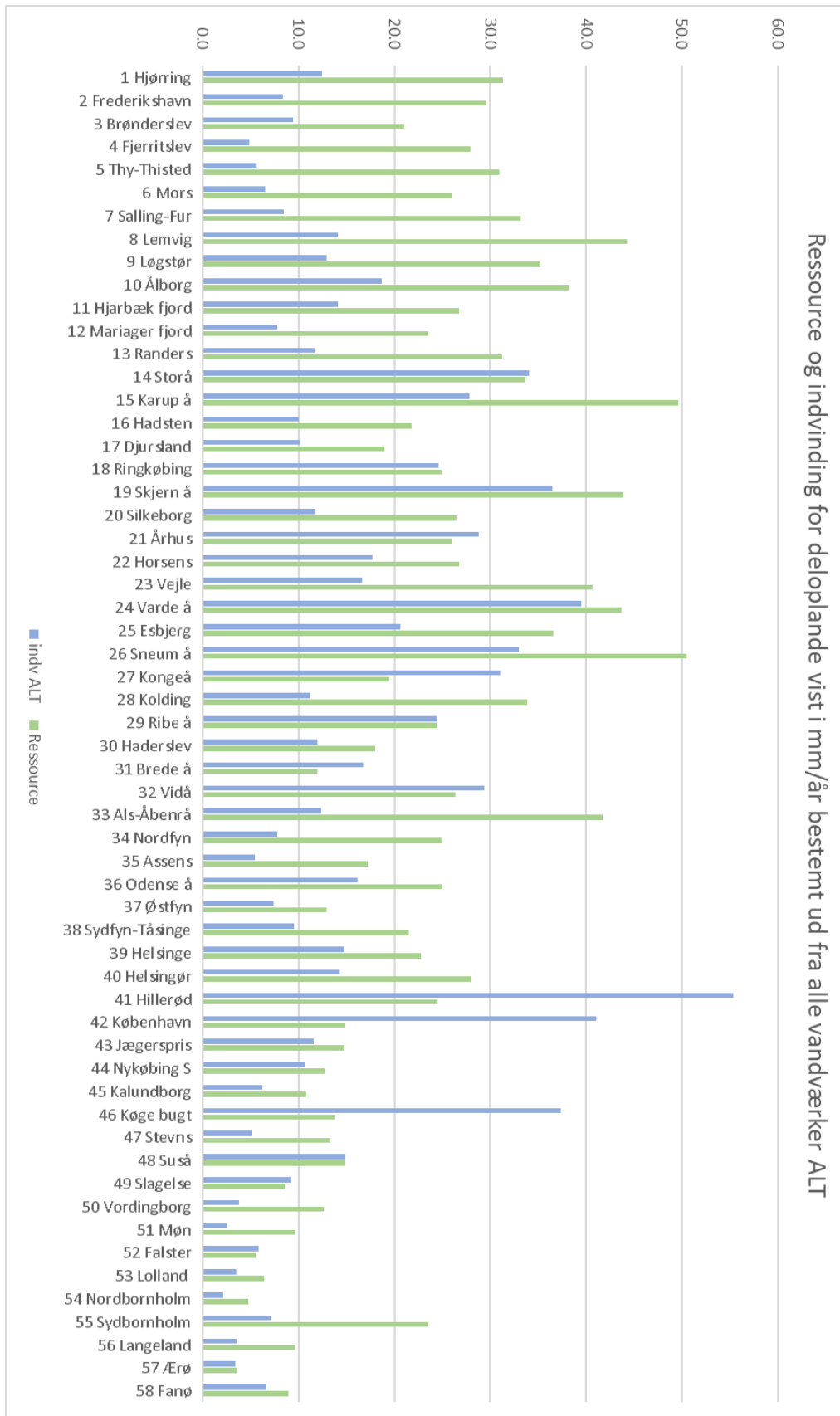
Figur 5.8 Ressourceopgørelse for hele landet og OSD/IOL for alle indvindinger øverst (ALT) og almene vandværker (nederst VF) i mm/år



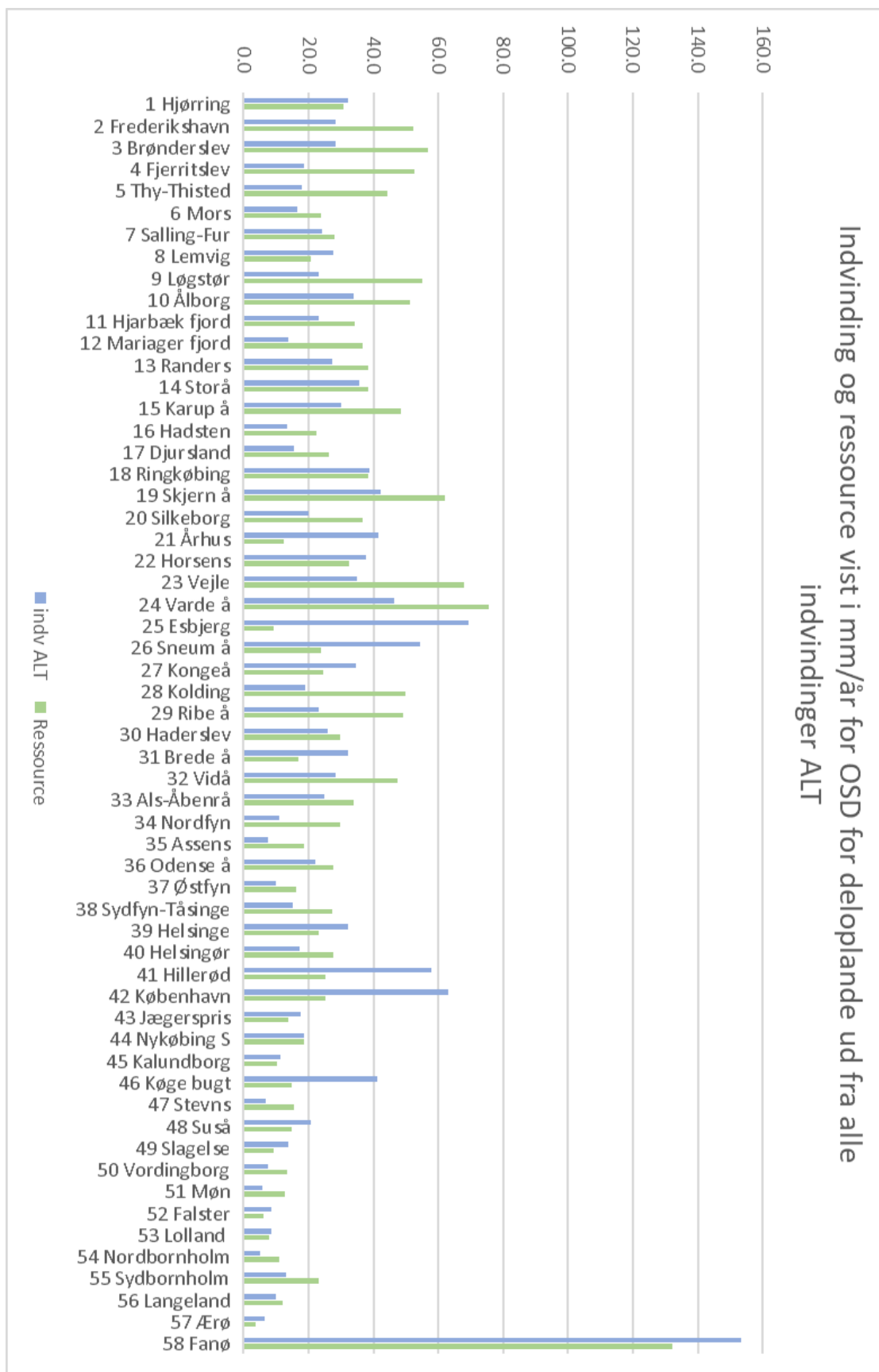
Figur 5.9 Ressourceopgørelse for 7 dk domæner for alle indvindinger øverst (ALT) og OSD/IOL delen nederst i mm/år



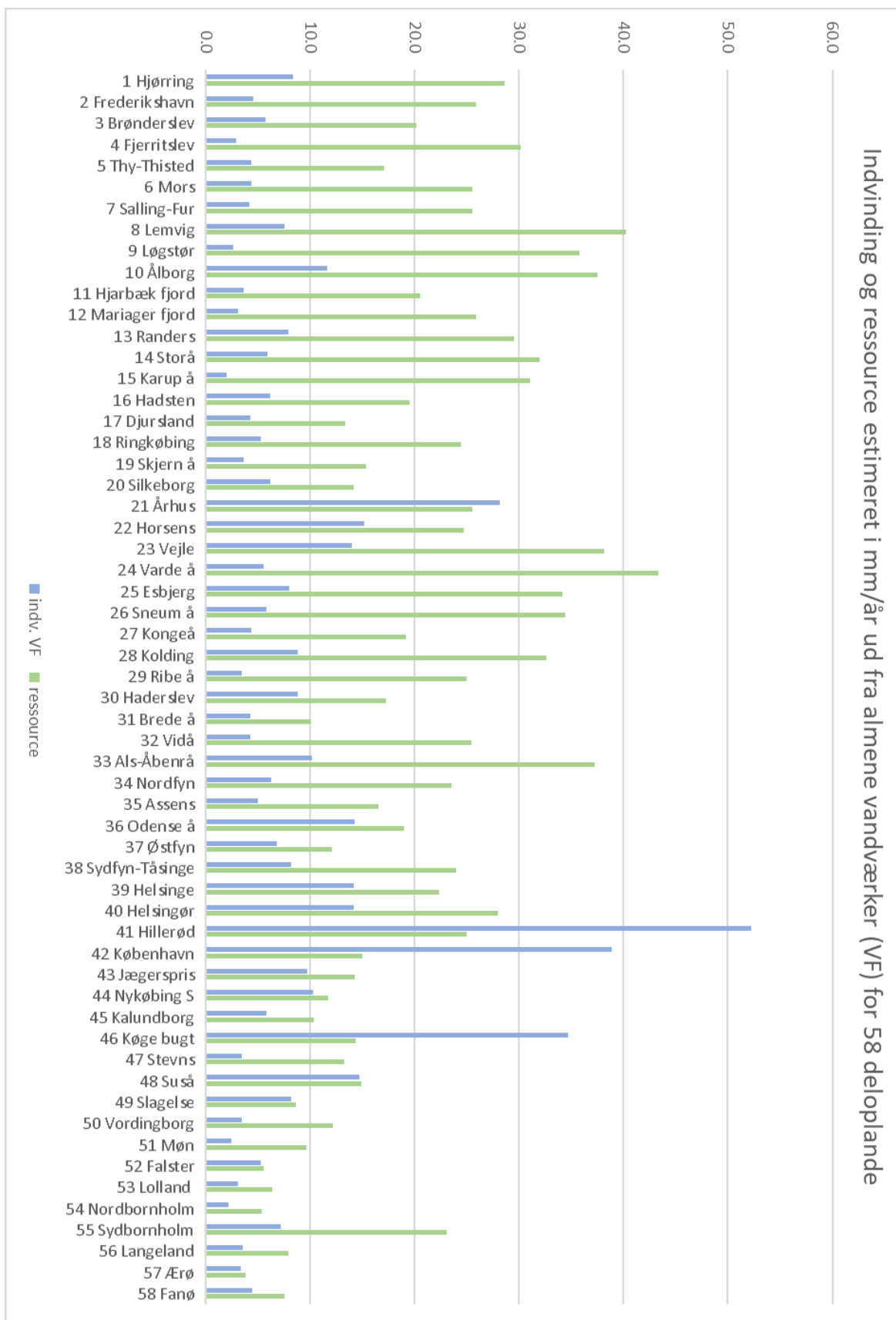
Figur 5.10 Ressourceopgørelse for 7 dk domæner for alle indvindinger øverst (ALT) og almene vandværker (nederst VF) i mm/år



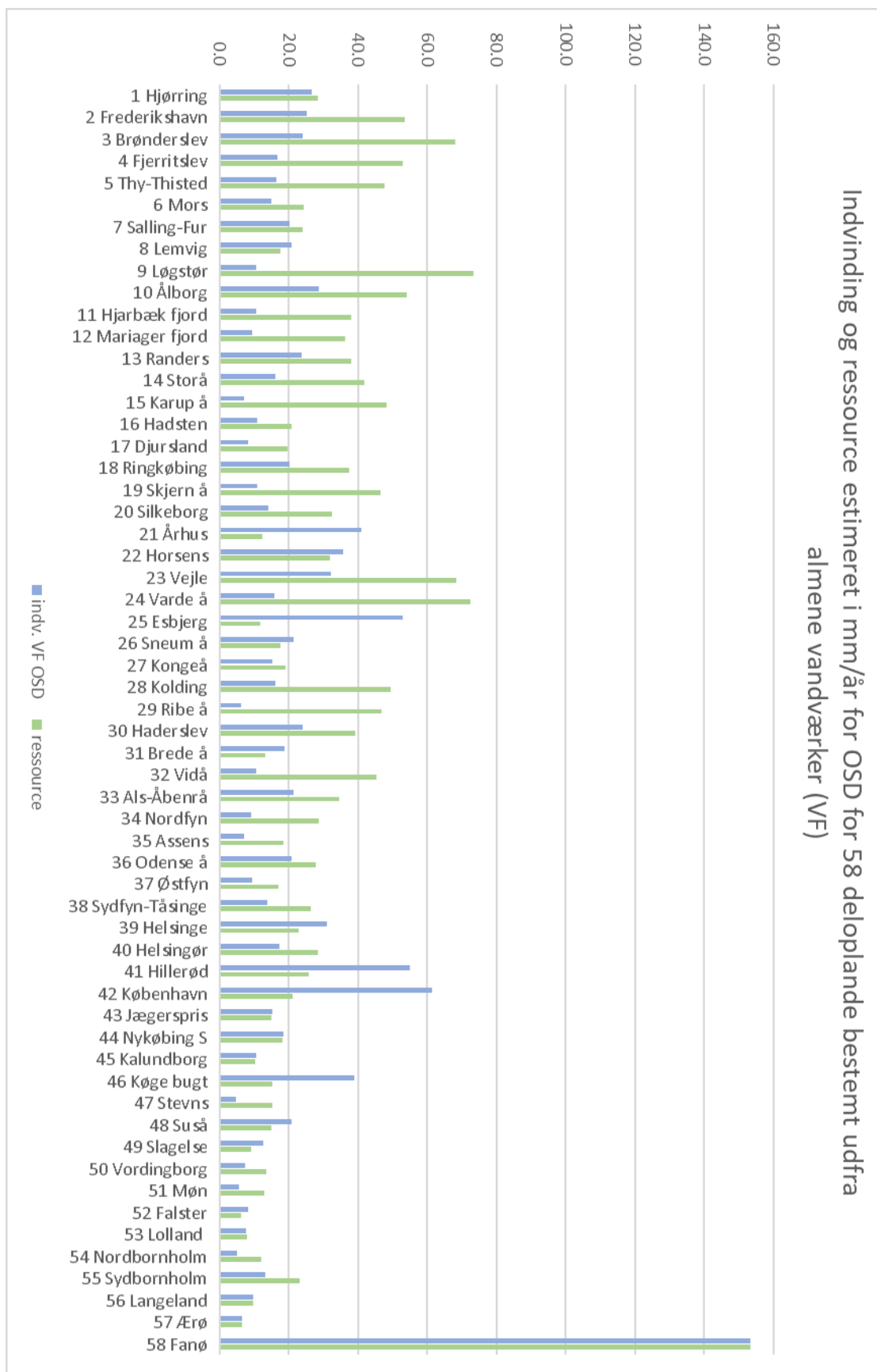
Figur 5.11 Ressourceopgørelse for 58 deloplade indenfor for alle indvindinger (ALT) i mm/år



Figur 5.12 Ressourceopgørelse for 58 deloplande for OSD/IOL del for alle indvindinger (ALT) i mm/år



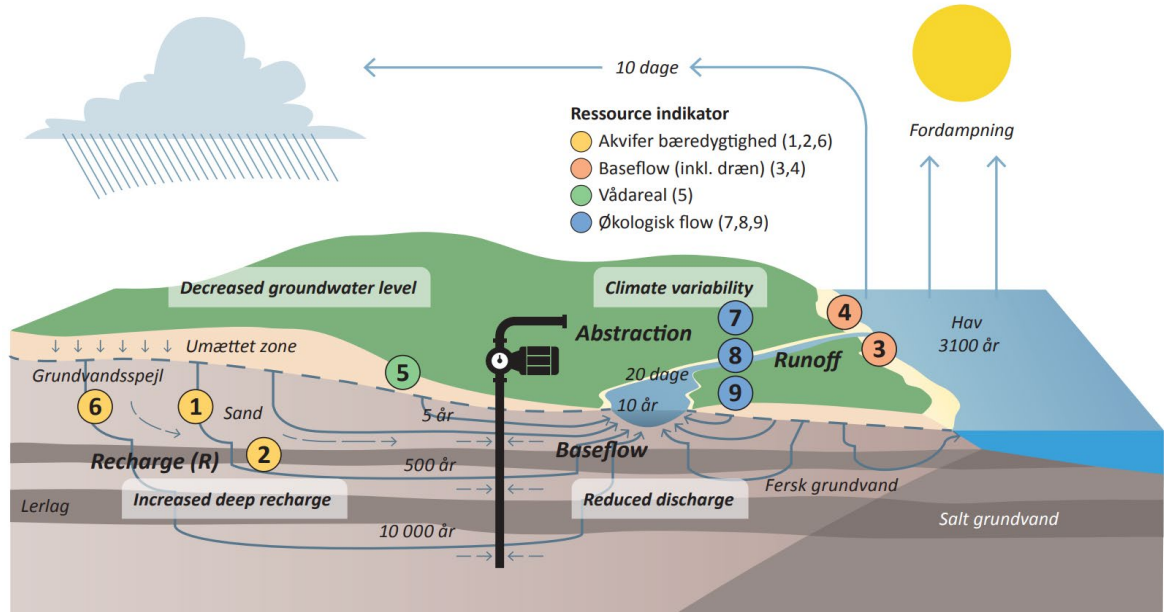
Figur 5.13 Ressourceopgørelse for 58 deloplande for almene vandværker (VF) i mm/år



Figur 5.14 Ressourceopgørelse for 58 deloplande for OSD/IOL del ud fra almene vandværker (VF) i mm/år

5.5 Sammenligning med resultater for ni indikatorer og i forhold til konsolideringen af den kvantitative tilstandsvurdering

De ni indikatorer giver forskellige bud på bæredygtig vandindvinding, hvor forskellige aspekter adresseres af hver enkelt indikator. I Fig. 5.15 er givet en oversigt over nogle væsentlige elementer som de enkelte indikatorer fokuserer på, i forhold til vandkredsløbet. De ni indikatorer er en videreudvikling af et ensemble, eller multi-indikator system, der blev anvendt i forbindelse med den seneste landsdækkende vurdering af udnyttelig grundvandsressource til drikkevand udviklet som en del af Ferskvandets kredsløb opgørelsen fra 2003 (Henriksen og Sonnenborg, 2003; Henriksen et al. 2008).



Indikator (fokusområde)	Afhængighed af indvindingsstruktur	Aggregering	Kriterier	Tærskel Værdi	Klima-Effekt
1 Udnyttelsesgrad øvre sekundære magasin (akvifer bæredygtighed)	Moderat	Middelværdi udnyttelse (=indvinding/sekundær grundvandsdannelse)	% udnyttelse sekundært magasin (til magasin i 10-25 m's dybde)	Max 30% udnyttelse	Overvejende positiv
2 Udnyttelsesgrad primære magasin (akvifer bæredygtighed)	Stor	Middelværdi udnyttelse (=indvinding/primær grundvandsdannelse)	% udnyttelse primært magasin (til magasin i mere end 25 m's dybde)	Max 50% udnyttelse	Fortrinsvis positiv
3 Reduktion af baseflow (samlet vandløbspåvirkning)	Moderat	Middelværdi baseflow (=flux sz alle lag til vandløb)	% reduktion af baseflow summeret for delopland	Max. 10 % reduktion	Fortrinsvis positiv
4 Reduktion af baseflow + drænflow (samlet vandløbspåvirkning)	Lille	Middelværdi baseflow+ (= flux sz alle lag til vandløb +dræn)	% reduktion af baseflow og drænflow summeret for delopland	Max. 10 % reduktion	Overvejende positiv
5 Reduktion af areal af 'vådområder' (vådareal reduktions-%)	Stor	Vådareal reduktion (= % af opland med < 1m.u.t.)	% reduktion af real med dybde < 1 m.u.t.	Max. 5 % reduktion	Både positiv og negativ
6 Udnyttelsesgrad nulindvinding (akvifer bæredygtighed)	Ingen	Middelværdi udnyttelse (=35% af sekundær grundvandsdannelse)	Magasin samme som indikator 1	Max. 35% udnyttelse	Entydigt positiv
7 EQR-ændring 80% sandsynlighed (vandløbspåvirkning EQR fisk)	Meget stor	> 80% sandsynlighed forringet EQR fisk (One-out-all-out)	Alle ID15 punkter (største ændring som følge af vandindvinding)	Max -0.23 (EQR DFFVa)	Fortrinsvis negativ
8 EQR-ændring 50% sandsynlighed (vandløbspåvirkning EQR fisk)	Meget stor	> 50% sandsynlighed forringet EQR fisk (One-out-all-out)	Alle ID15 punkter (største ændring som følge af vandindvinding)	Max -0.16 (EQR DFFVa)	Fortrinsvis negativ
9 Q50 median flow reduktion i % (vandløbspåvirkning økologisk flow)	Meget stor	Q50 medianvandføring (One-out-all-out)	ID15 punkter med Q50 nul scenarie vandindvindings vandføring > 10 l/s	Max. 40% Q50 reduktion	Fortrinsvis positiv

Figur 5.15 De ni indikatorer opstillet med henblik på vurdering af tilgængelig grundvandsressource. I tabellen er indikatorer karakteriseret nærmere (se kapitel 6 mht. klimaeffekter)

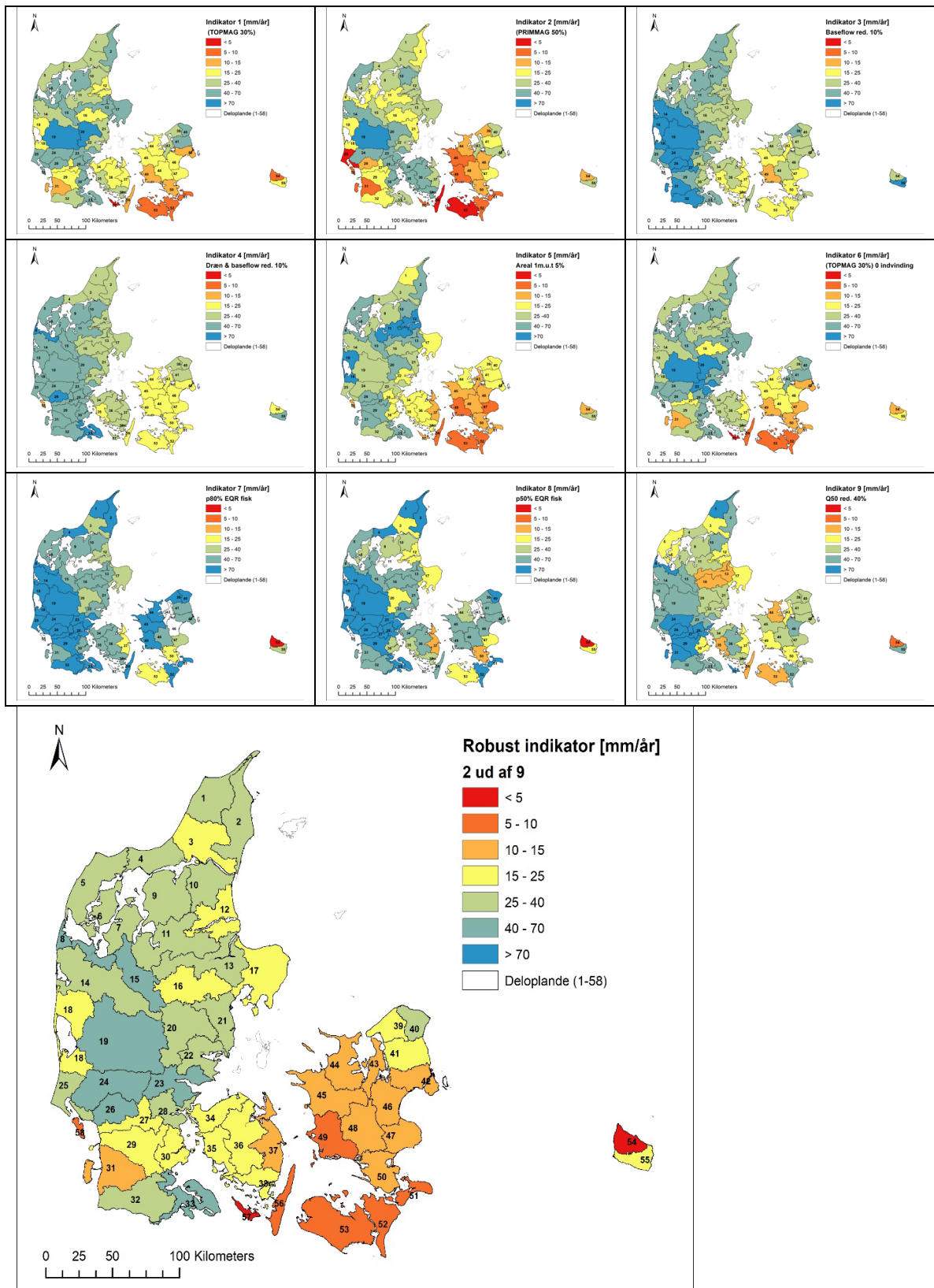
5.5.1 Sammenligning af resultater for de 9 ensemble indikatorer

I det følgende gives en sammenligning af resultater med de ni indikatorer for hhv. ALT (alle) og VF (almene vandforsyninger) scenariet for OSD/IOL og deloplande, til illustration af forskelle, og determinerende indikator i ressource-opgørelsen se Tabel 5.1.

Table 5.1 Næstmindste indikator ved 4 hovedscenarier: indikator 1-2 & 6: Akvifer bæredygtighed (orange), 3-4 Baseflow (lyserød), 5 Vådarealreduktion (lysegrøn) og 7-9 ID15 økologisk flow.

	ALT wb	VF wb	ALT osd	VF osd	% udnyt ALT wb	% udnyt VF osd
wb1	2	2	2	2	40%	94%
wb2	3	3	4	5	28%	47%
wb3	8	8	9	9	45%	35%
wb4	1	2	6	6	18%	32%
wb5	3	8	1	3	18%	35%
wb6	2	2	2	2	25%	62%
wb7	3	8	5	5	26%	84%
wb8	3	3	1	1	32%	117%
wb9	5	4	2	1	37%	14%
wb10	1	4	4	4	49%	53%
wb11	1	2	1	1	53%	28%
wb12	8	6	1	5	33%	26%
wb13	3	3	1	1	37%	63%
wb14	1	1	1	6	101%	38%
wb15	9	2	5	3	56%	15%
wb16	6	5	1	2	46%	53%
wb17	8	8	5	9	53%	42%
wb18	1	9	1	2	99%	54%
wb19	9	8	5	8	83%	24%
wb20	7	7	8	7	44%	44%
wb21	9	9	1	1	111%	332%
wb22	9	9	2	2	66%	112%
wb23	3	9	1	1	41%	47%
wb24	2	2	4	1	90%	22%
wb25	5	5	1	1	56%	446%
wb26	1	5	1	6	65%	121%
wb27	1	1	6	1	159%	79%
wb28	3	3	3	3	33%	32%
wb29	2	2	5	5	100%	13%
wb30	5	5	9	9	67%	61%
wb31	1	1	2	1	140%	144%
wb32	1	2	9	4	112%	23%
wb33	1	2	1	1	30%	62%
wb34	1	9	9	1	31%	32%
wb35	3	3	3	9	32%	38%
wb36	1	9	1	1	65%	75%
wb37	8	8	9	8	57%	56%
wb38	3	5	3	3	44%	52%
wb39	5	5	5	5	65%	136%
wb40	9	9	2	5	51%	61%
wb41	2	2	2	2	226%	214%
wb42	1	1	4	5	275%	293%
wb43	4	4	4	4	78%	101%
wb44	9	9	5	5	84%	100%
wb45	5	5	2	2	58%	105%
wb46	2	2	2	2	270%	255%
wb47	6	6	6	6	39%	30%
wb48	2	2	2	2	101%	139%
wb49	2	5	2	2	108%	136%
wb50	2	8	9	5	30%	53%
wb51	1	1	1	1	26%	44%
wb52	1	1	1	1	106%	132%
wb53	1	5	1	1	54%	98%
wb54	7	7	7	7	46%	41%
wb55	1	7	6	6	30%	57%
wb56	5	9	2	2	37%	80%
wb57	6	6	6	6	95%	178%
wb58	5	4	2	6	79%	119%

I Figur 5.16 er resultater for alle indikatorer vist i mm/år for deloplande for hhv. ALT og VF.



