

GEUS

GEUS' opgørelse af tilgængelig vandmængde i hver grundvandsforekomst

National Vandressourceopgørelse og Kvantitativ tilstandsvurdering

Lars Troldborg, Chefkonsulent,

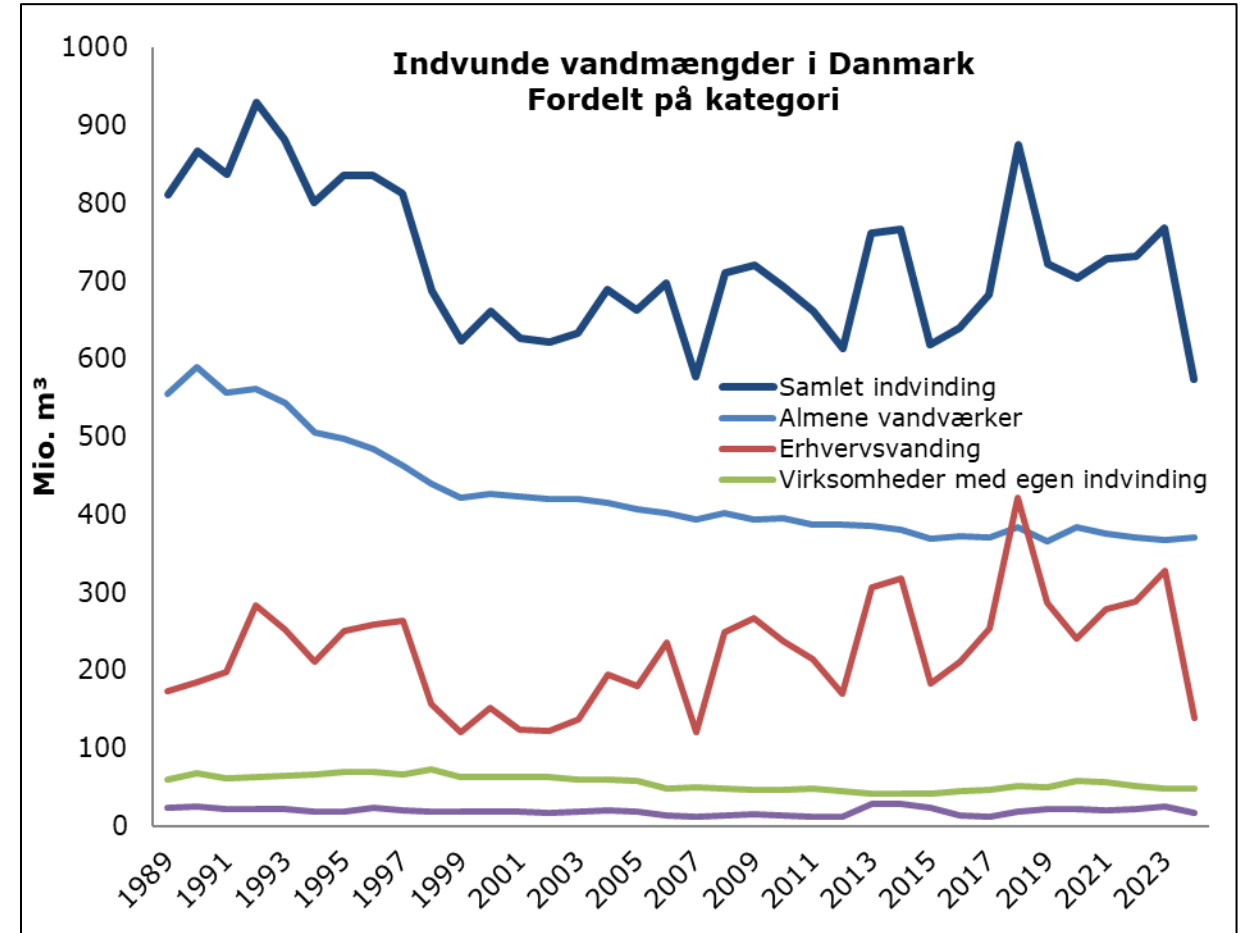
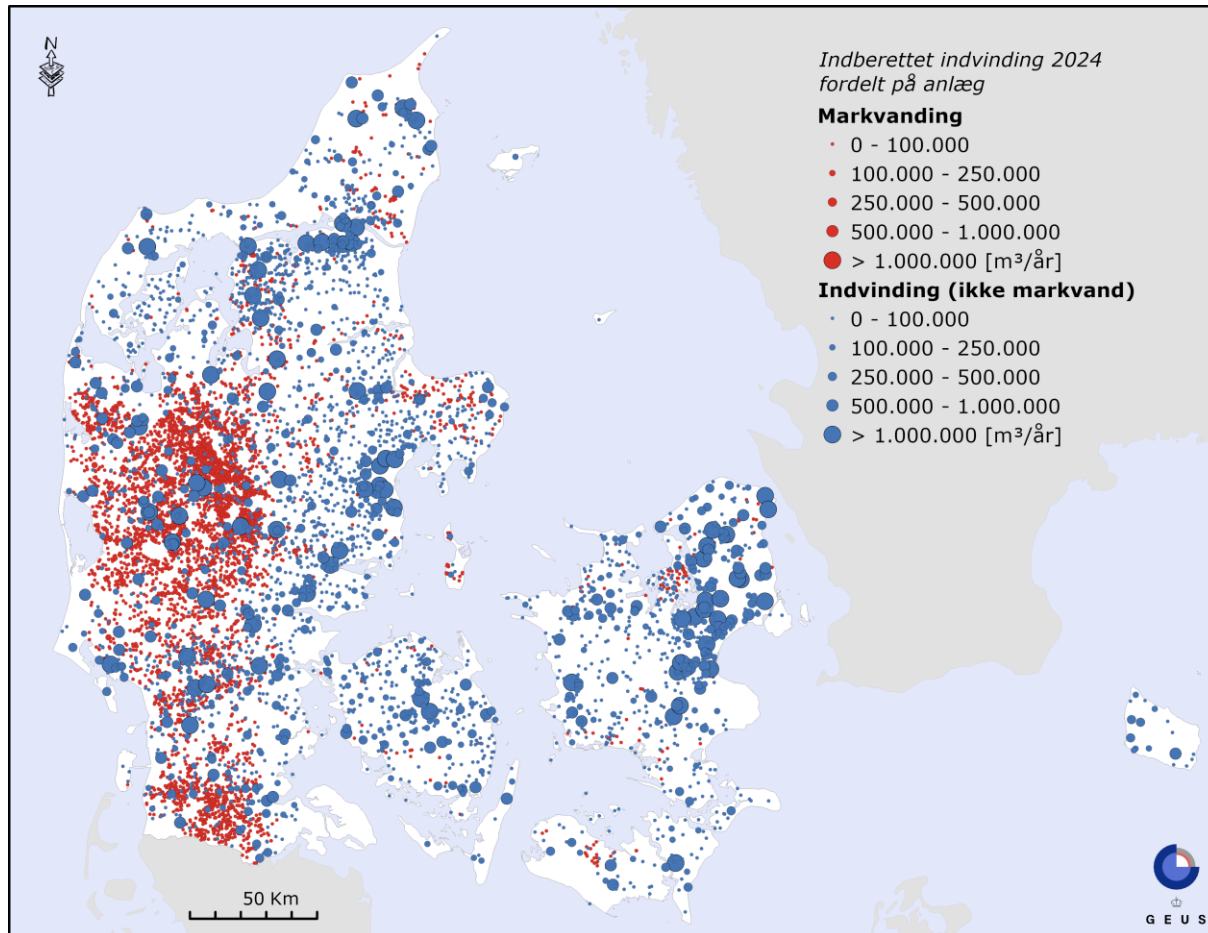
Hydrologisk afdeling, GEUS

ltr@geus.dk



GEUS

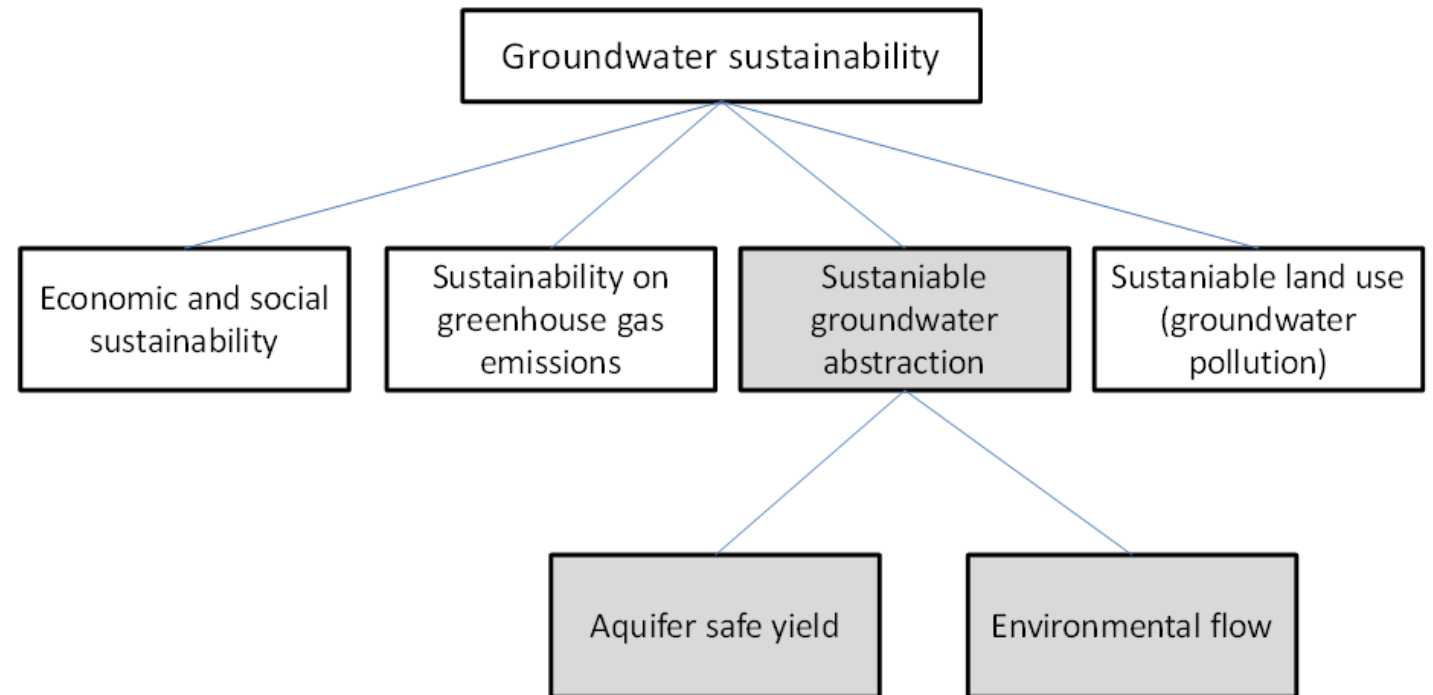
Grundvandsovervågningen – udvikling i indvinding



Thorling, L., Albers, C.N., Hansen, B., Kidmose, J., Johnsen, A.R., Mortensen, M.H., Trolborg, L., & Voutchkova 2025: *Grundvand. Status og udvikling 1989–2024*. Teknisk rapport, GEUS 2025. doi: 10.22008/gpub/38957

Hvad indgår i tilstandsvurderingen ?

