

Vurdering af grundvands- forekomsternes kvantitative tilstand

Lars Trolborg, Hans Jørgen Henriksen, Maria Ondracek

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, **GEUS**

ltr@geus.dk

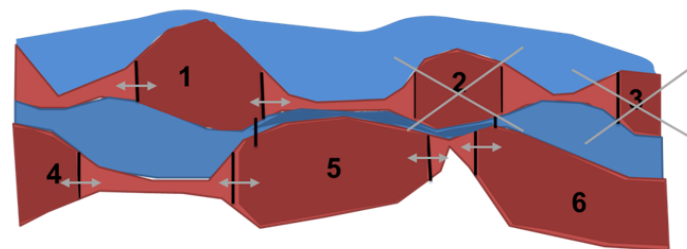
Disposition

Kort intro til grundvandsforekomster

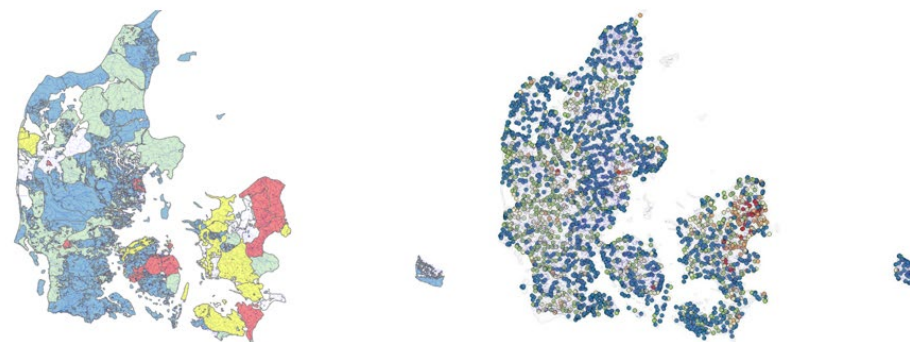
- Baggrund
- Formål
- Afgrænsning
- Særlige udfordringer
- Indtags kobling
- Kategorisering

Kvantitativ vurderinger

- Baggrund
- Udnyttelsesgrad
- Vandløbspåvirkning
- Supplerende undersøgelser
- Eksempel fra København/Køge

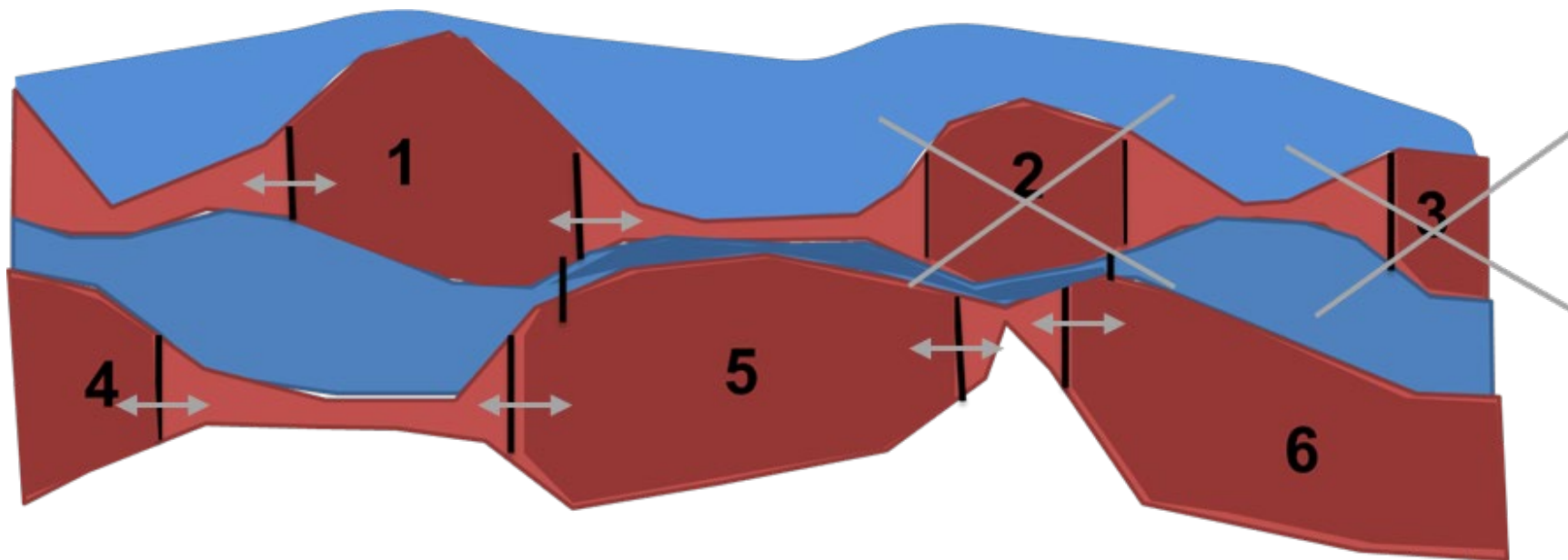


Grundvandsforekomster



Kvantitativ tilstandsvurdering





Grundvandsforekomster

Baggrund

Baggrunden for den nye afgrænsning er en gennemgribende opdatering af den hydrogeologiske model primært for Jylland og Fyn, men i nogen grad også for Sjælland siden sidste revurdering af grundvandsforekomster tilbage i 2013.

- Grundvandskortlægningens store arbejde sammenstilling af de mange små kortlægningsmodeller for Jylland (FOHM arbejdet i 2018)
- Niras/GEUS sammenlægning af kortlægningsmodeller for Fyn og Langeland
- Løbende indarbejdelse af mindre kortlægningsmodeller for Sjælland, Lolland, Falster og Møn i en fælles model

Formål

Formålet var dels at gennemføre en ny afgrænsning og karakterisering af de danske grundvandforekomster, og dels at bidrage til det faglige grundlag for udpegning af de grundvandsforekomster, der skal være drikkevandsforekomster

- Afgrænsningen er i 3D på baggrund af den opdaterede hydrogeologiske model indarbejdet i den Nationale Vandressource Model (DK-model2019)
- Karakterisering primært på baggrund af kontakt til vandløb, søer og GATØ samt størrelse og dybde af grundvandsforekomster (mere om det senere)
- Fagligt grundlag gennem af kobling af grundvandsforekomster med boringsindtagsplacering i Jupiter databasen, og indtags anvendelse (kobling til anlæg med drikkevandsproduktion)

Afgrænsning af grundvandsforekomster

Afgrænsningen af grundvandsforekomster tager, som ved sidste revision (2013), udgangspunkt i magasinafgrænsninger, magasin karakteristika og magasin sammenhænge, dog med nogle vigtige forskelle

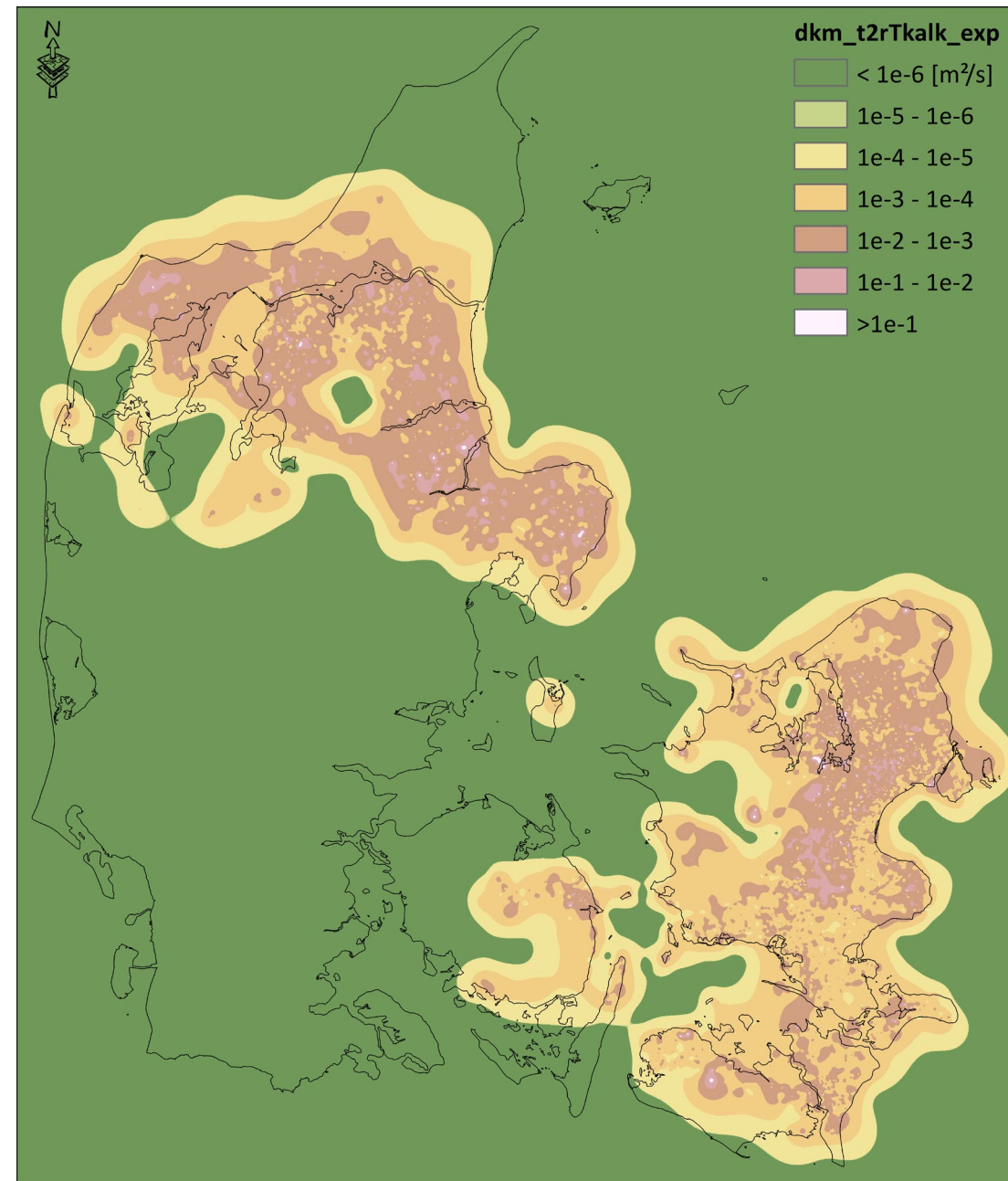
- Den mindste tykkelse for magasinet sat ned fra 3 til 2 meter
- Magasiner kobles kun sammen hvis der er kontakt (mindre end 2 meter aquitard materiale) mellem magasinerne i den hydrogeologiske model
- Meget små magasiner (mellem 25 og 500 ha) skal være understøttet af geologiske tolkninger eller der skal være koblet indtag til magasinerne
- Magasiner afgrænset efter transmissivitetsfordeling (Kalk, Bornholm)
- Meget store magasiner (typisk større end 1.000 km²) underopdeles – nogle steder er der, hydrogeologisk set, sammenhængende magasiner som dækker betydelige arealer, og hvor tilstand og planlægning derfor kan have u hensigtsmæssig stor variationer

Transmissivitets afgrænsning

Hvor det ikke er muligt at lave
magasinafgrænsning ud fra
minimumstykkelse og minimumsareal,
afgrænses magasinerne efter transmissivi-
tets fordeling

Kalk, hvor lagtykkelsen i modellen er
konstant og,

Bornholm, hvor er heterogeniteten i lagene
er bestemt af voxel tolkninger.