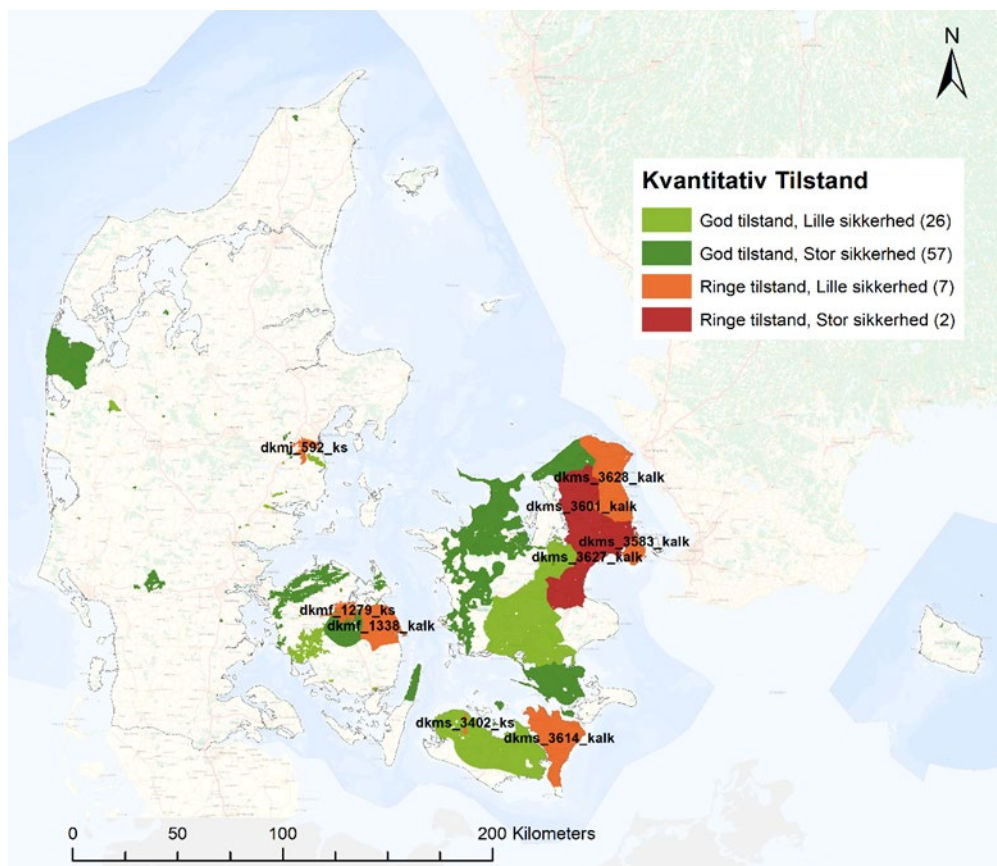
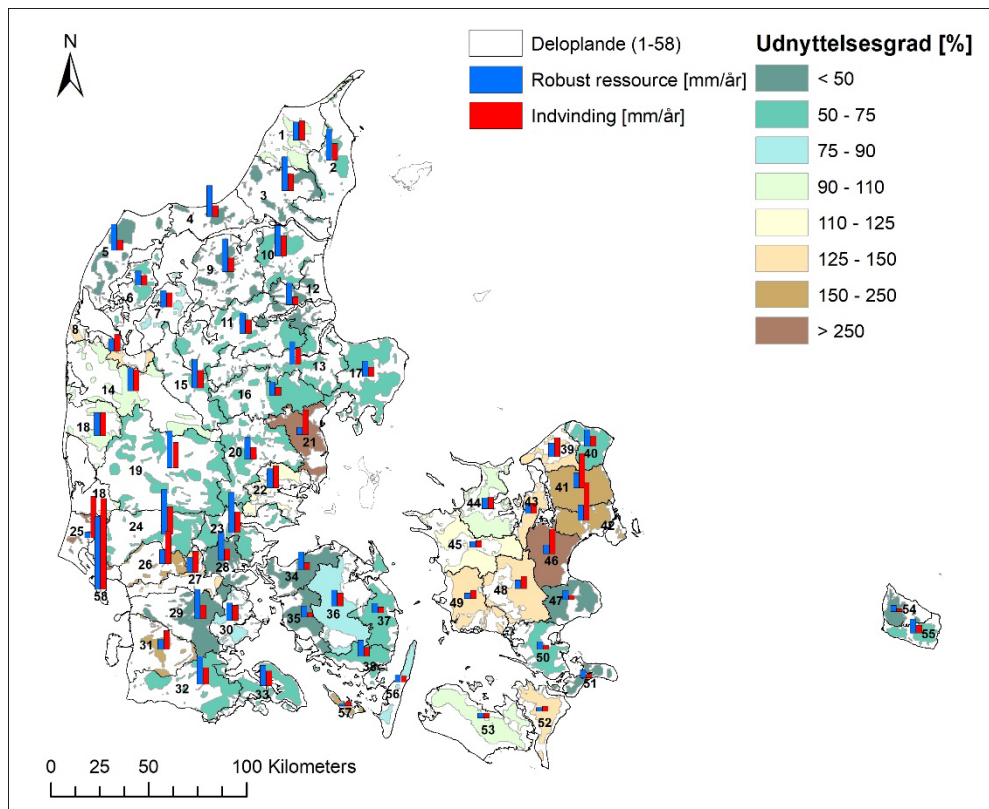
Figur 5.16 Sammenligning af ressource estimer med de ni ensemble indikatorer (ALT scenarier). Nederst er vist den estimerede robuste ressource (næstmindste af 9) i mm/år

Samlet set estimeres 'robust ressource' estimat af *akvifer bæredygtigheds* indikatorer 1, 2 og 6 i 29 ud af 58 deloplande ved ALT hele deloplande, og 34 ud af 58 for VF OSD/IOL del. Herefter følger *økologisk flow* indikatorer 7-8-9 som definerer robuste indikator i 10 deloplande for ALT hele deloplande og 8 VF OSD/IOL del. *Baseflow* (indikator 3-4) er definerende i 10 af de 58 deloplande i ALT hele deloplande og 9 VF OSD/IOL del. Endelig er indikator 5 *vådområde / grundvandsafhængige* terrestriske økosystemer bestemmende i 5 ud af 58 deloplande for ALT hele deloplande og 7 VF OSD/IOL del. Der ses dermed en forskydning imod akvifer bæredygtigheds indikatorer, når man zoomer fra ALT hele deloplande og ind på VF OSD/IOL. Ser vi på de intensivt udnyttede deloplande (> 90% af udnyttelig ressource) jf. tabel 2.1, så er det akvifer bæredygtighed som er det dominerende problem i forhold til bæredygtig ressource i 14 ud af 15 oplande, og i kun et enkelt delopland er økologisk flow definerende for ALT hele deloplandet. For VF indenfor OSD/OL er akvifer bæredygtighed definerende i 16 intensivt udnyttede deloplande OSD/IOL. Vådområde reduktion er dominerende i 3 VF OSD/IOL deloplande og baseflow er definerende i et delopland. Samlet set vurderes de robuste estimater at have en god troværdighed, og metodik baseret på næst mindste indikator giver en god spredning på de ni indikatorer, og er med til at eliminere markante 'outliers' (F.eks. meget lave ressource estimater ud fra Indikator 2 for Lolland, Langeland og Esbjerg der kan skyldes usikkerheder på fastlæggelse af magasin lag for PRIMMAG).

Betragter man hvor godt en enkelt indikator kan beskrive ressourcevurderingen er indikator 5 vådområde reduktion den mest repræsentative af alle ni indikatorer for samtlige deloplande, efterfulgt af indikator 1 og indikator 2 akvifer bæredygtighed. Herefter følger indikator 4 og 3 baseflow og indikator 9 økologisk flow baseret på Q50. Indikator 8 og 7 giver de mest afvigende bud (vurderet for scenariet VF OSD/IOL delen). Indikator 5 brugt isoleret giver en samlet ressource på 0.63 mia. m³/år for VF OSD/IOL delen, og 1.5 mia. m³/år for ALT hele landet. Til sammenligning giver indikator 1 en ressource på 0.70 mia. m³/år for VF OSD/IOL delen og 1.5 mia. m³/år for for ALT hele landet. Endelig giver indikator 2 isoleret set 0.71 mia. m³/år for VF OSD/IOL delen og 1.3 mia. m³/år for for ALT hele landet.

5.5.2 Sammenligning af ressourcevurdering med kvantitativ tilstandsvurdering

Nedenfor er i Figur 5.17 vist en sammenligning af resultater for ALT med robust estimat og kvantitativ tilstandsvurdering, baseret på udnyttelsesgrad for OSD/IOL sammenlignet med resultater fra ekspertvurdering, fra kvantitativ tilstandsvurdering af VP3 (Henriksen et al. 2021b). Figur 5.17 illustrerer, at de forskellige indikatorer giver ret forskellige resultater, men et samlet robust bud på ressourcens størrelse. En validering foretaget i forhold til kvantitativ tilstandsvurdering viser rimelig god overensstemmelse. Resultaterne er derfor plausible, og brugbare i en analyse af udnyttelige grundvandsressource og drikkevandsressource indenfor OSD/IOL. Figur 5.17 viser alle 90 forekomster der indgik i konsolideringen af den kvantitative tilstandsvurdering. Mange er dog så små, at de kan være svære at få øje på. Selvom mange større forekomster blev vurderet i god tilstand (grøn markering på figur 5.18 nederst), så var mange af disse 'på vippen' i den forstand at det blev vurderet at tilstanden nok var god, men at der heller ikke var nogen nævneværdig restressource.



Figur 5.18 Sammenligning af resultat af estimat for robust ressource udnyttelsesgrad (øverst - ALT) og resultater fra kvantitativ tilstandsvurdering (Henriksen et al. 2021b)

Det er vigtigt at understrege, at nærværende ressourceopgørelse og indikatorsystem er baseret på de større vandløb (altså ID15) og ressourcevurdering som "gennemsnitsbetragtninger" på basis af en 30-årig periode (1991-2020). Det ville være ønskeligt, om man kunne have inddraget problemstillinger som f.eks. udtørring af mindre vandløb som supplerende indikatorer til de ni udvalgte indikatorer i en serie tørre år indenfor 30 års perioden. Det samme gælder vurdering af f.eks. grundvandsdannelse, baseflow, reduceret vådareal og økologisk flow for en tør årrække, da det formentlig er det der definerer en bæredygtig ressource nu og i et fremtidigt klima. Det har imidlertid ikke været muligt indenfor denne undersøgelses ramme at lave udtræk af beregninger for en serie tørre år. I Ferskvandets kredsløb blev det vurderet af grundvandsdannelsen for 5 tørre år ville reduceres til ca. 80% af gennemsnittet for en længere periode (Henriksen og Sonnenborg, 2003).

Det vil imidlertid kræve en mere detaljeret model for de små vandplan vandløb (< 10 km² opland eller mindre end 2m vandløbsbredde) der ikke er fuldt ud repræsenteret i DK model 2019 500m model. Der er en udvikling i gang med at tilføje mindre vandplan vandløb til DK model med en detaljering til 100m. Når det modelsystem er udbygget og kalibreret, vil det være muligt at foretage beregninger med en dynamisk model af påvirkninger af f.eks. risiko for udtørring i vandløb, afsænkning af trykniveau, baseflow og økologisk flor som følge af vandindvinding og klimavariation/klimaændring. Der foreligger heller ikke pt. nogen anvendelige empiriske formler for smådyr og fisk (f.eks. ørred) der er brugbar i små vandløb.

På samme måde er indikator 5 reduceret vådareal begrænset på den måde at en nærmere vurdering af grundvandsafhængige terrestriske økosystemer kræver en meget mere detaljeret model, evt. kombineret med yderligere nedskalering på basis af maskinlæring. Udover disse begrænsninger kan såvel usikkerheder på model som indikatorer påvirke ressource estimater for enkelte eller flere indikatorer.

Hvis man sammenligner afvigelsen på næstmindste og tredjemindste indikator for de 58 deloplande for robust estimat ud fra ALT, så er forskellen 16 % i gennemsnit. Af de 58 deloplande har 9 afvigelser mellem næstmindste og tredjemindste indikator estimat der overstiger 30%. Det drejer sig om: 19-Skjern å (47 % afvigelse), 25-Esbjerg (30 % afvigelse), 30-Haderslev (67 % afvigelse), 37-Østfyn (39% afvigelse), 38-Sydfyn (60% afvigelse), 42-Hillerød (55% afvigelse), 45-Kalundborg (52% afvigelse), 54-Nordbornholm (61% afvigelse) og 57-Ærø (33% afvigelse).

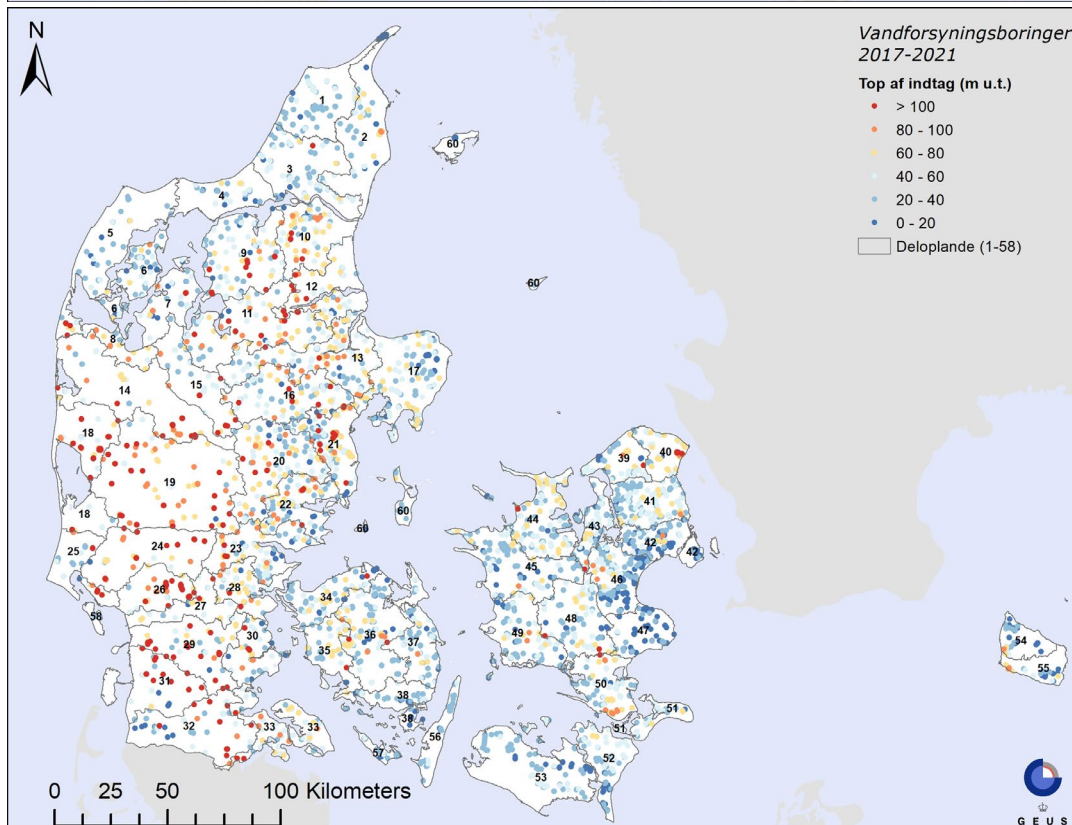
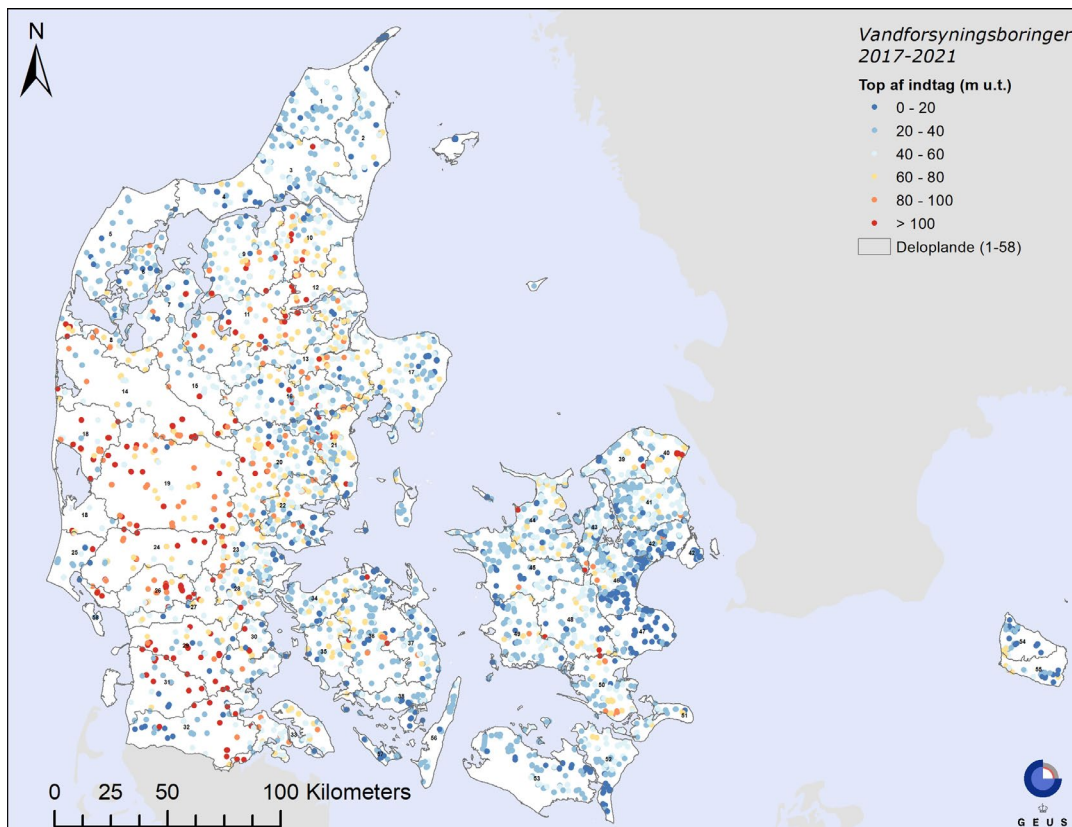
Der er en rimelig god overensstemmelse mellem deloplande hvor der er vurderet høje udnyttelsesgrader f.eks. omkring København, Århus, Falster og Fyn og forekomster der er vurderet i ringe tilstand med enten lille eller stor sikkerhed. Den kvantitative tilstandsvurdering viste at det primære problem mht. kvantitativ tilstand i de ca. 25 større forekomster hvor der blev foretaget en nærmere analyse ud fra trend analyser (sulfat og klorid), vurderinger af forhøjede koncentrationer af sulfat, klorid, arsen og nikkel eller tegn på saltvandsindtrængning i ferske grundvandsmagasiner vurderet ud fra ionbytning, var knyttet til akvifer bæredygtighed og forekomster med udnyttelsesgrader i forhold til grundvandsdannelsen der oversteg 30-50 % (svarende til indikator 1 og 6). Kun i tre forekomster omkring København var der samtidig en påvirkning af EQR fisk (indikator 7) der oversteg 80% sandsynlighed for tilstandsændring for et eller flere ID15 punkter. I de samme tre forekomster var påvirkningen af Q50 (indikator 9) over 50%.

5.5.3 Indvindingsstrukturens indflydelse på ressourcens størrelse

Nærværende ressourceopgørelse er baseret på den nuværende indvindingsstruktur for almene vandværker og øvrige indvindinger (Se f.eks. Appendix 4 og 5 for deloplande og OSD/IOL mht. dybdemæssig fordeling af vandindvinding på magasin 1-11 og middeldybder til de forskellige magasiner indenfor hvert delopland og OSD/IOL).

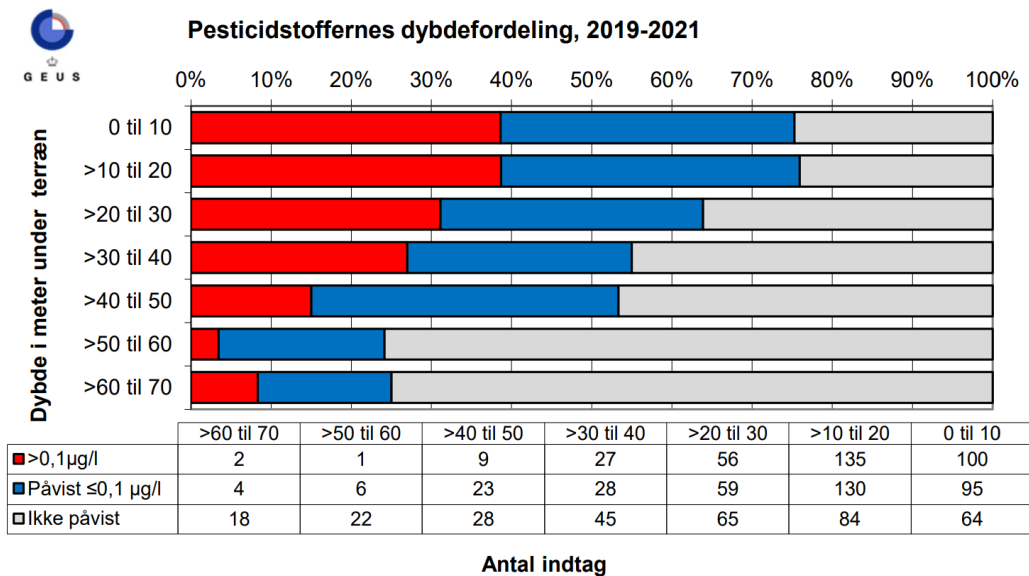
I nuværende opgørelse er der regnet på scenarier på basis af nuværende indvindingsstruktur. Spørgsmålet er i den forbindelse, vil der kunne indvindes mere ved en ændret indvindingsstruktur, f.eks. hvis der var flere mindre borerer som var mere spredt over en større del af landet, eller hvis man evt. kunne indvinde mere terrænnært i visse områder, i og med at f.eks. grundvandsdannelsen til magasiner alt andet lige er større for mere terrænnære magasiner, end for magasiner i større dybde? Svaret på det første spørgsmål er på en måde belyst ved de to hovedscenarier VF og ALT. Det at indvinde udenfor OSD/IOL til industri, erhverv og f.eks. markvanding forøger ressourcen fra ca. 0,9 mia. m³/år i VF til 1,1 mia. m³/år i ALT scenariet. Så ja, mere decentral indvinding, giver større ressource, selvom der ikke er foretaget beregninger, der nærmere kvantificerer ændret placering af vandforsyningsboringer i de enkelte deloplande, da det lå udenfor rammer af nærværende opgørelse. Men hvad så med indvindingsdybden, og en mere terrænnær indvinding, vil det give en større ressource?

For at belyse det spørgsmål er i Figur 5.19 vist dybde til filtertop (dvs. top af indtag) for almene vandforsyningsboringer 2017-2021 fra en illustration i den seneste grundvandsovervågningsrapport (Thorling et al. 2023), vist hhv. ved udtegnning af dybere borerer over mindre dybe borerer på den ene figur og mindre dybe borerer over dybere borerer på den anden figur. Det fremgår af figur 5.19, at mange almene vandforsyningsboringer på Sjælland, øerne og i Øst- og Nordjylland har top af indtag indenfor de øverste 0 - 40 m, mens mange borerer i det central og sydlige Jylland, har top indtag i mere end 60 m's dybde. Eller som mere præcist beskrevet i GRUMO rapporten (Thorling et al. 2023): "*De overfladenære indtag med indtagstop ned til 20 meter findes ud over hele landet, men med den største forekomst syd for København, langs Køge Bugt og på Stevns samt langs et øst-vest-gående bånd på Lolland. De mellemdybe indtag findes på resten af Sjælland, Fyn og de dele af Jylland, der ligger øst og nord for Hovedopholdslinjen. De dybeste indtag findes med få undtagelser i Jylland og her med den største forekomst vest for Hovedopholdslinjen samt i Himmerland*". Figuren illustrerer, at man i mange områder allerede i dag indvinder relativt terrænnært og her kan man ikke flytte borerer til mere terrænnære magasiner. I områder som Himmerland, Midt-, Vest- og Sydjylland er der mange vandforsyningsboringer med indtagstop i relativ stor dybde. Her kunne man måske godt flytte indtag til mere terrænnære magasiner, men sandsynligheden for at finde f.eks. pesticider over grænseværdien ville være høj, da der jf. GRUMO overvågningsboringer er 27-38% sandsynlighed for at træffe pesticider over grænseværdien i GRUMO-indtag i intervallet 0-40 m's dybde (Thorling et al. 2023 Figur 7 og Figur 40). Det er vigtigt at bruge GRUMO data i denne vurdering da f.eks. vandforsyningsboringer med BAM er flyttet eller lukket, og indvindingsstrukturen dermed tilpasser sig til evt. fund af pesticider. Der vil være en øget ressource, hvis man kunne forbedre vandkvaliteten ved bedre beskyttelse, eller hvis man accepterer, at vandkvaliteten af råvandet har en anden vandkvalitet, og altså sandsynligvis ikke opfylder de gældende grænseværdier for drikkevand.



Figur 5.19 Vandforsyning. Dybde til toppen (m.u.t.) af indtag for vandforsyningsboringer i perioden 2017-2021 (5.813 indtag) med kendt dybde til indtag vist sammen med afgrænsning af de 58 ressource deloplunde (modificeret efter Thorling et al. 2023 Figur 84). Data i den øverste figur er sorteret efter aftagende dybde, så de dybeste borer er afbildet øverst. Data i den nederste figur er sorteret efter aftagende dybde, så de dybeste borer er afbildet øverst.

Af Appendix 4 og 5 fremgår hvilke magasiner, der er valgt som hhv. top magasin og primært magasin i hvert opland. Top magasin er helt overvejende valgt som det magasin, der har en middeldybde til top af magasin på mellem 10 og 25 m, mens primært magasin er valgt som det magasin der har en middeldybde til top af magasin på mindst 25 m. Langt hovedparten af deloplande og OSD/IOL har afgrænset med dybde til top magasin og også top af primært magasin på max 60m under terræn. Det betyder at en evt. forureningsudbredelse indenfor de øverste 0-60 meter vil skulle fratrækkes de opgjort ressourceskøn i hvert fald for indikatorer hvor grundvandsdannelsen indgår, i forhold til hvor dybde top af magasin er beliggende. Et kvalitativt bud på sandsynlighed for fund af pesticider fremgår af Figur 5.20 (Thorling et al. 2023).



Figur 5.20 Dybdefordeling fra GRUMO på fund af pesticider over grænseværdi, påviste pesticider og ikke påviste pesticider (Kilde: Thorling et al. 2023 Figur 8).

Den samlede ressource er som tidligere nævnt i ALT scenariet opgjort til 1,1 mia. m³/år og i VF scenariet indenfor OSD/IOL opgjort til 0,53 mia. m³/år. Antages det at 1/3 af vandressourcen skal fraskrives som følge af forureningsudbredelse med pesticider, betyder det at den bæredygtige ressource vil blive reduceret til hhv. ca. 0,7 mia. m³/år (ALT baseret på alle indvindinger) og ca. 0,35 mia m³/år (VF baseret på almene vandforsyninger) på landsplan. Med denne afskrivning af forurenet grundvand, er der netop balance i forhold til den nuværende vandindvinding fra alle indvindinger som i gennemsnit er på ca. 0,7 mia. m³/år (ALT) på landsplan og ca. 0,33 mia. m³/år indenfor OSD/IOL (VF). Der er dog ikke plads til markvand og industri indenfor OSD/IOL efter fraskrivningen. En anden måde at illustrere betydningen af forurening og indvindingsdybde på kunne være i forhold til indikator 1 og 2. På landsplan er ressourcen opgjort til 1,5 mia. m³/år med indikator 1 (baseret på grundvandsdannelse til top magasin) til 1,3 mia. m³/år med indikator 2 (baseret på grundvandsdannelse til top primært magasin). Hvis vi antager at 36 % skal fraskrives for indikator 1 og 17 % skal afskrives for indikator 2 som følge af pesticidforurening over grænseværdien, så vil den estimerede ressource skulle nedskrives til hhv. 1,0 mia. m³/år (indikator 1 nedskrevet) og til hhv. 1,1 mia. m³/år (indikator 2). Det er udenfor rammerne af nærværende opgørelse af kvantificere betydning af forurening regionalt og indenfor deloplande & OSD/IOL.