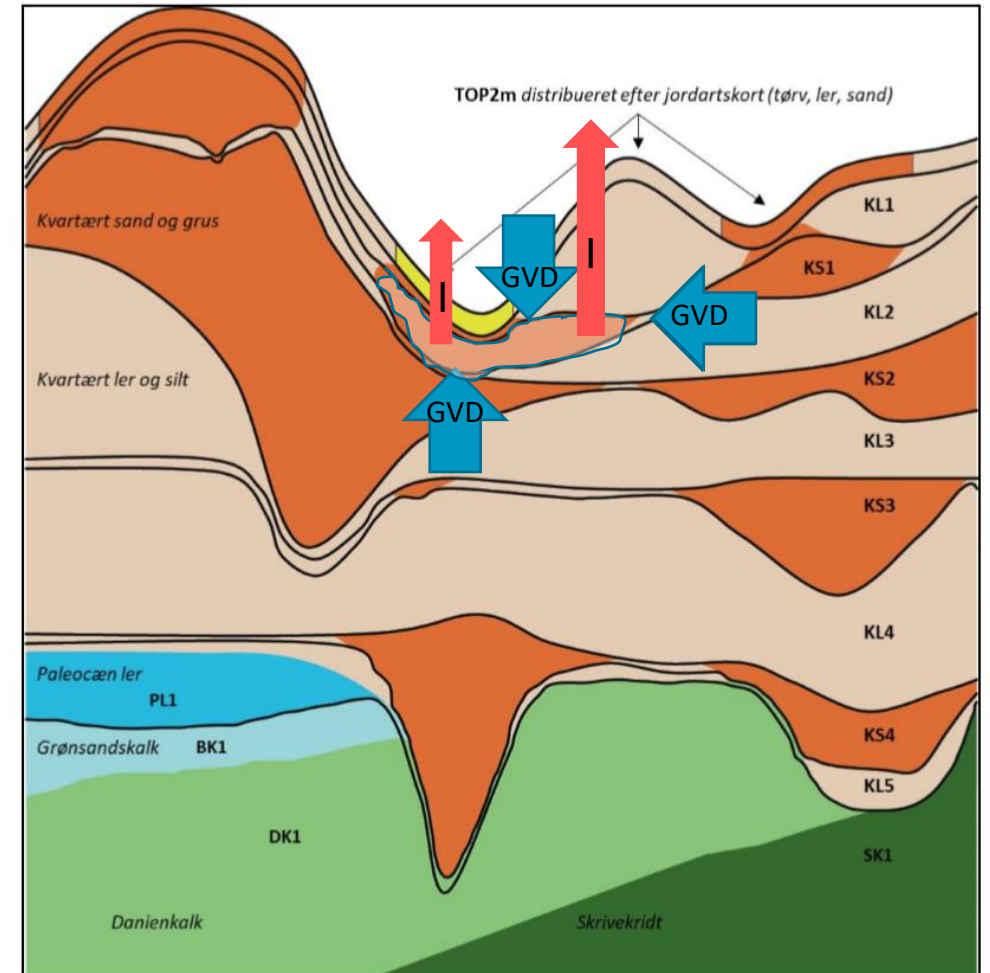
- Grundvandsindvindingens størrelse i forhold til den langsigtede grundvandsdannelse (*kvalitetsmæssig bæredygtig ressource*)
- Vurdering af om påvirkning af vandløbsøkologi fører til en væsentlig forringelse i målsatte vandløb (*bæredygtighed i forhold til økologisk flowpåvirkning*)



Hvad indgik i vurderingen af kvantitativ tilstandsvurdering

Indledende screening (risiko vurdering):

- Grundvandsindvindingens størrelse i forhold til grundvandsdannelse
- Der blev risikovurderet/screenet i forhold til udnyttelsesgrad på >30%
- ΣI (indvindinger)
- ΣGVD (nedadrettet + horisontal + opadrettet flux)
- $Udnyttelsesgrad = 100 * (\Sigma I / \Sigma GVD)$

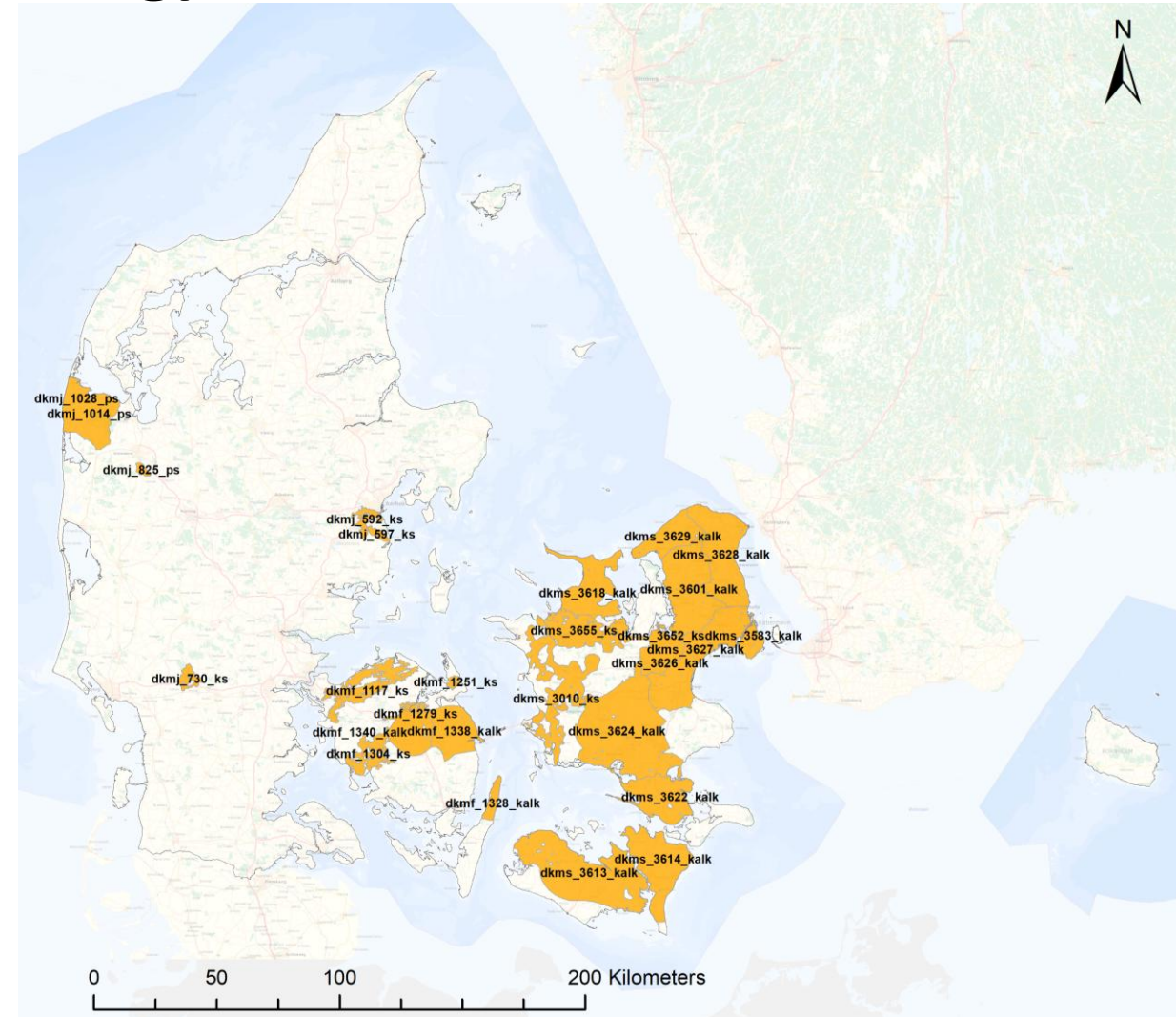


Hvad indgik i vurderingen af kvantitativ tilstandsvurdering

Indledende screening (risiko vurdering):

- Grundvandsindvindingens størrelse i forhold til grundvandsdannelse
- Der blev risikovurderet/screenet i forhold til udnyttelsesgrad på >30%

=> 92 grundvandsforekomster i risiko



Hvad indgik i vurderingen af kvantitativ tilstandsvurdering

Supplerende data:

DK-model 2019 simuleringer med og uden indvinding:

- Potentiale for grundvandsforekomster
- Afsænkninger (<1m, 1-3m, 3-6m, 6-9m og >9m)
- EQR ændring for DFFVa og DVFI

Ændring i Q50 og Q95 (median og minimum)

Tidsserier med pejledata

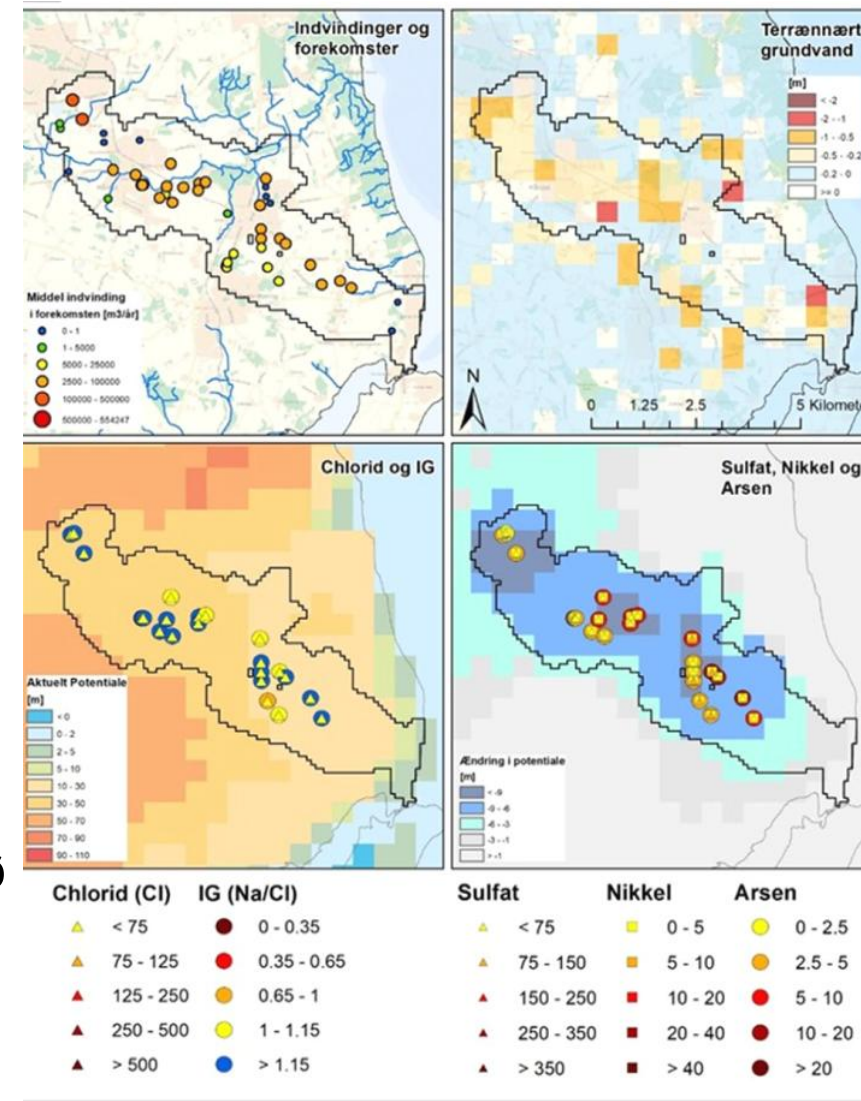
Vandkemi kort for As, Ni, Cl, SO₄, Ionbytning (Na/Cl)

- Maksima af årlig middel for VP periode
- Trend mellem to VP perioder (Cl og SO₄)

Målinger af biologiske kvalitetselementer fra basisanalysen:

- EQR tilstandsværdier for kvalitetselementerne DFFVa og DFFVø
- Faunaklasse tilstand for DVFI fra basisanalysen

Kommune bemærkninger til forekomster i risiko



Hvad indgik i vurderingen af kvantitativ tilstandsvurdering

Supplerende data:

DK-model 2019 simuleringer med og uden indvinding:

- Potentiale for grundvandsforekomster
- Afsænkninger (<1m, 1-3m, 3-6m, 6-9m og >9m)
- EQR ændring for DFFVa og DVFI

Ændring i Q50 og Q95 (median og minimum)