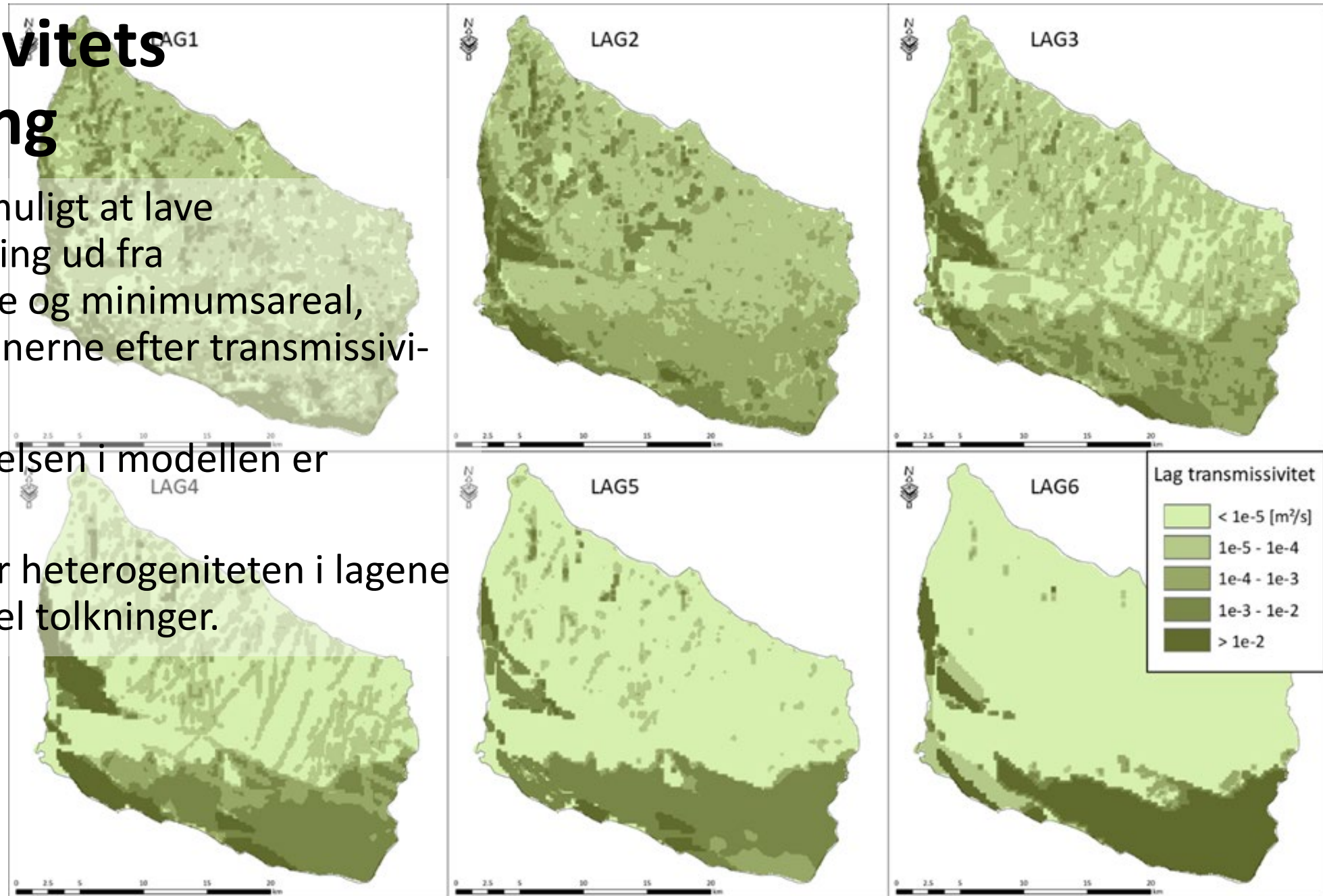


Transmissivitets afgrænsning

Hvor det ikke er muligt at lave
magasinafgrænsning ud fra
minimumstykkelse og minimumsareal,
afgrænses magasinerne efter transmissivi-
tets fordeling

Kalk, hvor lagtykkelsen i modellen er
konstant og,

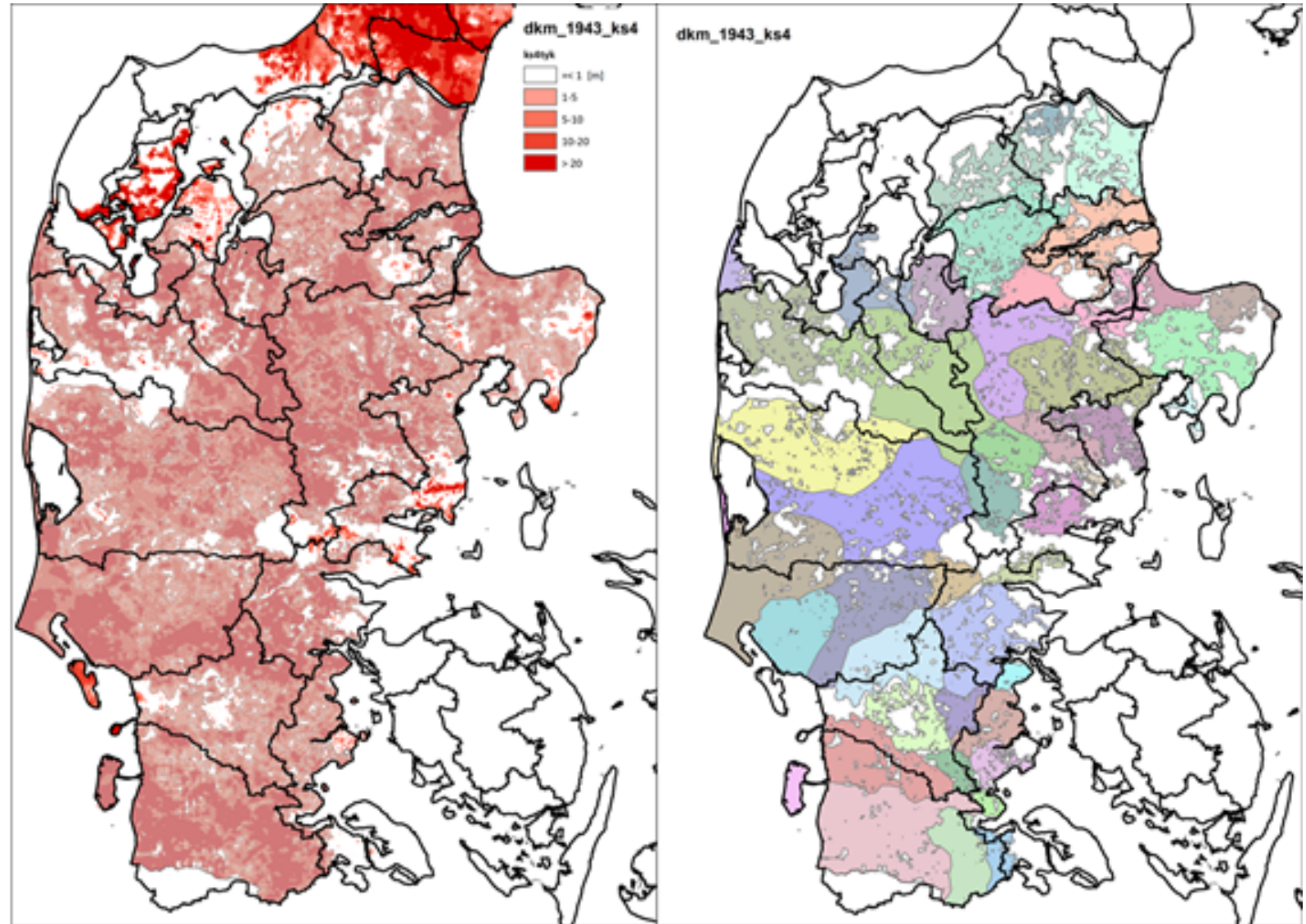
Bornholm, hvor er heterogeniteten i lagene
er bestemt af voxel tolkninger.



Underopdeling af store grundvandsforekomster

Meget store magasiner
(typisk større end 1.000 km²)
underopdeles

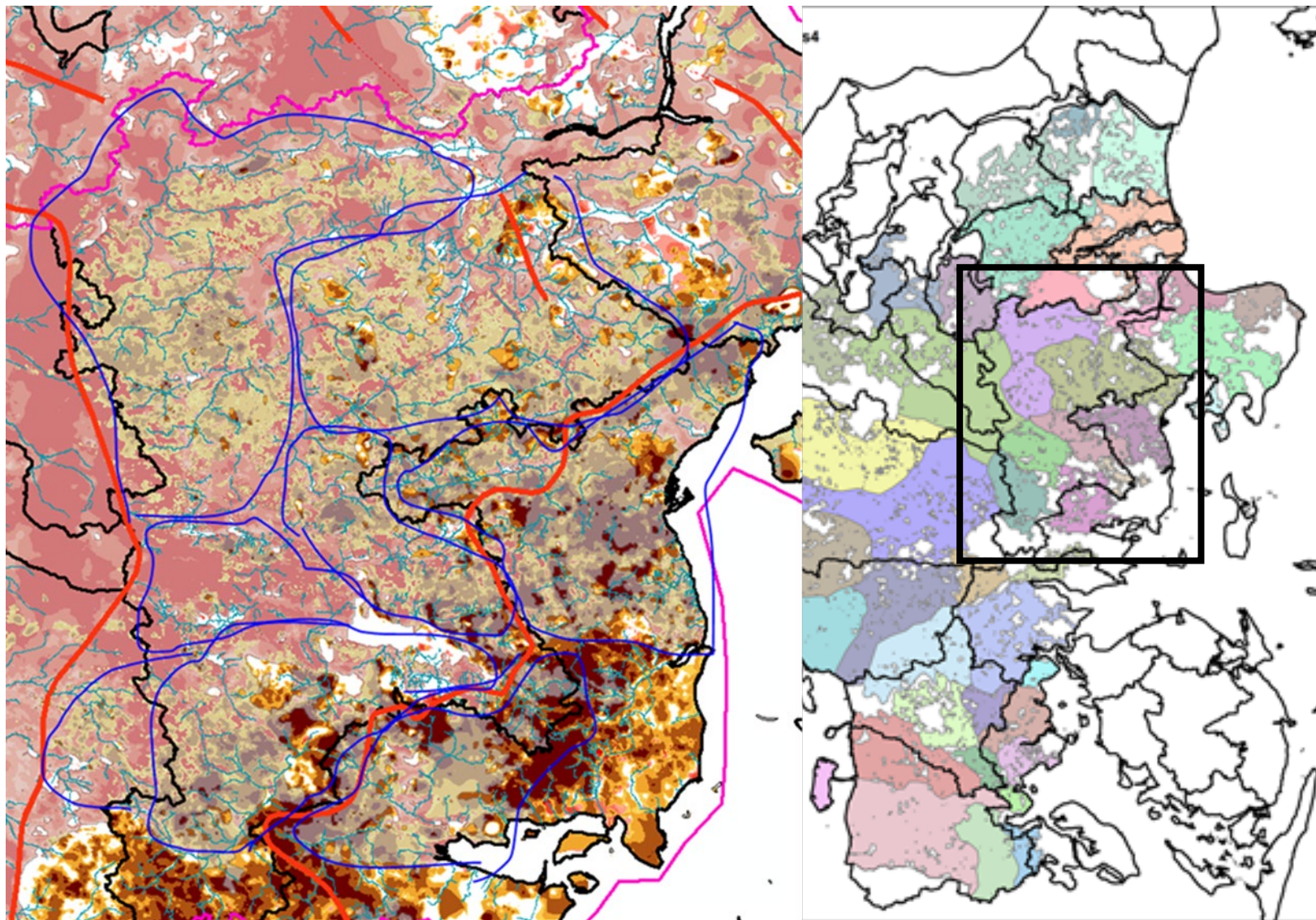
- nogle steder er der, hydrogeologisk set, sammenhængende magasiner som dækker betydelige arealer, og hvor tilstand og planlægning derfor kan have uhensigtsmæssig stor variationer