5.5.4 Validering af DK model 2019 kørsler og anvendte vandbalancedata

Der er foretaget en sammenligning af vandbalance data baseret på hhv. den nye ressourceturdering og modelkørsel baseret på kvantitativ tilstand, se Appendix 3 for Sjælland.

Det fremgår af Appendix 3 at vandbalancetal giver rimelig overensstemmelse i forhold til vandbalancer fra kvantitativ tilstand.

6. Klimaeffekter på ressourcens størrelse

Klimaændringers effekt på vandressourcen er vurderet af IPCC i hhv. AR6-WGI (temperatur, nedbør, vind etc.) og WGII rapporter (klimaeffekter og tilpasning bl.a. i kapitel 4 om vand) se IPCC (2023). Indledningsvis lige en kort introduktion til klimaeffekter i forhold til vandressourceforvaltning. IPCC forventer markante og udbredte ændringer i det globale vandkredsløb, som sammenholdt med udbredte (men komplekse) menneskeskabte indgreb, begge påvirker en bæredygtig, økonomisk effektiv og ligelig fordeling og allokering af vandressourceudnyttelsen. IPCC forventer et intensiveret globalt vandkredsløb i takt med at de globale temperaturer stiger (høj troværdighed), hvilket vil medføre, at nedbør og overfladenær afstrømning fremskrives med større variationer i et fremtidigt klima indenfor sæsoner og fra år til år. Et varmere klima vil intensivere såvel våde som tørre events og sæsoner.

Man har allerede set ændringer i fordelinger og sandsynligheder, som betyder, at grundvandsdannelse og afstrømning påvirkes på forskellig måde. Hver region på jorden vil derfor opleve gentagne ændringer i en vifte af klimapåvirkninger allerede i midten af det 21. århundrede (høj troværdighed). Danmark ligger i den Nord Europæiske Region (NEU) hvor der med stor troværdighed forventes: stigende nedbør (især vinter, vi har allerede set stigninger i nyere historisk tid), aftagende sne- og ismængder, øget risiko for skybrud (heavy precipitation) og nedbørsgenererede oversvømmelser (pluvial flood, vi har allerede set stigninger i nyere historiske tid), samt øget tendens til hedebølger (extreme heat, vi har allerede stigninger i historisk tid). Samtidig forventes det, at den forøgede fordampning vil give øget risiko for landbrugstørke i mange regioner (også i Danmark hvor der i dag markvandes eller hvor der er højtstående grundvand og lerjord med fremtidigt øget fordampning).

Det betyder, at variabiliteten i vandkredsløbet og ekstreme vil ændres mere end de gennemsnitlige tal i de fleste regioner (IPCC 2023). I flere regioner er der siden starten af dette århundrede set en overudnyttelse af grundvandsressourcen (f.eks. de vestlige Nordamerika og Sydøst Asien (høj troværdighed)) som følge af grundvandsindvinding til vanding i relativt tørre områder. Endelig vil den relative havstigning (Colgan et al. 2022) forøge risikoen for saltvandsindtrængning i kystnære overfladevande og i grundvandsmagasiner, samt øget risiko for oversvømmelser og kysterosion (Meyer et al. 2019; Rasmussen et al. 2013).

Som beskrevet i IPCC (2023) vil disse ændringer i klima give øget risiko for økonomiske skader, tab af menneskeliv og andre negative påvirkninger, der dybest set afhænger af eksponering (exposure), sårbarhed (vulnerability) og robusthed (resilience). Samlet vil klimaeffekter derfor også kunne påvirke forsyningssikkerheden (water security), se Henriksen et al. (2023). Det er f.eks. klart (høj troværdighed), at ekstremhændelser forårsager kraftigere oversvømmelser og tørkehændelser. IPCC (2023) gør det samtidig klart, hvordan vand og forsyningssikkerhed er helt centralt placerede elementer i en klimarobust udvikling, som samtidig understreger den fremtrædende rolle som vand har i understøttelsen af FNs bæredygtige udviklingsmål (SDGs). Der er kort fortalt fire årsager hertil (Henriksen et al. 2023a):

- Halvdelen af verdens befolkning oplever i dag svær vandknaphed mindst 1 måned pr. år på grund af klima og andre faktorer (knaphed på ferskvand kombineret med tørke, oversvømmelse, forurening, afsmeltning af gletsjere, og ændringer i timing af oversvømmelser og tørke)
- Aftagende ferskvandstilgængelighed rumligt og tidsligt påvirker vandbehov i forskellige sektorer (opleves allerede i landbrug, energi, industri, sundhed, spildevands, urbane/peri-urbane og økosystem sektorer)
- En stor majoritet (ca. 60%) af alle tilpasninger dokumenteret siden 2014 handler om tilpasninger i forhold til vand-relaterede trusler (hazards) såsom tørke, oversvømmelse, regnvandsvariabilitet, vanding, høstning af regnvand og ændringer i afgrøder, som er nogle af de mulige tilpasningsløsninger
- Hvis man kan begrænse den globale opvarmning til max 1.5°C kan man minimere risici væsentligt i forskelle vandsektorer. Men man skal være opmærksom på, at tilpasningsløsninger potentielt kan påvirke den fremtidige forsyningssikkerhed (water security) som følge af tiltag i forhold til biobrændsel, carbon fangst og skovrejsning som kan have markante fodaftryk på vandforbrug, hvis sådanne implementeres uhensigtsmæssigt i forhold til den tilgængelige vandressource.

6.1 Klimaeffekters betydning for størrelsen af udnyttelig vandressource

6.1.1 Temperatur

DMI giver på klimatilpasning.dk en oversigt over historiske ændringer i klima og fremskrevne ændringer for to udvalgt emissionsscenerier. I Danmark er temperaturen steget både i atmosfæren og i havet. Det har ført til stigende havvandstand (Colgan et al. 2022) og ændrede nedbørsmønstre. Det har betydning for flora og fauna, hvor nogle arter og afgrøder forsvinder, mens andre kommer til (DMI/klimatilpasning.dk). Der er fra 1873-1900 og frem til 1991-2020 sket en stigning i gennemsnitstemperaturen i Danmark med 1,5 °C - fra 7,2 °C til 8,7 °C. (Klimatilpasning.dk, DMI klimaatlas, 2020).

Den forventede ændring i slutningen af århundredet for et højt emissionsscenario (RCP8.5) er beregnet til +3,4 °C (med et usikkerhedsbånd på +2,8 til +4,3 °C), i forhold til referenceperioden 1981-2010. Der er ret markant forskel på RCP8.5 og RCP4.5 (moderat emissions scenario). For RCP4.5 har DMI beregnet ændringen til ca. +2°C. Stigningen for RCP8.5 for 2011-2040 var +1°C, for 2041-2070 er den beregnet til +2°C, og stiger dermed mere mod slutningen af århundredet, end i øjeblikket (DMI klimaatlas, 2020).

6.1.2 Nedbør

I Danmark viser DMI's observationer, at årsnedbøren er stigende. Samtidig bliver vejret mere ekstremt med vådere vintre og somre med kraftigere byger (men også risiko for længerevarende tørke). Den årlige nedbørsmængde er steget fra 636 mm i 1874-1890 til 759 mm i 1991-2020 (klimatilpasning.dk, 2020). Det er en stigning på næsten 20 %. Stigningen var større efter 1960 end i de første tre dekader.

Ændringen i sommernedbør er stort set uændret for begge emissionsscenarier, RCP8.5 peger på en lille reduktion i sommernedbøren på -2% (usikkerhedsinterval fra -17% til +27%). Stigningen i nedbør skyldes primært en ændring i vinternedbøren, hvor RCP4.5 estimerer en stigning på ca. 11 % frem mod 2100, mens RCP8.5 estimerer en mere end dobbelt så stor stigning på 24% og med et usikkerhedsinterval på -17 til + 27% (DMI klimaatlas, 2020). Stigningen frem til midten af dette århundrede er dog mere begrænset med simulerede ændringer på 10 og 12 % for RCP4.5 og RCP8.5 for vinternedbøren.

6.1.3 Grundvandsdannelse og vandkredsløb

Den stigende vinternedbør betyder, at grundvandsdannelsen vil stige. Seidenfaden et al. (2022) har udført modelsimuleringer med DK-model 2019 opgjort for 6 regioner (dk1 Sjælland, dk2 Lolland-Falster-Møn, dk3 Fyn, dk4-dk6 vest Vestjylland, dk4-dk6 øst Østjylland og dk6 Nordjylland) af samtlige led i vandbalancen for RCP8.5 på basis af 16 klimamodeller for 2071-2100 versus 1980-2010 (se Tabel 6.1)

Tabel 6.1 Simulerede %-vise ændringer i vandbalancen baseret på RCP8.5 og DK-model 2019 anvendt i VP3. Middelændringer og standardafvigelse på tværs af 16 klimamodeller i % (Seidenfaden et al. 2022)

	Middelstigning	dk1 Sjælland	dk2 Øerne	dk3 Fyn	dk4-5-6 V. Jylland	dk4-5-6 Ø. Jylland	dk6 N. Jylland
Nedbør	% +- std	21% +-6%	23% +-5%	20% +-5%	15% +-6%	17% +-6%	19% +-7%
Fordampning	% +- std	18% +-4%	19% +-4%	20% +-4%	16% +-4%	17% +-4%	18% +-4%
Gv-dannelse	% +- std	25% +-11%	30% +-10%	22% +-12%	14% +-11%	15% +-12%	20% +-12%
Overfl. Afstr.	% +- std	89% +-48%	50% +-21%	62% +-34%	37% +-22%	50% +-33%	54% +-34%
Drænflow	% +- std	31% +-14%	36% +-12%	25% +-17%	20% +-17%	24% +-20%	25% +-19%
Afstrømning	% +- std	35% +-16%	37% +-12%	23% +-14%	13% +-11%	18% +-14%	22% +-15%
Baseflow	% +- std	15% +-10%	8% +-5%	5% +-5%	6% +-5%	7% +-7%	11% +-8%
Markvanding	% +- std				40% +-16%	53% +-21%	43% +-17%

6.1.4 Ændringer i afstrømning

I tabel 6.2 er vist en oversigt over de 34 stationer og sammenligning af simuleret og observeret afstrømning (l/skm²). I tabellen er vist station, oplandsareal, observerede og simulerede data for 1990-2019 incl. Medianmin og -max samt ekstremværdiestimer for 10. års og 100. års hændelse (Henriksen et al. 2022b). Placering af stationer er vist i Figur 6.1.

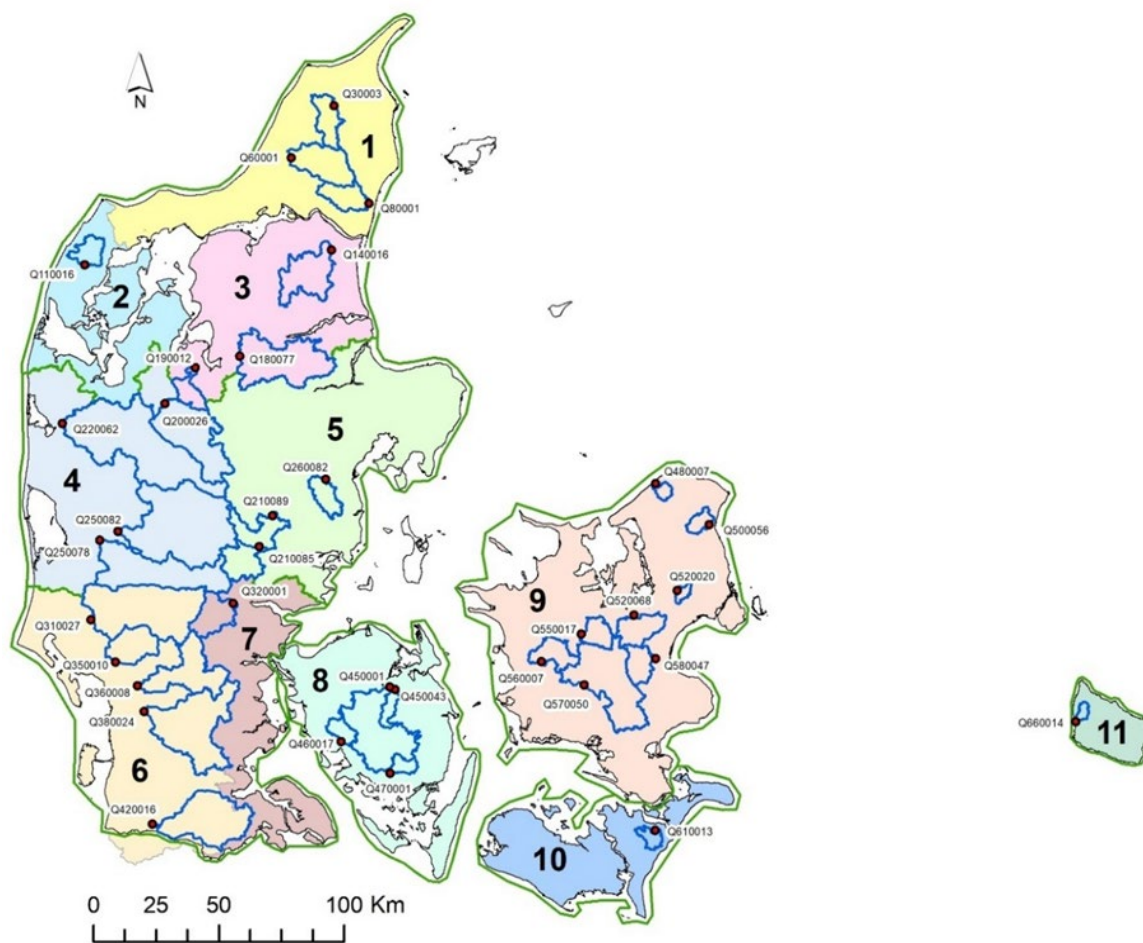
DCE og GEUS har tidligere lavet estimater for hhv. 1961-90 og 1991-2010 for udvalgte stationer bl.a. 25000082 Skjern å Ahlergaard og station 5500018 Åmose å, Bromølle. DCE (og GEUS) har her bestemt et fald i max afstrømningen fra 68 m³/s (64 m³/s) for 1961-90 til 61 m³/s (59 m³/s) for 1991-2010 i Skjern å for en T=10 års max vandføring. For Åmosen blev af DCE (og GEUS) estimeret et fald fra 13.8 (13.6) til 11.8 (11.7) m³/s for en T=10 års max vandføring. For en 100-årshændelse blev estimeret henholdsvis et fald fra 103 (112) til 80 (88) m³/s for Skjern å og 16.2 (17.4) til 12.2 (12.0) m³/s for Åmosen af DCE (og GEUS), hvor tal i parentes

angiver GEUS's estimater for tilsvarende T-værdi og station med Peaks over Threshold og 3-parm eksponentiel fordelingsfunktion. Det er ikke helt klart, men bemærkelsesværdigt, at der med begge metoder estimeres et fald i udviklingen i max vandførings estimater. Det kan skyldes såvel antropogene forhold (f.eks. infrastruktur og arealanvendelsesændringer) som klimaforhold (f.eks. mindre snesmeltning). Henriksen et al. 2022b.

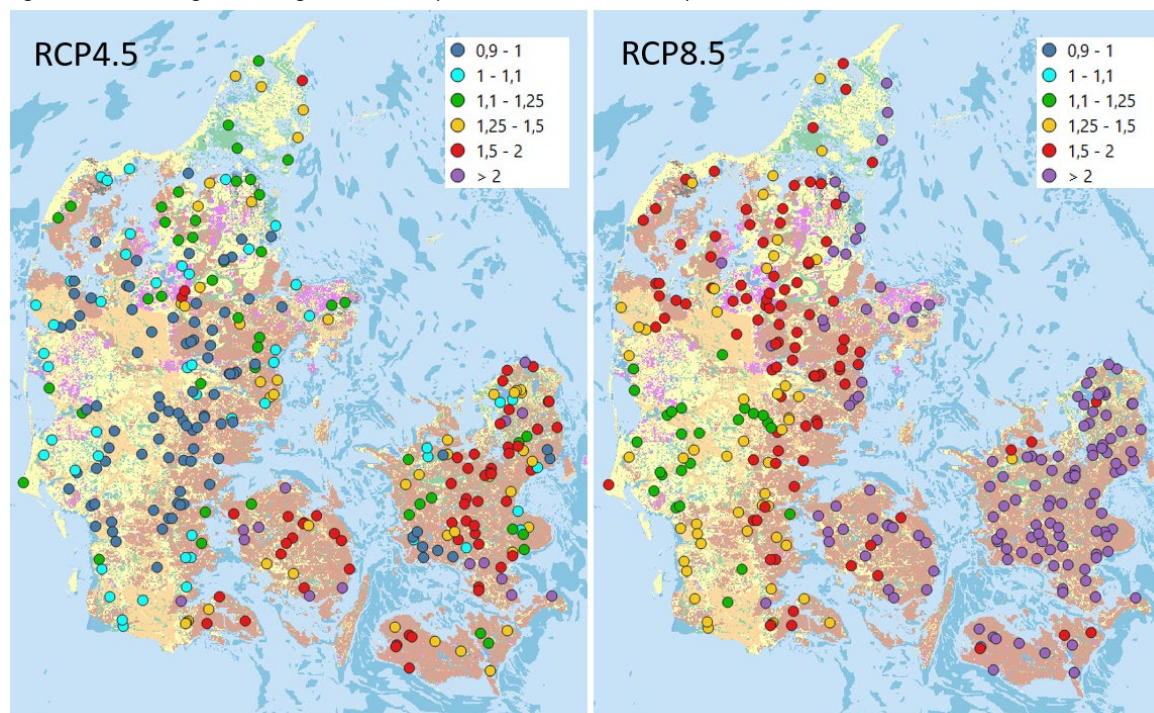
Tabel 6.2 Ekstremværdi statistik for udvalgte stationer (Henriksen et al. 2022b)

Station	Vandløb, lokalitet	areal	medianmin	medianmin	medianmax	medianmax	T 10-års max	T 10-års max	T 100-års max	T 100-års max
			km2 DCE: l/skm2	sim: l/skm2	km2 DCE: l/skm2	sim: l/skm2	DCE: l/skm2	sim: l/skm2	obs: l/skm2	sim: l/skm2
3000003	UGGERBY Å, ÅSTEDBRO	153	3.57	4.05	45.4	28.8	56.6	44.2	65.3	67.2
6000001	RY Å, MANNA	285	4.86	5.74	40.7	31.9	52.9	44.7	64.0	60.1
8000001	GERÅ, MELHOLT KIRKE	154	2.81	3.84	47.2	40.0	61.6	61.6	73.7	92.6
11000016	ÅRUP Å, ÅRUP	108	4.57	3.20	49.2	57.9	58.7	85.7	67.8	115.4
14000016	LINDENBORG Å, MØLLEBRO	319	7.17	7.39	31.7	24.5	45.3	34.6	65.7	52.7
18000077	SKALS Å, LØVEL BRO	556	4.46	5.54	16.3	21.9	19.6	28.9	22.6	35.3
19000012	JORDBRO Å, JORDBRO MØLLE	64	11.84	12.97	43.3	33.6	59.7	43.4	77.7	52.5
20000026	KARUP Å, HAGEBRO	518	7.90	9.59	24.7	26.7	29.8	35.0	33.2	43.8
22000062	STORÅ, SKÆRUM BRO	1097	6.98	8.62	42.7	40.1	54.9	57.3	63.3	73.2
25000078	OMME Å, SØNDERSKOV BRO	622	5.00	7.82	35.3	38.5	54.3	51.0	79.8	57.9
25000082	SKJERN Å, ALEGGÅRD	1052	7.86	9.25	40.8	31.2	54.3	42.7	66.8	52.5
21000085	GUDENÅ, ÅSTEDBRO	188	4.36	6.09	63.1	58.8	89.4	94.0	111.0	130.2
21000089	GUDENÅ, VOERVADSBRO	377	6.18	5.04	45.4	41.3	71.1	68.7	109.9	103.0
26000082	ÅRHUS Å, SKIBBY	119	1.94	2.54	34.8	28.4	45.7	60.3	53.2	115.0
31000027	VARDE Å, VAGTBORG	815	6.89	7.52	40.3	35.4	49.0	50.2	55.0	62.1
35000010	SNEUM Å, NØRÅ BRO,	223	5.93	6.61	59.1	46.8	71.7	70.2	78.2	95.6
36000008	KONGE Å, KONGE BRO	388	6.42	6.11	48.7	49.3	58.7	78.3	70.0	115.0
38000024	RIBE Å, STAVNAGER BRO	676	5.35	5.51	45.2	51.0	57.9	75.5	64.2	103.2
42000016	GRØNÅ, RØRKÆR	513	3.69	4.57	46.6	44.0	61.2	66.7	71.7	96.2
32000001	VEJLE Å, HARALDSKÆR	199	12.38	12.39	57.7	49.1	70.8	64.0	79.6	77.0
45000001	ODENSE Å, EJBY MØLLE	535	2.28	4.04	48.2	32.0	63.5	59.6	73.9	103.4
45000043	LINDVED Å	65	1.28	2.24	37.9	34.2	70.5	74.0	113.2	136.1
46000017	HÅRBY Å	78	1.81	3.72	40.1	27.8	51.8	46.4	62.1	75.4
47000001	HUNDSTRUP Å	58	1.03	2.17	55.9	34.9	72.4	68.5	83.4	120.4
48000007	HØJBRO Å, HANEBJERGÅRD,	36	0.61	1.10	45.3	27.2	58.9	55.1	67.8	102.9
50000056	NIVÅ, JELLEBRO	62	0.68	2.04	31.2	22.9	41.0	42.7	48.3	72.9
52000020	NYBØLLE Å, NYBØLLEVAD BRO	62	0.06	0.49	9.7	8.9	16.3	20.1	23.0	46.3
52000068	LANGVAD Å, STOREMØLLEBRO	175	0.25	1.13	28.1	24.4	48.6	57.2	70.7	148.5
55000017	ÅMOSE Å, UGERLØSE BRO	112	0.37	0.88	34.7	27.8	45.8	62.4	52.0	122.3
56000007	TUDEÅ, ØRSLEV	147	0.44	0.91	32.5	23.0	45.3	52.9	57.6	110.4
57000050	SUSÅ, ØRSLEV,	611	0.80	1.11	28.3	26.6	41.9	64.3	52.5	133.0
58000047	KØGE Å, LELLINGE DAMBRUG	134	0.29	0.33	35.9	23.4	61.0	62.0	81.3	142.5
61000013	FRIBRØDRE Å, RODEMARK,	55	0.16	0.38	32.2	22.1	49.6	55.1	62.4	117.4
66000014	BAGGE Å	43	0.33	1.66	65.6	92.6	136.5	157.5	288.6	289.8

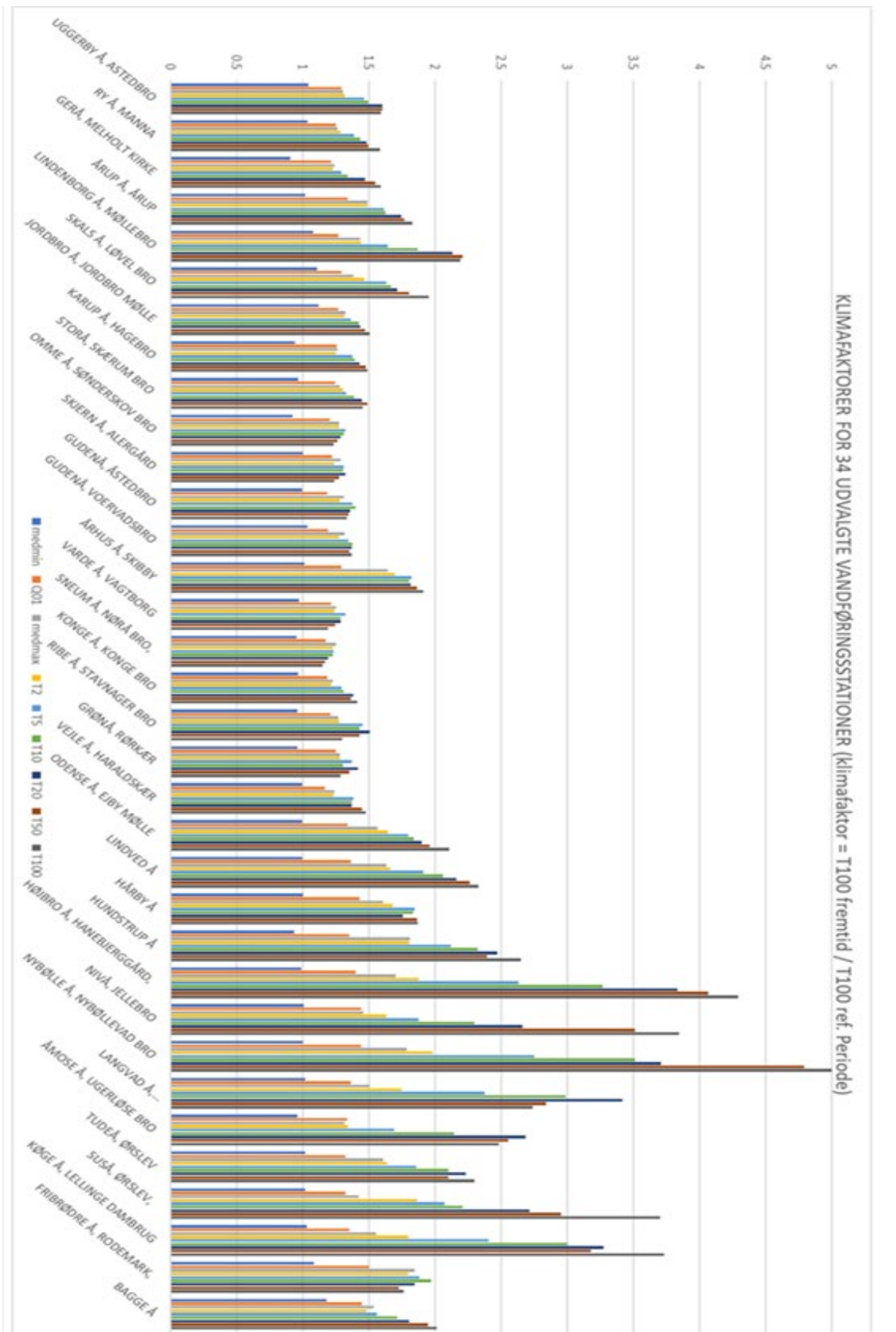
Klimaændringerne isoleret betragtet øger imidlertid ekstremværdivandføringer. GEUS har beregnet, at 100-års hændelser øges med en faktor 2 – 5 i store dele af Østjylland og på Øerne. I Vest- og Nordjylland vil de øges med en faktor 1,25 – 2. En faktor 2 vil f.eks. sige, at de ekstreme hændelser vil blive dobbelt så slemme som tidligere med f.eks. dobbelt så meget vand i vandløbene. I Figur 6.3 er vist estimerede klimafaktorer for 34 stationer vist i Figur 6.1, og i Figur 6.2 er vist fremskrivninger for hele landet med RCP4.5 og RCP8.5 (Henriksen et al. 2022a). Stationer på Sjælland har helt generelt mest markante stigninger i max vandføringen ved RCP8.5, lige fra Q01 (1 % percentil, der overskrides 3-4 dage pr. år i gennemsnit), og op til T-værdi hændelser fra 1-10 år. I Nordlige og Syd-Vestlige Jylland ses klimafaktorer for disse variable på omkring 1.2-1.3. Østjylland, Fyn og Sjælland og Øerne incl. Bornholm har klimafaktorer for disse variable mellem 1.3 og 2.0. Bemærk også, at medianmin vandføringen ved flere stationer simuleres med et fald i minimumsvandføringen (Gerå, Karup å, Storå, Omme å, Varde å, Sneum å, Ribe Å, Grøn å, Hundstrup å og Åmosen). På <https://HIPdata.dk> kan man se resultater af fremskrivninger for samtlige godt 50.000 Q-punkt lokaliteter for både året, sæsoner og måneder.