Tidsserier med pejledata

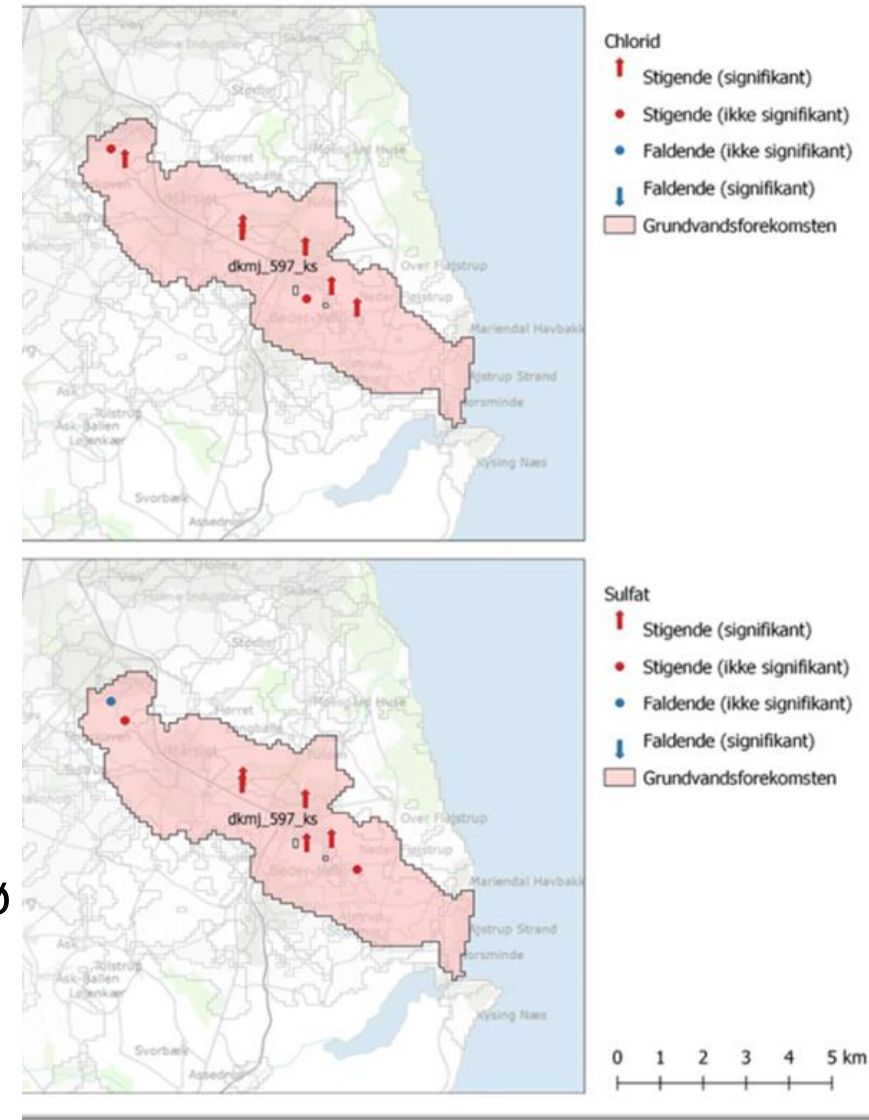
Vandkemi kort for As, Ni, Cl, SO₄, Ionbytning (Na/Cl)

- Maksima af årlig middel for VP periode
- Trend mellem to VP perioder (Cl og SO₄)

Målinger af biologiske kvalitetselementer fra basisanalysen:

- EQR tilstandsværdier for kvalitetselementerne DFFVa og DFFVø
- Faunaklasse tilstand for DVFI fra basisanalysen

Kommune bemærkninger til forekomster i risiko



Hvad indgik i vurderingen af kvantitativ tilstandsvurdering

Supplerende data:

DK-model 2019 simuleringer med og uden indvinding:

- Potentiale for grundvandsforekomster
- Afsænkninger (<1m, 1-3m, 3-6m, 6-9m og >9m)
- EQR ændring for DFFVa og DVFI

Ændring i Q50 og Q95 (median og minimum)

Tidsserier med pejledata

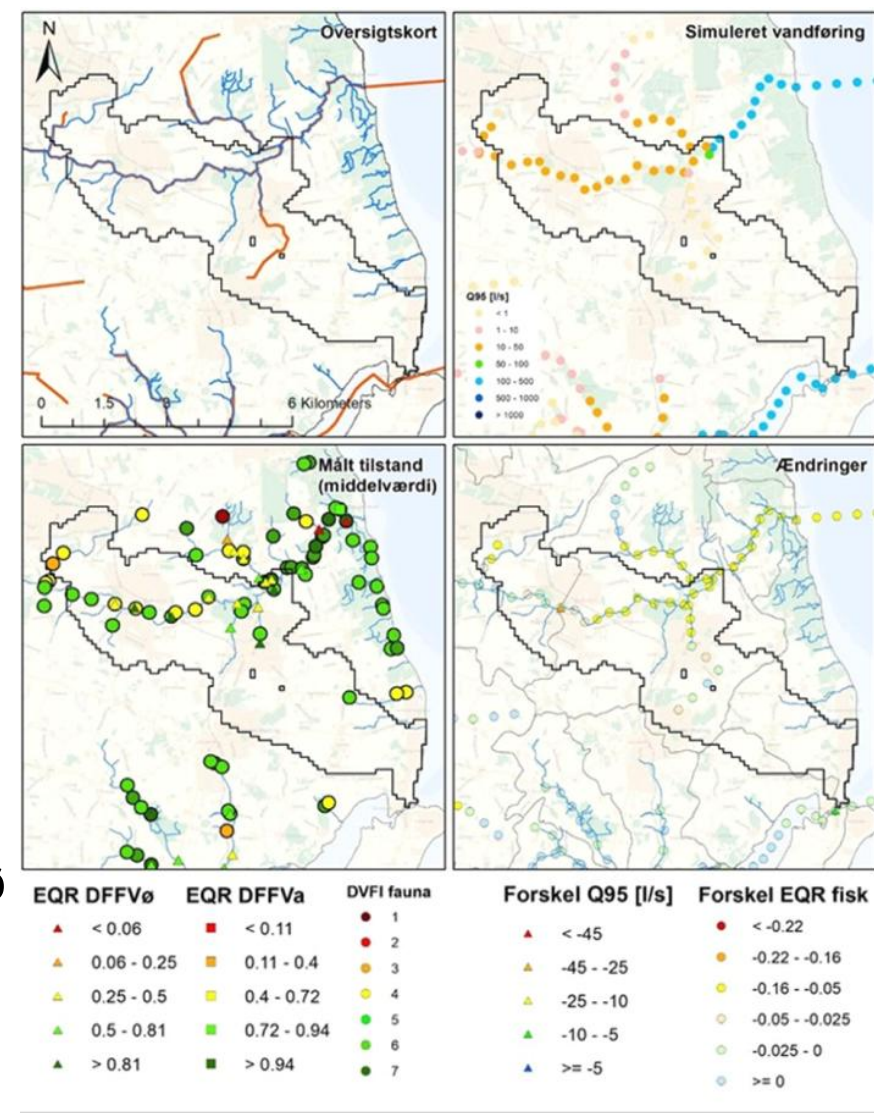
Vandkemi kort for As, Ni, Cl, SO₄, Ionbytning (Na/Cl)

- Maksima af årlig middel for VP periode
- Trend mellem to VP perioder (Cl og SO₄)

Målinger af biologiske kvalitetselementer fra basisanalysen:

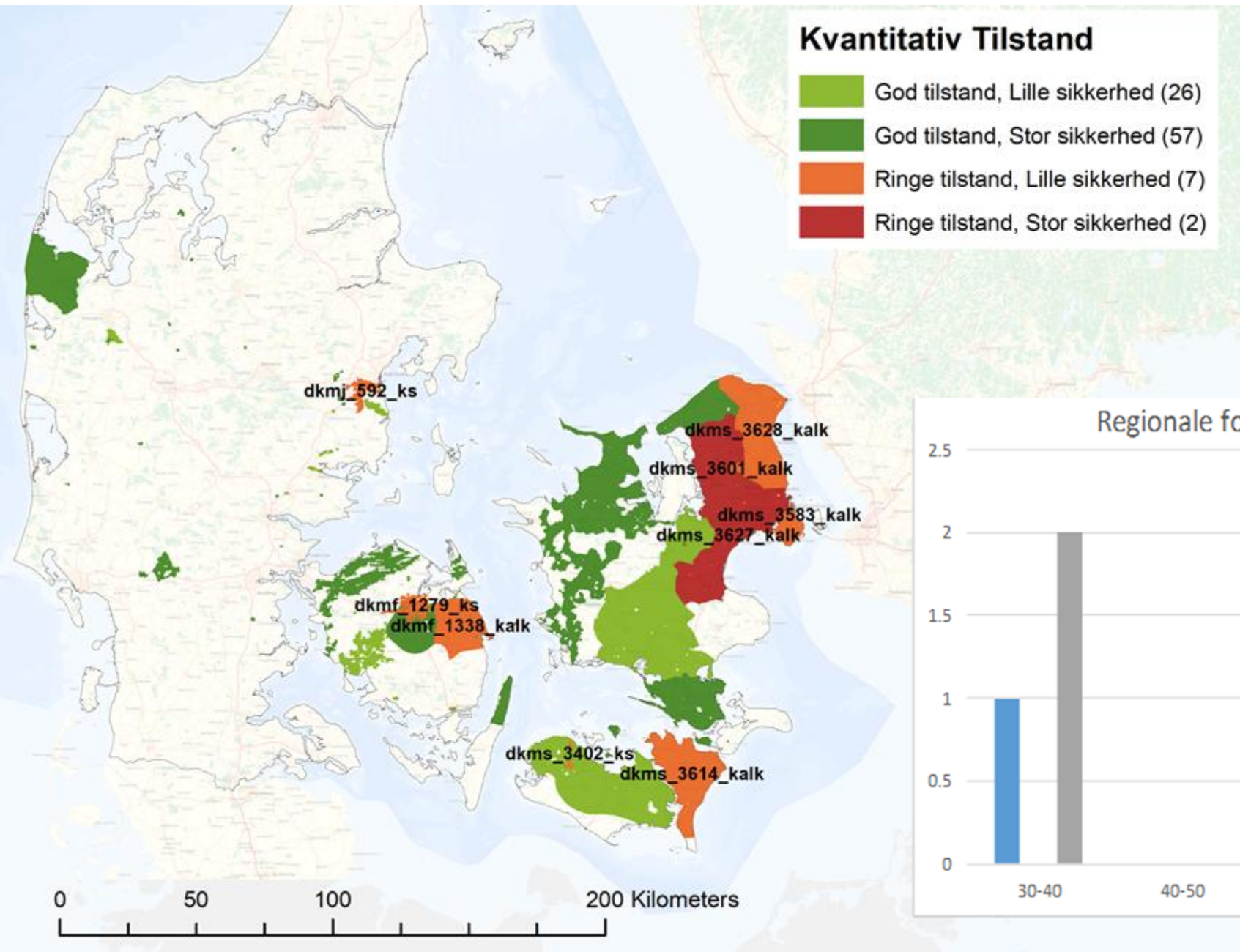
- EQR tilstandsværdier for kvalitetselementerne DFFVa og DFFVø
- Faunaklasse tilstand for DVFI fra basisanalysen