Underopdeling af store grundvandsforekomster

Meget store magasiner
(typisk større end 1.000 km²)
underopdeles

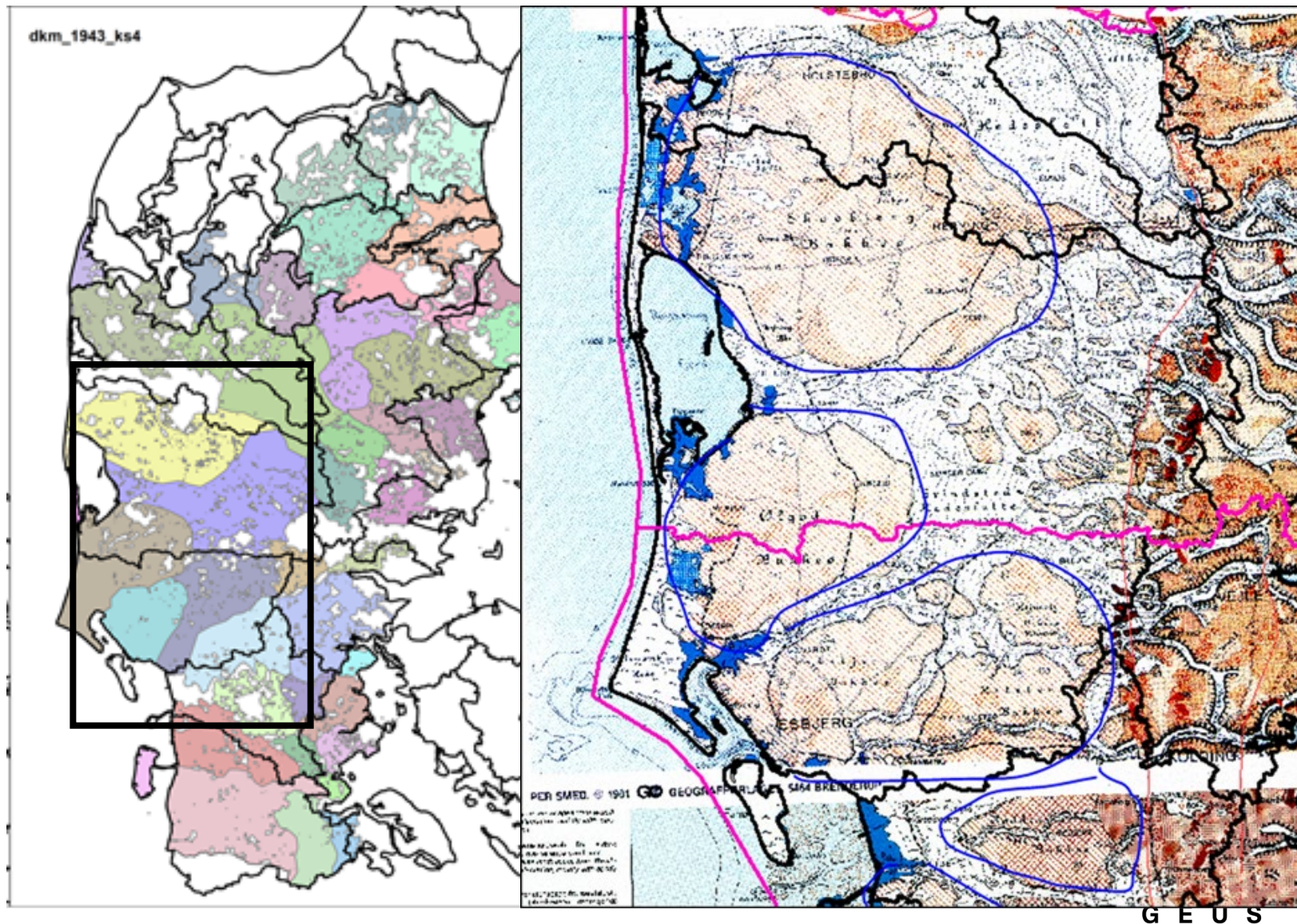
- nogle steder er der, hydrogeologisk set, sammenhængende magasiner som dækker betydelige arealer, og hvor tilstand og planlægning derfor kan have uhensigtsmæssig stor variationer



Underopdeling af store grundvandsforekomster

Meget store magasiner
(typisk større end 1.000 km²)
underopdeles

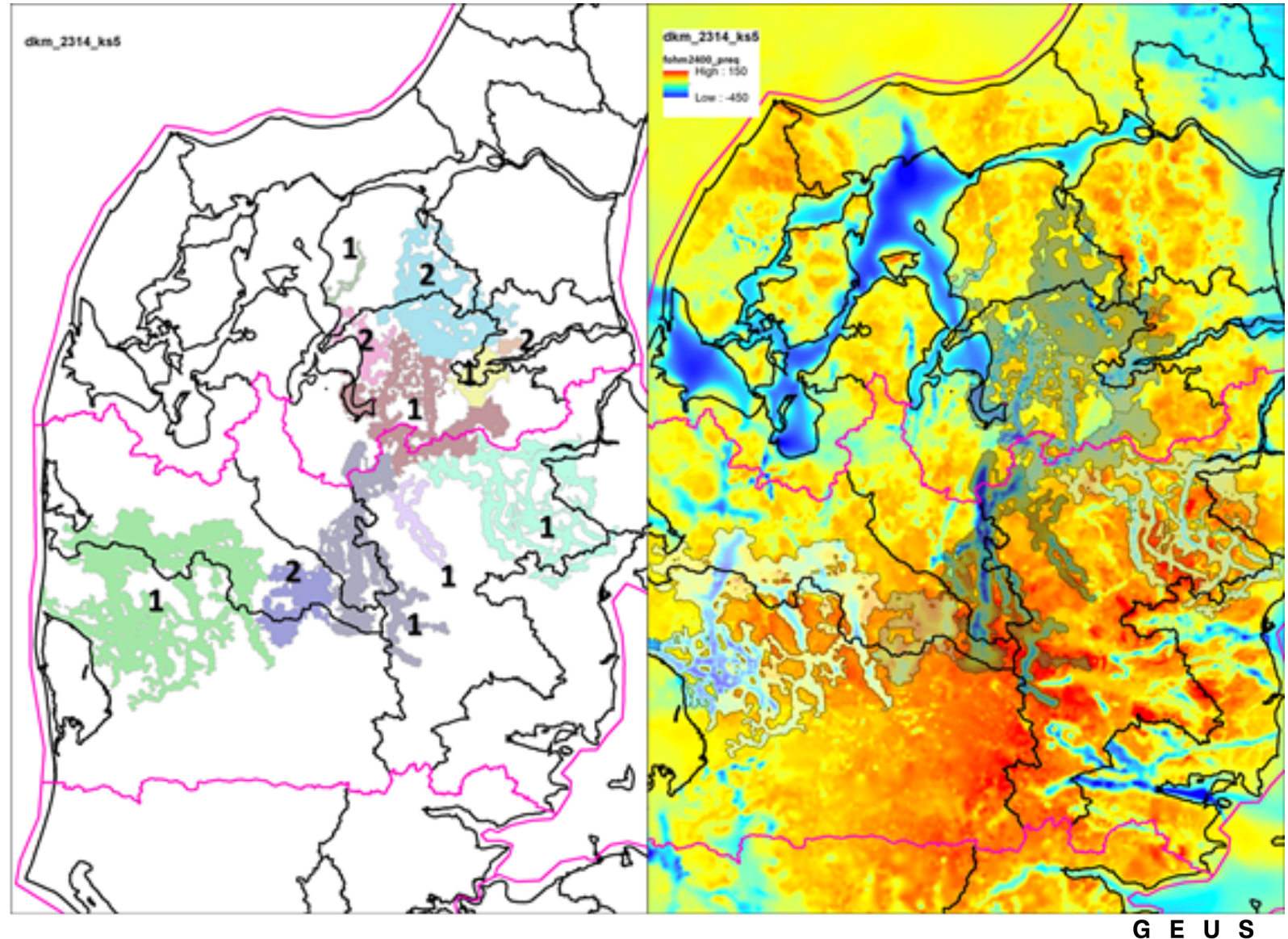
- nogle steder er der, hydrogeologisk set, sammenhængende magasiner som dækker betydelige arealer, og hvor tilstand og planlægning derfor kan have uhensigtsmæssig stor variationer



Underopdeling af store grundvandsforekomster

Meget store magasiner
(typisk større end 1.000 km²)
underopdeles

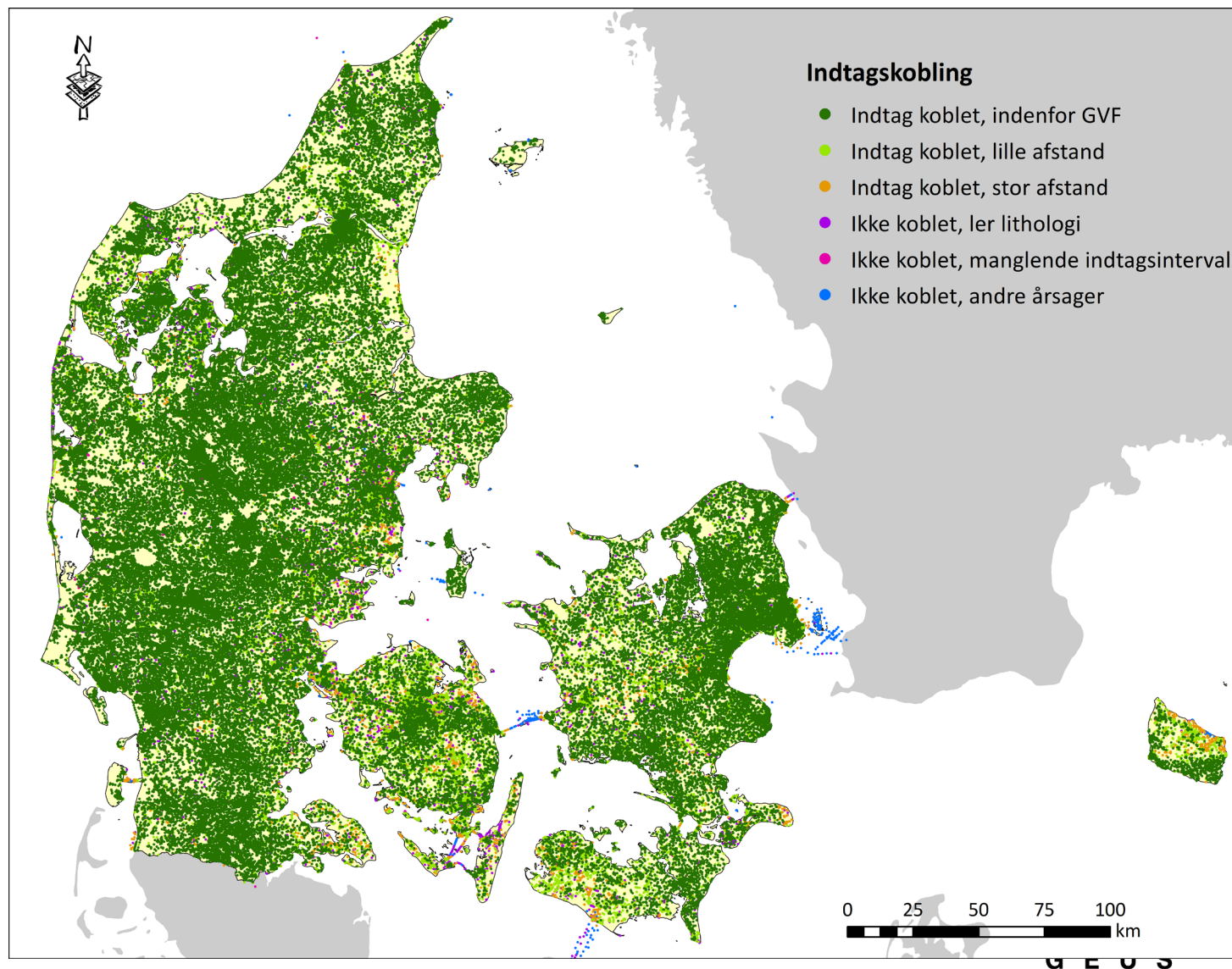
- nogle steder er der, hydrogeologisk set, sammenhængende magasiner som dækker betydelige arealer, og hvor tilstand og planlægning derfor kan have uhensigtsmæssig stor variationer