Figur 6.1 Placering af udvalgte stationer (Henriksen et al., 2022x)



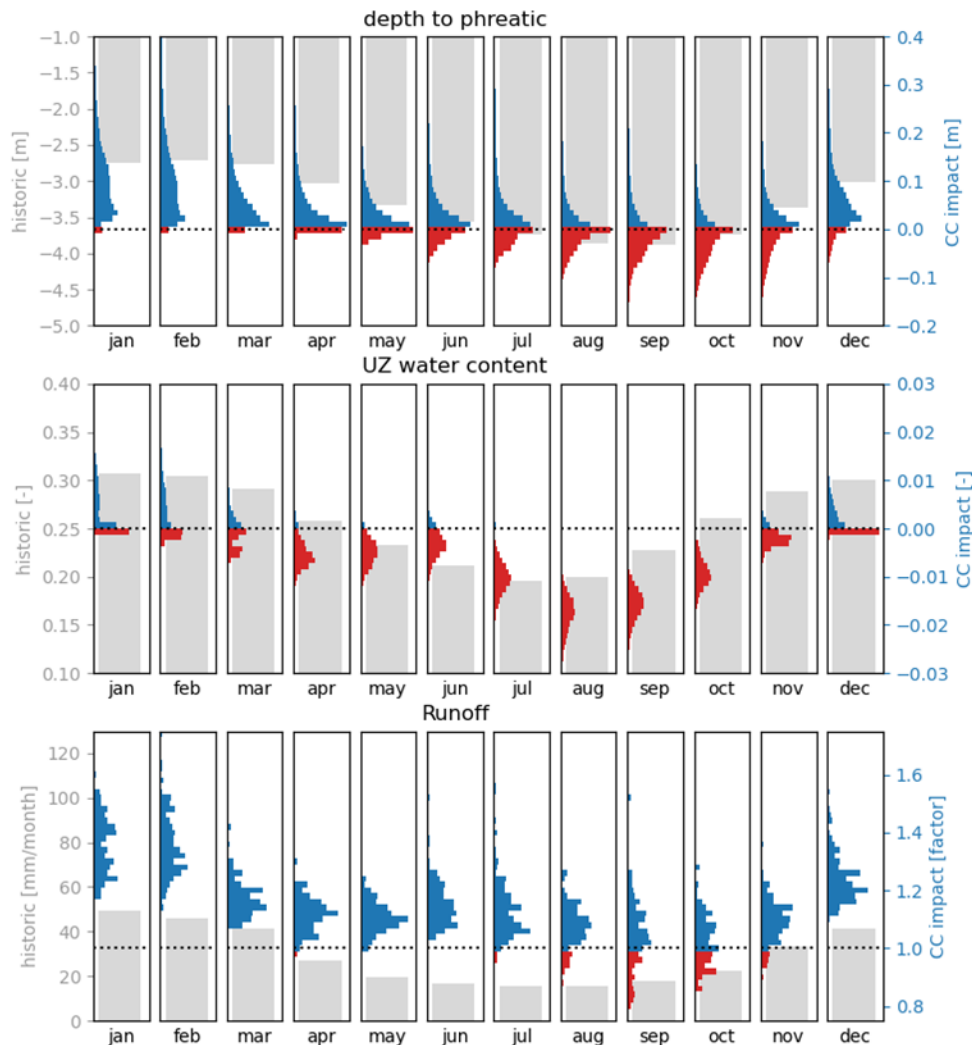
Figur 6.2 Klimafremskrivning for RCP4.5 og RCP8.5 til 2071-2100 i forhold til 1990-2019



Figur 6.3 Estimerede klimafaktorer ved RCP8.5 med DK-model HIP 500m for 34 Stationer for 2071-2100 i forhold til 1990-2019 for median min, Q01, median max, T2, T5, T10, T20, T50 og T100 års hændelsen

6.1.4 Sæsonvariationer og ændringer i tørke

På grund af de stigende temperaturer, øget fordampning samt mere ekstreme år-til-år hændelser med længerevarende tørre perioder, som vi så det i 2018 for ikke bare Danmark men et udstrakt område fra Alperne og langt op i Norge, vil rodzonen i stigende grad udtørre om sommeren og ind i efteråret. Det giver øget fordampning og øget markvandingsbehov, som øges væsentligt på de grovsandede jyske jorde. Samtidig betyder udtørring af rodzonen, som i 2018, at grundvandsdannelse og større afstrømninger først kommer i gang igen mod slutningen af året, mod normalt i oktober. For Danmark som helhed er der i HIP projektet beregnet ændringer for fjern fremtid (ff: 2071-2100) i forhold til 1990-2019 referenceperioden som vist nedenfor i Figur 6.4 for middelvandføringen (Schneider, 2022).



Figur 6.4 Ændringer af den gennemsnitlige: (a) dybde til øverste grundvandsspejl, (b) jordfugtighed og (c) vandføring i hver måned på tværs af landet for RCP8.5 for 2071-2100 i forhold til 1990-2019 (Schneider 2022 Hydrologidag)

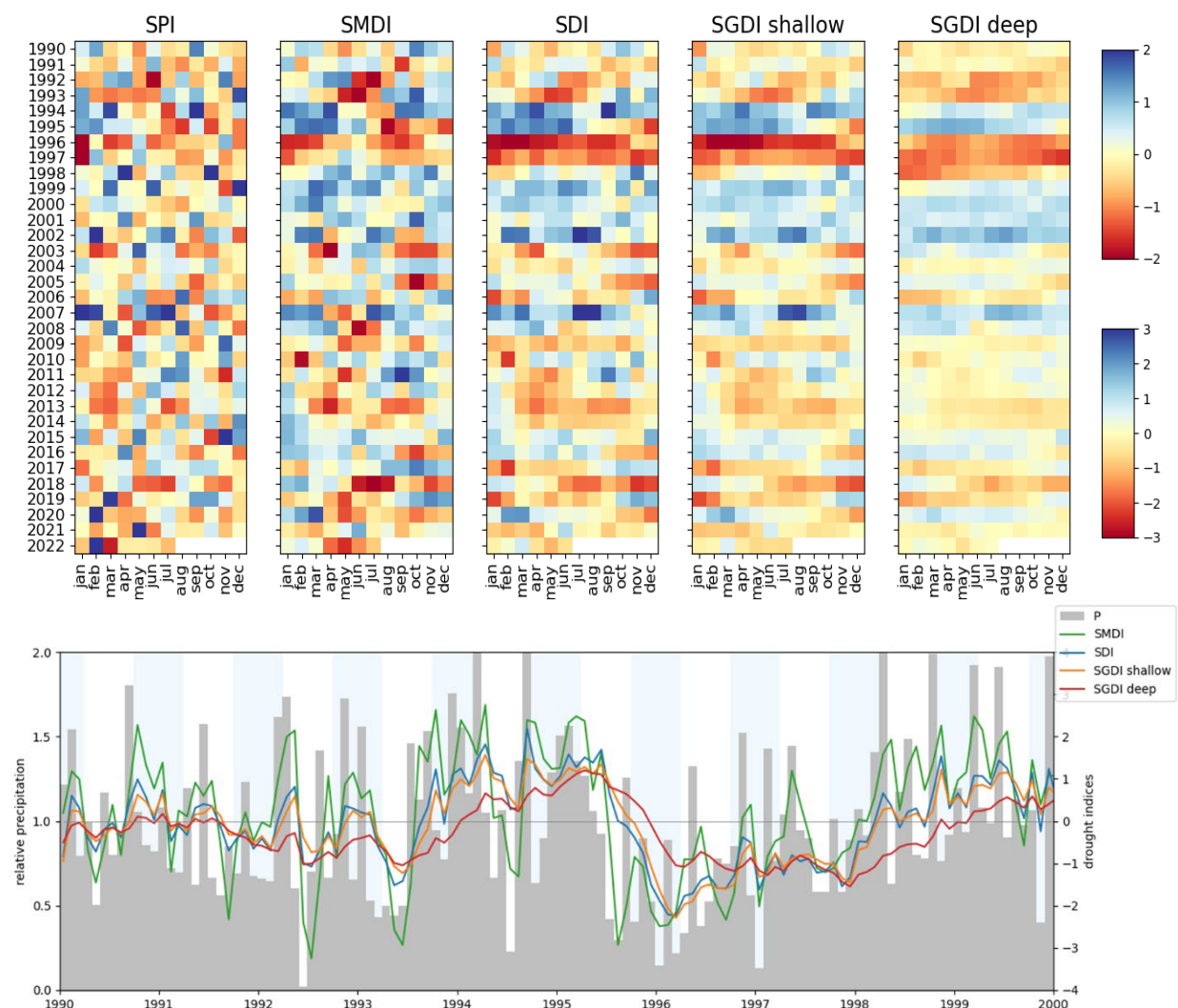
Figuren illustrerer, at selvom der generelt forventes mere nedbør i fremtiden, typisk i vinterhalvåret, så forventes samtidig øgede sæsonforskelle, og sandsynligvis øget grundvandsstand om vinteren samtidig med flere tørkeperioder i sommeren-efterår. De fleste områder får en stigning i grundvandsstanden i perioden december-april, og en stor del af landet får et fald i grundvandspejlet hen over sommeren og efteråret. For jordfugtighed ses en endnu mere markant tendens til et mere generelt fald i vandindholdet i rodzonen i mange områder startende allerede i marts,

med en varighed frem til november (svarende til øget risiko for landbrugstørke). For afstrømningen er tendensen mere i retning af en øget vandføring. Her er det kun i perioden august til oktober at en del af landet vil se et fald i månedsmiddel vandføringen. I tabel 6.3 er hovedtendenser på landsplan sammenfattet.

Table 6.3 Hovedtendenser af klimafremskrivning for RCP8.5 for fjern fremtid med værdier for året, januar og september (Schneider 2022).

Ændring for periode	Ændret dybde til grundvandsspejl	Ændret jordfugtighed (volumen %)	Ændret vandføring (klimafaktor)
Året	+17 cm	-0.4 %	*1.17
Januar	+27 cm	+0.6%	*1.30
September	+11 cm	-1.7%	*1.01

I Figur 6.5 er vist beregnede indices for tørke (SPI nedbør, SMDI jordfugt, SDI vandføring, SGDI terrænnært grundvand og SGDI primært grundvandsmagasin) (Henriksen et al. 2022c tørke-rapport; Schneider 2022).



Figur 6.5 Tørkeindices – månedlige værdier for Danmark januar 1990- juli 2022. Øverst hele perioden, nederst resultater for 1990-1999.

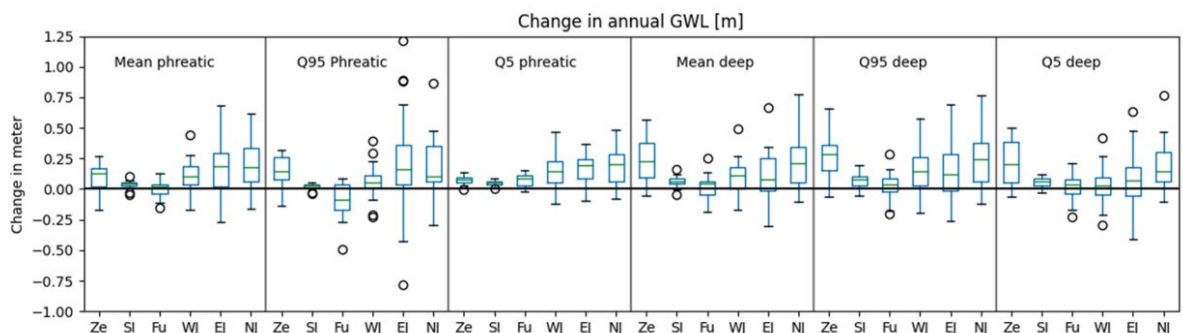
Det fremgår af figur 6.5 at de forskellige tørkeindices har forskellig variationsdynamik. Nedbørsunderskud (P/SPI) kan ofte forekomme en enkelt måned, men kan også være et længerevarende nedbørsunderskud f.eks. fra medio 1995 til udgangen af 1997 (ca. 2,5 år). Med større forsinkelse følger herefter den tidlige variation i vandføring. Den tørre vinter 1995/96 betyder her, at vandføringsindices (SDI) falder fra medio 1995 frem til februar 1996, hvorefter det stiger, men først er tilbage på normalen i foråret 1998. Omtrent samme forløb gælder for terrænnært grundvand, der dermed har samme 'tidslighed' som vandføring. Anderledes forholder det sig for det dybere grundvand, som har et faldende forløb helt frem til et minimum i slutningen af 1997. Det dybe grundvand er først tilbage i normalen i slutningen af 1998 (altså en samlet tørkeperiode på ca. 3,5 år).

Chan et al. (2021) har udført et studie for Danmark med evaluering af fremskrivning af indices for jordfugtighed (SMDI), dybde til grundvandsspejl (SGDI) og afstrømning (SDI) for Skjern å for et fremtidigt klima på basis af et ensemble af 16 klimamodeller (AR5 RCP8.5). Hovedresultatet heraf var at alle tre tørkeindices pegede på stigende risiko for tørke i et fremtidigt klima. Antallet af ekstremt tørre 'uger' for RCP8.5 i fjern fremtid (2071-2100) udgjorde hhv. 1.2 % (jordfugt, SMDI), 4.6 % (grundvandsspejl) og 5.8 % af tiden (alle uger), hvilket er mere end dobbelt så meget af tiden for den historiske periode.

6.1.5 Ændringer for grundvandsstanden

Det terrænnære grundvand vil i sommerperioden mange steder nå et lavere niveau sammenlignet med i dag. Danmarks vandindvinding er 99% baseret på grundvand, og stigende behov for vanding og øget vandforbrug vil lægge yderligere pres på grundvandsmagasinerne. Havniveauaustigninger vil samtidig øge risikoen for saltvandsindtrængning i kystnære grundvandsmagasiner, hvilket specielt vil være kritisk for lavtliggende områder.

Det fremgår af ovenstående Tabel 6.1 med fremskrivninger baseret på DK model-2019 (Seidenfaden et al. 2022), at grundvandsdannelsen vil stige med omkring 20-23% for Sjælland og øerne, og 15-19% for Jylland. Det giver en ændret grundvandsstand. I Figur 6.6 er simulerede ændringer i forhold til terrænnært og dybt grundvand illustreret med årsmiddel, Q95 og Q5 percentilværdier for de 6 regioner, der er beregnet på.



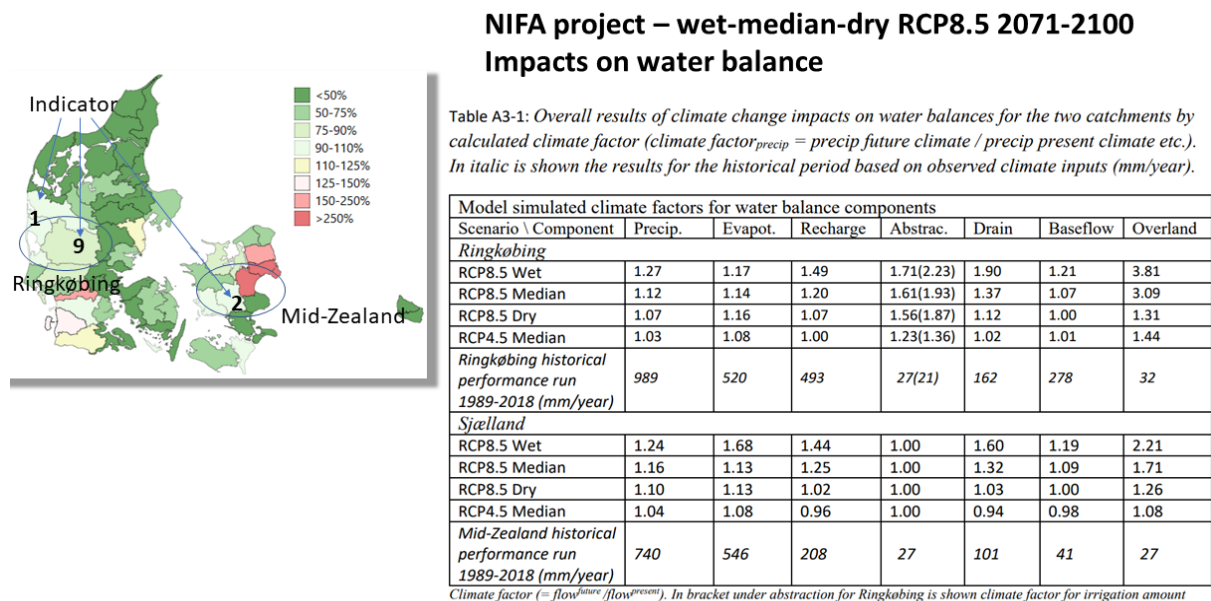
Figur 6.6 Simulerede ændringer i terrænnært (phreatic) og dyb grundvandsstand med årsmiddel, Q95 og Q5 [Seidenfaden et al. 2022].

6.1.6 Ændringer i vandkredsløb og økologisk flow

GEUS har i NIFA projektet beregnet, at Midt- og Sydvestjylland samt mange områder på Øerne får reduceret og mere længerevarende minimumsvandføringer i et fremtidigt klima.

Ændringerne får negative effekter på biologiske kvalitetsparametre og mange større vandløb får derfor med 20-50 % sandsynlighed reduceret tilstand (f.eks. fra god til moderat) i et fremtidigt klima (Henriksen et al. 2021c).

I NIFA-projektet blev der for to modeloplande foretaget beregninger af klimaeffekter på såvel terrænnært som dybt grundvand med modelsetup baseret på DK-model i en 200m opsætning. I Figur 6.7 er vist resultater fra beregninger for 4 udvalgte realisationer (3 RCP85 og 1 RCP4.5) for 2071-2100.



Figur 6.7 Vandbalance resultater for Ringkøbing og Midtsjælland (Henriksen et al. 2021c)

Resultaterne er i rimelig overensstemmelse med resultater fra Seidenfaden et al. (2022), men viser samtidig, at der er en risiko for, hvis det bliver den tørre model, vi skal tilpasse os, at effekter på indikatorer vil kunne gå begge veje, både i retning af en mere robust ressource, og en mindre robust ressource.

I Figur 6.8 er vist beregninger af ændringer i fiske EQR for Ringkøbing fjord oplandet (Henriksen et al. 2021c). Generelt ses en positiv medianværdi for EQR ændring for våd og median klimamodel, og en negativ værdi for den tørre klimamodel for Ringkøbing fjord. Bemærk dog, at EQR værdien forringes i intervallet -0.16 til -0.05 for både tør og våd klimamodel for hovedløbet af Skjern å, Omme å og flere øvrige vandløbsstrækninger i større vandløb. Det er derfor ikke et entydigt positivt resultat for indikator 7-8. Ændringer i Q50 er ikke belyst i artiklen, men vurderes svagt positiv.

Det er muligt at undersøge klimaeffekter opgjort for deloplande og for ID15 punkter for environmental flow indikatorer, ved at udtrække EQR og Q50 mm. fra resultatfiler, der foreligger fra HIP projektet. Det samme gælder effekter på terrænnær grundvandsstand og randbetingelser (f.eks. dyb grundvandsdannelse). For Midtsjælland se en forringet EQR værdi (median ud fra samtlige Qpunkter) for alle tre klimarealisationer (tør, median og våd). Våd klimamodel har her den mest pessimistiske fremskrivning af EQR og dermed indikator 7-8.

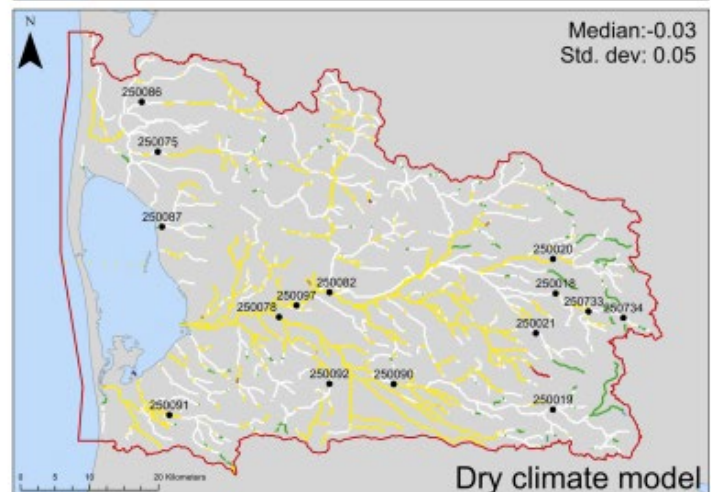
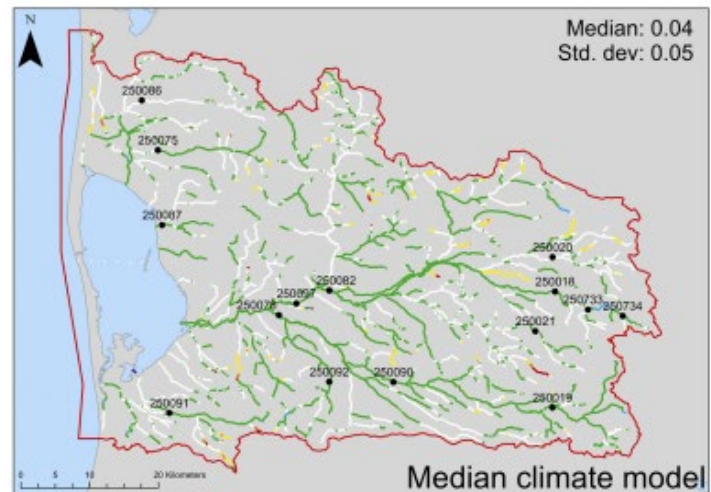
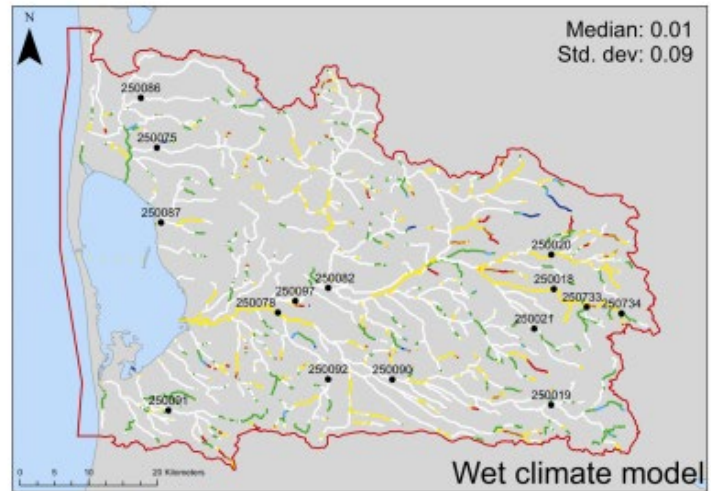
Der er stor variation i resultater. Fremskrivningen af Q50 er antagelig forholdsvis uændret, og måske negativ.

Legend

- Model area
- Q-stations

Change in DFFVa [EQR]

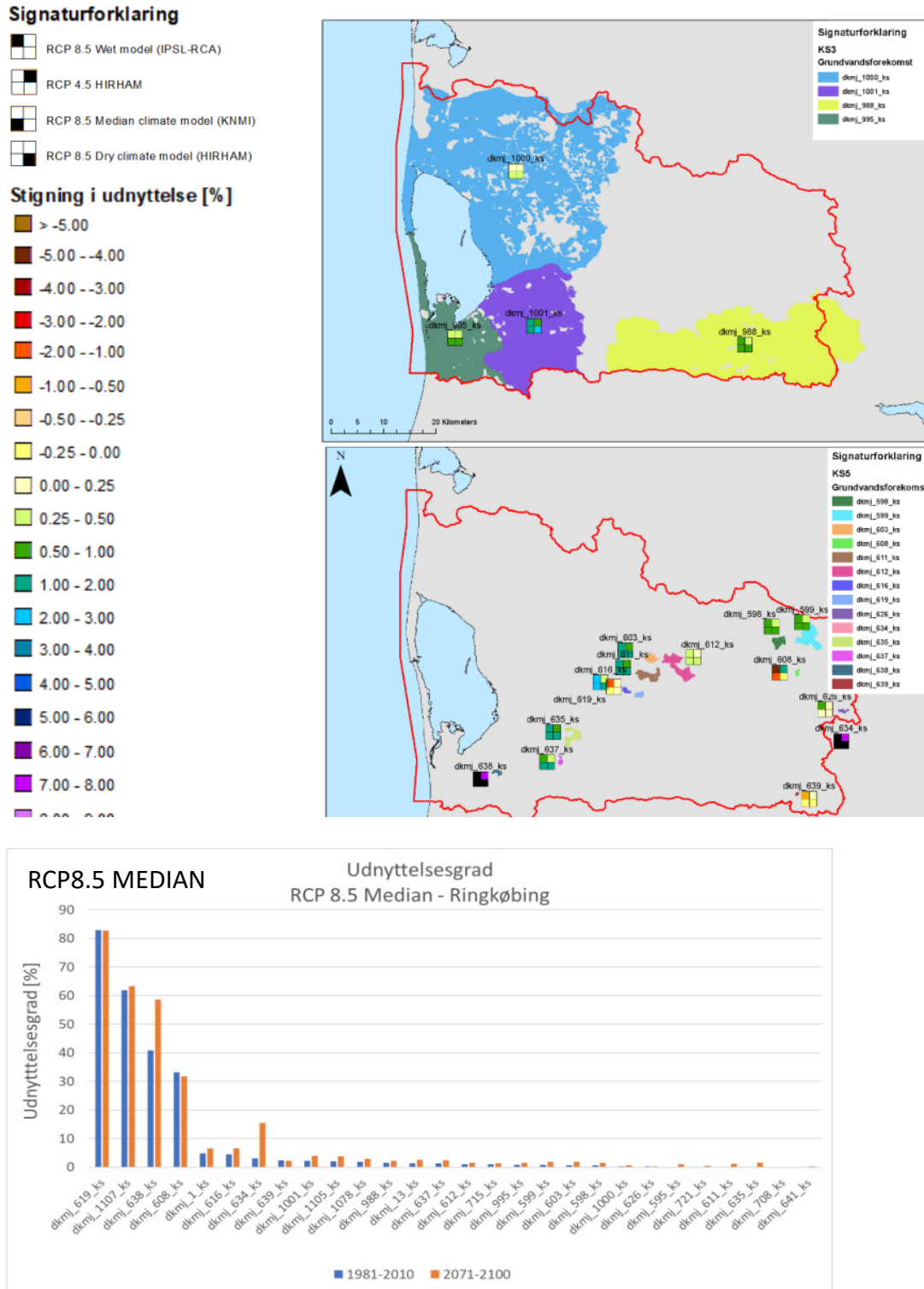
- <-0.22
- -0.22 - -0.16
- -0.16 - -0.05
- -0.05 - 0.05
- 0.05 - 0.16
- 0.16 - 0.22
- 0.22 <



Figur 6.8 Beregnede ændringer i EQR værdier for fisk for Ringkøbing fjord ved RCP8.5 (Henriksen et al. 2021c)

6.1.7 Ændringer i akvifer bæredygtighed (udnyttelsesgrad)

I NIFA-projektet blev ændringer i akvifer bæredygtighed også beregnet, ved en beregning af den ændrede udnyttelsesgrad for udvalgte forekomster (eller dele af forekomster indenfor de to modelområder). I Figur 6.9 er vist eksempler på beregninger af ændrede udnyttelsesgrader for udvalgte grundvandsforekomster.



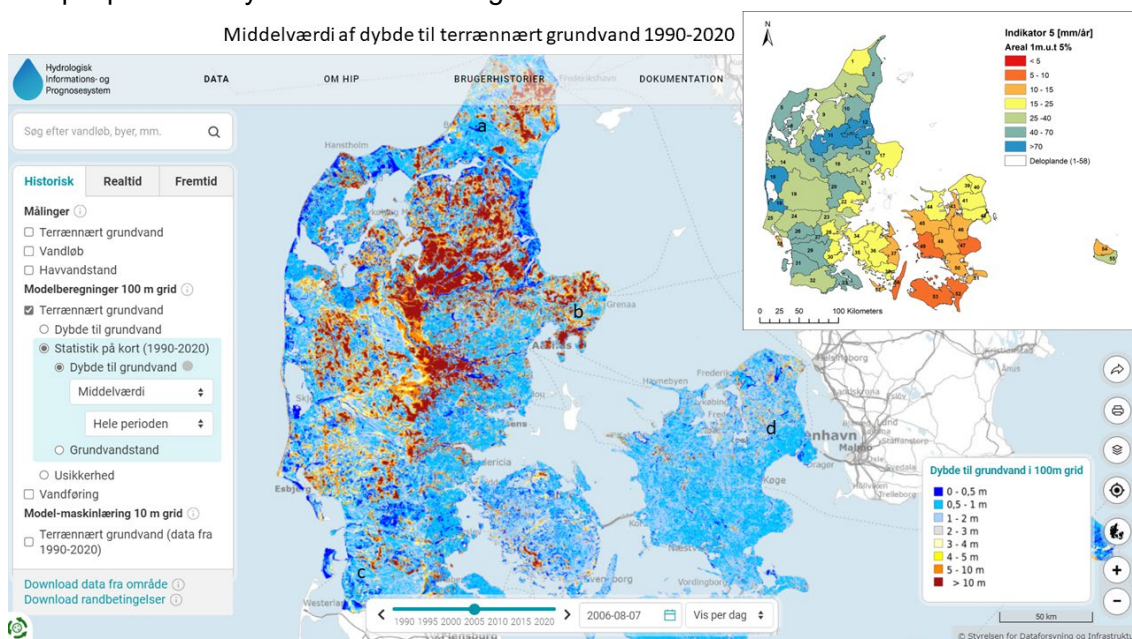
Figur 6.9 Ændringer i udnyttelsesgrad (akvifer bæredygtighed) for Ringkøbing for 4 udvalgte scenarier (RCP4.5 og 3 RCP8.5 scenarier). Nederst plot af udnyttelsesgrad beregnet for udvalgte forekomster for 1981-2010 og og fremtid (2071-2100) Henriksen et al. 2021c.