Kommune bemærkninger til forekomster i risiko

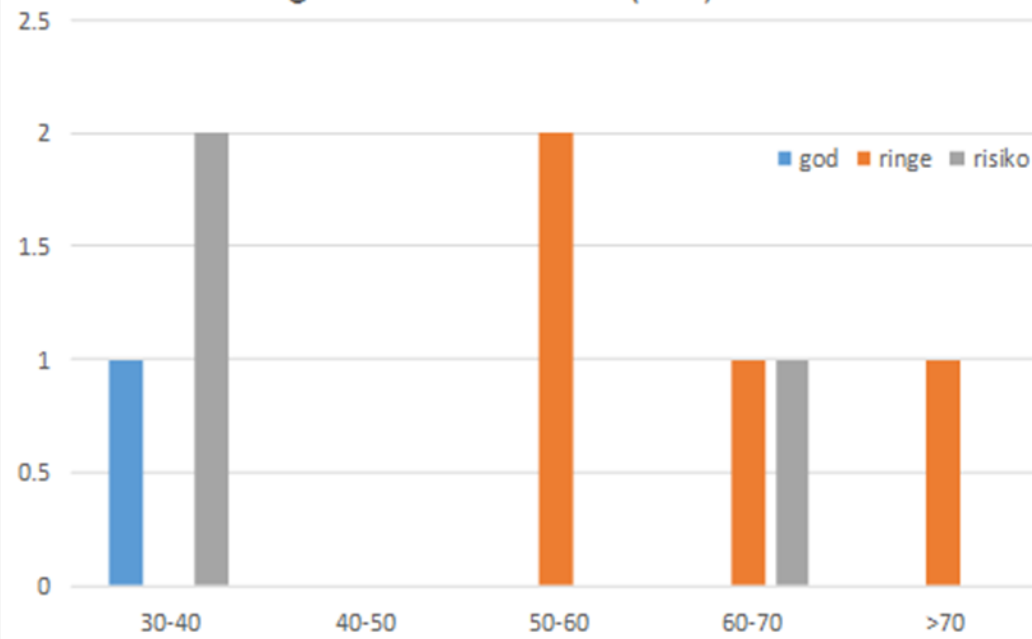


Kvantitativ Tilstand

- God tilstand, Lille sikkerhed (26)
- God tilstand, Stor sikkerhed (57)
- Ringe tilstand, Lille sikkerhed (7)
- Ringe tilstand, Stor sikkerhed (2)

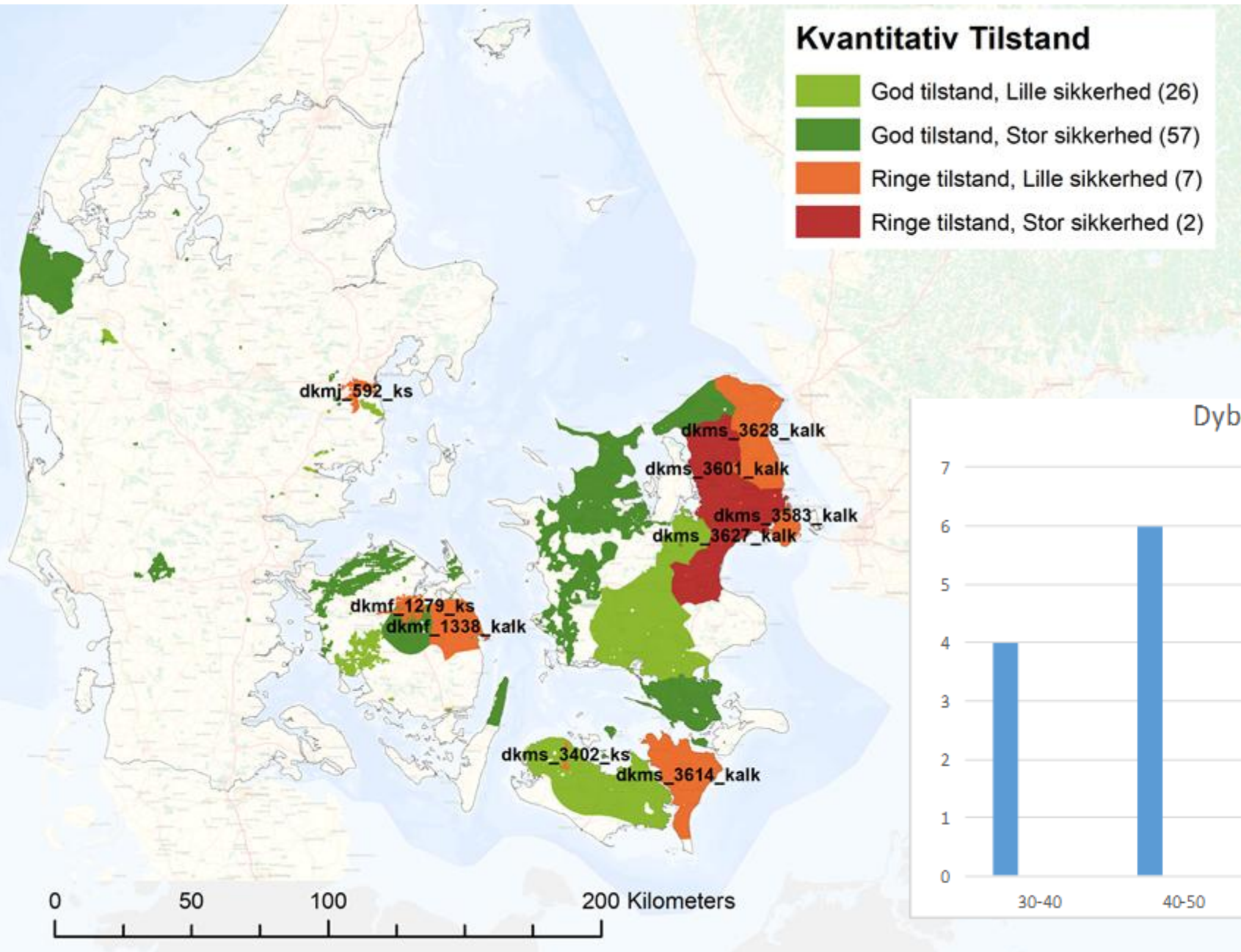


Regionale forekomster (n=9)

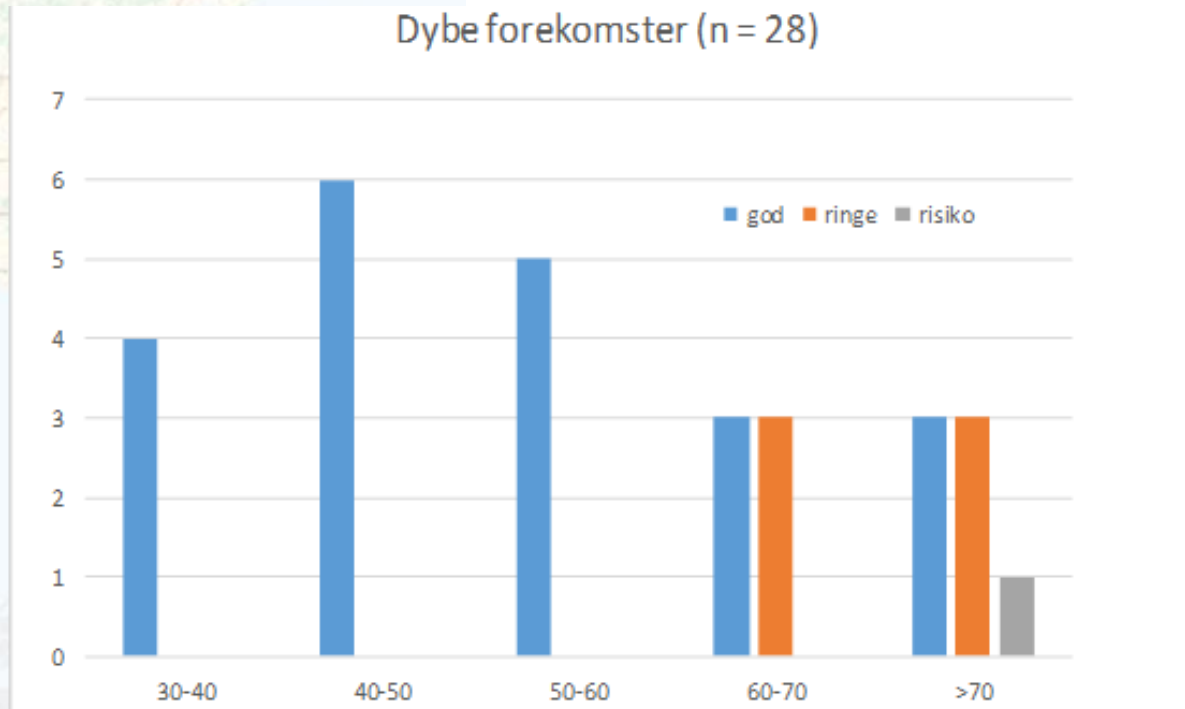


Kvantitativ Tilstand

- God tilstand, Lille sikkerhed (26)
- God tilstand, Stor sikkerhed (57)
- Ringe tilstand, Lille sikkerhed (7)
- Ringe tilstand, Stor sikkerhed (2)



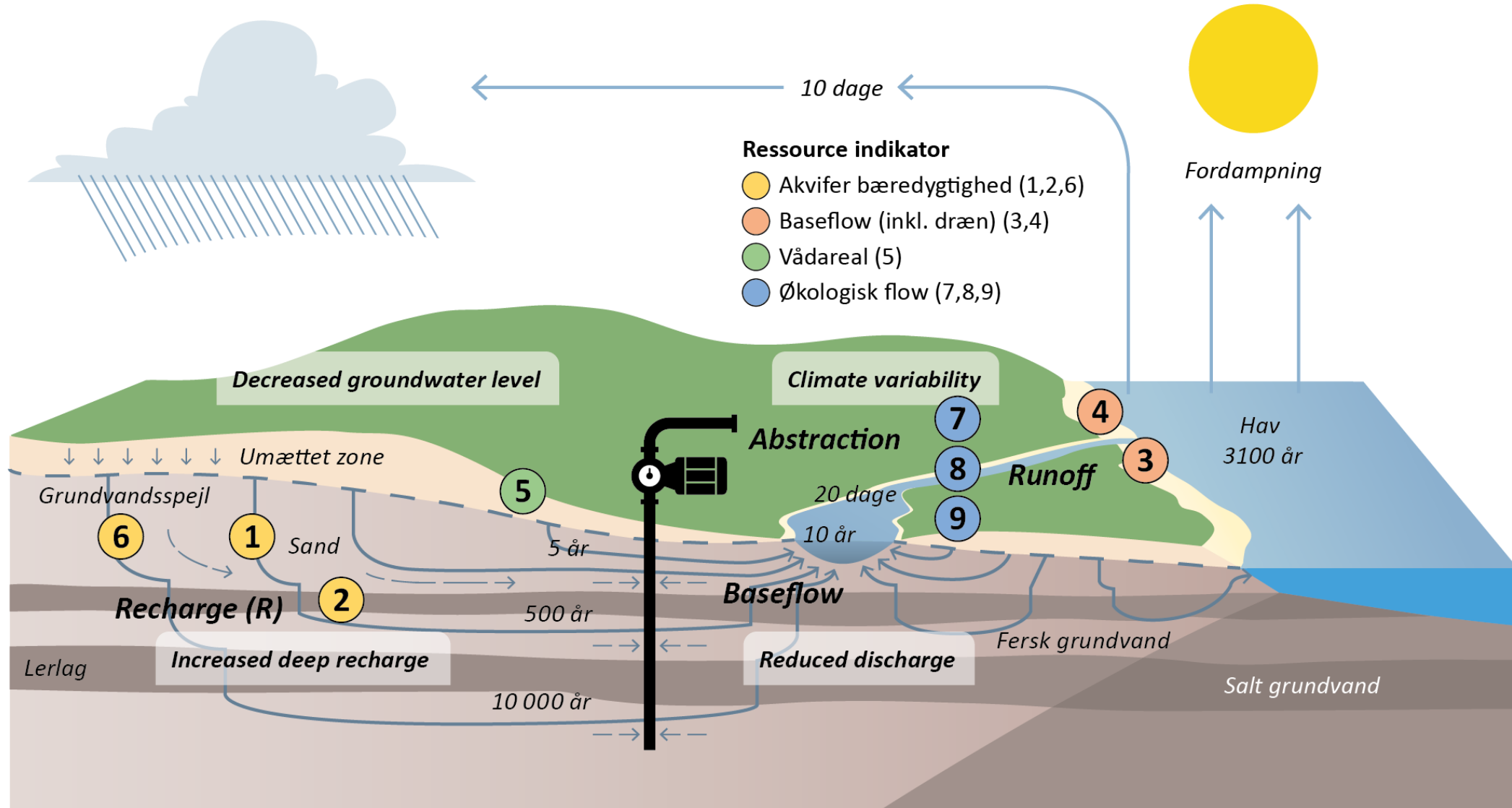
Dybe forekomster (n = 28)