Kobling af indtag til grundvandsforekomster

Indtags koblingen er dannet ved

- Sammenligne geologi i filterintervallet med den hydrogeologiske model/grundvandsforekomst afgrænsningen
 - kvartært vs prækvartært
 - leret vs sandet
 - kalk/kridt
- Vurdering af afstanden fra indtaget i vertikal og horisontal retning til et magasin
- vurdering af filterintervaller (ofte mangelfuld beskrevet)



Karakterisering af grundvandsforekomster

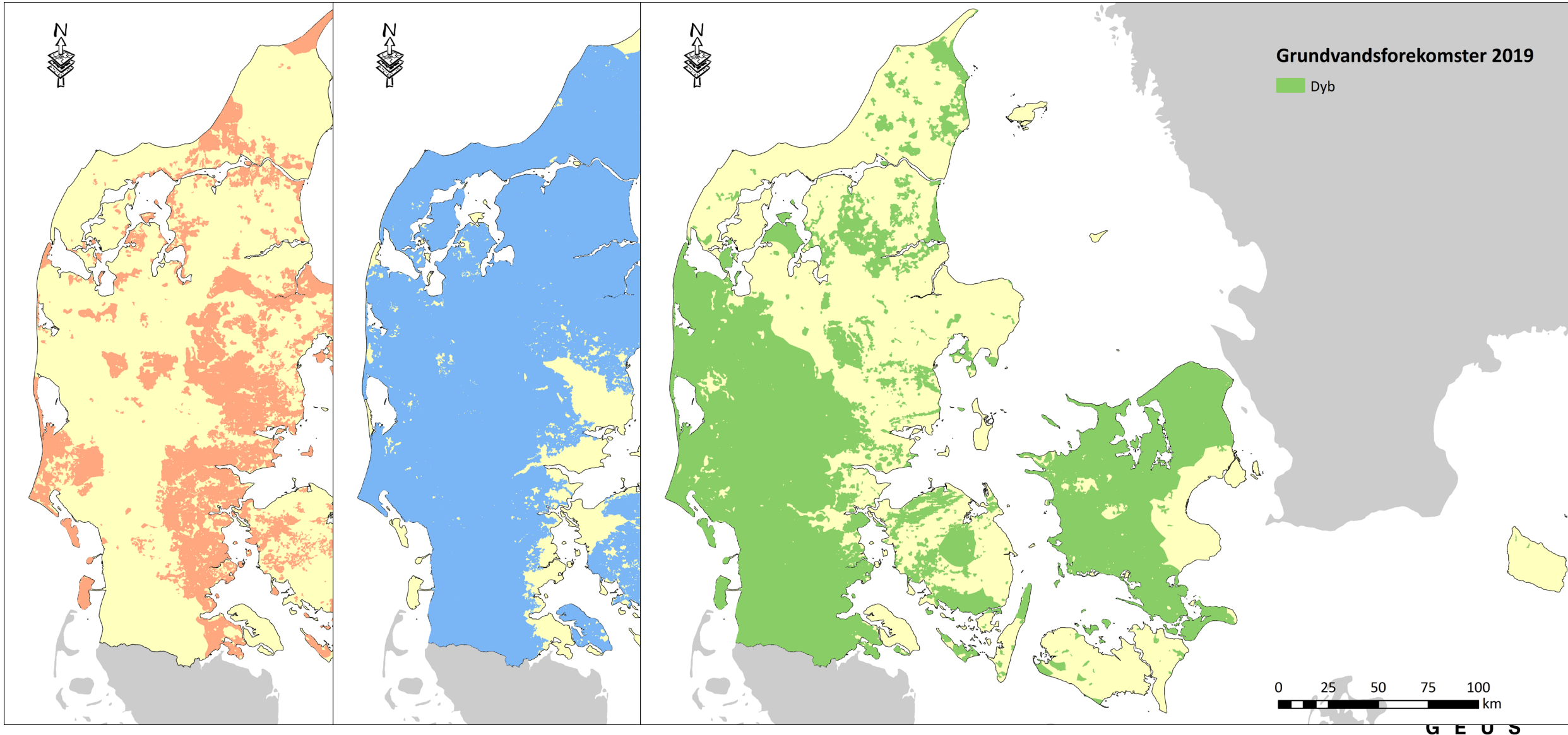
Vandrammedirektivets art. 5, bilag II, afsnit 2.1., siger at grundvandsforekomsterne kan grupperes i forbindelse med en risikoanalyse. Gruppering kan også anvendes ved overvågning og afrapportering.

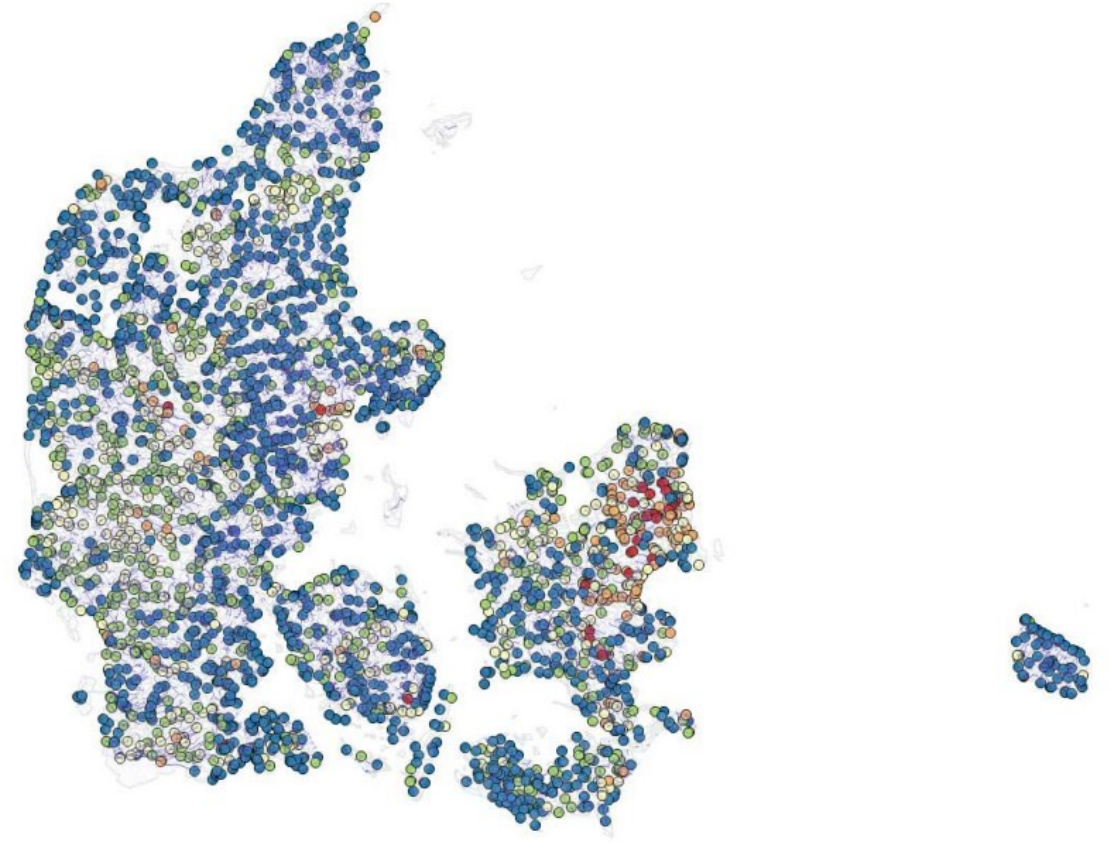
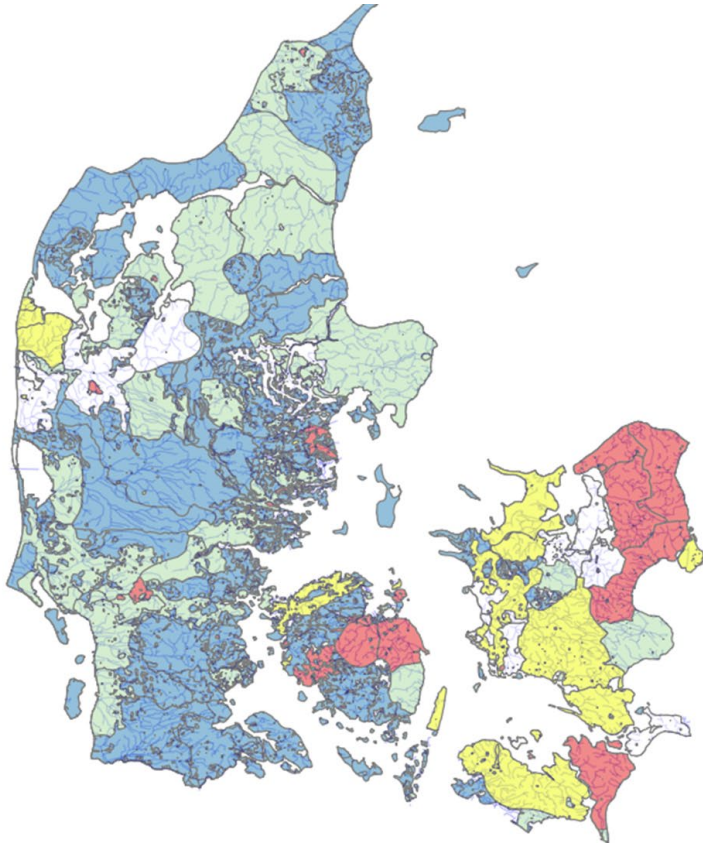
- karakteristikken/gruppering bør udvikles på baggrund af erfaringerne fra nitrattilstandsvurderingerne samt erfaringer fra grundvandskortlægningens sårbarhedsanalyser og overvågningen

Karakteristikken er i første omgang derfor holdt simpel og med direkte reference til sidste revision