Det fremgår af Figur 6.9, at for de fleste større forekomster er der kun relativt små ændringer i udnyttelsesgrad, som viser uændrede ressource estimater jf. indikator 1 og 2. Nogen af de mindre forekomster kan dog blive påvirket markant i forhold til udnyttelsesgraden (med størst påvirkning for tør klimamodel). Tilsvarende resultater ses for Midtsjælland. Her er det dog øget fordamning i områder med højtstående grundvand, der får den største påvirkning i negativ retning (af indikator 1,2 og 5).

Man kan dog ikke ud fra resultaterne slutte noget omkring sammenhæng mellem udnyttelsesgrad og risiko for saltvandsindtrængning. Det er velkendt, at man tæt på kysten hvor der er etableret f.eks. udpumpningsanlæg kan være saltvandsindtrængning selv uden væsentlig vandindvinding (f.eks. på Sydlolland). Derfor vil udpumpningsanlæg/dræning i kystzonen kunne påvirke risikoen for saltvandindtrængning (Rasmussen et al. 2013; CLIWAT, 2011), som vist i beregninger for Falster. Hvis ikke der drænes vil 'ferskvandspuden' i f.eks. et frit sandmagasin evt. blot blive flyttet op i takt med havstigningen, hvorimod der i områder med udpumpningsanlæg/dræning og fastholdelse af det mere terrænnære grundvandsspejl, vil kunne ske en fiksering af trykniveau og dermed øget saltvandsindtrængning, selvom udnyttelsesgraden f.eks. er uændret. Saltvandsindtrængning i et ferskt grundvandsmagasin i kystzonen er dermed sensitiv i forhold til såvel fremtidigt havniveau, fremtidig grundvandsdannelse, fremtidig vandindvinding (som typisk er størst i sommer-sæsonen) og fremtidig vandstand i vandløb og drækanaler. Balancen mellem grundvandsdannelse og indvinding er dermed utilstrækkelig til en mere præcis kvantificering af risiko for saltvandsindtrængning.

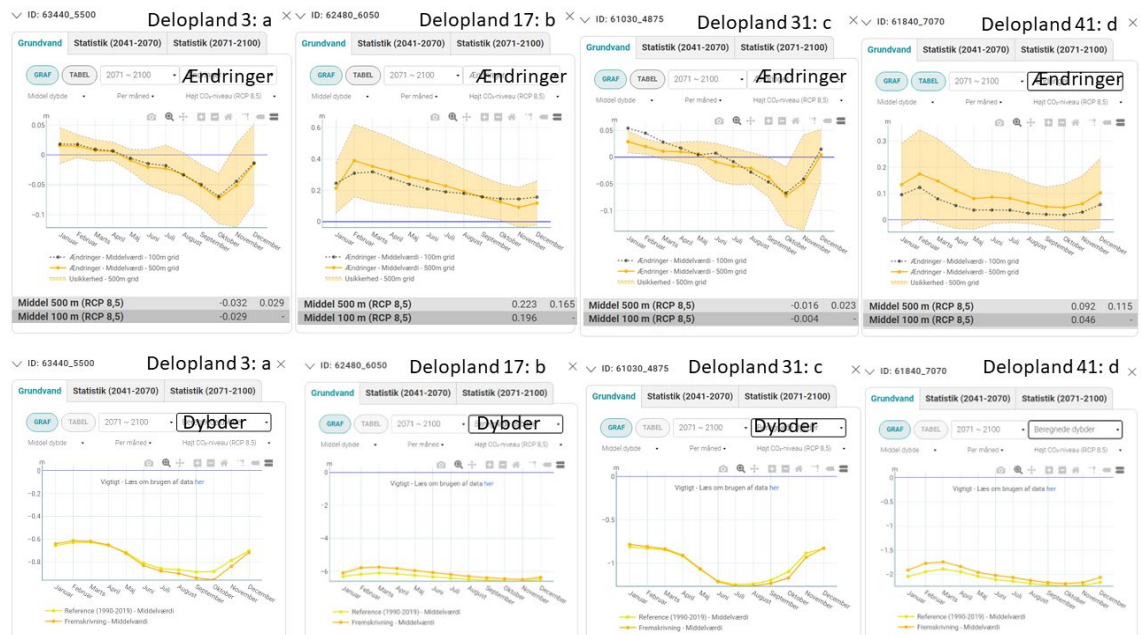
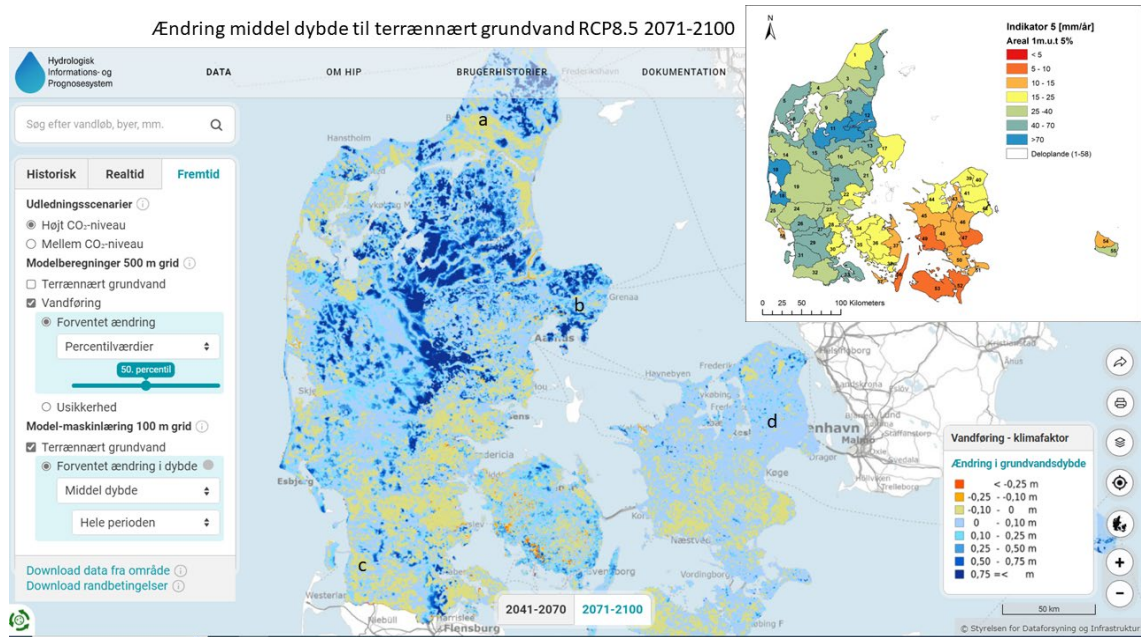
6.1.8 Ændringer i dybde til terrænnært grundvand og vandløbsafstrømning (HIP)

I HIP (Hydrologisk Information og Prognose system) er der foretaget fremskrivninger af bl.a. dybde til terrænnært grundvand og vandløbsafstrømning. I Figur 6.10 er vist et eksempel på middeldybde til terrænnært grundvand.



Figur 6.10 Middeldybde til terrænnært grundvand for historisk periode 1990-2019. På lille figur er vist resultat for indikator 5 (kilde: <https://hipdata.dk>)

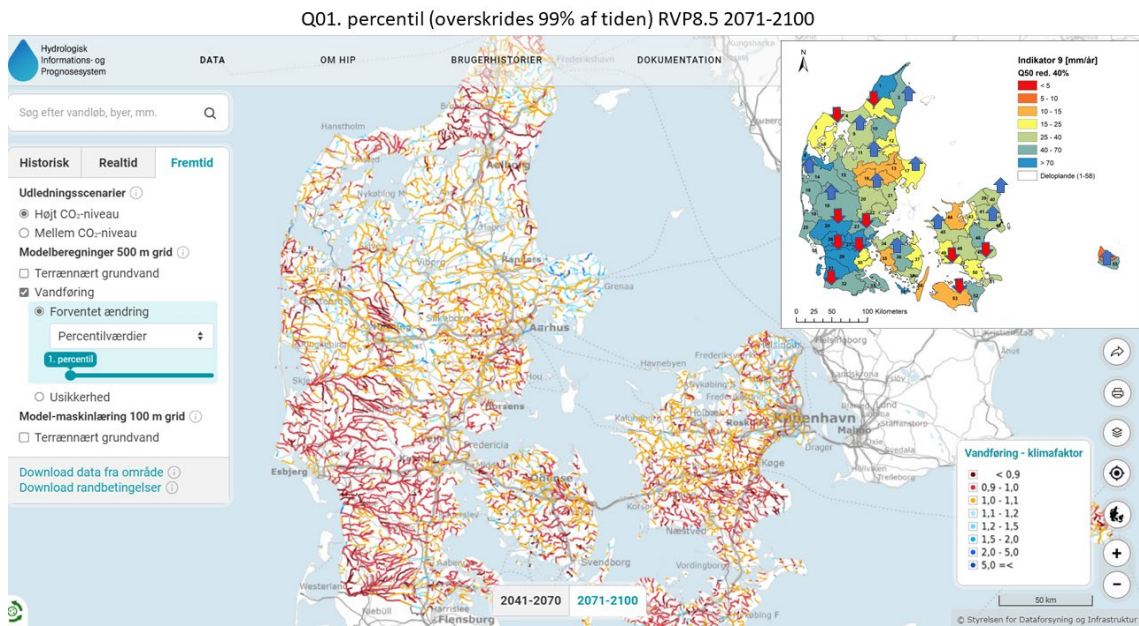
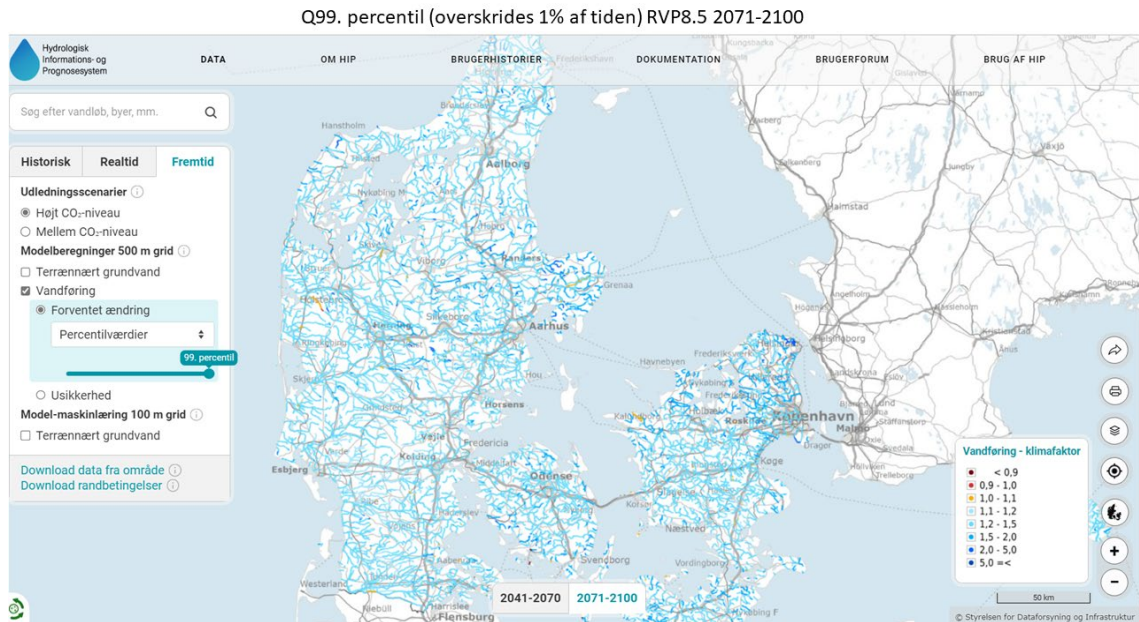
På figur 6.11 er vist eksempler på simuleret ændring i middeldybde til terrænnært grundvand ligeledes fra HIPdata. Nederst på figuren er vist sæsonændringer for udvalgte grids.



Figur 6.11 Ændring i middeldybde til terrænnært grundvand ved højt klimascenarie for fjern fremtid (RCP8.5 for 2071-2100). (kilde: <https://hipdata.dk>)

For fire lokaliteter a-d er nederst på Fig. 6.11 vist sæsonvariationer incl. ensemble usikkerhed svarende til de 17 klimamodeller, der indgår, samt dybder på månedsbasis. Områder med stigning i terrænnært grundvandsspejl som følge af klimaændring (f.eks. lokalitet b og d) vil alt andet lige have positive ændringer i indikator 5 som følge af klimaændring, mens områder med reduceret terrænnært grundvandsspejl (lokalitet a og c) får negative konsekvenser for ressourcen i forhold til øget reduceret vådareal jf. indikator 5. Tager man ensemble usikkerheden i betragtning (minus 1 std) bliver konsekvenser langt mere markante.

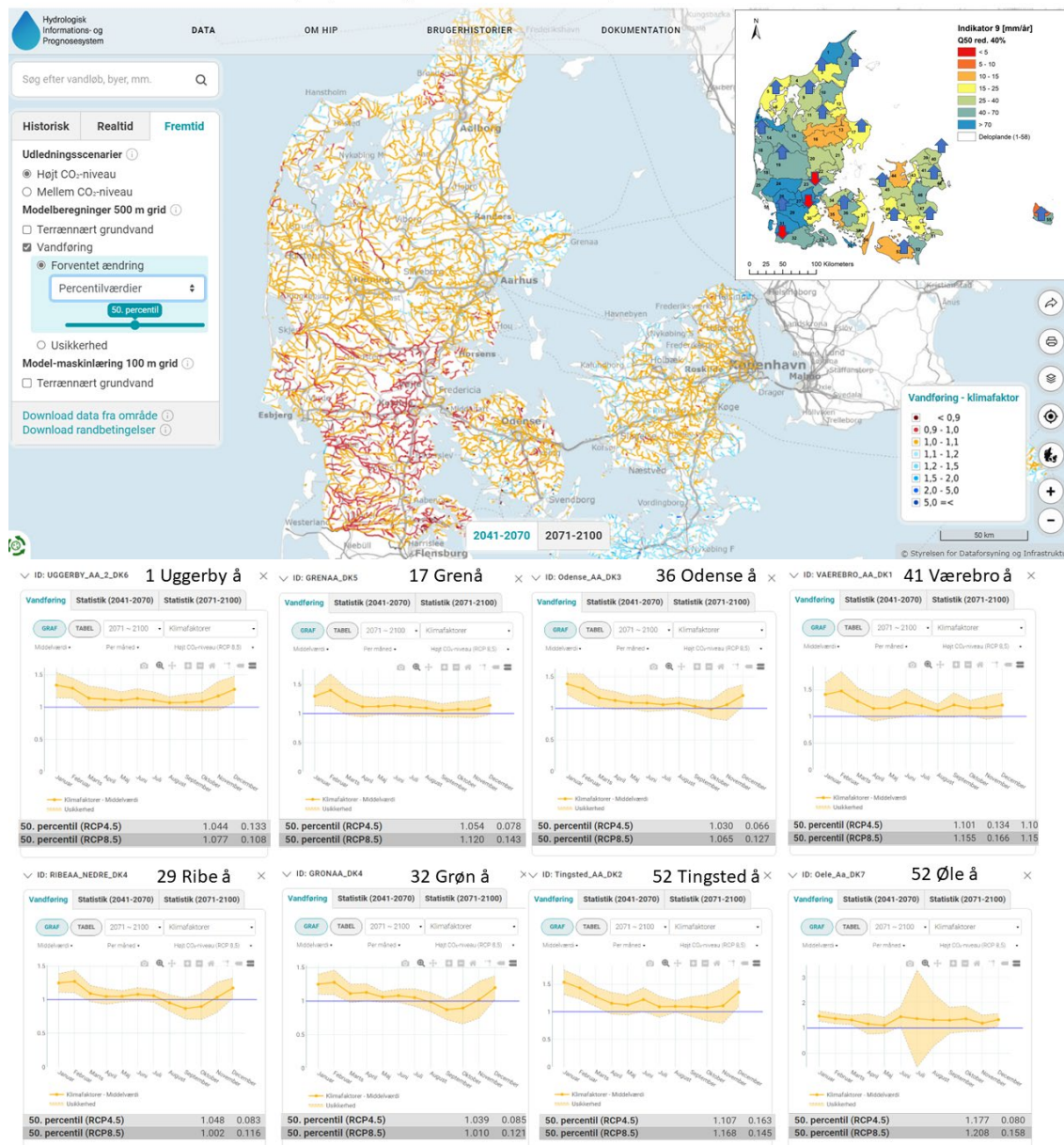
I figur 6.12 er klimaeffekter fra HIP vist for en høj vandføring (Q99), median (Q50) og en lav vandføring (Q01).



Figur 6.12 Klimafaktor max og min vandføring. Store vandføringer (Q99) øges overalt i et fremtidigt klima (RCP8.5 2071-2100) mens minimumsvandføring (Q01) har mere komplekse ændringer. På figuren over minimumsvandføringer er med den lille figur vist resultatet af indikator 9 baseret på median vandføring (Q50) for fjern fremtid og højt klimascenarie (2071-2100). Med pile er groft illustreret forventet klimapåvirkning af indikator 9: Q50. (<https://hipdata.dk>)

I Figur 6.13 er ændringer for indikator 9 vist incl. sæsonvariationer på månedsbasis for udvalgte større vandløb. På lille figur er vist ændringer for Q50 for RCP8.5 for nær fremtid (2041-2100).

Q50. percentil (overskrides 50% af tiden) RCP8.5 2041-2070



Figur 6.13 Øverst klimafremskrivning af Q50 (klimafaktor) til 2041-2070 for RCP8.5 samt påvirkning af indikator 9 vist på lille figur for deloplande. Nederst sæsonvariationer og ensemble usikkerhed for klimapåvirkning af indikator 9 (Q50) for 8 udvalgte vandløb (Kilde: <https://hipdata.dk>)

Det fremgår af figur 6.13 at indikator 9 Q50 overvejende vil blive forøget for samtlige 8 eksempler. På den lille tabel er vist hhv. klimafaktor og standardafvigelse for RCP4.5 og RCP8.5. Tager man ikke hensyn til ensemble usikkerhed er samtlige klimafaktorer over en. Trækker man standardafvigelsen fra har 6 ud af 8 vandløb en reduceret Q50. Det er kun Tingsted å og Øle å der i RCP8.5 har positiv ressourceudvikling for Q50 når man anvender den tørre del af ensemblet (svarende til minus 1 std). Månedsvandføringen i nogle vandløb bliver samtidig lavere (klimafaktor under 1) i sensommeren, mest tydeligt i vandløb med intensiv markvanding (Ribe å og Grøn å) som vist for medianen af de 17 klimamodeller. Der er størst usikkerhed på tværs af ensemblet på klimafaktorer i vandløb med meget små minimumsvandføringer f.eks. Øle å på Bornholm.

6.2 Sammenfatning af konsekvenser af klimafremskrivning for de 9 indikatorer

Det fremgår af undersøgelsen, at grundvandsdannelsen vil stige med omkring 20-23% for Sjælland og øerne, og 15-19% for Jylland. Dermed kan man forvente, at indikator 1, 2 og 6 i områder, hvor vandindvinding er uændret, og fordampning er væsentlig mindre end nedbøren, (f.eks. områder uden alt for intensiv markvanding, og områder med mere begrænset aktuel fordampning), vil få en positiv effekt af klimaændringer, der vil øge ressourcen tilsvarende den forøgede grundvandsdannelse. Indikator 6 vil i sådanne områder få et forøget ressourceestimat, der antageligt vil være tæt på størrelsen af den forøgede grundvandsdannelse. I områder med markvanding eller mere betydende fordampning vil situationen være mere kompleks, da beregninger af markvandingen peger på, at denne vil blive forøget med mellem 40-53 % og fordampningen øges op til 20 %, og det vil trække den udnyttelige grundvandsressource i modsat retning. Der foreligger vandbalancetal fra undersøgelsen, og det vil i princippet være muligt at foretage udtræk fra vandbalance resultatfiler og processere ændringer i indikatorer på baggrund af de modelkørsler, der ligger fra undersøgelsen, og på baggrund heraf vil det være muligt at beregne effekter af klima i forhold til indikator 1, 2, 3, 4 og 6.

De simulerede ændringer i drænflow er på 25-36 % for Sjælland og øerne og 20-25% for Jylland. Det vil betyde, at indikator 4 vil blive tilsvarende forøget. De simulerede ændringer i baseflow er på 5-15% for Sjælland og øerne og 6-11 % for Jylland, som betyder, at indikator 3 også forøges i et fremtidigt klima.

På basis af simulerede ændringer i årsmiddel for terrænnært grundvand forventes en positiv udvikling i indikator 5 for Sjælland og Jylland, hvorimod Lolland-Falster-Møn og Fyn ikke vil få væsentlige ændringer i indikator 5.

For det dybe grundvand forventes en øget grundvandsstand for Sjælland, samt Østjylland og Nordjylland. For Vestjylland forventes en ret uændret grundvandsdannelse. Sammenholdt med resultater for dyb grundvandsdannelse i Tabel 6.1 peger resultaterne på at indikator 2, 3 og 6 vil blive øget for dele af Sjælland (specielt Nordsjælland) samt Nordjylland. Østjylland vil formentlig få en svagt forbedret udnyttelsesgrad ved disse indikatorer. På dele af Syd- og Østsjælland, Fyn og Lolland-Falster forventes samlet set en uændret ressource for indikator 1, 2 og 6.

Bedømt i forhold til ovenstående resultater, og viden om bestemmende indikator jf. Fig. 6.12 peger det på en øget ressource men også en øget sensitivitet for delopland 1, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 16, 23, 28, 39, 41, 42, 43 og 47, mens øvrige deloplande har enten uændret ressource, eller er bestemt af environmental flow indikatorer, der ikke umiddelbart kan vurderes ud fra resultater af Seidenfaden et al. (2022).

Det er heller ikke muligt at genberegne EQR og Q50 påvirkninger da de relevante resultater ikke er gemt fra kørslerne.

6.3 Udvalgte tematiske usikkerheder på klimafremskrivninger i forhold til ressourcevurdering

6.3.1 Ensemble usikkerhed på tværs af klimamodeller

Henriksen et al. (2012), Henriksen et al. (2013) og Henriksen et al. (2014a) har vurderet landsdækkende effekter på hydrologi og grundvand for hhv. 3 og 9 klimamodeller for A1B scenariet frem til 2050, og kvantificeret fremskrivninger af grundvandsdannelse, dybde til terrænnært grundvand og afstrømning på tværs af klimamodeller.

Pasten-Zapata et al. (2019) beskriver det ensemble, der er anvendt i HIP (Henriksen et al. 2021a) og i Seidenfaden et al. (2022) bestående af 17 RCP8.5 GCM/RCM modeller og 5 RCP4.5 GCM RCM modeller og væsentlige usikkerheder. Man kan groft opdele nogen af de modeller på 'clusters', der simulerer større opvarmning (temperatur) fx CanESM2-REMO2015 og alle RCM'ere, der er drevne af Hadley modeller (HadGEM2-ES) under RCP8.5.

En gruppe (Cluster) består af modeller, der fremskriver mere vådt klima f.eks. CanESM2-REMO2015, IPSL-CM5A-MR-RCA4, HadGEM2-Es-HIRHAM5 under RCP8.5). Der er også nogle modeller, der simulere et højere vandstress (større stigning i fordampning end i nedbør) f.ex HadGEM2-ES-CCLM og HadGEM2-ES-REMO2015. Indsigt i hvor galt det kan gå vil derfor forudsætte, at man kigger nærmere på sidstnævnte.

Sebok et al. (2022) har kigget på ekspertvurdering af forskellige klima- og hydrologiske modeller ved vægtning af modeller i et ensemble.

6.6.2 Biaskorrektion, valg af RCP og initialværdier

Udover ensemble usikkerhed er der også betydningen af biaskorrektion. Her viser det sig at ensemble spredningen (standardafvigelsen) reduceres som følge af biaskorrektionen (dynamisk) fra 166 mm til 122 mm for RCP4.5 og fra 211 mm til 139 mm for RCP8.5 (Pasten-Zapata et al. 2019). Den samlede usikkerhed er imidlertid også afhængig af valg af RCP (4.5 eller 8.5 eller noget andet) samt variabiliteten (f.eks. initialværdier osv.). Her er vurderingen, at det for temperatur gælder at valg af global klimamodel (GCM) og RCP emissionsscenario udgør de største kilder til usikkerhed frem mod midten af århundredet. Efter det følger valg af regional klimamodel (RCM) og variabilitet (initialværdier). Mod slutningen af dette århundrede i fjern fremtid er RCP valget dog den største usikkerhedskilde.

Nedbøren forventes overalt i Danmark at stige, men der er en geografisk variation (for ukorrigerede modeller fra + 10% til +22% ved århundredets udgang i nedbørsfremskrivning med standardafvigelser på +3 til +19 %), hvorimod biaskorrigerede modeller giver standardafvigelser på +4 til + 21%, og noget større fremskrivninger af nedbørsændringer. Ser vi på ensembleusikkerheden beregnet med HIP modellen i 500m ved klimakørslerne og betydning for dybde til terrænnært grundvand og vandføring så har vi set på basis af Seidenfaden et al. (2022) at middelændringer i nedbør og fordampning på domæneniveau har væsentlig større ændring (nedbør: +15 til +23% og fordampning +16 til +20%) end standardafvigelsen på tværs af ensemblet (nedbør: +- 5 til +- 7% og fordampning +-4%) på domæneniveau.

Når vi kigger nærmere på grundvandsdannelse og afstrømning på domæneniveau er forskelle dog relativt større, og relativt størst for de jyske domæner. Komme man ned på deloplandsniveau har vi set med eksemplerne ovenfor, at grundvandsdannelse og grundvandsstand i nogle deloplande indikerer mindre ressource i et fremtidigt klima, mens andre kan få væsentlig forøget ressource. Det samme kan ses på baseflow, hvor en fratrukket standardafvigelse i mange domæner betyder uændret baseflow men en tillagt standardafvigelse betyder en noget større ressource end i dag.

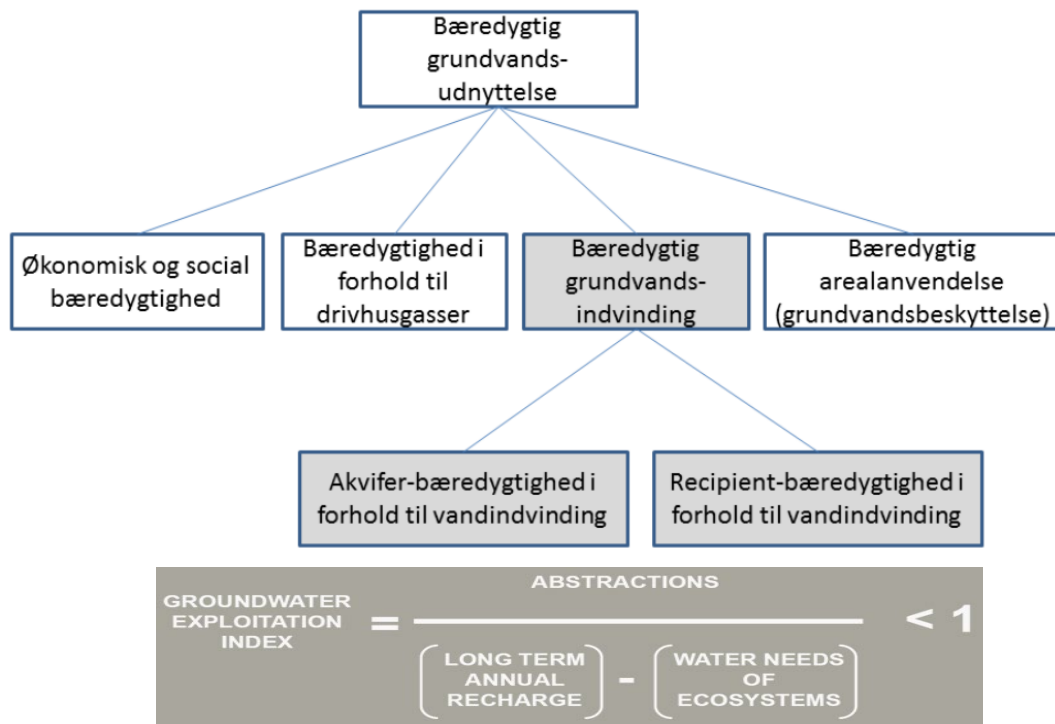
Det skal dog bemærkes at GEUS har anvendt en temperaturafhængig biaskorrektion (Pasten-Zapata et al. 2019), som giver lidt større fordampning end den DMI anvender i klimaatlas. Der er derfor nogle særlige usikkerheder på fordampningen.