Indikatorer brugt i national vandressourceopgørelsen:

Akvifer bæredygtighed, vandløbspåvirkning, sænkning af grundvandsspejl

(GEUS rapport 2023/8 : Vandressourceopgørelse - 9 ensemble ressource indikatorer)



Hvad indgår i akvifer bæredygtighed

Simplificeret udnyttelsesgrad:

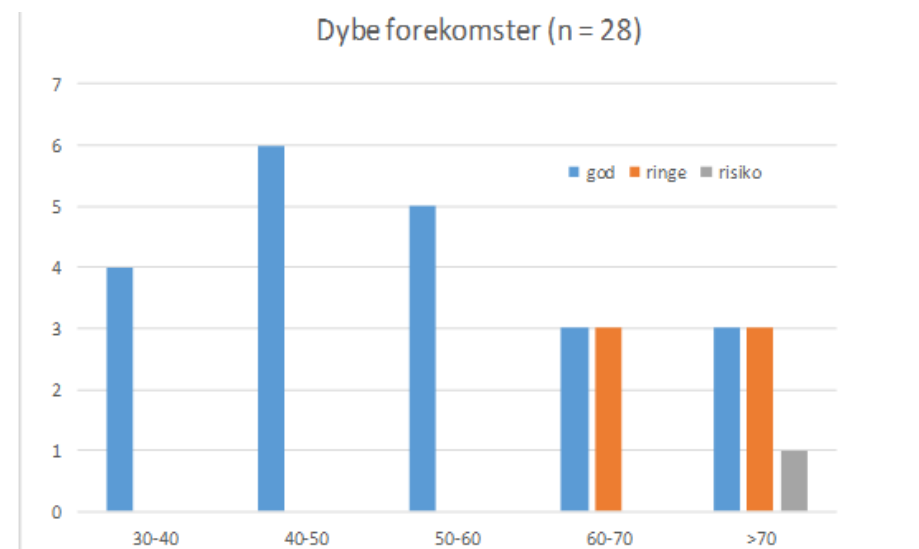
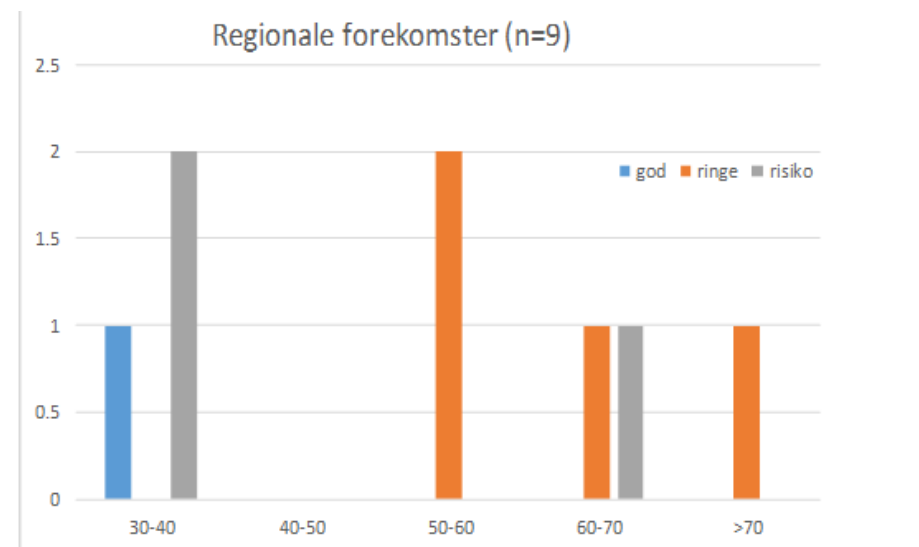
Indvinding / nedadrettet strømning til udvalgte vandførende hydrostratigrafiske enheder

Øverste hydrostratigrafiske lag med indvinding

- Udnyttelsesgrad max 30 % (indikator 1)
- Udnyttelsesgrad max 35% ift ikke påvirket nedadrettet strømning (indikator 6)

Primære hydrostratigrafiske lag med indvinding:

- Udnyttelsesgrad max 50 % for primært magasin i alle tilfælde (indikator 2)



Hvad indgår i akvifer bæredygtighed

Øverste hydrostratigrafiske lag med indvinding

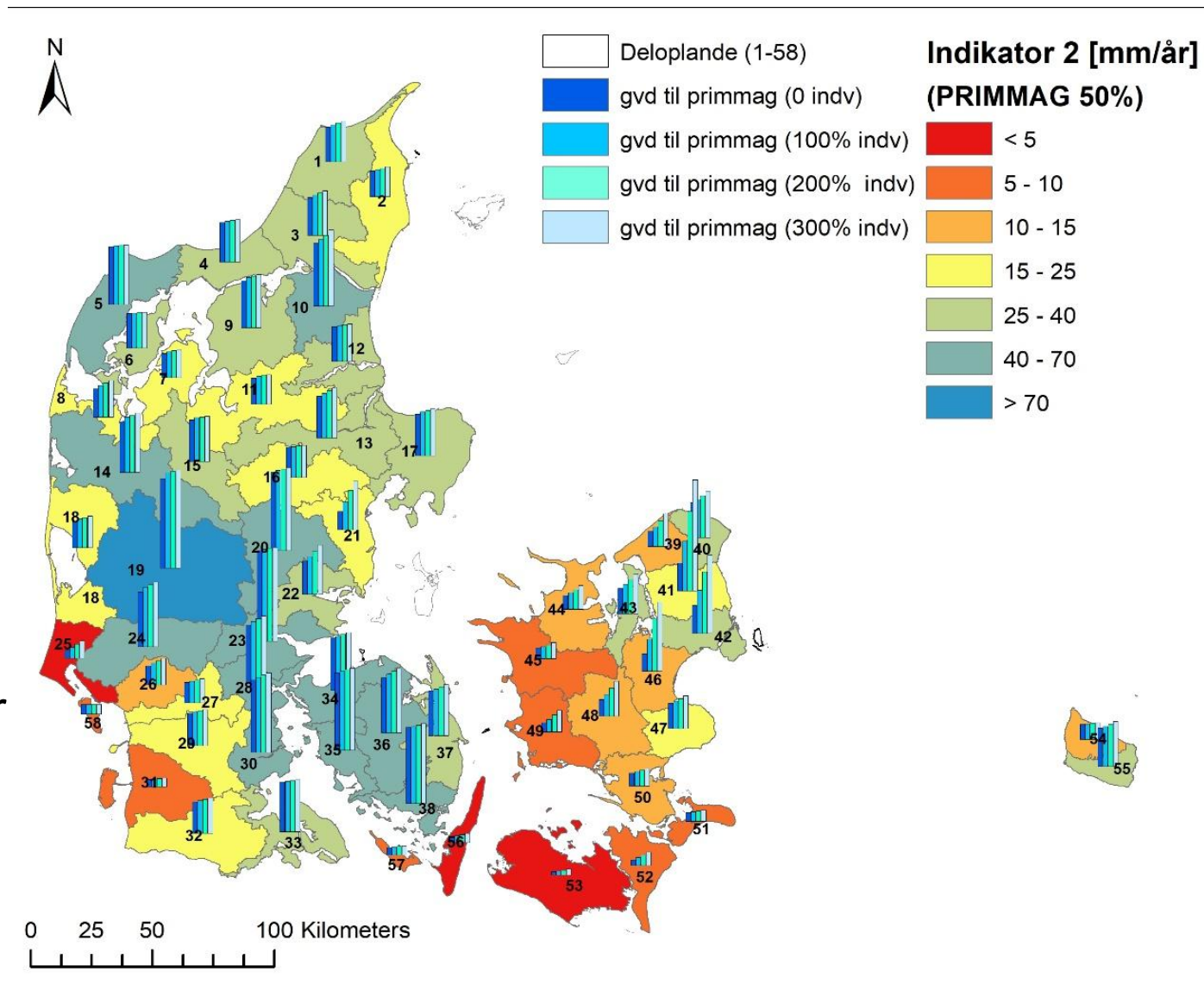
- Udnyttelsesgrad max 30 % (indikator 1)
- Udnyttelsesgrad max 35% ift ikke påvirket nedadrettet strømning (indikator 6)

Primære hydrostratigrafiske lag med indvinding:

- Udnyttelsesgrad max 50 % for primært magasin i alle tilfælde (indikator 2)

Opgørelse af tilgængelig vandressource for hver af indikatorerne ..

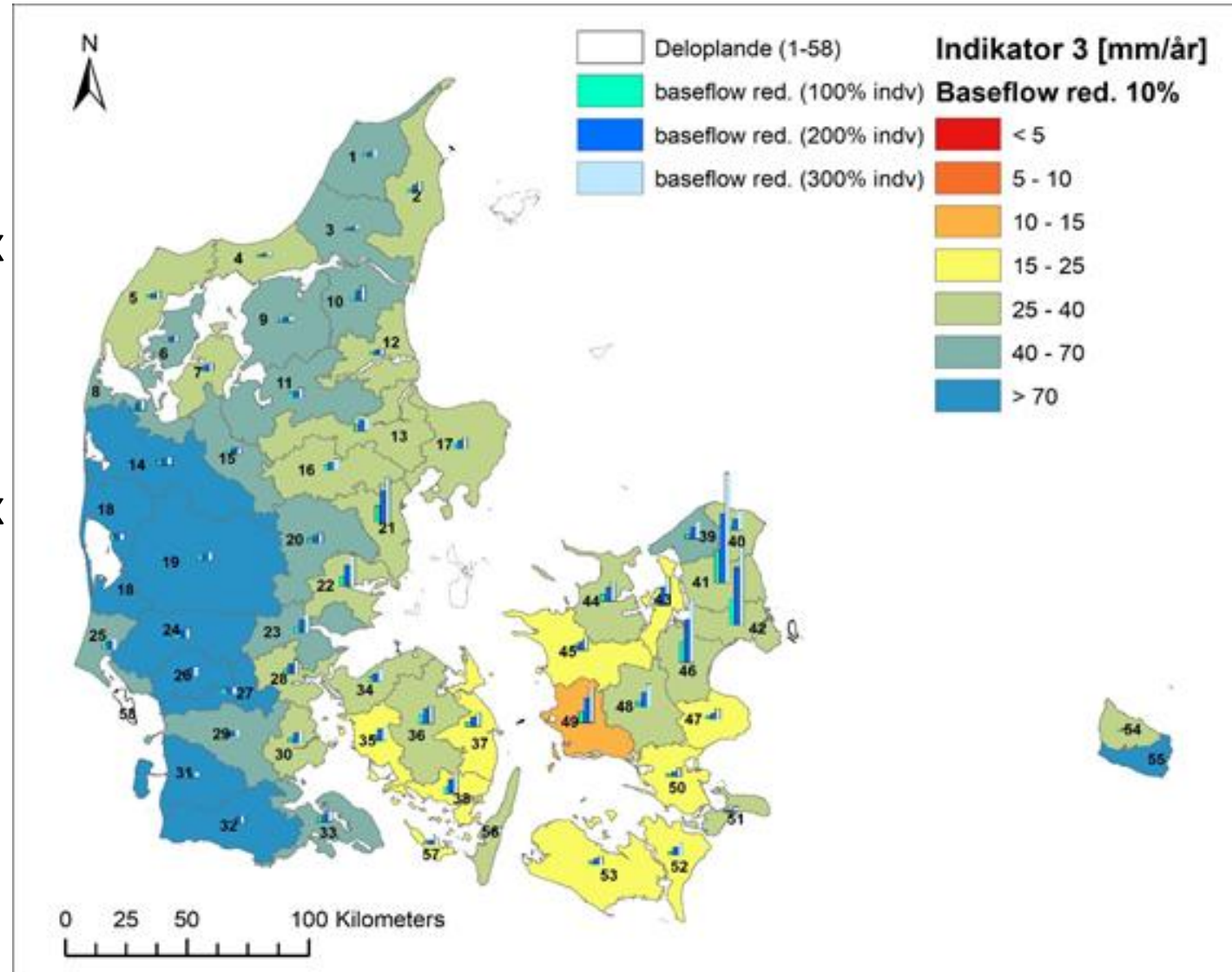
..her vist som mm/år ud fra indikator 2 – søjler viser hvordan grundvandsdannelsen til det primære lag påvirkes af indvinding



Hvad indgår i vurdering af påvirkning baseflow?