- Vurdering af potential kontakt til vandløb, søer og GATØ ud fra et afstandskriterie
- Vurdering af samlet areal af grundvandsforekomst og mindste magasin middeldybde indenfor forekomsten
- Opdeling i terrænnær ((med kontakt til overfladevand eller $< 25\text{m}$ under terræn, mindre end 250 km^2), regional ((med kontakt til overfladevand eller $< 25\text{m}$ under terræn, større end 250 km^2) og dyb ($>25\text{m}$ under terræn i gennemsnit og uden kontakt til overfladevand)

Karakterisering af grundvandsforekomster





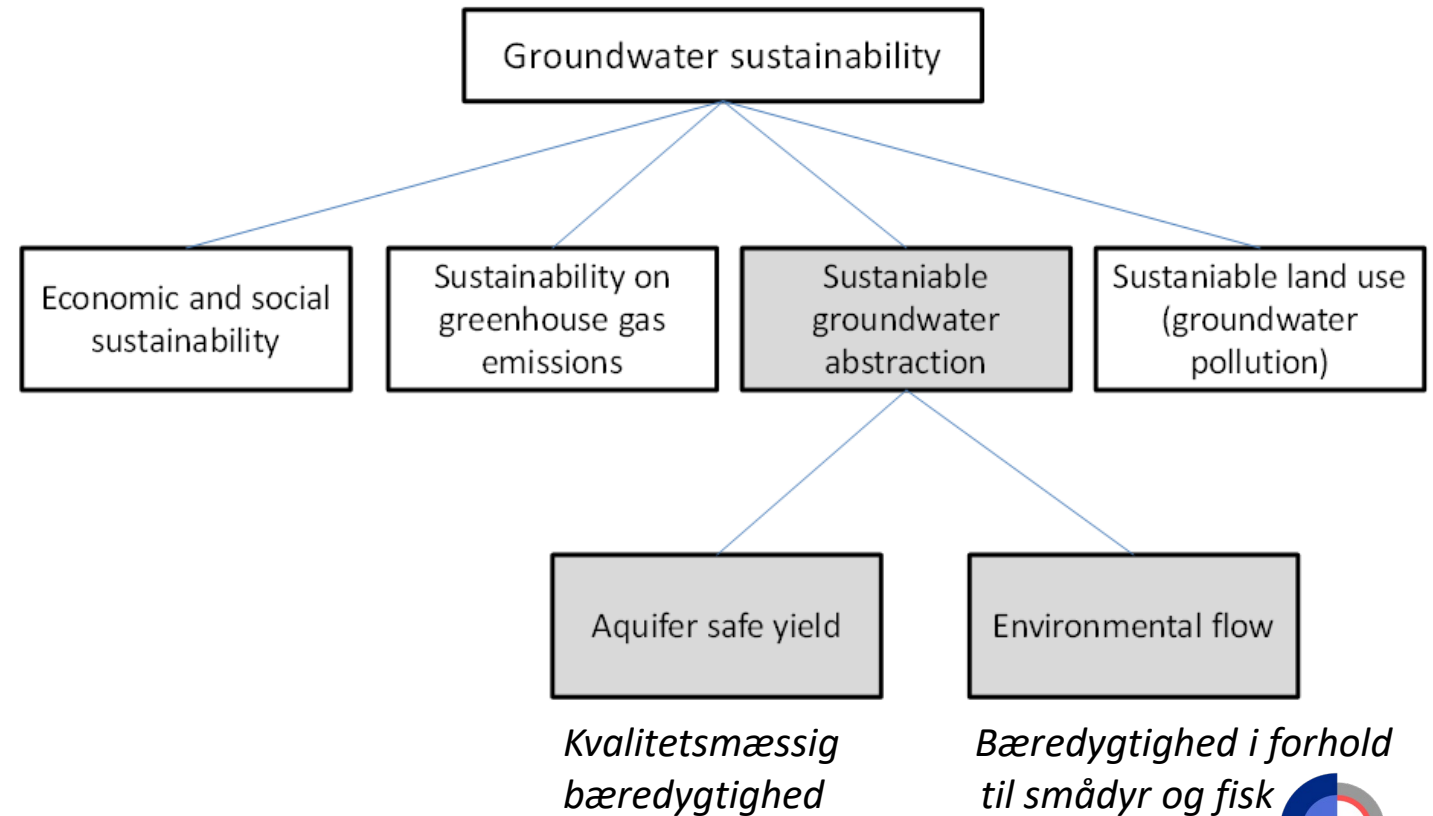
Kvantitativ tilstandsvurdering



GEUS

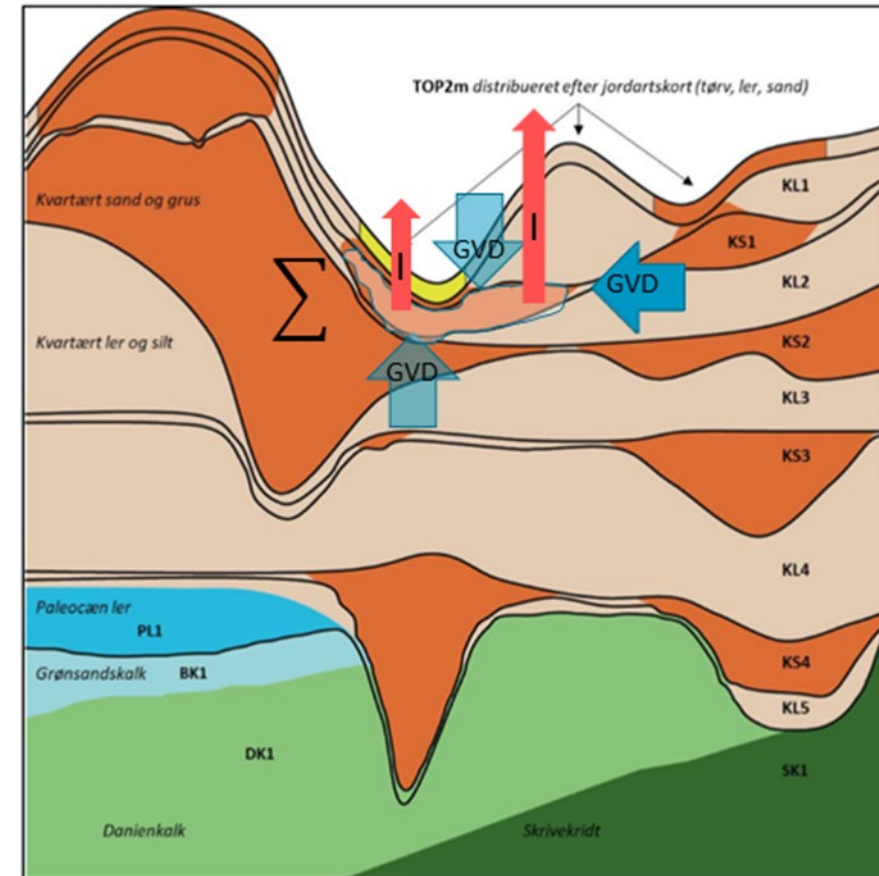
Hvad indgår i vurderingen af kvantitativ tilstand?

- Grundvandsindvindingens størrelse i forhold til den langsigtede grundvandsdannelse (*'kvalitetsmæssig bæredygtighed'*)
- Vurdering af om påvirkning af vandløbsøkologi fører til en væsentlig forringelse i målsatte vandløb (*'bæredygtighed i forhold til smådyr og fisk'*)

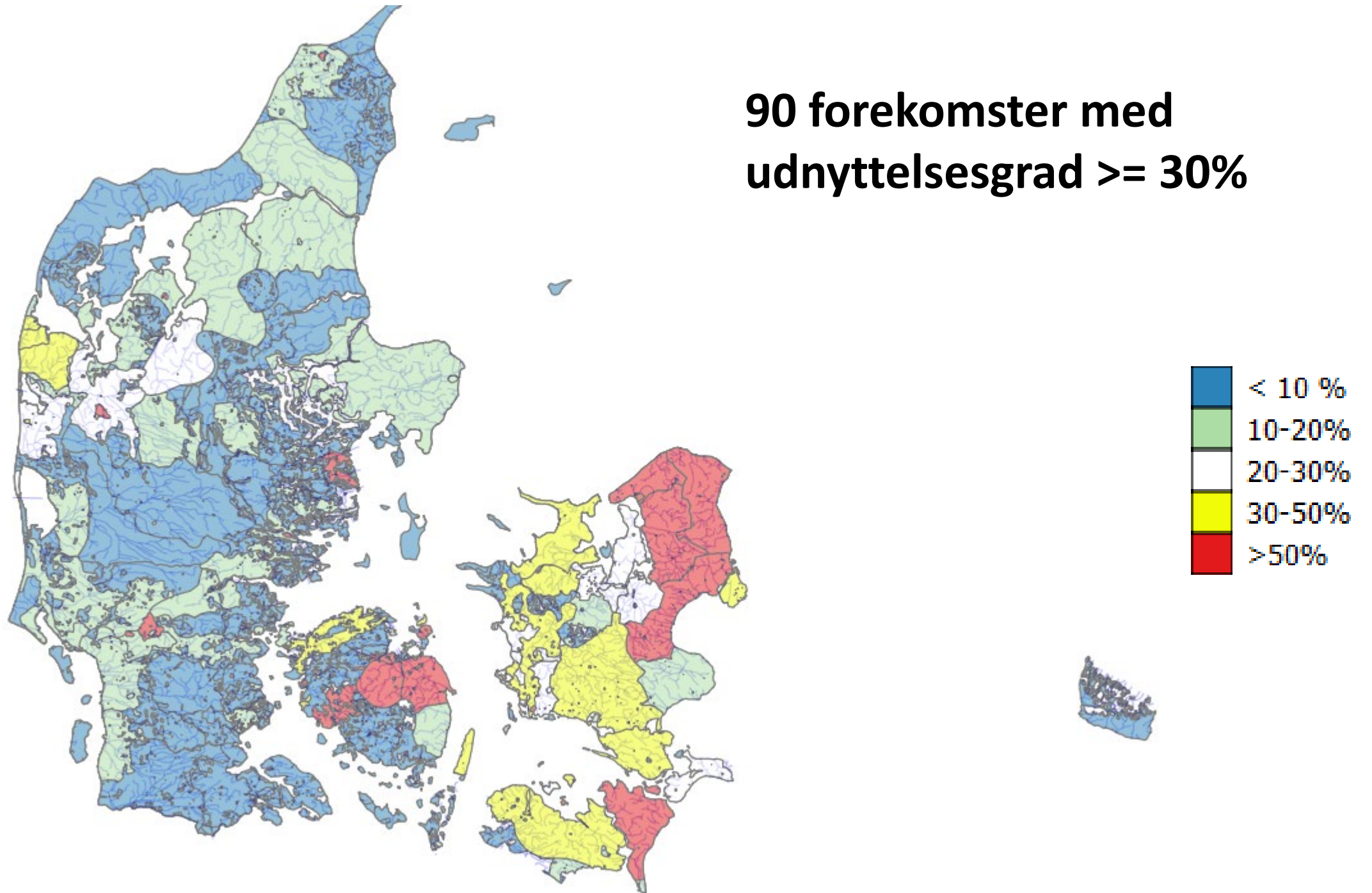


Første trin i screening (max 30% udnyttelsesgrad)

- For hver forekomst opsummeres samtlige indvindinger for perioden 2011-2017
- Der beregnes flux ind i forekomsten fra oven, siden og fra neden, som opsummeres
- Herefter beregnet udnyttelsesgraden i % af samlet grundvandsdannelse (fluxen)
- Hvis udnyttelsesgraden er $\geq 30\%$ undersøges forekomsten nærmere i forbindelse med endelig tilstandsvurdering
- Det vurderes samtidig om sænkning af trykniveau er $\geq 3\text{m}$ (median for GVF), som følge af vandindvinding fra GVF