7. Diskussion og vidensbehov

I dette kapitel indgår en diskussion af modelgrundlag og ni-indikator ensemblet samt ønsker til yderligere vidensbehov med henblik på forbedret opgørelse af bæredygtig grundvandsressource på grundlag af modelgrundlag, indikatorer, indvindingsstruktur & vandkvalitet, vandbehov, arealanvendelse og klimaeffekter samt vandforvaltning.

7.1 Model grundlag og ensemblet bestående af de ni ressource indikatorer

Bæredygtig grundvandsudnyttelse er et vidtfavnende begreb, der omfatter økonomisk og social bæredygtighed, bæredygtighed i forhold til drivhusgasser, bæredygtig grundvandsindvinding og bæredygtig arealanvendelse (Henriksen og Refsgaard 2013). Nærværende ressourceopgørelse behandler kun bæredygtig grundvandsindvinding, der inkluderer to nøgle elementer: (a) at undgå uønskede følgevirkninger på grundvandsakviferen af vandindvindingen (akvifer safe yield = akvifer-bæredygtighed), og (b) beskyttelse af økosystemernes levedygtighed i relation til vandindvinding (environmental flow = recipient bæredygtighed). Akvifer bæredygtighed kan her defineres som: Den mængde grundvand der kan indvindes uden uacceptable følgevirkninger på grundvandets trykniveau og vandkvalitet, sammenlignet med det upåvirkede magasin. Tilsvarende defineres recipient-bæredygtighed som: Afstrømningskarakteristika (mængde, hyppighed, timing, varighed, fluktuationer og forudsigelighed/variabilitet af hændelser) der er nødvendige for at vedligeholde (eller re-etablere) det naturlige afstrømningsregime, som understøtter specificerede, værdifulde egenskaber ved et økosystem (Henriksen og Refsgaard, 2013).



Figur 7.1 Afrænsning af bæredygtig grundvandsindvinding (grå bokse) i forhold til bredere aspekter af begrebet bæredygtig grundvandsudnyttelse (Henriksen og Refsgaard, 2013).

Indenfor screeningsmetoder til analyse af akvifer-bæredygtighed på et simpelt kompleksitetsniveau er udgangspunktet grundvandsdannelsen og ændring som følge af vandindvinding, baseret på relationer mellem vandindvinding og grundvandsdannelse. I Danske vandplaner har i den første screening været anvendt en udnyttelsesgrad på max 30% af grundvandsdannelsen til grundvandsforekomster. Jf. Figur 7.1 svarer det til at man antager at 70% af grundvandsdannelsen bidrager til vandbehov til økosystemet (water needs of ecosystems). Såfremt en forekomst er udnyttet mere end 30% af grundvandsdannelsen skal der i fase to laves en detailundersøgelse baseret på GIS data mm. (Henriksen et al. 2023b). På samme måde anvendtes EQR for fisk til en simpel screeningsundersøgelse på 80% sandsynlighedsniveau. Her blev på ID15 niveau beregnet EQR ændringer for aktuel indvinding i forhold til nul indvinding. Overskrider disse ændringer EQR kravværdier svarende til mere end 80 % sandsynlighed for tilstandsændring (DFFVa kravværdi -0.23), kigges nærmere på målte EQR værdier for fisk (DFFVa) og smådyr (DVFI), samt udvalgte percentiler (f.eks. Q50 og Q95).

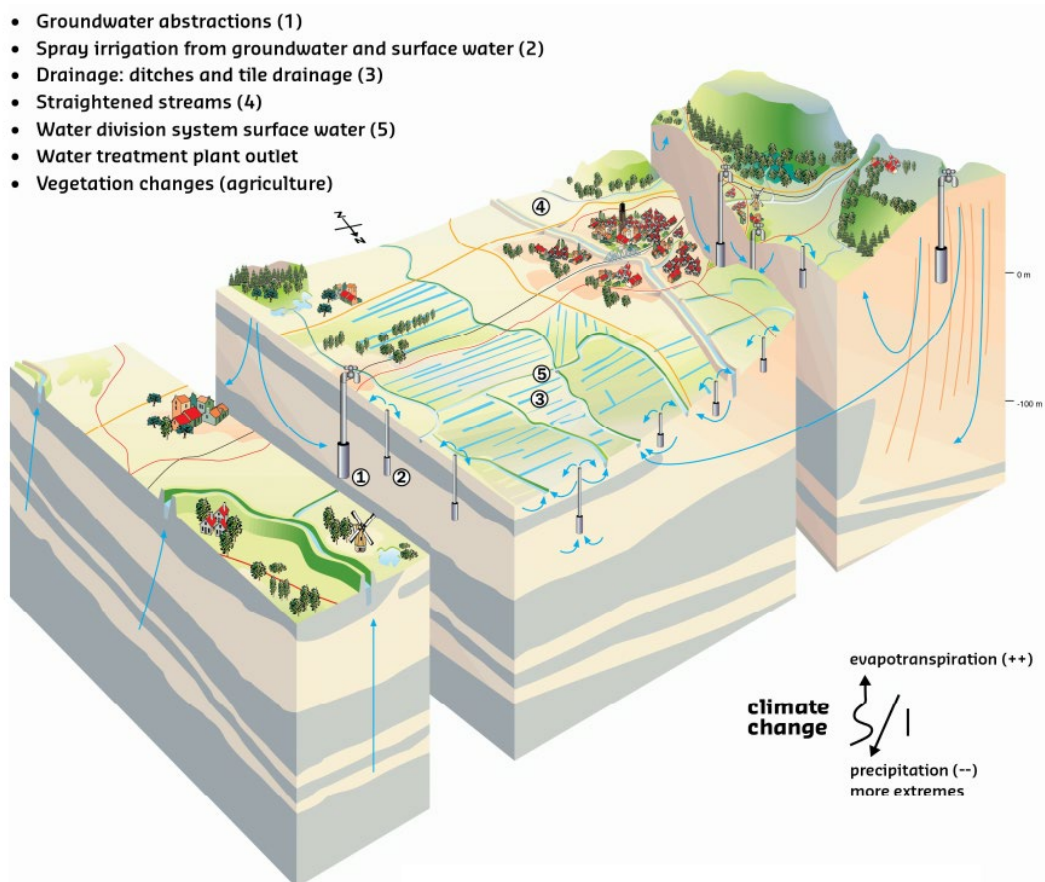
Man kan opfatte de nye indikatorer som en måde at sikre at udnyttelse af grundvandsressourcen ikke konflikter med forskellige begrænsende faktorer, eller oversættelser af hvad man kan forstå ved 'water needs of ecosystems'. Indikator 1 og 6 antager her at hhv. 70% af grundvandsdannelsen til det øvre grundvand i mindst 10 m's dybde ved pumpning, og 65% af grundvandsdannelsen i dette niveau uden pumpning svarer til 'water needs of ecosystems'. Indikator 2 antager at 50% af den dybe grundvandsdannelse (i mere end 25 m's dybde) skal reserveres til 'water needs of ecosystems'. Indikatorer for baseflow (3 og 4), vådareal (5) og økologisk flow (7-9) tager ikke direkte udgangspunkt i ligningen vist i Figur 7.1 og grundvandsdannelsen indgår ikke eksplicit i opgørelsen for disse indikatorer. I stedet beregner indikatorer 'water needs of ecosystems' f.eks. ud fra at baseflow max må reduceres med 10 %, eller vådareal max må reduceres med 5 %, eller økologisk flow max må reduceres med hhv. -0.23 (p80 %) eller -0.16 (p50 %), eller Q50 max må reduceres med 40 % ved et id15 punkt. Når man har interpoleret eller ekstrapoleret dette 'tipping point' (eller denne tærskelværdi for indvindingen), kan man herudfra beregne en bæredygtig indvinding for deloplandet eller OSD/IOL delen.

De 9 ensemble indikatorer opfylder dermed anbefalinger (Henriksen og Refsgaard 2013; Henriksen et al. 2008) om at der bør anvendes 'multiple indikatorer for akvifer-bæredygtighed og recipient-bæredygtighed' til karakterisering af den kvantitative tilstand af grundvandsforekomster. Der er tale om tærskelværdier baseret på et forsigtighedsprincip, og såfremt der indsamles yderligere viden og dokumentation må man antage at ressourceskønnet evt. kan forøges i takt med et forbedret vidensgrundlag (potentielt med op til 50%). Med det bestemte, forsigtighedsbaserede skøn er ressourcen dog i dag mere end fuldt udnyttet i en del deloplande og OSD/IOL, specielt hvis man indregner forurening og evt. tørkeperioder. Der er derfor et meget stor vidensbehov på grund af "dyb usikkerhed", da konsolidering i forbindelse med vandområdeplaner ikke har inddraget hverken klimaaendringer og tørke (incl. temperaturpåvirkning), mindre vandløb, grundvandsafhængige terræstriske økosystemer, eller evt. modeffekter af klimatilpasning (f.eks. effektiviseret dræn, havstigning og dermed øget risiko for saltvandindtrængning mv.).

Tærskelværdierne for god/usikker tilstand for de enkelte indikatorer bør kalibreres for de enkelte indikatorer mod data for forskellige hydrogeologiske og økohydrologiske regimer

(Henriksen og Refsgaard 2013). Her er der et vidensbehov idet tærskelværdier på 0.3 og 0.5 for indikator 1 og 2 kun i et vist omfang er kalibreret og primært for grundvandsforekomster på Sjælland og Fyn. For øvrige områder, hvor der ikke er foretaget ekspertvurderinger af grundvandsforekomster i risiko for ringe tilstand, har det ikke været muligt at kalibrere indikatorerne. Det er tilstræbt at udvikle de ni indikatorer, så de afspejler et forsigtighedsprincip, som sikrer god status, hvis de ni indikatorer er overholdte. I vandplaner er der, hvor der ikke blev opnået god tilstand, foretaget detailundersøgelser (forhøjet indhold af sulfat, klorid, ionbytning, arsen, nikkel; trend i sulfat eller klorid, afsækning osv.), og usikkerhedsvurderinger (konfidens).

De ni indikatorer tager højde for antropogene påvirkninger vi kender i dag f.eks. kunstvanding, dræning, udretning af vandløb (fysiske forhold), spildevand, og vegetation, men ændringer i disse forhold er ikke indregnet (se Figur 7.2). DK model tager dræn, vanding osv. med i beregninger men på noget forsimplet vis da formålet er en national opgørelse. Spildevand indgår i modellen, men scenarieberegninger indeholder samme mængde spildevand i alle kørsler ud fra en antagelse om at spildevandsudledninger formentlig vil være uændrede, selvom indvindinger evt. lukkes eller flyttes. På tilsvarende vis vil beregninger af påvirkning af grundvandsdannelse til top magasin og dybere magasiner, samt baseflow, vådareal og økologisk flow foregå med den samme påvirkning fra vegetation, dræn, vanding og spildevand som vi kender idag.



Figur 7.2 Naturlige og antropogene påvirkninger af vandkredsløbet (Kilde: Hendrics et al. 2015)

7.2 Ønsker til vidensbehov

7.2.1 Modelgrundlag

- Øer Samsø, Læsø, Anholt mm. inddrages i beregninger
- Flere målsatte vandløb med i beregninger (VP3 vandløb)
- Detaljering af beregninger fra 500m til 100m model
- Forbedring af modellering af terrænnært grundvand, samt vandføringer der fx indgår i empiriske formler for økologisk flow (varighed, frekvens, Q90, BFI osv.)
- Maskinlæring vedr. flow -> vandspejl (dybder/hastigheder/temperatur mm)

7.2.2 Indikatorer

- Ny indikator for tørlægning af vandløbsstrækninger
- Evaluering af indikator resultater (hvilke indikatorer er de begrænsende i forskelle områder) og hvad peger resultater på at man kan gøre for at sikre bæredygtig udnyttelse
- Der er anvendt hhv. 30% og 50% udnyttelsesgrad for indikator 1/6 og 2, samt 10% baseflow reduktion for indikator 3 og 4. Behov for review af disse kriterier i forhold til detailundersøgelser for forskellige hydrogeologiske forhold. Det samme gælder indikator 7-8-9
- Integration af vandkemi (forurening) og opstillede indvindings- og dybde kriterier
- Behov for at opstille evt. supplerende kriterier der tager udgangspunkt i trykniveau (afsækning af trykniveau i f.eks. sekundært og/eller primært magasin)

7.2.3 Indvindingsstruktur og vandkvalitet

- Der er regnet på uændret indvindingsstruktur -> Behov for beregninger af ændret indvindingsstruktur (f.eks. central versus decentral indvinding, udvalgte scenarier, livscyklusanalyser/grundvandsstress mm.), se f.eks. Gejl et al. (2018)
- Behov for beregninger af ændret markvanding / optimering (Danapour 2021) evt. ML
- Vandbehandling bør evt. indgår i overvejelser
- Vandrensning
- Udpumpning af grundvand, skal afværgetiltag inddrages i beregninger

7.2.4 Vandbehov, arealanvendelse og klimaeffekter

- Behov for scenarie kørsler frem mod 2050
- Hvordan definerer man en god reference periode
- Byudvikling/urbanisering
- Klimatilpasning, f.eks. effekter af øget dræning og klimatilpasning på ressourcens størrelse
- Flere åer/søer
- Hvordan påvirker skovrejsning grundvandsdannelsen
- Scenarier for udvidelse af vandede arealer (øget markvanding)
- Megadroughts – 500 års hændelser?

7.2.5 Vandforvaltning

- Behov for udbygning af visualisering og dataudstilling med tidsseriedata (pejlinger, indvindinger og vandføringer) for 30-års perioder (vandmodel.dk)
- Dialog med kommuner omkring resultater af den nye ressourceopgørelse

8. Referencer

CLIWAT (2011) Groundwater in a future climate. Ed. Harbo, MS, Pedersen J & Johnsen R. Central Denmark Region and Petersen K, Danish Ministry of the Environment Nature Agency. The Cliwat Project Group. c/o Central Denmark Region. ISBN 87-7788-265-2

Danapour M, Højberg AL, Jensen KH, & Stisen S (2019). Assessment of regional inter-basin groundwater flow using both simple and highly parameterized optimization schemes. *Hydrogeology Journal*, 27(6), 1929-1947. <https://doi.org/10.1007/s10040-019-01984-3>.

Danapour M, Fienen MN, Højberg AL, & Jensen KH et al. (2021). Multi-constrained catchment scale optimization of groundwater abstraction using linear programming. *Groundwater*, 59(4), 503-516. <https://doi.org/10.1111/gwat.13083>.

Chan S, Seidenfaden IK, Jensen KH, & Sonnenborg TO (2021). Climate change impacts and uncertainty on spatiotemporal variations of drought indices for an irrigated catchment. *Journal of Hydrology*, 601, [126814]. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126814>

Colgan W, Henriksen HJ, Bennike O, Riberio S, Keiding M, Karlsson Seidenfaden I, Graversgaard M, Busck AG, Fruergaard M, Knudsen MH, Hopper J, Sonnenborg T, Skjerbæk MR, Bjørk AA, Steffen H, Tarasov L, Nerem RS, & Kjeldsen KK (2022). Sea-level rise in Denmark: paleo context, recent projections and policy implications. *GEUS Bulletin*, 49, [8315]. <https://doi.org/10.34194/geusb.v49.8315>

Pedersen RA, Langen PL, Boberg F, Christensen OB, Sørensen A, Madsen MS, Olesen M, Su J, Darholt M 2020 Klimaatlas Rapport. Danmark. December 2020. [https://www.dmi.dk/fileadmin/klimaatlas/rapporter/DMI Klimaatlas Danmark rapport v2020b.pdf](https://www.dmi.dk/fileadmin/klimaatlas/rapporter/DMI_Klimaatlas_Danmark_rapport_v2020b.pdf)

Gejl RN, Bjerg PL, Henriksen HJ, & Hauschild MZ et al. (2018). Integrating groundwater stress in life-cycle assessments - An evaluation of water abstraction. *Journal of Environmental Management*, 222, 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.058>

Gejl RN, Rygaard M, Henriksen HJ, & Rasmussen J. (2019). Understanding the impacts of groundwater abstraction through long-term trends in water quality. *Water Research*, 156, 241-251. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.026>

Gejl RN, Bjerg PL, Henriksen HJ, & Bitsch K, Troldborg L, Schullehner J, Rasmussen J., Rygaard M (2020). Relating wellfield drawdown and water quality to aquifer sustainability – A method for assessing safe groundwater abstraction. *Ecological Indicators*, 110, [105782]. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105782>

Gleason T and Richter B. 2017. How much groundwater can we pump and protect environmental flows through time? Presumptive standards for conjunctive management of aquifers and rivers. *River Res Applic.* 2018; 34:83–92. DOI: 10.1002/rra.3185

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. 11. november 2014.

Hendriks DMD, Okruszko T, Acreman M, Grygoruk H, Duel H, Buijse T, Schutten J, Mirosław-Świątek D, Henriksen HJ, Sanchez Navarro R, Broers HP, Lewandowski J, Old, G, Whiteman M. Johns T, Kaandorp V, Baglioni MI, Holgersson B, Kowalczyk A (2015) Restoring rivers for effective catchment management. Policy Paper, August 2015. ENV.2011.2.1.2-1 Hydromorphology and ecological objectives of WFD. REFORM Collaborative project (Large-scale integrating project).

Henriksen HJ, & Sonnenborg, A. (2003). Ferskvandets Kredsløb. NOVA 2003 Temarapport. Særudgivelse. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland.

Henriksen HJ, Troldborg L, Højberg AL, Refsgaard JC 2008. Assessment of exploitable groundwater resources of Denmark by use of ensemble resource indicators and numerical groundwater-surface water model. J. Hydrol. 2008, 348, 224–240.

Henriksen HJ, Højberg AL, Seaby LP, van der Keur P, Stisen S, Troldborg L, Sonnenborg T, Refsgaard JC. 2012. Klimaeffekter på hydrologi og grundvand (Klimagrundvandskort). GEUS rapport 2012/116.

Henriksen HJ og Refsgaard JC. 2013. Sustainable groundwater abstraction. GEUS rapport 2013/30. https://data.geus.dk/pure-pdf/29549_GEUS-R_2013_30_opt.pdf

Henriksen HJ, Olsen M, Troldborg L. 2013. Klimaekstremvandføring. GEUS rapport 2013/29.

Henriksen HJ, Pang Bo, Olsen M, Sonnenborg T, Refsgaard JC, Madsen H. (2014a). Klimaeffekter på ekstremværdi afstrømninger. Fase 2 usikkerhedsvurdering. GEUS rapport 2014/38.

Henriksen HJ, Rasmussen J, Olsen M, & He X. et al. (2014b). Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvinding. Konceptuel tilgang og validering samt tilstandsvurdering af grundvandsforekomster. Udarbejdet for Naturstyrelsen. (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport; Bind 2014, Nr. 74). GEUS. <https://doi.org/10.22008/gpub/30642>

Henriksen HJ, Stisen S, Troldborg L, & He X et al. (2015). Analyse af øget vandindvinding til markvanding. Vandløbspåvirkning på ID15 niveau for nuværende markvanding samt 25%, 50% og 100% øget markvanding. (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport; Bind 2015, Nr. 29). GEUS. <https://doi.org/10.22008/gpub/30679>

Henrikse HJ, Stisen S, Keur PVD, & Danapour M et al. (2016). Operationalisering af ny viden til administration af indvindingstilladelser. Forprojekt: Spørgeskemaundersøgelse og interviews i kommunerne, samt usikkerhed på modelberegning af vandindvindingseffekter på vandløbenes økologiske forhold. (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport; Bind 2016, Nr. 46). GEUS. <https://doi.org/10.22008/gpub/32467>

Henriksen HJ, Voutchkova D, Troldborg L, & Ondracek M et al. (2019). National Vandressource Model. Beregning af udnyttelsesgrader, afsækning og vandløbspåvirkning med DK model 2019. (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport; Bind 2019, Nr. 32). GEUS. <https://doi.org/10.22008/gpub/32632>

Henriksen HJ, Troldborg L, Sonnenborg T, Højberg AL, Stisen S, Kidmose JB, Refsgaard JC. (2017) Geovejledning nr. 2017/1 - Hydrologisk geovejledning. <https://www.geovejledning.dk/xpdf/Geovejledning1-2017-Hydrologisk-Geovejledning.pdf>

Henriksen HJ, Roberts MJ, van der Keur P, Harjanne A, Egilson D & Alfonso L. (2018). Participatory early warning and monitoring systems: A Nordic framework for web-based flood risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 1295-1306. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.01.038>

Henriksen HJ, Voutchkova D, Troldborg L, Ondracek M, Schullehner J og Hansen B (2019). National Vandressource Model. Beregninger af udnyttelsesgrader, afsækning og vandløbspåvirkning med DK model 2019. GEUS rapport 2019/32 .

Henriksen HJ, Ondracek M og Troldborg L (2021a) National Vandressource Model. Genberegning af udnyttelsesgrad og vandløbspåvirkning på basis af indberettede fordelinger af indvindinger på boringsniveau i Jupiter. GEUS rapport 2021/1.

Henriksen HJ, Voutchkova D, Ondracek, M, Troldborg L og Thorling L (2021b). Konsolidering af kvantitativ tilstandsvurdering for danske grundvandsforekomster i potentiel ringe tilstand på basis af ekspertvurdering. Supplerende vurderinger af kvantitativ tilstand for 90 grundvandsforekomster med modelberegnet udnyttelsesgrad større end 30%. GEUS rapport 2021/2.

Henriksen HJ, Jakobsen A, Pasten-Zapata E, & Troldborg L et al. (2021). Assessing the impacts of climate change on hydrological regimes and fish EQR in two Danish catchments. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 34, [100798]. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100798>

Henriksen HJ, Kragh SJ, Gotfredsen J, Ondracek M, van Til M, Jakobsen A, Schneider, RJM, Koch J, Troldborg L, Rasmussen P, Pasten-Zapata E, Stisen S. 2022a Udvikling af landsdækkende modelberegninger af terrænnære hydrologiske forhold i 100m grid ved anvendelse af DK-modellen (Development of nationwide model simulations of shallow hydrogeology in a 100 m grid with the DK model). Geological Survey of Denmark and Greenland 2022. <https://doi.org/10.22008/gpub/38113>.

Henriksen HJ, Schneider R, Ondracek M, Troldborg L, Kragh S og Bøgh E. (2022b). HIP data og nye klimafaktorer på afstrømningen. Spildevandskomiteen. Erfaringsudveksling i vandmiljøteknikken. EVA. Nr. 3. 35. Årgang. Oktober 2022. <http://www.evanet.dk/eva-blad-nr-03-oktober-2022/>

Henriksen HJ, Schneider R, Koch J, Ondracek M, Troldborg L, Seidenfaden IK, Kragh SJ, Bøgh E, & Stisen S (2023a). A new digital twin for climate change adaptation, water management, and disaster risk reduction (HIP digital twin). *Water (Switzerland)*, 15(1), [25]. <https://doi.org/10.3390/w15010025>

Henriksen HJ, Nilsson B, Ditlefsen C, Troldborg L and Thorling L (2023b) Groundwater level monitoring of Danish chalk and limestone aquifers to survey trends in quantitative status and groundwater resources. From: Farrell, R. P., Massei, N., Foley, A. E., Howlett, P. R. and West, L. J. (eds) *The Chalk Aquifers of Northern Europe*. Geological Society, London, Special Publications, 517, <https://doi.org/10.1144/SP517-2022-5>

Hera-Portillo Á., López-Gutiérrez DL, Mayo J, López-Gunn E. & Henriksen HJ et al. (2021). An initial framework for understanding the resilience of aquifers to groundwater pumping. *Water (Switzerland)*, 13(4), [519]. <https://doi.org/10.3390/w13040519>

IPCC (2023) AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Working group I-III reports. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

Karlsson IB, Sonnenborg TO, Seaby LP, Jensen KH, Refsgaard JC (2015) Effect of a high-end CO₂-emission scenario on hydrology. *Clim Res* 64:39-54. <https://doi.org/10.3354/cr01265>

Meyer R, Engesgaard P, & Sonnenborg TO (2019). Origin and dynamics of saltwater intrusion in a regional aquifer: Combining 3-D saltwater modeling with geophysical and geochemical data. *Water Resources Research*, 55(3), 1792-1813. <https://doi.org/10.1029/2018WR023624>

Nilsson B, Ejrnæs R, Andersen DK, & Kazmierczak J et al. (2019). Vurdering af grundvandsforekomstens påvirkning af tilknyttede grundvandsafhængige terrestriske økosystemer i natura 2000 områder. (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport; Bind 2019, Nr. 35). GEUS. <https://doi.org/10.22008/gpub/32635>

Pasten Zapata E, Eberhart T, Schneider RJM, & Sonnenborg TO (2019). Analysis of climate and hydrological model uncertainty in climate change assessments in two Danish catchments.

Qin H, Zheng C, He X, & Refsgaard JC (2019). Analysis of water management scenarios using coupled hydrological and system dynamics modeling. *Water Resources Management*, 33(14), 4849-4863. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02410-9>

Rasmussen P, Sonnenborg TO, Gonciar G, and Hinsby K.: Assessing impacts of climate change, sea level rise, and drainage canals on saltwater intrusion to coastal aquifer, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 421–443, <https://doi.org/10.5194/hess-17-421-2013>, 2013.

Refsgaard JC, Sonnenborg TO, Butts MB & Christensen JH et al. (2016). Climate change impacts on groundwater hydrology - where are the main uncertainties and can they be reduced? *Hydrological Sciences Journal*, 61(13), 2312-2324. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1131899>

Seidenfaden IK, Sonnenborg TO, Stisen S, Kidmose J. (2022) Quantification of climate change sensitivity of shallow and deep groundwater in Denmark. *J. Hydrol. : Reg. Stud.* 2022, 41, 101100. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101100>.

Sebok E, Henriksen HJ, Pastén-Zapata E, & Berg P et al. (2022). Use of expert elicitation to assign weights to climate and hydrological models in climate impact studies. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(21), 5605-5625. <https://doi.org/10.5194/hess-26-5605-2022>

Sonnenborg T, Seifert D & Refsgaard JC (2015). Climate model uncertainty vs. conceptual geological uncertainty in hydrological modeling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 4353–4385. <https://doi.org/10.5194/hessd-12-4353-2015>

Stisen S, Ondracek M, Troldborg L, Schneider RJM, van Til MJ (2019). National Vandressource Model. Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019. GEUS rapport 2017/31.