Gleeson and Richter (2017) anbefaler en bæredygtig udnyttelse som giver mindre end 10% reduktion af baseflow

- Indikator 3: indvinding svarende til max 10% reduktion af direkte grundvandstilstrømning (til vandløb fra alle lag)
- Indikator 4: indvinding svarende til max 10% reduktion af sum af direkte grundvandstilstrømning og drænflow.



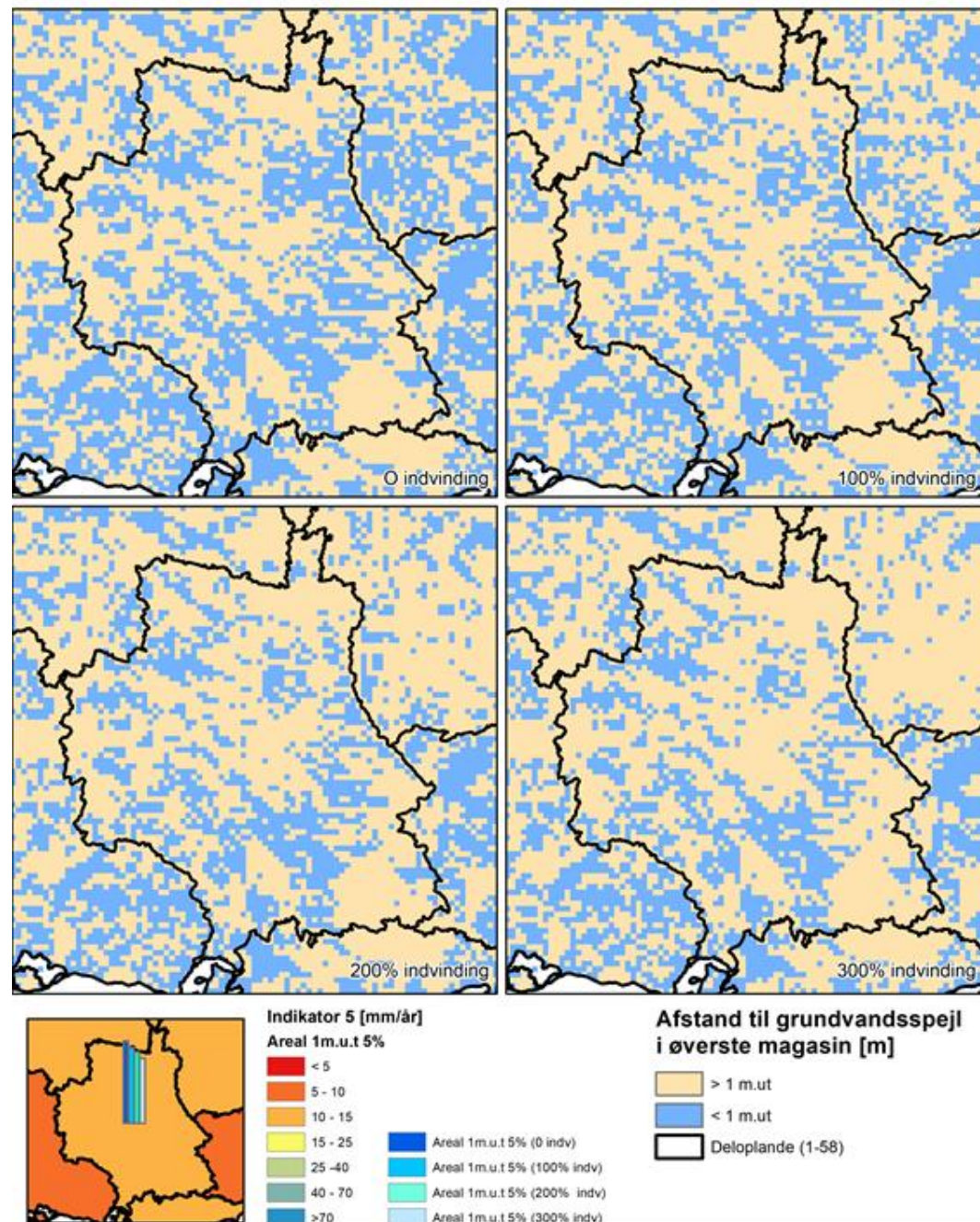
Hvad indgår i vurdering af vådområde påvirkning ?

Proxy for påvirkning af vådareal.

Beregnet som opgørelse af grids med dybde til grundvandsspejl < 1 m.u.t.

Påvirkning opgjort ved øget indvinding (0%, 100%, 200% og 300% for alle vandindvindinger), som den procentvise ændring af antallet af grid

- Indikator 5: indvinding svarende til max 5% reduktion af antallet af grid ift. upåvirket situation



Hvad indgår i vurdering af påvirkning af vandløbsøkologi?

Påvirkning af vandløbsøkologi, som forhindrer opnåelse af god økologisk tilstand, eller fører til en væsentlig forringelse i målsatte vandløb

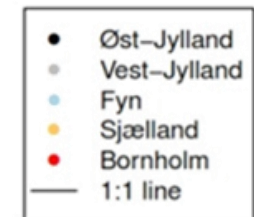
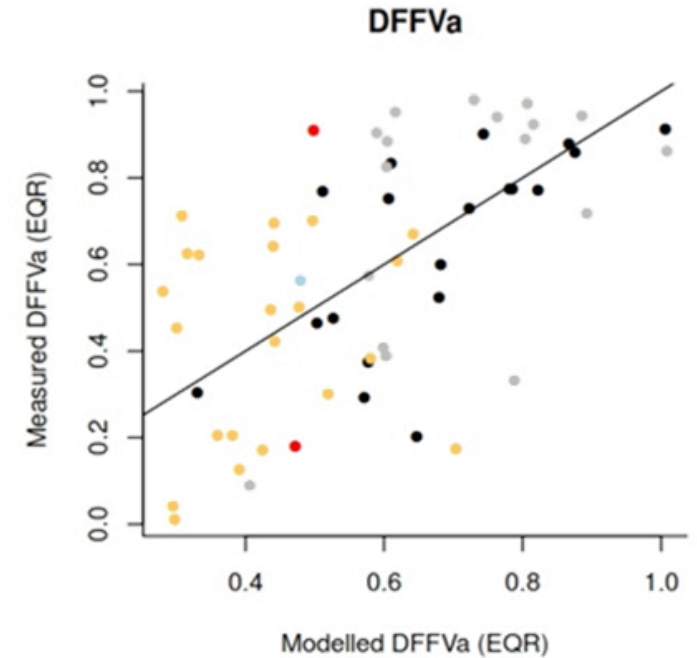
Tabel med sandsynlighed for tilstandsklasse skift ift ændring i EQR (DFFVa) værdier

- Indikator 7: >80% sandsynlighed for tilstandsændring
- Indikator 8: >50% sandsynlighed for tilstandsændring

Empiriske relationer blev udledt på basis af målt EQR og målte daglige afstrømninger for 2004-10 for 61-122 overvågningsstationer (Graber et al. Vurdering af effekten af vandindvinding på vandløbs økologiske tilstand. Notat fra DCE 2014)

*NB! formler gælder for så vidt kun for større vandløb (type 2-3 dvs. >10km² og >2m bred)
NB! Vandløbets variation, fx mellem høl og stryg, indgår indirekte i formeludtrykket (Sin)*

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



Hvad indgår i vurdering af påvirkning af vandløbsøkologi?

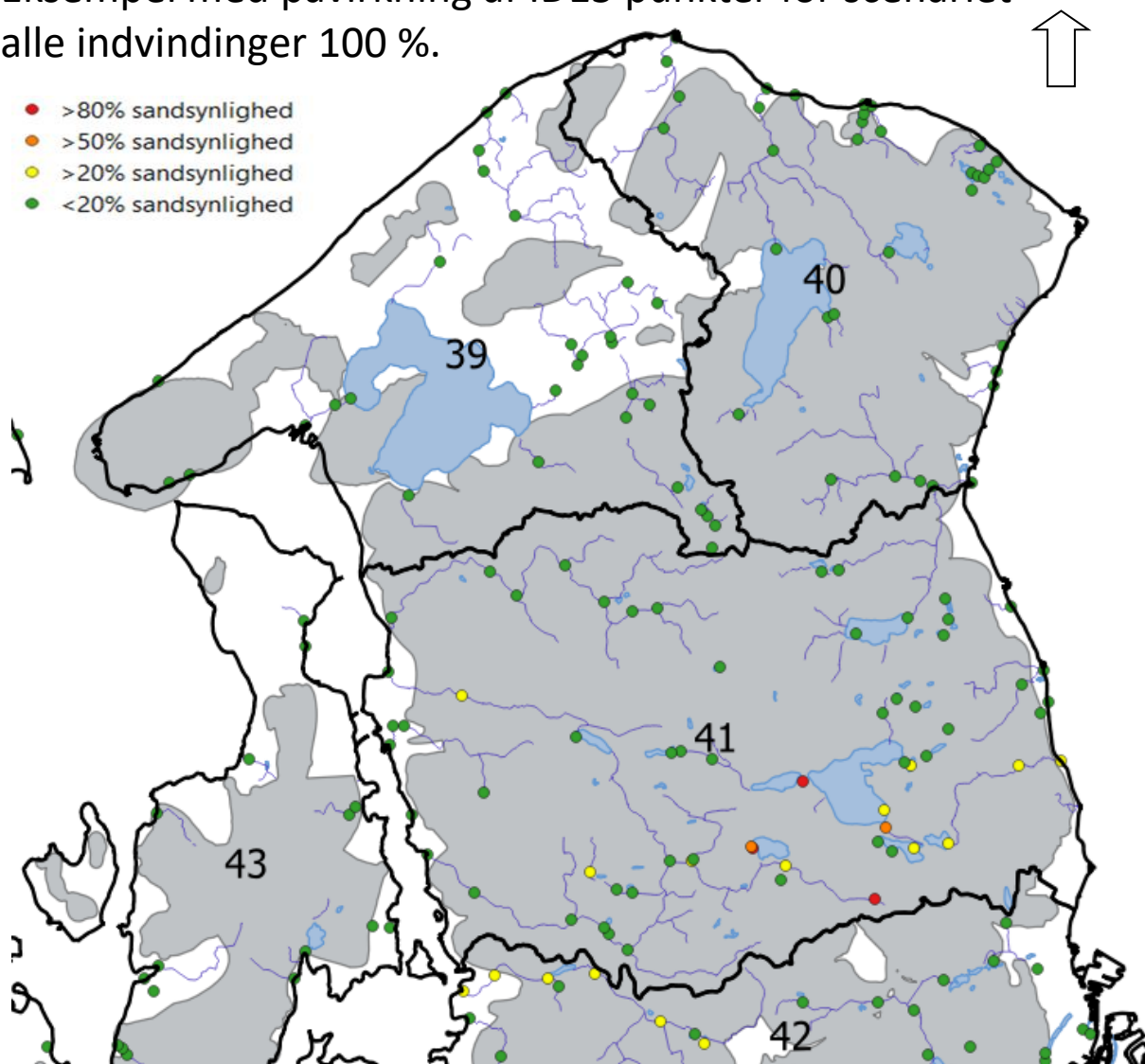
Påvirkning af vandløbsøkologi, som forhindrer opnåelse af god økologisk tilstand, eller fører til en væsentlig forringelse i målsatte vandløb

Tabel med sandsynlighed for tilstandsklasse skift ift ændring i EQR (DFFVa) værdier

- Indikator 7: >80% sandsynlighed for tilstandsændring
- Indikator 8: >50% sandsynlighed for tilstandsændring

Opgørelse af sandsynlighed for tilstandsændring for udløb af hver ID15

Eksempel med påvirkning af ID15 punkter for scenariet alle indvindinger 100 %.