90 forekomster med udnyttelsesgrad $\geq 30\%$

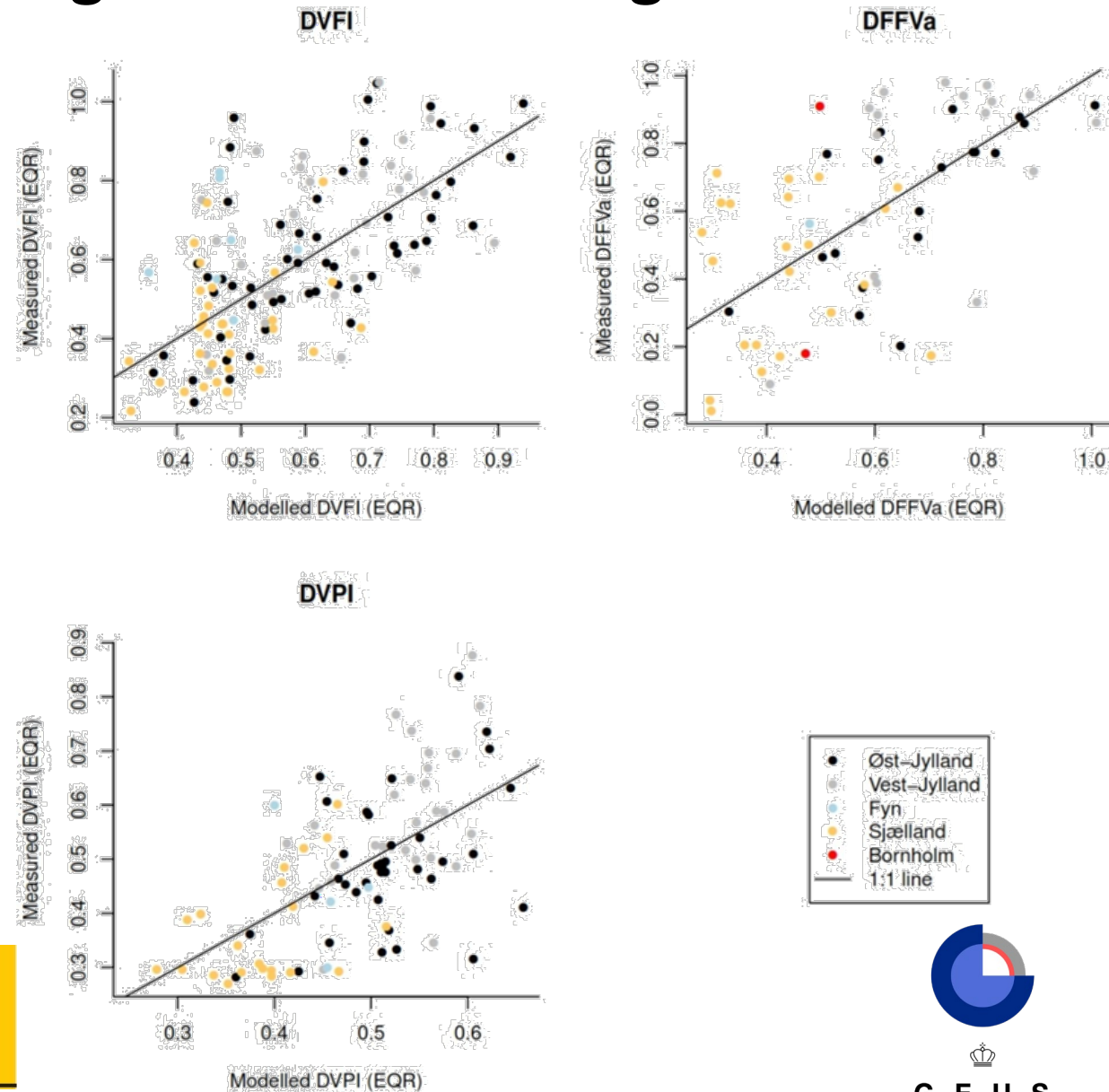


Hvad indgår i vurdering af påvirkning af vandløbsøkologi?

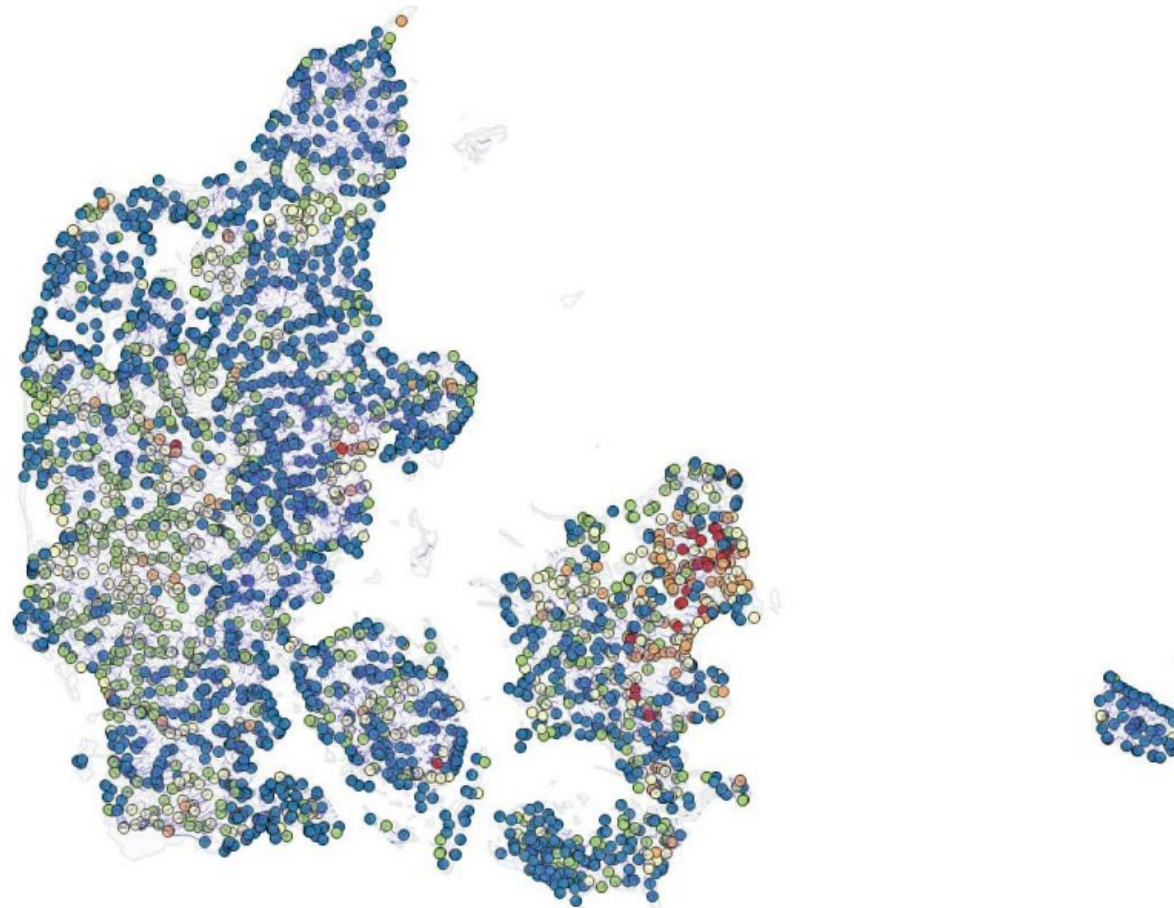
- Påvirkning af vandløbsøkologi, som forhindrer opnåelse af god økologisk tilstand, eller fører til en væsentlig forringelse i målsatte vandløb
- Tabel med sandsynlighed for tilstandsklasse skift ift ændring i EQR værdier
- Kriterium: >80% sandsynlighed for tilstandsændring

Empiriske relationer blev udledt på basis af målt EQR og målte daglige afstrømninger for 2004-10 for 61-122 overvågningsstationer (Bemærk formler gælder kun for Type 2-3 dvs. >10km² og >2m brede Vandløb)

$$\begin{aligned} DVFI_{EQR} &= 0.217 + 0.103 \cdot \sin + 0.020 \cdot Q_{90-n} \cdot Fre_1 && (\text{smådyr}) \\ DVPI_{EQR} &= 0.546 + 0.020 \cdot Fre_{25} - 0.019 \cdot Dur_3 - 0.025 \cdot Fre_{75} && (\text{planter}) \\ DFFVa_{EQR} &= 0.811 \cdot BFI + 0.058 \cdot \sin + 0.050 \cdot Fre_{25} - 0.319 - 0.0413 \cdot Fre_{75} && (\text{fisk}) \end{aligned}$$

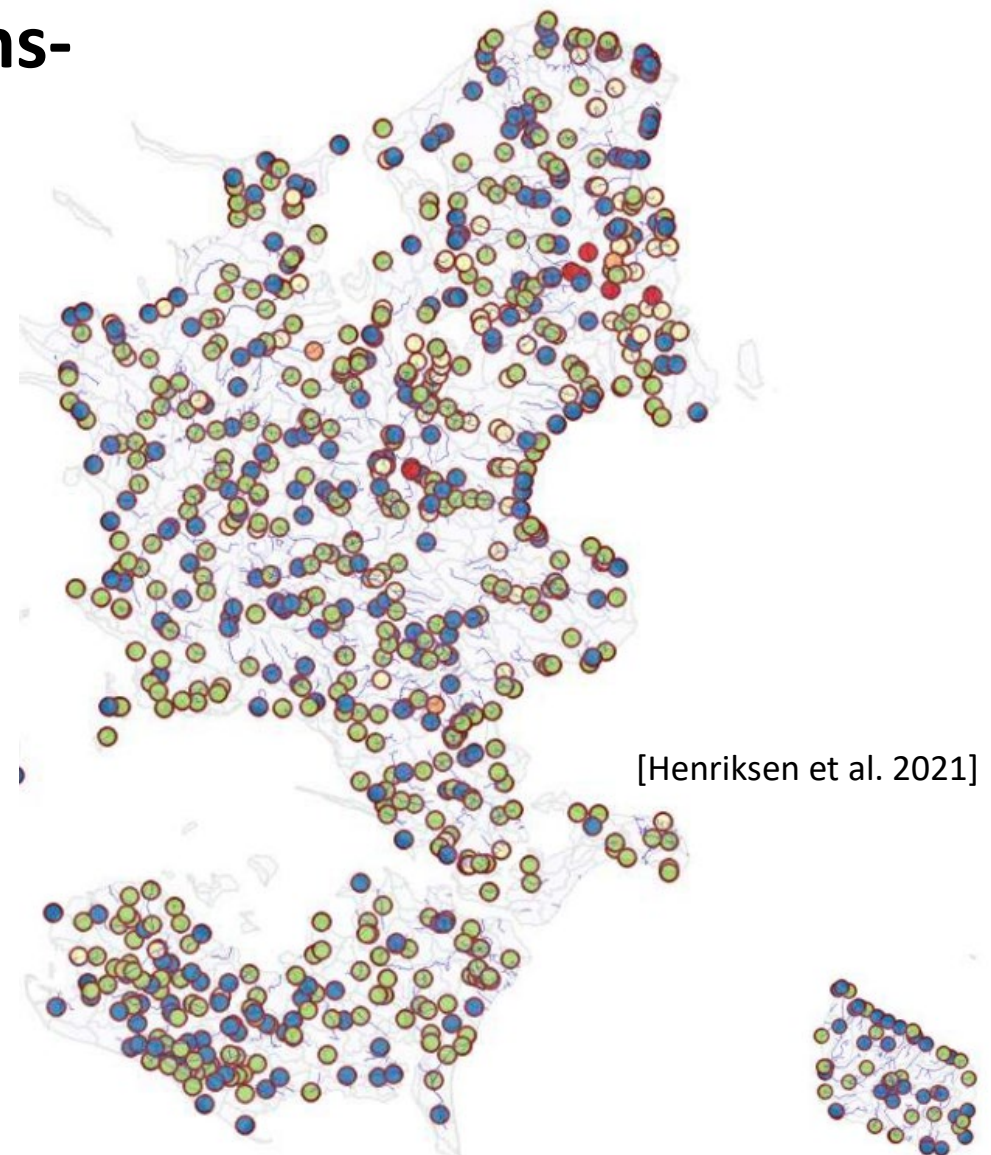


Vandindvindings påvirkning af minimumsvandføring (%) og fiske EQR (DFFVa)



- >45% reduceret
- 25-45 % reduceret
- 10-25% reduceret
- 5-10% reduceret
- <5 % reduceret

Figur 16. Hele landet ID16 vandløbspunkter med % vis reduktion af minimumsvandføring Q95 som følge af vandindvinding.