Thorling L, Albers CN, Hansen B, Johnsen AR, Kazmierczak J, Mortensen MH & Troldborg, L., 2023: Grundvand. Status og udvikling 1989–2021. Teknisk rapport, GEUS 2023. https://www.geus.dk/Media/638175711147491678/Grundvand1989-2021_rev.pdf

Troldborg L. (2020). Afgrænsning af de danske grundvandsforekomster: Ny afgrænsning og delkarakterisering samt fagligt grundlag for udpegning af drikkevandsforekomster. (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport; Bind 2020, Nr. 1). GEUS. <https://doi.org/10.22008/gpub/32641>

Trolle D, Nielsen A, Andersen HE, Thodsen H, Olesen JE, Børgesen CD, & Refsgaard JC . et al. (2019). Effects of changes in land use and climate on aquatic ecosystems: Coupling of models and decomposition of uncertainties. *Science of the Total Environment*, 657, 627-633. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.055>

Appendix 1 Resultat af ressource vurdering – Opgjort ud fra kørsler med 'Almene vandværker - VF'

OPGJORT UD FRA ALMENE VANDFORSYNINGER (VF) - TAL I MILL. M3 / ÅR

scenario_navn	Indv. VF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ressource	Udnyt - %
HELE LANDET	343	1500	1291	1799	1518	1300	1665	4147	2795	1552	930	37%
HELE LANDET OSD/IOL(osd)	333	700	711	1092	979	629	783	3938	2630	1479	530	63%
dk1	122.85	159.10	116.76	190.35	151.41	99.25	165.64	427.59	326.79	180.16	106.77	115%
dk2	7.20	13.58	7.69	45.57	37.09	15.28	13.74	109.57	75.85	32.13	13.18	55%
dk3	29.33	87.89	143.88	90.84	94.82	63.35	93.83	218.88	150.68	62.38	59.82	49%
dk4	52.41	303.18	248.72	431.46	370.95	258.40	335.50	739.26	502.26	721.38	228.92	23%
dk5	79.90	545.82	471.61	585.23	480.21	359.36	617.58	1792.67	1146.53	214.70	254.35	31%
dk6	50.24	388.29	299.00	423.50	378.84	501.33	436.61	857.19	591.11	336.76	265.22	19%
dk7	0.66	2.37	3.17	31.96	5.14	2.69	2.44	2.02	1.80	4.06	2.02	33%
wb1	7.32	30.18	25.00	47.89	32.30	15.32	32.35	105.52	76.45	62.18	25.00	29%
wb2	4.84	52.38	22.01	27.43	31.53	70.61	59.30	79.63	57.84	27.99	27.43	18%
wb3	5.98	35.82	32.29	64.18	37.73	48.88	39.66	30.17	20.94	16.84	20.94	29%
wb4	1.77	17.17	18.67	23.15	20.66	23.54	19.44	126.17	84.20	22.10	18.67	9%
wb5	4.39	33.57	43.55	31.87	41.20	58.68	38.10	25.36	17.43	16.83	17.43	25%
wb6	1.92	23.40	11.22	19.02	24.04	12.98	26.87	21.57	14.36	7.06	11.22	17%
wb7	2.25	23.85	10.57	14.34	20.17	18.65	27.02	18.12	13.75	16.38	13.75	16%
wb8	2.88	22.02	9.57	15.47	24.78	16.92	25.23	32.15	24.19	24.58	15.47	19%
wb9	2.93	65.66	39.13	55.42	39.56	53.39	75.68	157.57	104.38	42.00	39.56	7%
wb10	8.85	30.05	39.84	38.01	28.73	35.73	32.49	32.32	22.84	37.18	28.73	31%
wb11	4.73	36.57	27.16	49.67	46.51	74.66	40.59	160.25	107.17	25.64	27.16	17%
wb12	2.39	17.62	20.00	37.04	31.61	71.97	19.87	68.38	47.55	37.98	19.87	12%
wb13	9.09	46.08	40.35	33.85	37.31	46.86	51.00	60.46	42.36	11.11	33.85	27%
wb14	9.66	52.06	64.54	106.42	89.22	59.24	57.09	327.07	206.18	51.20	52.06	19%
wb15	1.50	36.82	23.65	39.68	31.77	28.86	42.57	70.45	43.60	12.92	23.65	6%
wb16	6.05	21.59	22.74	30.83	29.66	19.23	21.42	52.11	34.22	10.05	19.23	31%
wb17	4.96	57.95	37.31	41.32	26.58	18.18	66.69	25.81	15.54	11.91	15.54	32%
wb18	5.19	24.24	21.28	66.39	56.85	57.00	26.20	1126.87	699.25	31.84	24.24	21%
wb19	9.02	175.11	166.33	182.90	114.10	57.09	200.71	46.11	38.33	32.29	38.33	24%
wb20	6.94	81.50	66.56	48.72	51.55	41.36	94.58	15.85	14.02	21.77	15.85	44%
wb21	18.23	25.28	10.93	19.23	21.96	18.08	31.84	37.42	28.56	16.50	16.50	110%
wb22	9.27	25.20	17.92	15.87	21.22	13.48	25.47	30.52	24.47	15.10	15.10	61%
wb23	10.13	48.07	48.61	30.20	39.32	26.84	54.65	199.50	133.26	27.64	27.64	37%
wb24	5.98	55.85	47.23	75.78	48.90	21.21	62.04	158.35	108.46	359.91	47.23	13%
wb25	3.82	22.02	3.31	24.45	21.74	16.37	24.02	30.53	22.16	19.19	16.37	23%
wb26	2.98	24.17	9.00	31.80	29.17	20.65	27.17	N.A.	N.A.	41.97	17.74	17%
wb27	2.04	9.08	7.79	35.12	18.11	15.29	9.55	39.30	27.33	26.59	9.08	22%
wb28	4.30	29.84	23.24	15.91	19.52	10.99	33.38	91.87	64.35	36.51	15.91	27%
wb29	3.37	22.67	24.41	52.07	42.48	54.32	24.91	88.64	60.24	69.44	24.41	14%
wb30	4.32	20.05	27.49	18.21	22.17	8.42	22.02	17.63	12.19	7.08	8.42	51%

wb31	3.60	9.96	4.15	49.73	41.06	25.52	10.33	N.A.	N.A.	86.31	8.51	42%
wb32	4.57	29.38	27.36	64.82	38.20	29.60	31.95	39.66	29.21	23.15	27.36	17%
wb33	7.03	28.68	25.79	33.36	49.71	28.56	31.69	73.77	45.06	23.58	25.79	27%
wb34	3.35	13.07	21.79	14.23	14.92	9.33	14.10	53.50	36.93	12.57	12.57	27%
wb35	2.38	16.93	28.22	7.93	10.52	14.56	18.71	28.47	19.45	6.24	7.93	30%
wb36	14.89	27.49	46.91	34.79	31.85	19.04	28.77	51.21	39.04	19.82	19.82	75%
wb37	4.14	13.25	22.08	13.97	16.38	7.10	13.75	10.47	7.30	10.58	7.30	57%
wb38	3.31	13.85	23.08	7.88	13.45	9.70	15.52	15.25	11.56	10.27	9.70	34%
wb39	5.54	13.71	5.09	17.12	10.01	8.73	14.39	39.27	27.89	11.73	8.73	63%
wb40	4.99	16.84	10.50	13.68	12.55	8.22	16.03	64.83	39.47	9.89	9.89	51%
wb41	32.60	25.57	15.60	19.79	16.59	13.47	29.01	32.93	27.41	23.90	15.60	209%
wb42	19.65	7.55	13.10	14.08	11.54	11.63	7.41	24.75	22.60	14.87	7.55	260%
wb43	3.08	12.44	8.82	6.27	4.82	3.53	13.33	N.A.	N.A.	13.26	4.50	68%
wb44	7.73	14.96	8.52	21.14	14.55	11.39	16.41	66.95	28.27	8.85	8.85	87%
wb45	5.58	18.12	8.52	21.81	16.29	9.92	15.80	51.27	37.74	21.27	9.92	56%
wb46	21.59	11.93	9.22	18.16	12.86	6.76	11.69	N.A.	40.13	26.13	8.92	242%
wb47	1.72	6.83	11.11	9.85	8.20	3.82	6.65	18.42	13.52	6.81	6.65	26%
wb48	12.28	14.61	12.42	26.58	20.25	8.91	16.88	46.70	33.83	20.66	12.42	99%
wb49	5.96	8.10	6.24	8.72	11.68	6.28	9.17	72.99	48.45	15.11	6.28	95%
wb50	2.12	8.44	7.63	13.14	12.05	6.61	8.85	9.47	7.47	7.68	7.47	28%
wb51	0.58	2.28	1.89	8.00	4.81	3.03	2.40	29.20	19.96	5.19	2.28	25%
wb52	2.67	2.82	2.70	11.82	9.94	4.18	3.06	50.95	36.30	15.79	2.82	95%
wb53	3.95	8.48	3.10	25.76	22.35	8.08	8.28	29.42	19.59	11.16	8.08	49%
wb54	0.16	0.72	0.91	1.71	1.69	0.60	0.76	0.40	0.36	0.50	0.40	41%
wb55	0.50	1.65	2.26	30.26	3.45	2.09	1.67	1.61	1.44	3.56	1.61	31%
wb56	0.98	3.05	1.31	10.27	5.50	2.59	2.67	46.90	27.62	2.17	2.17	45%
wb57	0.28	0.25	0.48	1.78	2.20	1.04	0.31	13.08	8.78	0.72	0.31	89%
wb58	0.27	3.41	0.35	N.A.	0.56	0.61	3.80	N.A.	N.A.	N.A.	0.46	59%
osddk1	122.06	54.99	63.21	150.11	118.12	69.05	130.09	422.50	295.74	175.90	80.74	151%
osddk2	6.65	5.23	4.48	28.72	21.26	6.82	7.57	99.03	68.39	28.99	6.93	96%
osddk3	28.40	65.90	9.13	63.00	70.52	30.98	66.15	208.68	143.83	81.23	49.53	57%
osddk4	49.79	202.59	194.13	245.80	262.72	149.85	170.63	704.15	478.62	664.62	127.11	39%
osddk5	77.26	233.80	242.61	350.73	306.77	176.04	246.71	1685.60	1078.76	205.36	144.81	53%
osddk6	48.06	184.35	151.77	237.85	196.50	194.27	160.80	816.44	563.10	318.55	119.31	40%
osddk7	0.65	1.88	2.16	15.50	2.85	1.92	1.43	1.96	1.75	3.94	1.25	52%
osdwb1	6.96	10.44	7.40	27.56	18.18	5.50	13.36	100.36	72.72	59.14	7.40	94%
osdwb2	4.72	14.31	7.83	11.24	10.68	10.04	15.95	77.72	56.45	27.31	10.04	47%
osdwb3	5.43	16.17	16.20	31.78	16.49	8.68	16.76	27.39	19.01	15.29	15.29	35%
osdwb4	1.64	5.18	6.12	20.44	8.77	10.00	5.21	117.30	78.28	20.55	5.21	32%
osdwb5	4.24	11.82	16.23	12.29	19.61	57.21	12.46	24.46	16.81	16.24	12.29	35%
osdwb6	1.81	7.87	2.94	11.62	14.57	2.31	9.02	20.32	13.54	6.66	2.94	62%
osdwb7	2.10	6.27	2.04	6.48	7.81	2.49	6.93	16.92	12.84	13.22	2.49	84%
osdwb8	2.71	2.31	2.29	11.49	19.99	7.04	2.77	30.20	22.73	23.10	2.31	117%
osdwb9	2.69	18.98	13.42	33.49	19.44	26.51	21.82	144.68	95.85	38.56	18.98	14%
osdwb10	8.75	27.56	19.76	20.17	16.47	11.59	28.00	31.94	22.58	36.74	16.47	53%
osdwb11	4.73	17.12	14.14	25.95	24.81	44.11	18.82	160.14	107.09	25.62	17.12	28%
osdwb12	2.27	8.60	9.63	25.34	19.68	8.78	9.71	65.01	45.21	36.11	8.78	26%
osdwb13	8.96	14.26	15.03	29.87	36.77	29.17	18.24	59.62	41.77	10.93	14.26	63%
osdwb14	9.19	21.45	29.68	62.12	56.67	29.83	23.98	311.08	196.10	48.70	23.98	38%
osdwb15	1.48	14.81	10.40	9.91	11.65	2.62	17.11	69.32	42.90	12.71	9.91	15%

osdwb16	5.89	12.76	11.15	16.44	17.66	12.12	12.97	50.66	33.27	9.78	11.15	53%
osdwb17	4.95	35.35	25.69	34.69	17.39	10.53	40.73	25.77	15.52	11.89	11.89	42%
osdwb18	4.82	8.32	8.93	23.70	22.87	11.23	10.14	1044.30	648.02	29.53	8.93	54%
osdwb19	8.62	61.60	71.13	115.06	72.55	37.72	70.44	44.07	36.63	30.85	36.63	24%
osdwb20	6.49	32.23	53.72	32.70	40.43	28.18	37.22	14.82	13.11	20.36	14.82	44%
osdwb21	18.23	5.49	8.42	16.15	17.38	9.69	4.83	37.42	28.56	16.50	5.49	332%
osdwb22	8.64	8.84	7.74	10.09	13.41	4.95	11.06	28.55	22.88	14.10	7.74	112%
osdwb23	9.94	21.10	23.20	23.54	29.27	15.37	25.32	195.65	130.69	27.11	21.10	47%
osdwb24	5.38	24.65	29.16	51.89	30.75	19.35	27.43	142.36	97.51	323.55	24.65	22%
osdwb25	3.72	0.84	1.34	10.88	11.29	8.40	0.52	29.80	21.62	18.72	0.84	446%
osdwb26	2.85	2.15	3.18	23.44	21.54	16.68	2.42	N.A.	N.A.	40.13	2.35	121%
osdwb27	1.95	2.46	2.21	13.25	12.87	11.05	3.15	37.83	26.30	25.58	2.46	79%
osdwb28	4.24	17.75	15.24	13.05	16.18	5.94	19.70	90.48	63.38	35.96	13.05	32%
osdwb29	3.18	25.05	19.44	29.32	32.62	23.77	28.35	83.81	56.96	65.66	23.77	13%
osdwb30	3.97	7.53	12.24	8.54	13.09	3.63	8.68	15.90	11.06	6.50	6.50	61%
osdwb31	3.19	2.29	2.01	24.34	25.80	13.93	2.54	N.A.	N.A.	76.41	2.22	144%
osdwb32	4.53	34.40	35.32	21.45	19.29	8.72	38.62	39.27	28.93	22.93	19.29	23%
osdwb33	6.58	10.69	9.01	26.11	50.01	22.73	13.65	69.06	42.18	22.07	10.69	62%
osdwb34	3.12	9.75	16.26	10.13	11.28	6.32	10.49	50.90	35.10	11.89	9.75	32%
osdwb35	2.16	10.93	18.21	5.76	7.25	3.09	11.79	25.61	17.51	5.65	5.65	38%
osdwb36	14.79	19.66	37.46	25.42	23.82	10.46	22.83	50.77	38.72	19.72	19.66	75%
osdwb37	3.84	8.53	15.04	11.14	13.57	5.33	9.21	9.96	6.86	10.06	6.86	56%
osdwb38	3.30	10.07	15.14	6.30	10.85	4.41	10.03	15.17	11.50	10.22	6.30	52%
osdwb39	5.54	6.12	2.45	10.48	6.92	4.08	7.76	39.27	27.89	11.73	4.08	136%
osdwb40	4.99	12.14	7.98	12.83	11.96	8.24	13.46	64.83	39.47	9.89	8.24	61%
osdwb41	32.40	24.71	15.12	19.50	16.01	12.34	27.84	32.72	27.24	23.75	15.12	214%
osdwb42	19.65	9.47	10.81	12.57	8.04	6.71	9.21	24.75	5.15	14.87	6.71	293%
osdwb43	3.07	10.14	6.00	5.19	3.50	1.63	9.53	N.A.	N.A.	4.49	3.03	101%
osdwb44	7.50	8.15	5.65	16.11	10.43	7.48	9.91	64.98	27.43	9.76	7.48	100%
osdwb45	5.48	9.04	5.24	14.07	10.92	4.95	10.09	50.29	37.02	20.87	5.24	105%
osdwb46	21.57	11.04	8.81	16.91	11.87	5.91	10.70	N.A.	29.65	31.05	8.45	255%
osdwb47	1.62	5.54	8.20	6.86	6.42	2.62	5.37	17.35	12.73	6.41	5.37	30%
osdwb48	12.27	11.84	8.80	19.20	15.14	6.95	13.64	46.63	33.78	20.63	8.80	139%
osdwb49	5.92	5.89	4.36	7.39	8.85	4.27	6.81	72.50	48.12	15.01	4.36	136%
osdwb50	2.05	5.77	2.79	9.00	8.07	3.87	5.76	9.18	7.24	7.45	3.87	53%
osdwb51	0.56	1.26	1.04	4.35	3.31	1.48	1.38	28.07	19.19	4.99	1.26	44%
osdwb52	2.20	1.67	1.63	7.69	6.00	2.15	1.75	41.96	29.90	13.00	1.67	132%
osdwb53	3.90	3.99	4.27	16.68	11.94	3.19	4.44	28.99	19.31	11.00	3.99	98%
osdwb54	0.16	0.55	0.71	0.68	1.08	0.49	0.58	0.40	0.36	0.50	0.40	41%
osdwb55	0.48	0.75	1.45	14.82	1.78	1.44	0.85	1.56	1.39	3.44	0.85	57%
osdwb56	0.93	1.58	1.15	2.68	1.72	0.92	1.65	44.23	26.05	2.05	1.15	80%
osdwb57	0.26	0.14	0.20	1.58	2.03	0.45	0.15	12.04	8.09	21.64	0.15	178%
osdwb58	0.27	0.21	0.20	N.A.	N.A.	0.28	0.24	N.A.	N.A.	N.A.	0.20	132%

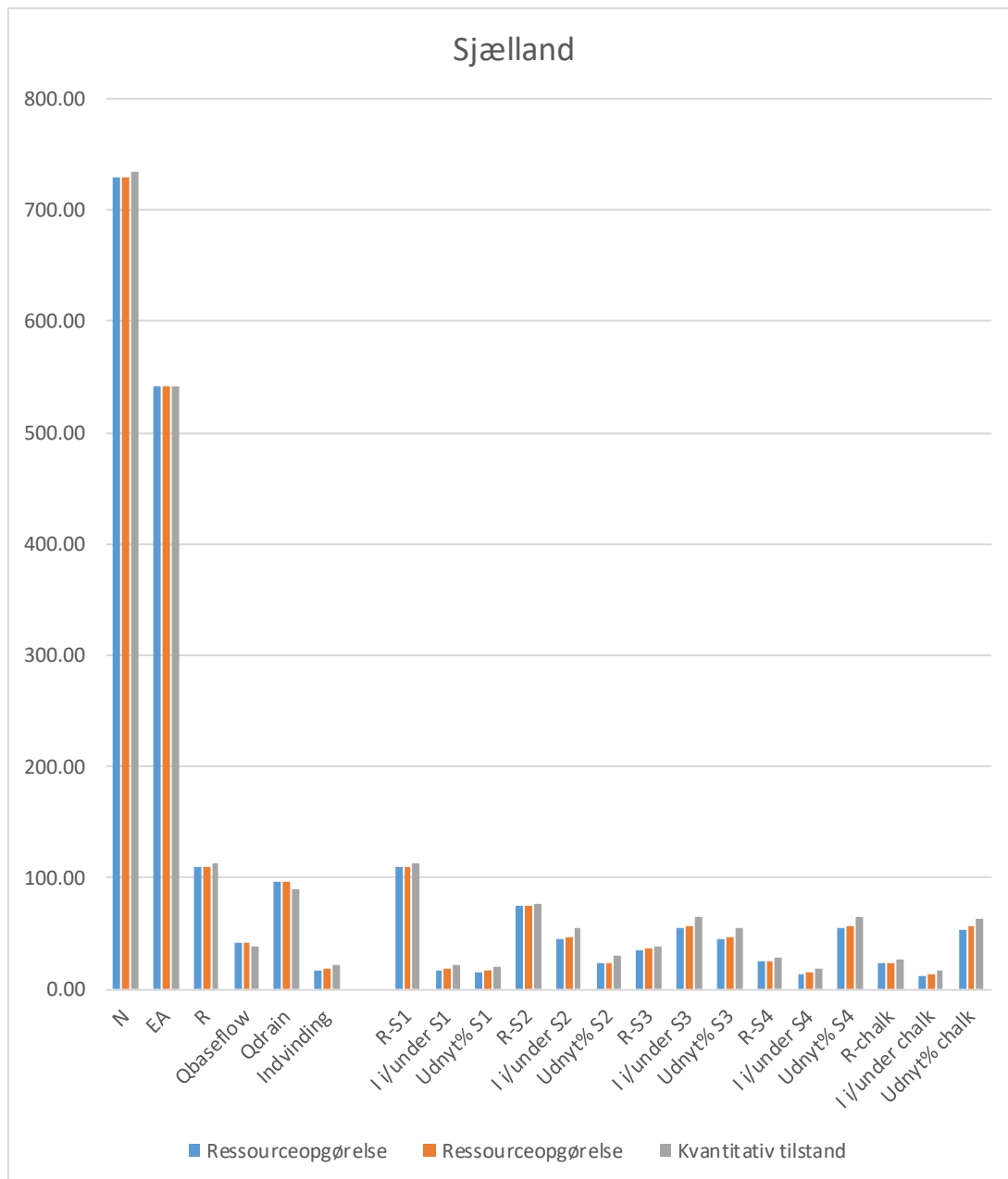
Appendix 2 Resultat af ressource vurdering – Opgjort ud fra kørsler med 'Alle indvindinger - ALT'

ALT MILL		ALT										
M3/år	Indv.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ressource	
scenarie_navn	ALT											
HELE	734	1532	1317	1909	1708	1456	1665	3461	2546	2778	1104	66%
OSD/IOL(osd)	454	710	725	991	956	663	783	2850	2056	1011	542	84%
dk1	131.28	159.35	116.23	193.61	151.58	99.35	165.64	410.18	317.60	193.03	112.85	116%
dk2	8.03	13.35	7.73	44.39	37.50	15.52	13.74	136.19	94.50	43.10	12.23	66%
dk3	33.27	87.10	146.05	92.21	95.05	57.78	93.83	163.31	119.93	132.93	81.24	41%
dk4	186.52	311.56	245.85	490.66	446.13	310.37	335.50	1223.40	872.23	1681.97	297.47	63%
dk5	269.87	563.53	488.53	623.72	568.43	474.12	617.58	866.51	665.28	405.49	460.39	59%
dk6	104.43	394.51	309.83	440.45	404.23	495.88	436.61	659.35	474.78	366.52	355.18	29%
dk7	0.66	2.37	3.18	23.64	4.89	3.11	2.44	2.23	1.71	4.64	2.13	31%
wb1	10.83	30.78	27.39	49.81	33.84	15.86	32.35	105.02	77.01	65.85	27.39	40%
wb2	8.84	52.99	22.63	31.40	34.83	44.80	59.30	184.08	129.21	51.22	31.40	28%
wb3	9.86	36.62	33.36	64.34	36.99	38.11	39.66	27.77	21.88	19.59	21.88	45%
wb4	3.02	17.28	18.89	23.87	21.13	16.42	19.44	73.52	49.87	24.40	17.28	18%
wb5	5.74	33.71	43.75	31.56	41.54	66.08	38.10	65.98	47.11	18.63	31.56	18%
wb6	2.88	23.54	11.41	19.54	24.92	18.70	26.87	18.84	13.40	8.48	11.41	25%
wb7	4.57	24.10	11.04	17.89	22.46	18.37	27.02	32.84	24.50	18.95	17.89	26%
wb8	5.41	22.28	9.48	17.04	27.22	21.98	25.23	31.78	23.65	29.54	17.04	32%
wb9	14.34	67.37	42.09	56.29	44.51	38.88	75.68	52.01	41.18	29.40	38.88	37%
wb10	14.31	29.25	42.05	44.53	33.64	36.09	32.49	44.57	28.91	44.03	29.25	49%
wb11	18.66	38.32	27.14	57.27	56.18	101.30	40.59	N.A.	N.A.	42.16	35.53	53%
wb12	5.96	18.26	20.60	26.89	26.98	79.27	19.87	22.95	18.06	14.28	18.06	33%
wb13	13.36	46.68	41.23	35.83	38.44	64.01	51.00	73.96	52.82	15.69	35.83	37%
wb14	55.47	54.84	67.00	127.13	108.19	52.87	57.09	165.10	128.84	89.86	54.84	101%
wb15	21.19	38.73	24.73	47.98	41.73	40.88	42.57	48.42	40.53	37.75	37.75	56%
wb16	9.85	22.32	24.45	31.59	31.23	25.79	21.42	63.33	42.17	14.17	21.42	46%
wb17	11.77	58.72	39.31	34.01	29.46	25.83	66.69	31.76	22.14	18.14	22.14	53%
wb18	24.40	24.68	19.79	71.22	64.51	81.15	26.20	138.86	104.53	56.99	24.68	99%
wb19	91.19	186.47	176.64	193.81	160.94	93.93	200.71	244.97	197.80	109.47	109.47	83%
wb20	13.16	82.11	67.25	46.56	50.18	58.82	94.58	29.76	22.18	30.23	29.76	44%
wb21	18.64	25.30	10.88	19.03	21.90	17.36	31.84	38.16	28.37	16.82	16.82	111%
wb22	10.83	23.68	17.26	16.55	21.84	13.47	25.47	32.19	25.90	16.37	16.37	66%
wb23	12.05	48.33	49.11	29.47	38.52	25.54	54.65	159.42	109.58	29.77	29.47	41%
wb24	43.00	61.12	47.57	89.93	68.91	30.07	62.04	273.58	198.68	533.42	47.57	90%
wb25	9.89	22.88	1.40	27.93	22.76	17.52	24.02	52.53	38.00	32.90	17.52	56%
wb26	17.00	26.03	6.78	38.89	37.18	35.65	27.17	215.14	151.42	74.17	26.03	65%
wb27	14.69	9.22	7.47	38.24	26.42	20.86	9.55	63.37	48.24	52.48	9.22	159%
wb28	5.45	30.02	23.61	16.53	20.06	11.58	33.38	88.80	62.85	103.28	16.53	33%
wb29	23.89	22.91	23.90	61.63	53.74	60.02	24.91	121.31	90.51	111.82	23.90	100%
wb30	5.87	20.33	27.92	17.80	22.39	8.78	22.02	21.17	14.65	8.65	8.78	67%
wb31	14.12	10.11	6.92	59.66	49.36	39.78	10.33	53.17	39.52	592.16	10.11	140%
wb32	31.61	28.31	24.87	75.74	53.49	30.09	31.95	75.73	60.39	57.77	28.31	112%
wb33	8.56	28.88	25.92	34.83	52.63	29.85	31.69	99.18	58.38	35.55	28.88	30%