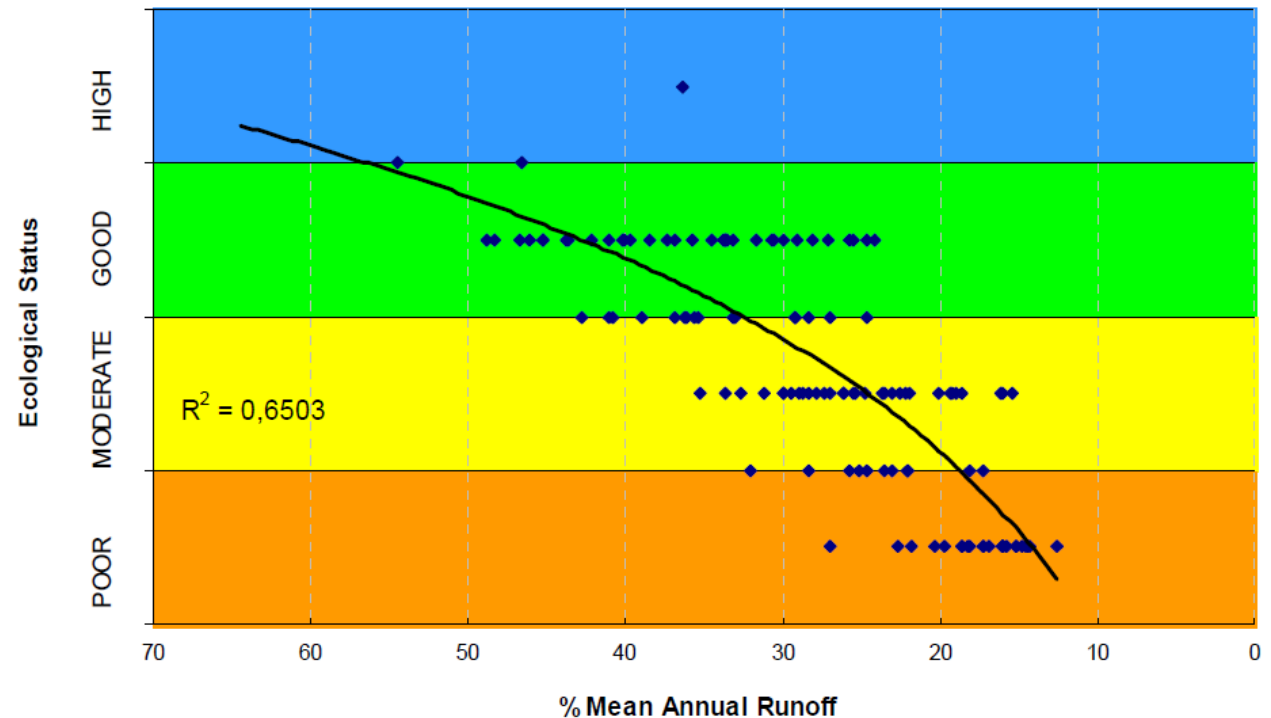
Hvad indgår i vurdering af påvirkning af vandløbsøkologi?

Påvirkning af vandløbsøkologi, som forhindrer opnåelse af god økologisk tilstand, eller fører til en væsentlig forringelse i målsatte vandløb

Tabel med sandsynlighed for tilstandsklasse skift ift ændring i EQR (DFFVa) værdier

- Indikator 7: >80% sandsynlighed for tilstandsændring
- Indikator 8: >50% sandsynlighed for tilstandsændring
- Indikator 9: max 40% påvirkning af Q50

Fig. 6. Quantitative relationships between environmental flows as % of MAR and ecological status classes. DATA SOURCES: IWMI-Worldwide database on eflow assessments



ENVIRONMENTAL FLOWS AS A TOOL TO ACHIEVE THE WFD OBJECTIVES DISCUSSION PAPER

Rafael Sánchez Navarro and Guido Schmidt, with review comments from Carlos Benítez Sanz, Mike Dunbar, José María Hernández Torres, Jordi Raso Quintana, Rafael Seiz Puyuelo

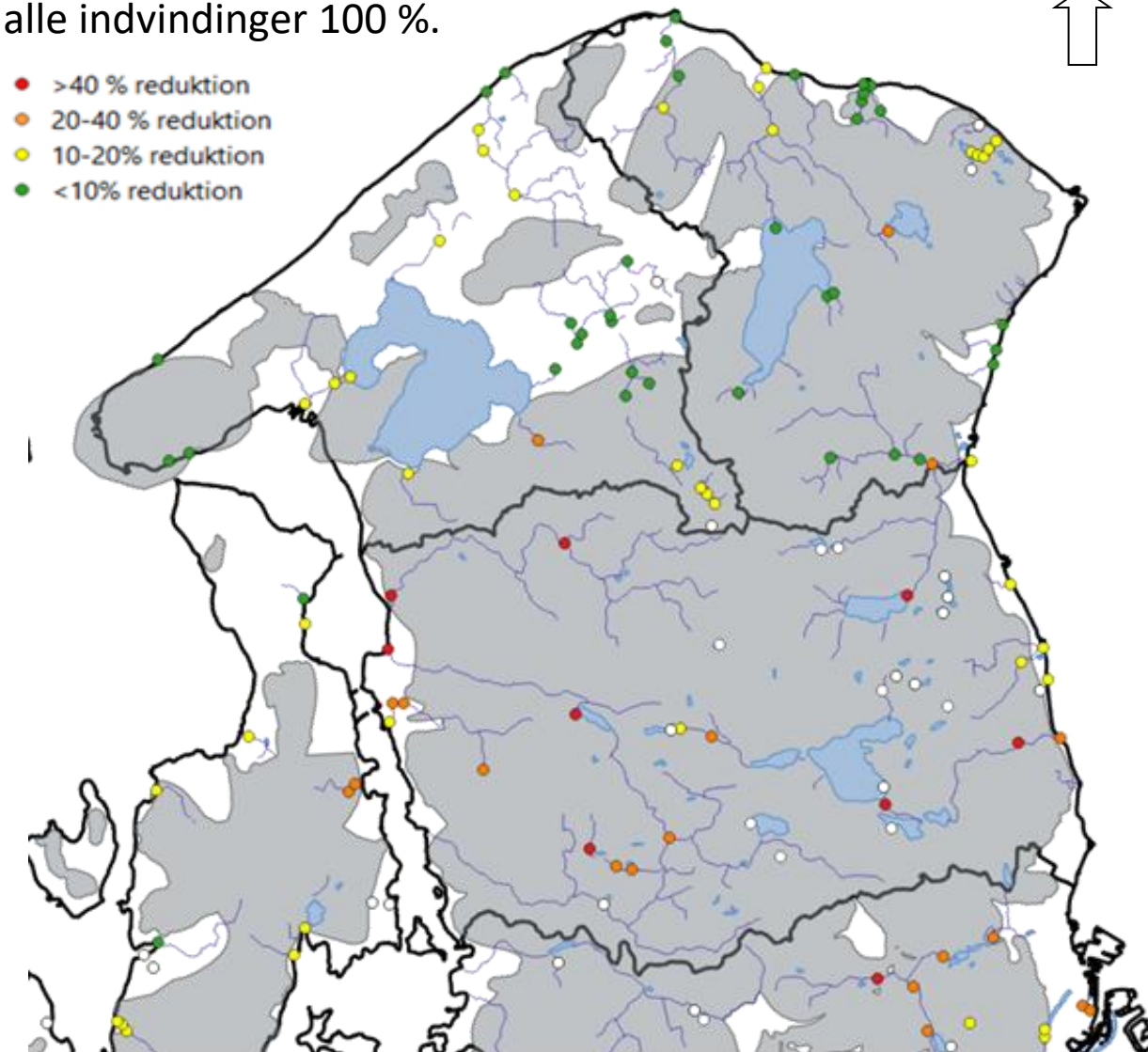
Hvad indgår i vurdering af påvirkning af vandløbsøkologi?

Påvirkning af vandløbsøkologi, som forhindrer opnåelse af god økologisk tilstand, eller fører til en væsentlig forringelse i målsatte vandløb

Tabel med sandsynlighed for tilstandsklasse skift ift ændring i EQR (DFFVa) værdier

- Indikator 7: >80% sandsynlighed for tilstandsændring
- Indikator 8: >50% sandsynlighed for tilstandsændring
- Indikator 9: max 40% påvirkning af Q50

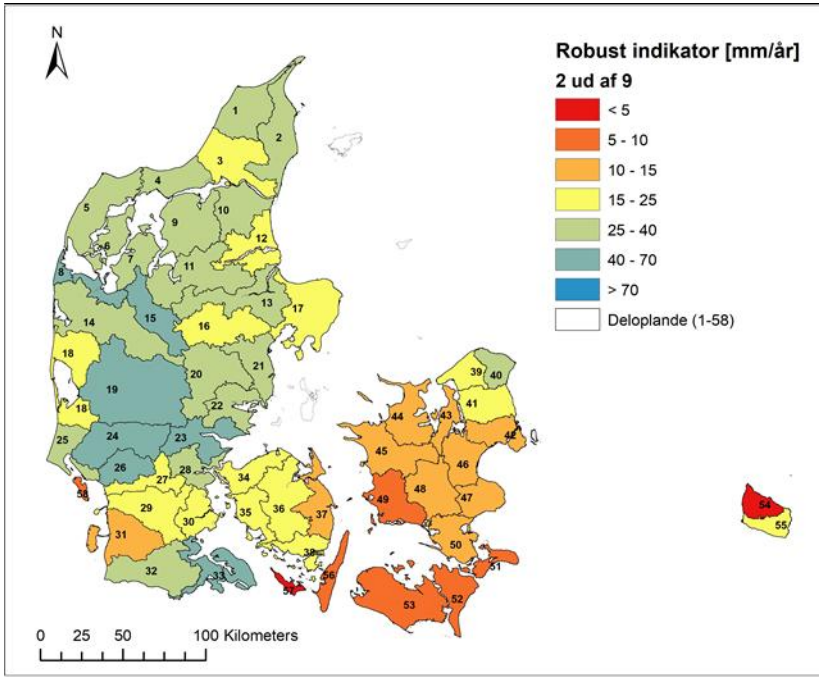
Eksempel med påvirkning af ID15 punkter for scenariet alle indvindinger 100 %.