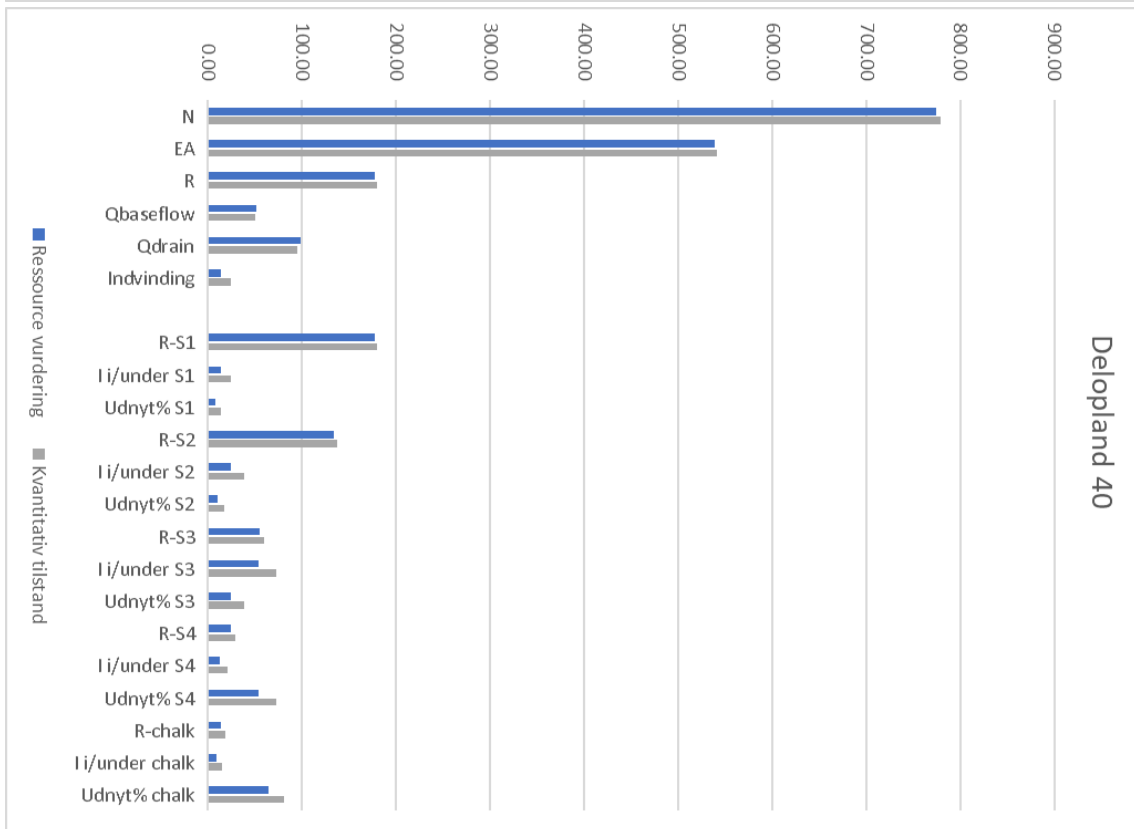
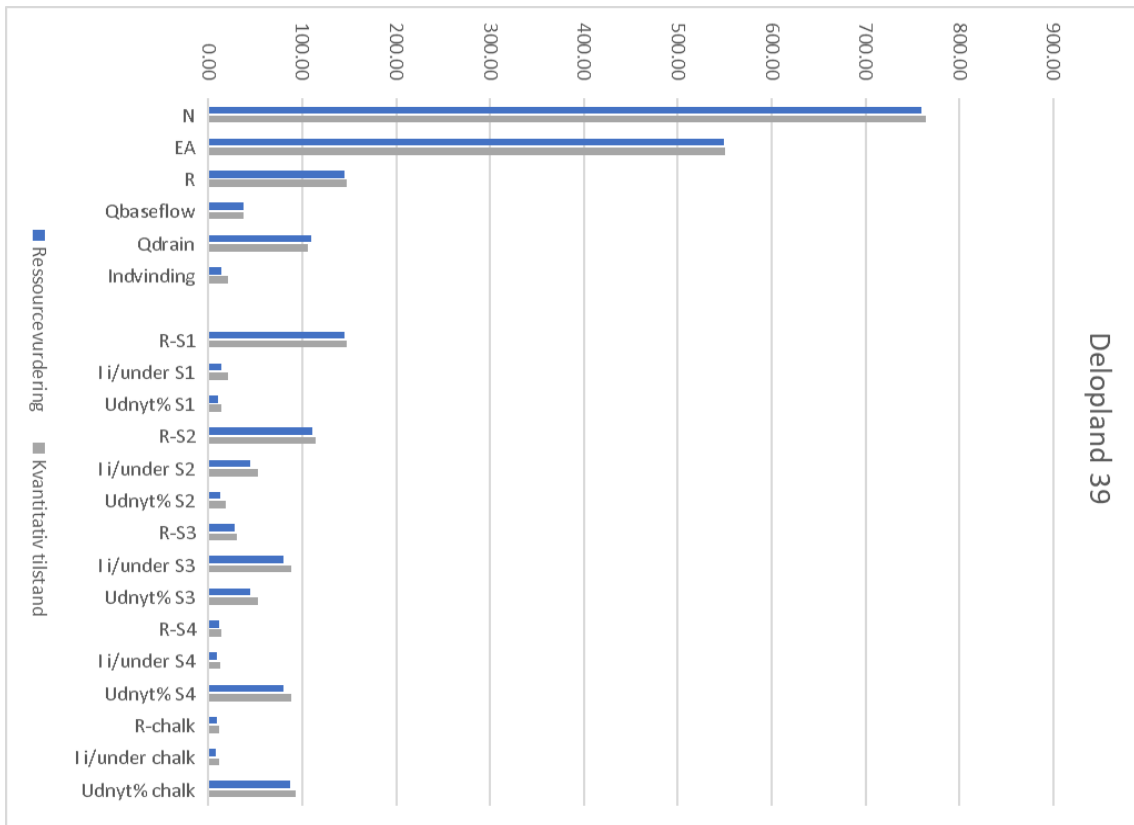
wb34	4.18	13.35	22.25	14.87	14.63	9.57	14.10	27.62	21.64	19.69	13.35	31%
wb35	2.61	16.99	28.32	8.24	10.65	10.63	18.71	23.13	16.30	6.78	8.24	32%
wb36	16.86	26.08	48.06	34.46	31.76	18.71	28.77	55.48	43.52	52.45	26.08	65%
wb37	4.48	13.39	22.32	13.83	16.33	6.89	13.75	11.42	7.81	10.87	7.81	57%
wb38	3.87	13.98	23.31	8.73	13.95	8.26	15.52	18.96	14.22	15.65	8.73	44%
wb39	5.78	13.45	5.16	16.96	9.85	8.90	14.39	33.50	23.80	11.30	8.90	65%
wb40	5.05	16.72	10.54	13.47	12.27	7.61	16.03	53.20	33.12	9.90	9.90	51%
wb41	34.54	25.99	15.31	19.85	16.43	13.59	29.01	34.07	28.18	24.88	15.31	226%
wb42	20.73	7.54	13.03	14.64	11.74	11.66	7.41	24.13	23.04	15.24	7.54	275%
wb43	3.67	12.60	8.08	6.58	4.96	3.80	13.33	N.A.	N.A.	5.02	4.67	78%
wb44	8.13	14.70	8.52	21.06	14.56	11.41	16.41	53.10	25.52	9.62	9.62	84%
wb45	6.00	17.20	8.34	21.58	16.25	10.40	15.80	75.85	51.92	28.65	10.40	58%
wb46	23.25	12.06	8.91	18.88	12.89	6.60	11.69	N.A.	34.87	27.76	8.62	270%
wb47	2.58	7.87	11.91	11.18	8.57	3.79	6.65	16.30	12.34	12.67	6.65	39%
wb48	12.49	14.63	12.42	26.46	20.14	8.79	16.88	51.49	35.66	20.93	12.42	101%
wb49	6.75	8.07	6.25	9.25	11.87	6.12	9.17	58.01	40.96	16.36	6.25	108%
wb50	2.31	8.51	7.76	13.71	12.04	6.69	8.85	10.53	8.20	10.69	7.76	30%
wb51	0.60	2.29	1.91	8.05	4.83	2.62	2.40	56.80	38.41	5.95	2.29	26%
wb52	2.99	2.83	2.67	11.74	10.32	4.63	3.06	50.64	36.44	20.60	2.83	106%
wb53	4.45	8.23	3.15	24.60	22.35	8.28	8.28	28.76	19.65	16.54	8.23	54%
wb54	0.16	0.72	0.91	2.20	1.60	0.91	0.76	0.36	0.35	0.58	0.36	46%
wb55	0.50	1.65	2.26	21.44	3.29	2.20	1.67	1.87	1.36	4.06	1.65	30%
wb56	0.99	3.05	1.31	10.27	5.50	2.65	2.67	26.71	16.45	3.16	2.65	37%
wb57	0.28	0.25	0.48	1.81	2.23	1.07	0.31	N.A.	N.A.	24.33	0.30	95%
wb58	0.40	3.43	0.39	N.A.	0.67	0.63	3.80	N.A.	N.A.	50.00	0.51	79%
osddk1	128.35	55.24	63.10	151.23	117.28	67.70	130.09	398.65	317.46	177.97	81.28	158%
osddk2	7.13	5.29	4.50	27.39	21.03	6.63	7.57	120.42	83.32	82.87	6.99	102%
osddk3	30.42	63.25	9.08	61.88	69.06	29.98	66.15	148.11	108.82	73.77	49.62	61%
osddk4	89.66	208.38	202.37	233.52	257.32	133.31	170.63	983.54	680.10	215.13	130.43	69%
osddk5	132.95	232.16	240.01	285.47	294.23	225.32	246.71	654.27	477.71	218.44	162.60	82%
osddk6	64.67	186.20	162.49	217.99	194.45	198.59	160.80	543.10	386.54	241.06	110.00	59%
osddk7	0.65	1.88	2.16	13.08	2.86	1.84	1.43	2.17	1.97	1.69	1.21	53%
osdwb1	8.39	10.81	8.02	26.91	17.61	6.82	13.36	96.27	70.14	14.50	8.02	105%
osdwb2	5.29	16.08	8.02	10.39	9.79	10.42	15.95	152.86	106.65	22.96	9.79	54%
osdwb3	6.38	15.36	15.56	29.79	16.01	8.58	16.76	21.64	16.62	12.75	12.75	50%
osdwb4	1.84	4.94	6.16	19.82	8.96	6.00	5.21	65.71	44.29	25.44	5.21	35%
osdwb5	4.65	11.46	16.29	12.08	19.67	37.57	12.46	59.18	42.10	10.64	11.46	41%
osdwb6	1.99	7.89	2.90	10.35	13.64	2.09	9.02	15.36	10.80	4.78	2.90	69%
osdwb7	2.52	6.68	2.17	6.42	7.94	2.91	6.93	23.68	17.44	7.07	2.91	87%
osdwb8	3.63	2.70	2.61	10.29	18.56	8.23	2.77	25.03	18.43	7.53	2.70	134%
osdwb9	5.98	19.39	14.28	26.91	19.84	32.62	21.82	32.36	24.78	9.17	14.28	42%
osdwb10	10.33	25.16	19.10	17.57	15.62	13.43	28.00	32.25	20.98	20.00	15.62	66%
osdwb11	10.33	16.31	12.82	31.46	33.66	57.45	18.82	N.A.	N.A.	100.00	15.44	67%
osdwb12	3.34	8.91	9.89	16.01	13.13	12.46	9.71	18.76	14.32	6.22	8.91	37%
osdwb13	10.21	14.48	15.12	27.59	34.62	50.96	18.24	63.70	45.06	12.95	14.48	71%
osdwb14	20.57	22.08	29.39	58.74	51.58	19.32	23.98	119.18	86.56	32.02	22.08	93%
osdwb15	6.21	15.29	10.49	8.21	10.89	10.00	17.11	28.78	22.24	14.83	10.00	62%
osdwb16	7.19	12.14	10.96	16.43	18.13	16.73	12.97	55.20	36.20	15.62	12.14	59%
osdwb17	9.28	35.78	27.13	23.73	18.19	15.73	40.73	27.48	18.73	15.60	15.73	59%
osdwb18	9.30	9.23	9.05	23.90	23.11	11.49	10.14	112.78	81.75	21.94	9.23	101%

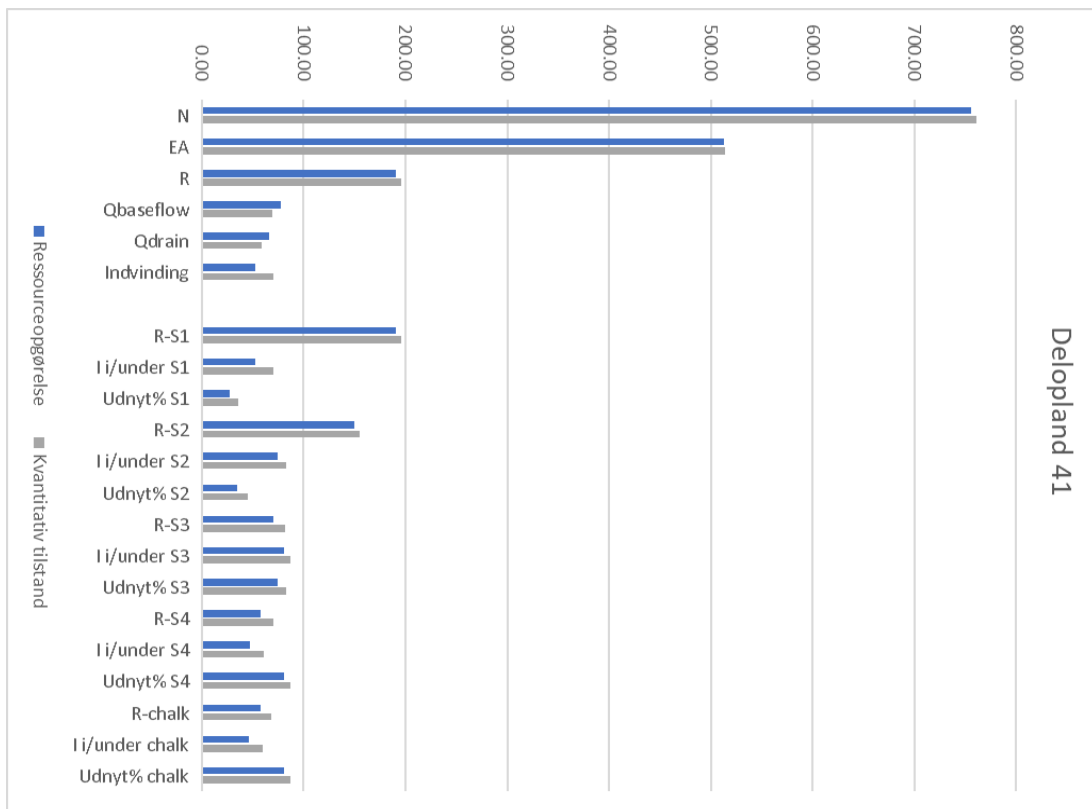
osdwb19	33.30	64.86	75.75	71.51	68.45	48.71	70.44	157.72	119.56	43.23	48.71	68%
osdwb20	9.15	32.47	54.12	29.52	38.82	38.33	37.22	23.33	16.85	16.18	16.85	54%
osdwb21	18.60	5.47	8.52	15.95	17.31	9.14	4.83	38.11	28.32	27.69	5.47	340%
osdwb22	9.14	9.04	7.90	9.88	13.13	4.90	11.06	27.99	22.44	18.40	7.90	116%
osdwb23	10.77	20.92	22.95	21.71	27.43	12.27	25.32	152.03	104.26	21.36	20.92	51%
osdwb24	15.74	26.40	30.44	43.81	25.70	12.51	27.43	198.36	139.04	35.61	25.70	61%
osdwb25	4.89	0.64	1.63	10.10	9.93	4.77	0.52	39.55	27.74	6.97	0.64	762%
osdwb26	7.30	3.19	4.60	22.16	20.66	14.01	2.42	177.20	122.56	37.62	3.19	229%
osdwb27	4.48	3.22	2.83	10.94	11.66	7.45	3.15	40.55	29.33	15.35	3.15	142%
osdwb28	5.02	17.89	15.52	13.20	16.18	4.85	19.70	85.95	60.76	18.87	13.20	38%
osdwb29	11.71	26.07	20.13	30.85	34.12	24.92	28.35	92.81	67.17	30.46	24.92	47%
osdwb30	4.28	7.47	12.38	7.76	12.72	3.26	8.68	16.40	11.32	4.94	4.94	87%
osdwb31	5.46	3.25	2.87	23.97	24.00	11.29	2.54	35.94	25.29	8.54	2.87	190%
osdwb32	12.09	35.47	36.07	21.74	20.26	11.59	38.62	52.72	38.59	20.21	20.21	60%
osdwb33	7.65	10.45	9.00	27.27	54.66	26.11	13.65	92.03	54.04	15.20	10.45	73%
osdwb34	3.74	10.70	16.62	10.14	10.51	6.04	10.49	25.05	19.61	10.12	10.12	37%
osdwb35	2.23	10.96	18.27	5.70	7.16	3.19	11.79	19.52	13.78	8.50	5.70	39%
osdwb36	15.64	19.47	37.90	24.54	23.62	10.54	22.83	50.36	39.70	26.55	19.47	80%
osdwb37	4.01	8.40	15.20	10.76	13.15	5.14	9.21	10.44	7.05	6.52	6.52	61%
osdwb38	3.60	9.39	15.22	6.50	10.85	3.69	10.03	17.57	13.18	7.42	6.50	55%
osdwb39	5.72	6.16	2.44	10.30	6.67	4.10	7.76	33.16	23.55	9.03	4.10	139%
osdwb40	5.05	12.09	8.02	12.64	11.68	7.45	13.46	53.20	33.12	16.06	8.02	63%
osdwb41	34.17	25.11	14.88	19.47	15.77	12.36	27.84	33.70	27.87	17.71	14.88	230%
osdwb42	20.16	9.51	10.78	12.75	8.05	6.54	9.21	23.47	22.41	18.69	8.05	250%
osdwb43	3.55	9.05	5.80	5.30	3.55	1.48	9.53	N.A.	N.A.	N.A.	2.77	128%
osdwb44	7.67	8.17	5.67	15.74	10.37	7.65	9.91	50.12	24.09	13.34	7.65	100%
osdwb45	5.84	8.93	5.24	14.31	11.02	5.13	10.09	73.78	50.51	15.50	5.24	112%
osdwb46	22.87	11.14	8.59	17.40	11.75	5.73	10.70	N.A.	42.48	35.05	8.23	278%
osdwb47	2.34	5.74	8.88	7.60	6.50	2.39	5.37	14.78	11.19	7.21	5.37	44%
osdwb48	12.34	11.87	8.83	19.09	15.01	6.71	13.64	50.86	35.22	25.44	8.83	140%
osdwb49	6.54	5.97	4.37	7.68	8.97	4.35	6.81	56.01	39.56	16.17	4.37	150%
osdwb50	2.10	5.69	2.79	8.96	7.95	3.80	5.76	9.59	7.46	3.77	3.77	56%
osdwb51	0.57	1.25	1.04	4.39	3.31	1.42	1.38	54.03	36.54	62.12	1.25	45%
osdwb52	2.29	1.69	1.63	7.70	6.01	2.13	1.75	38.77	27.90	13.97	1.69	136%
osdwb53	4.28	4.06	4.26	15.30	11.72	3.09	4.44	27.62	18.89	6.78	4.06	106%
osdwb54	0.16	0.55	0.71	0.68	1.11	0.54	0.58	0.36	0.35	0.81	0.36	46%
osdwb55	0.48	0.75	1.45	12.40	1.76	1.30	0.85	1.80	1.62	0.89	0.85	57%
osdwb56	0.93	1.58	1.15	2.68	1.72	0.92	1.65	25.18	15.50	14.66	1.15	80%
osdwb57	0.26	0.14	0.20	1.58	2.04	0.46	0.15	N.A.	N.A.	N.A.	0.15	180%
osdwb58	0.27	0.21	0.22	N.A.	N.A.	0.28	0.24	N.A.	N.A.	N.A.	0.21	116%

Appendix 3 Sammenligning af vandbalancetal for Sjælland ved nye ressourceopgørelse sammenlignet med kvantitativ tilstand



Figur A.1 Vandbalance tal for Sjælland baseret på henholdsvis ny ressourceopgørelse (1991-2020 blå: almene vandværker og orange: alle indvindinger; middelindvinding som de seneste fem år 2017-2021), og grå: modelkørsel baseret for kvantitativ tilstand (1991-2018, aktuelle indvindinger hvert år) – vandbalance-tal mm/år





Figur A.2 Sammenligning af vandbalancetal for ny ressourceopgørelse for delopland 39-41 (1991-2020 blå: ressourcevurdering almene vandværker indvinding midlet over 2017-2021, grå modelkørsel fra kvantitativ tilstand 1991-2018 med aktuelle indvindinger alle)

Appendix 4 Indvindingsfordeling på magasin for VF scenariet (%) og middeldybde til topmagasin og primært magasin for domæner og deloplade

Opland Scenarie	Areal_km2 VF	% indvinding pr. magasin lag										Middeldybde til top af magasin i hvert deloplade (m)													
		grøn : Top magasin					blå : Primært magasin					kalk		Top	Prim	dybde									
		mag1	mag2	mag3	mag4	mag5	mag6	mag7	mag8	mag9	mag10	mag1	mag2	mag1	mag2	mag1	mag2	mag3	mag4	mag5	mag6	mag7	mag8	mag9	mag10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	mag	mag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
dk1	7211	0%	5%	14%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	75%	2	3	4.8	14.9	30.8	42.4							59.9
dk2	2033	0%	6%	28%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	64%	2	4	3.7	11.7	23.3	40.7							52.5
dk3	3484	0%	45%	38%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	2	3	7.3	27.3	58.8								134.5
dk4	7907	0%	19%	25%	26%	8%	8%	9%	1%	2%	1%	1%	2	3	2.5	11.6	26.5	56.4	89.4	133.7	155.6	186.8	187.8	215.0	216.4
dk5	11569	0%	3%	19%	34%	4%	1%	4%	15%	1%	8%	9%	3	4	2.6	7.7	19.7	37.9	55.5	74.5	76.3	85.2	112.4	118.2	132.0
dk6	9947	0%	17%	33%	5%	0%	0%	1%	3%	0%	1%	40%	2	3	3.4	12.5	30.8	51.2	80.7	81.3	82.0	83.5	84.9	89.2	90.1
dk7	147	0%	14%	12%	43%	22%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	3	4	3.0	6.7	17.4	29.1	45.7	70.2					
wb1	873	0%	37%	61%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2	3	2.5	12.9	33.2	60.8	174.9	175.4	175.9	176.9	177.4	177.9	178.4
wb2	1060	0%	35%	59%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2	3	2.7	15.1	39.4	76.9	177.7	178.2	178.7	179.7	180.2	181.2
wb3	1041	0%	9%	52%	3%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	33%	2	3	4.7	11.8	24.8	52.8	78.3	78.8	79.3	80.3	80.8	81.3	81.8
wb4	620	0%	4%	3%	4%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	85%	3	4	2.9	7.5	18.1	26.5	35.5	36.0	36.5	37.5	38.0	38.5	39.0
wb5	1021	0%	14%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	83%	2	3	5.8	26.6	36.4	39.3	41.5	42.0	42.5	43.5	44.1	58.4	58.9
wb6	439	0%	57%	24%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	17%	2	3	3.0	12.2	31.9	48.2	55.5	56.0	56.5	57.5	58.0	78.2	79.0
wb7	539	0%	46%	39%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	2	3	2.5	16.3	33.5	43.6	45.5	46.0	46.5	47.5	48.0	49.8	50.9
wb8	385	0%	4%	34%	0%	0%	0%	2%	45%	0%	13%	1%	2	3	3.2	15.9	47.6	65.7	70.2	72.0	77.1	92.3	115.6	152.5	159.9
wb9	1105	0%	9%	23%	8%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	57%	2	3	2.5	13.0	30.2	44.5	53.9	54.4	54.9	55.9	56.4	56.9	57.4
wb10	765	0%	1%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	91%	3	4	3.9	8.7	21.5	37.4	46.6	47.1	47.6	48.6	49.1	49.6	50.1
wb11	1326	0%	3%	51%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	28%	1	4	2.5	4.6	30.5	56.2	70.1	70.6	71.1	72.1	72.6	73.1	74.9
wb12	768	0%	3%	24%	22%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	48%	3	4	4.2	6.7	26.9	53.3	66.3	66.8	67.3	68.3	68.8	69.3	69.8
wb13	1149	0%	2%	13%	35%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	47%	3	4	2.5	5.3	20.2	38.7	56.0	57.0	58.0	59.0	60.1	61.1	63.4
wb14	1631	0%	1%	8%	5%	1%	4%	65%	0%	10%	0%	3%	4	2.5	4.7	24.5	39.5	59.2	85.7	86.7	86.7	96.6	161.2	162.2	185.9
wb15	761	0%	5%	36%	27%	1%	0%	0%	16%	1%	13%	0%	3	4	2.5	4.4	21.7	46.5	70.6	76.2	77.2	78.2	93.4	94.4	121.9
wb16	985	0%	0%	23%	61%	1%	1%	1%	3%	1%	4%	6%	4	5	2.5	7.2	11.4	32.9	49.0	51.3	52.3	53.3	59.5	60.5	64.6
wb17	1168	0%	16%	20%	9%	1%	1%	1%	2%	2%	1%	47%	2	3	3.2	12.9	35.5	49.9	53.1	54.1	55.1	56.1	57.1	58.1	58.6
wb18	992	0%	1%	20%	53%	8%	2%	14%	4%	0%	0%	0%	3	4	2.5	4.4	16.6	41.1	83.7	131.6	134.6	162.5	201.7	219.5	230.9
wb19	2497	0%	1%	5%	9%	22%	2%	24%	32%	0%	4%	0%	3	5	2.5	4.1	10.3	24.1	35.4	80.2	83.9	103.7	154.0	170.7	190.7
wb20	1123	0%	2%	12%	10%	4%	1%	1%	30%	2%	37%	1%	2	4	2.5	11.2	17.5	39.5	56.4	63.2	64.2	66.7	86.2	87.2	112.0
wb21	647	0%	0%	25%	67%	0%	0%	0%	1%	1%	4%	2%	2	4	2.5	16.0	18.4	42.5	58.6	59.8	60.8	61.8	63.5	64.5	67.4
wb22	611	0%	8%	38%	32%	1%	0%	0%	2%	1%	17%	1%	2	3	2.5	20.6	36.3	50.0	73.0	74.0	75.0	79.9	81.9	82.9	85.9
wb23	725	0%	32%	15%	7%	1%	3%	30%	2%	5%	3%	1%	2	3	2.5	14.8	30.5	46.3	52.4	60.0	65.4	85.6	86.8	95.4	102.9
wb24	1090	0%	4%	27%	36%	10%	9%	11%	0%	2%	0%	0%	3	4	2.5	5.1	13.4	36.7	63.4	112.6	134.2	207.3	208.3	247.0	248.8
wb25	479	0%	0%	22%	63%	3%	11%	2%	0%	0%	0%	0%	3	4	2.5	5.4	16.7	54.1	111.5	133.8	144.0	246.2	247.2	290.3	290.8
wb26	515	0%	0%	13%	68%	4%	2%	3%	8%	1%	0%	0%	3	4	2.5	3.7	11.6	44.8	97.6	130.4	153.2	216.8	217.8	247.3	247.8
wb27	474	-2%	9%	49%	31%	12%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	3	4	2.5	9.1	27.9	63.2	97.8	124.9	145.9	185.0	186.0	209.5	210.1
wb28	488	0%	7%	42%	25%	1%	6%	14%	1%	3%	1%	0%	2	3	2.5	18.7	40.7	71.3	83.8	86.3	94.1	106.1	107.1	117.6	119.2
wb29	978	0%	1%	14%	25%	23%	31%	0%	1%	5%	0%	0%	3	4	2.5	8.2	21.6	43.1	66.1	119.5	148.2	177.8	178.8	219.4	219.9
wb30	489	0%	5%	41%	36%	4%	3%	0%	1%	5%	0%	5%	2	3	2.5	23.6	28.6	54.8	70.5	79.1	91.3	110.0	111.0	120.8	121.4
wb31	842	0%	34%	32%	6%	3%	24%	0%	0%	1%	0%	0%	3	4	2.5	4.7	32.6	74.0	128.5	210.5	251.1	255.8	256.8	280.4	280.9
wb32	1075	0%	30%	28%	11%	27%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	3	4	2.5	8.0	29.0	76.8	127.2	230.8	264.3	265.3	266.3	298.1	298.6
wb33	692	0%	46%	15%	21%	9%	7%	1%	0%	1%	0%	0%	2	3	2.5	35.6	44.8	61.9	83.7	92.6	106.3	108.2	109.2	131.2	131.7
wb34	535	0%	66%	34%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2	2	5.2	21.6	56.4								161.2
wb35	479	0%	59%	41%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2	2	7.2	33.4	73.2								174.2
wb36	1044	0%	34%	52%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14%	2	2	7.1	29.0	65.0								125.9
wb37	606	0%	25%	19%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	56%	2	2	9.0	28.7	50.6								79.1
wb38	406	0%	90%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	2	2	7.9	26.2	65.1								140.2
wb39	391	0%	12%	23%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	59%	2	3	3.3	12.0	33.0	53.0							59.3
wb40	353	1%	3%	5%	30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	61%	2	3	3.4	13.1	33.6	57.3							82.7
wb41	624	0%	1%	10%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	88%	2	3	3.9	12.2	33.6	42.4							43.9
wb42	505	0%	3%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	94%	3	11	4.1	9.2	15.3	17.4							19.2
wb43	316	0%	11%	19%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	68%	2	3	4.3	13.2	32.3	41.4							47.8
wb44	756	1%	18%	59%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	2	3	6.1	21.2	40.3	57.7							81.2
wb45	959	1%	36%	49%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	2	3	6.4	21.0	39.8	58.4							106.5
wb46	622	0%	2%	6%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	90%	2	4	4.5	12.0	23.1	29.4							40.1
wb47	501	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	97%	3	11	3.8	10.0	16.0	17.4							18.8
wb48	837	0%	3%	7%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	87%	2	3	4.5	16.9	33.3	43.4							63.7
wb49	731	0%	1%	37%	44%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	2	3	4.9	14.9	28.5	41.2							70.0
wb50	614	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	98%	2	3	5.7	13.6	30.2	38.6							41.6
wb51	237	1%	0%	2%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	94%	3	4	3.0	14.9	20.0	41.1							45.3
wb52	512	0%	2%	11%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	85%	3	4	3.6	9.1	21.5	32.1							36.4
wb53	1281	1%	9%	44%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	45%	2	4	3.9	12.2	24.6	44.0							60.3
wb54	76	10%	6%	12%	32%	19%	19%	0%	0%	0%	0%	0%	3	4	3.0	7.8	29.2	41.0	61.2						
wb55	70	0%	9%	6%	53%	12%	12%	7%	0%	0%	0%	0%	3	4	3.0	5.6	16.8	28.8	50.5	79.9					
wb56	276	0%	2%	33%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	59%	2	3											