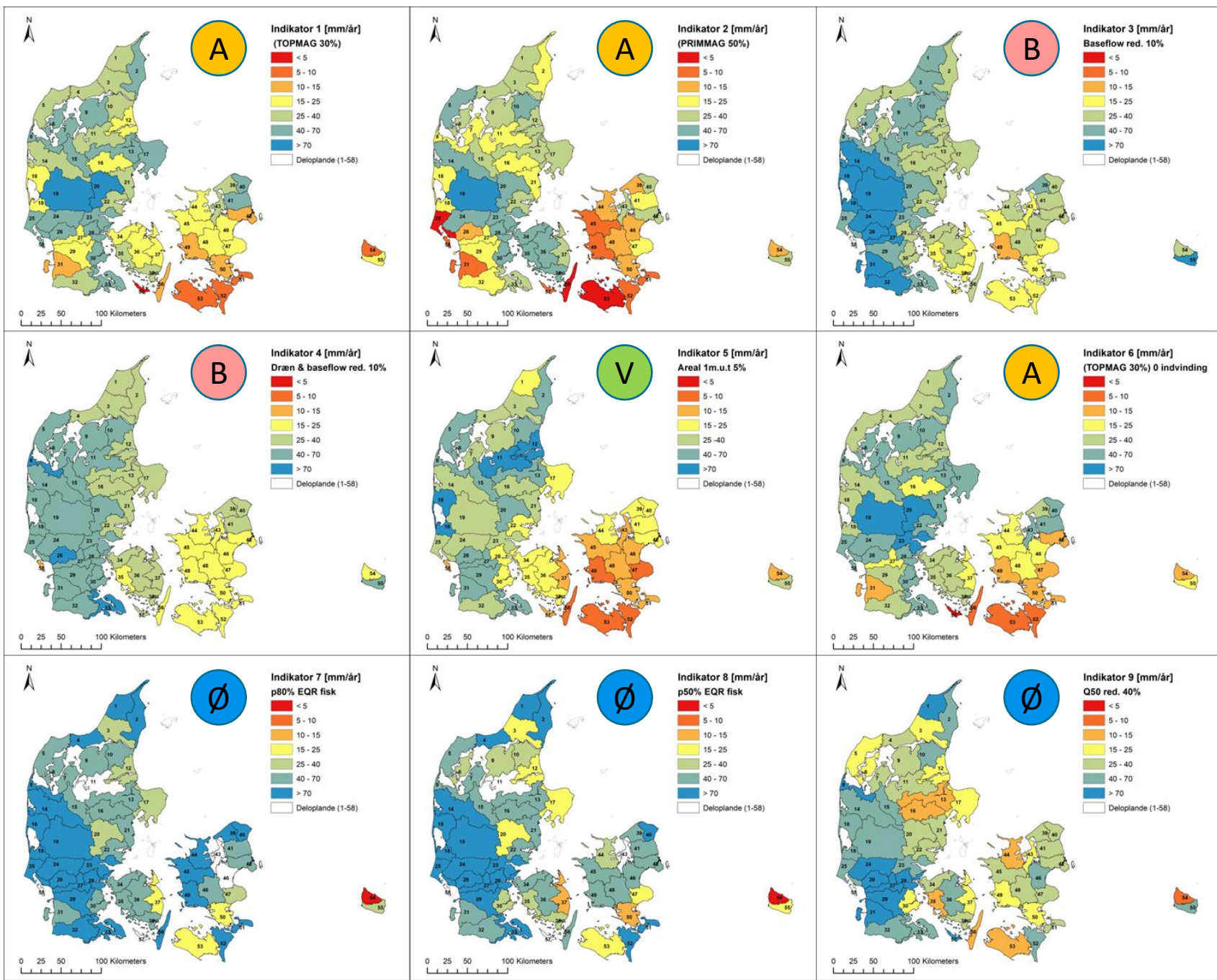
De ni ensemble ressource indikatorer anvendt i ressourceopgørelsen

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 sekundært 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. 35% 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

FRA 9 INDIKATORER TIL ROBUST RESSOURCE



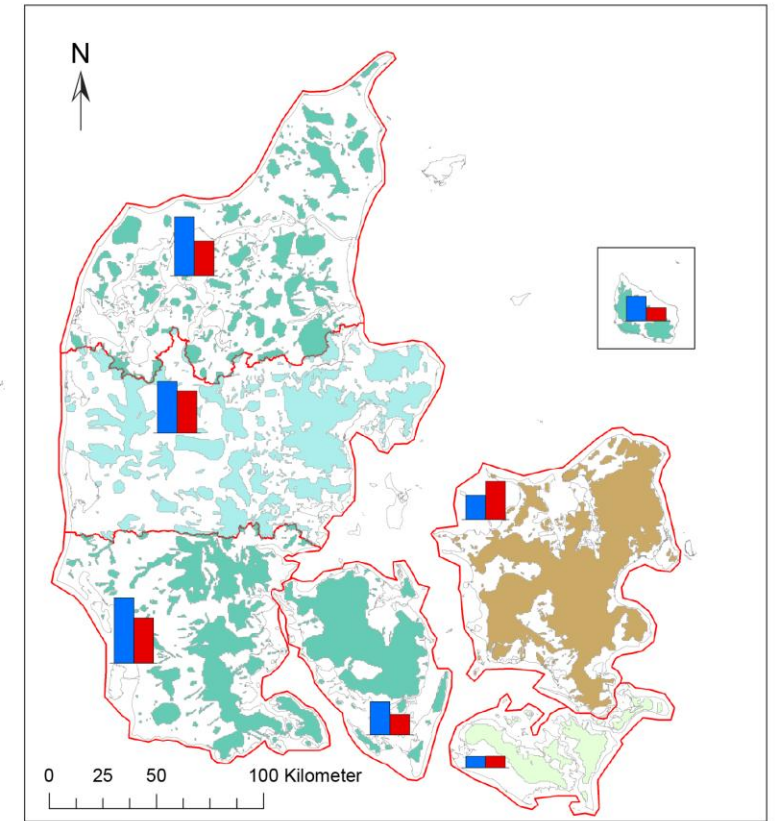
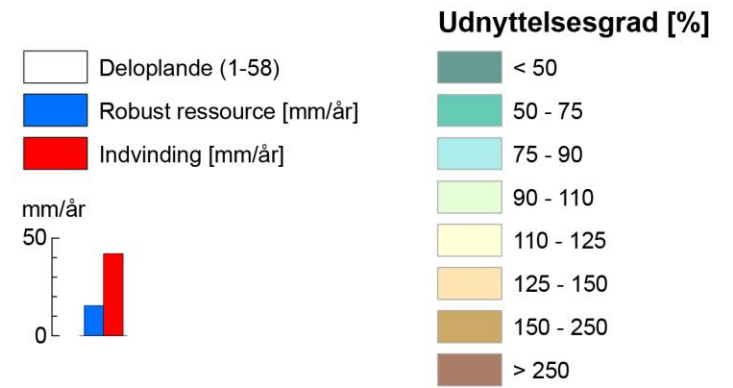
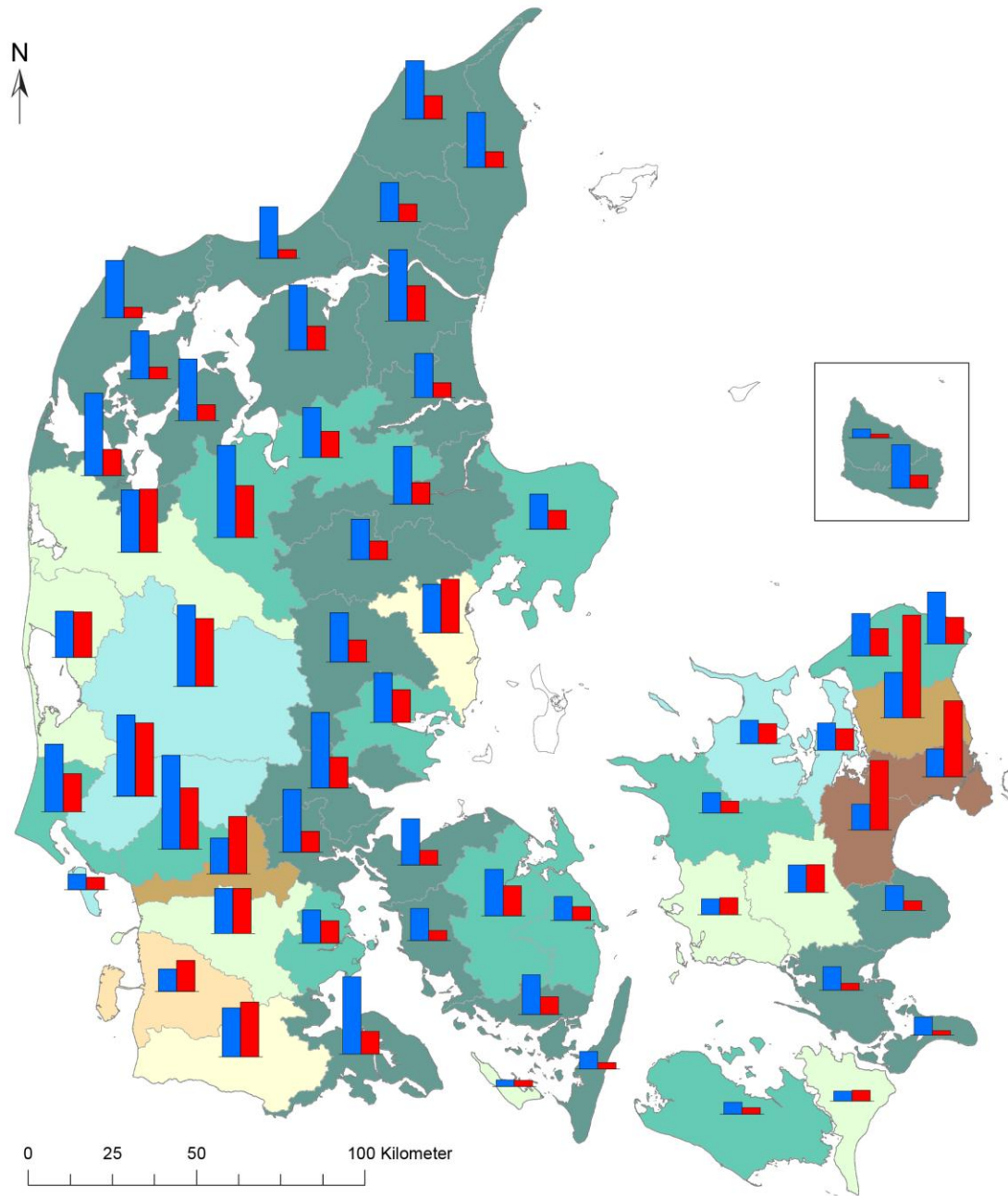
Robust ressource er defineret af "den næstmindste indikatorer" af de ni indikatorer



Robust ressource og estimeret udnyttelsesgrad i procent af udnyttelig grundvands- ressource for 58 deloplande

Nuværende
indvindingsstruktur:
1.1 mia. m³/år og
0.54 mia. m³/år for OSD/IOL

Kun fra alm vandforsyning:
0.93 mia. m³/år og
0.53 mia. m³/år for OSD/IOL



Supplerende læsning

Troldborg, L (2020). Afgrænsning af de danske grundvandsforekomster: Ny afgrænsning og delkarakterisering samt fagligt grundlag for udpegning af drikkevandsforekomster. GEUS Rapport 2020/1.

<https://doi.org/10.22008/gpub/32641>

Henriksen, HJ ., Voutchkova, D, Ondracek, M, Troldborg, L, & Thorling, L (2021). Konsolidering af kvantitativ tilstandsvurdering for danske grundvandsforekomster i potentiel ringe tilstand på basis af ekspertvurdering. Supplerende vurderinger af kvantitativ tilstand for 90 grundvandsforekomster med modelberegnet udnyttelsesgrad større end 30%. GEUS Rapport 2021/2. <https://doi.org/10.22008/gpub/34562>

Henriksen, HJ, Ondracek, M & Troldborg, L (2023). Vandressourceopgørelse – datarapport. Baggrundsrapport til Miljøstyrelsens samlede afrapportering omkring forvaltning af fremtidens drikkevandsressource. Metode, resultater, usikkerheder og forventede klimapåvirkninger. GEUS Rapport 2023/8. <https://doi.org/10.22008/gpub/34675>

Thorling, L (Ed.), Albers, C N, Hansen, BG, Kidmose, J, Johnsen, AR, Mortensen, MH, Troldborg, L, & Voutchkova, D (2025). Grundvandsovervågning. Status og udvikling 1989-2024. GEUS. Særudgivelse.

<https://doi.org/10.22008/gpub/38957>

Henriksen, HJ, Voutchkova, D, Ondracek, M, Troldborg, L, & Thorling, L (2021). Vandindvinding og kvantitativ tilstand af grundvand i DK. Vand & Jord, 28(3), 99-104. <https://vand-og-jord.dk/vandindvinding-og-quantitativ-tilstand-af-grundvand-i-dk/>

Henriksen, HJ, Troldborg, L, & Ondracek, M (2024). Model and ensemble indicator-guided assessment of robust, exploitable groundwater resources for Denmark. Sustainability, 16(22), Artikel 9861.

<https://doi.org/10.3390/su16229861>

Jørgensen, LF, Troldborg, L, Ondracek, M, Seidenfaden, IK, Kidmose, J, Vangsgaard, C, & Hinsby, K (2024).

Groundwater resilience, security, and safety in the four largest cities in Denmark. Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater, 13(3), 25-41. <https://doi.org/10.7343/as-2024-803>