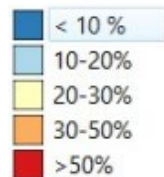
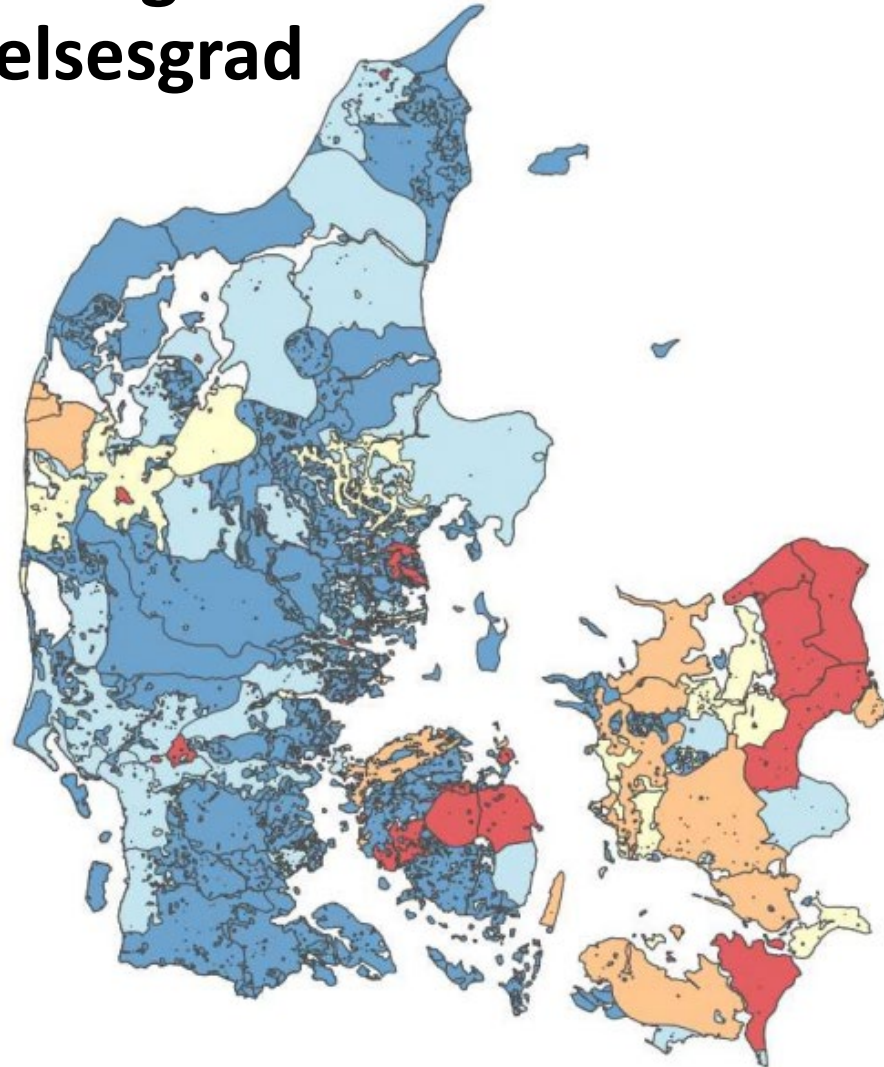


[Henriksen et al. 2021]

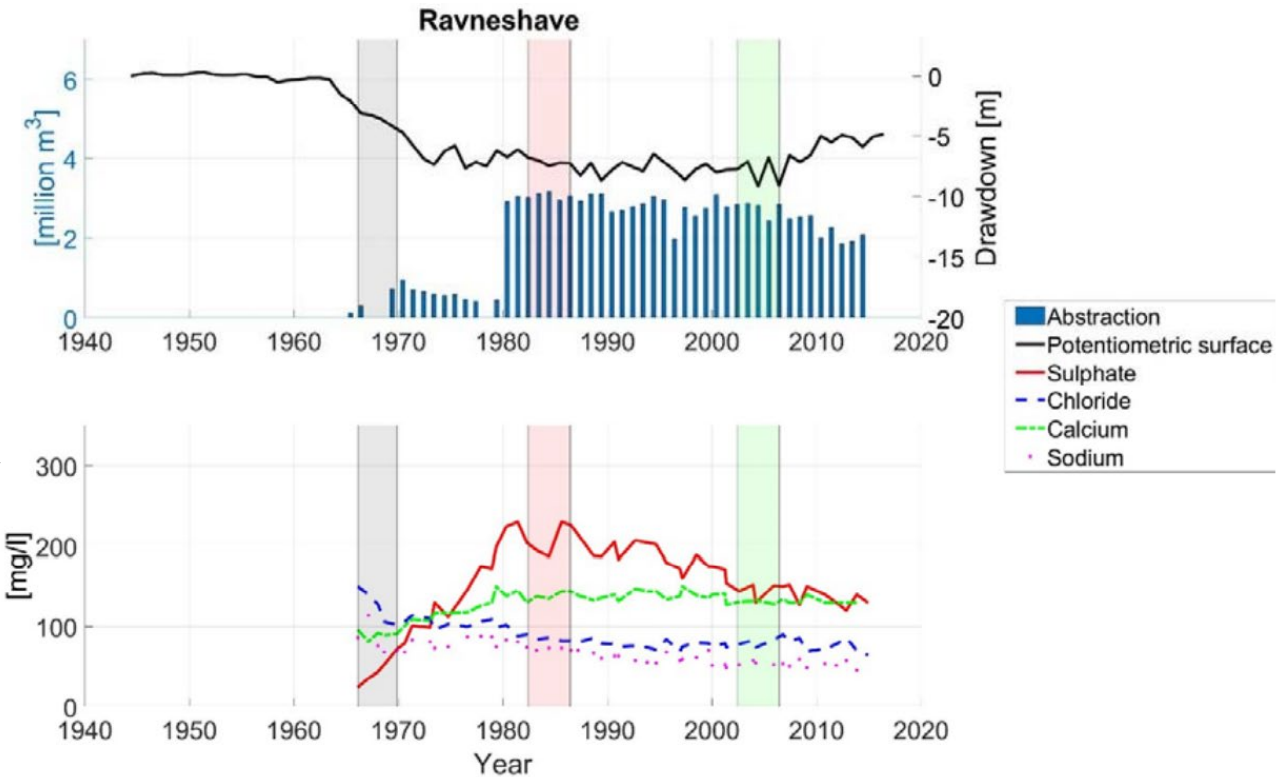
- >=80% sandsynlighed for tilstandsændring
- 50-80% sandsynlighed for tilstandsændring
- 20-50% sandsynlighed for tilstandsændring
- 0-20% sandsynlighed for tilstandsændring
- positiv tilstandsændring

Figur 13. Udsnit for Sjælland og Bornholm med ID16 vandløbspunkter med risiko for tilstandsændring for fisk DFFVa som følge af vandindvinding.

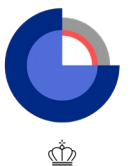
Modelberegnet udnyttelsesgrad



Observerede udfordringer



[Gejl et al. 2019]

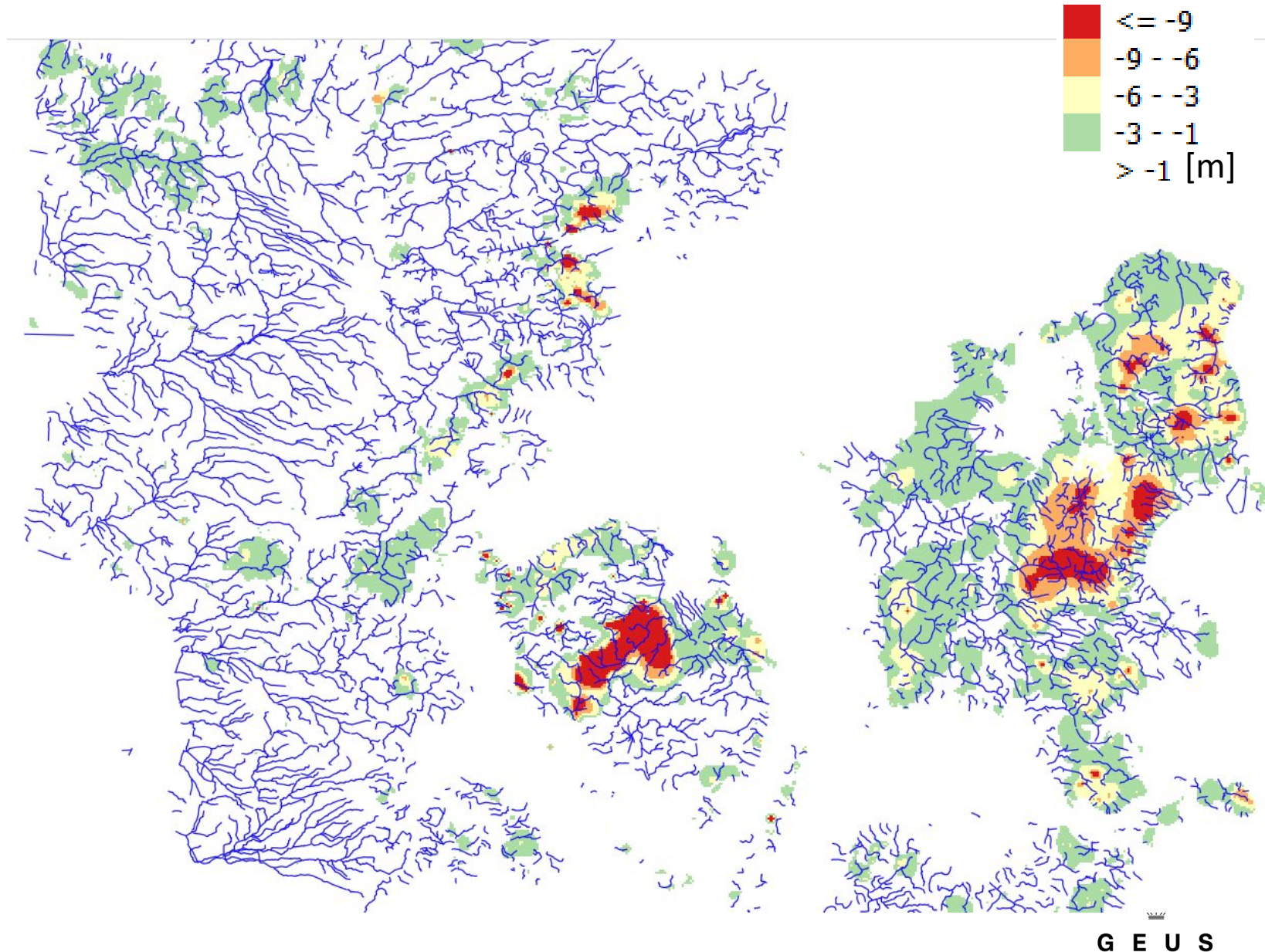


GEUS

Supplerende undersøgelser

Hele landet/2050 GVF:

- Udnyttelsesgrad for alle forekomster
- Vandløbspåvirkning for ID15 (fisk og smådyr)
- Afsækning af trykniveau for alle modellag (KS1-4, PS1-6+kalk)



Supplerende undersøgelser

Hele landet/2050 GVF:

- Udnyttelsesgrad for alle forekomster
- Vandløbspåvirkning for ID15 (fisk og smådyr)
- Afsækning af trykniveau for alle modellag (KS1-4, PS1-6+kalk)

Ca. 90 forekomster i risiko

- Trendanalyse (Cl+SO₄)
- Indvindingsbetinget forøget indhold af salte & tungmetaller
- GIS kort + dok. ark.
- Ekspertvurdering med konsolideret tilstandsvurdering

Sulfate trends



significant & positive



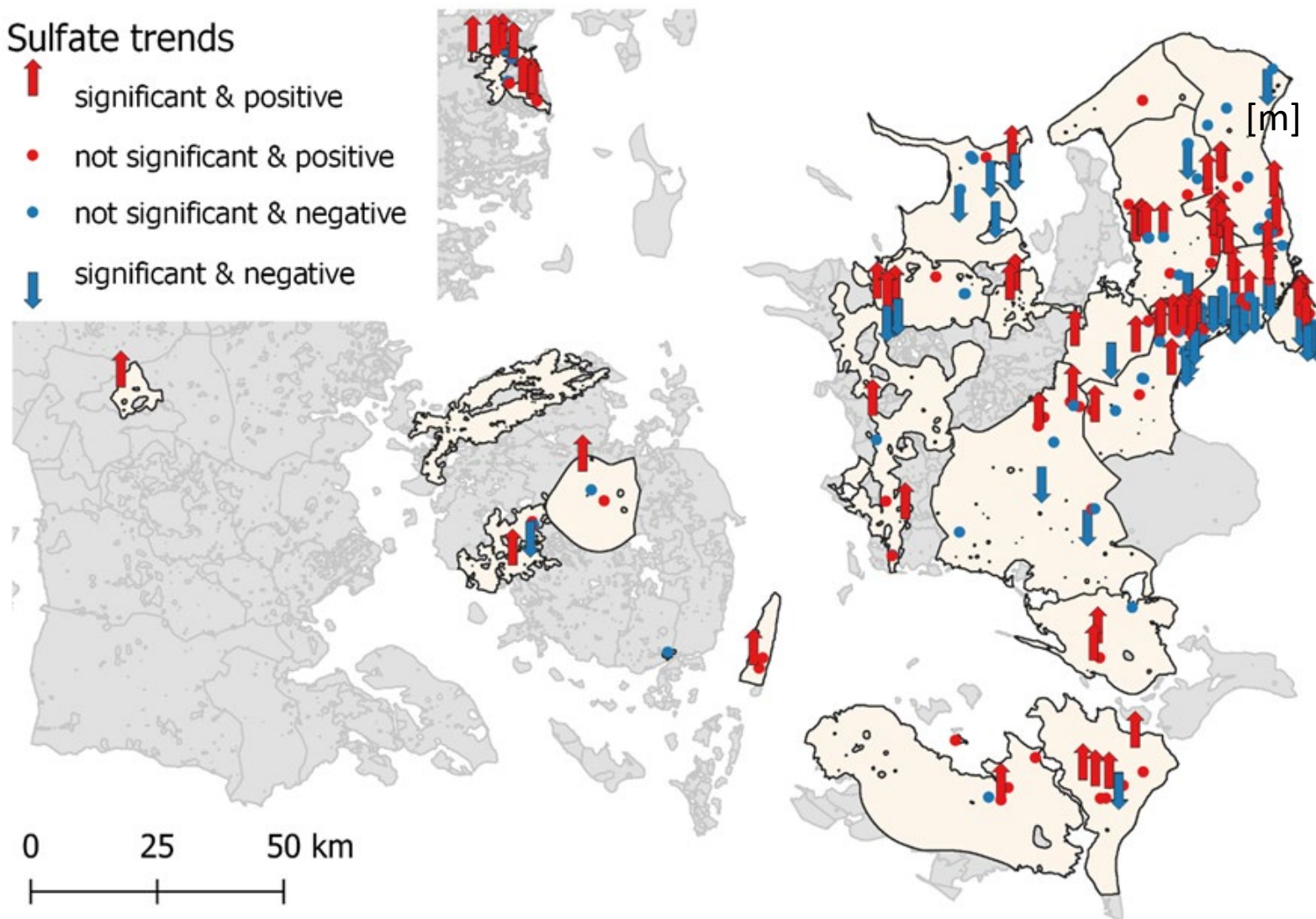
not significant & positive



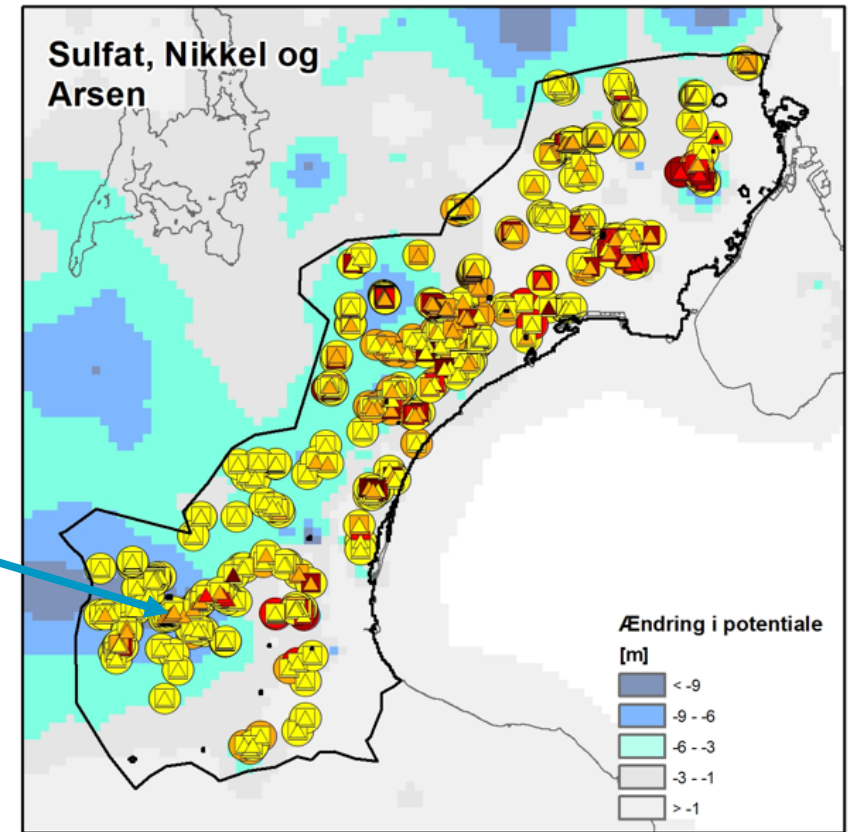
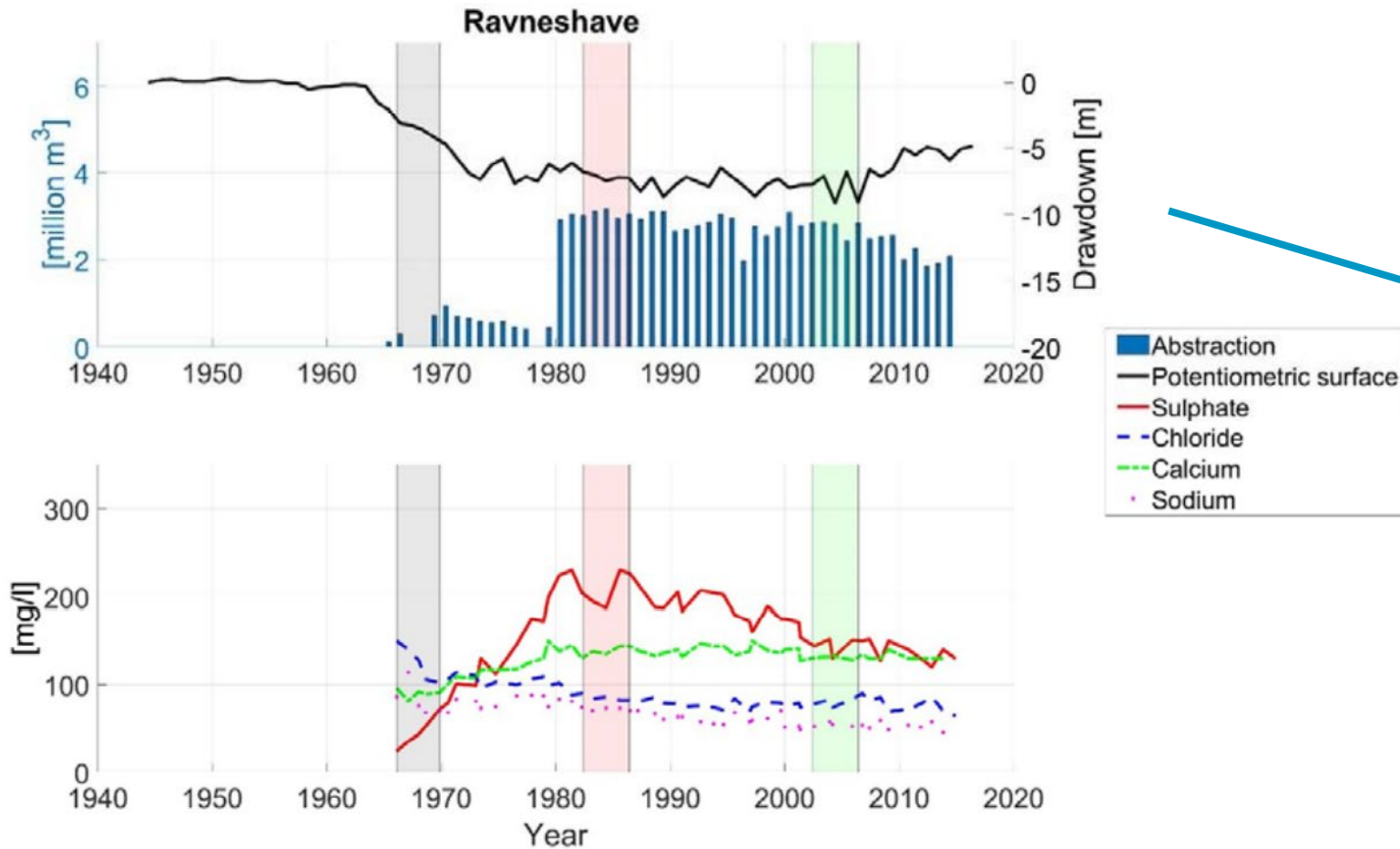
not significant & negative



significant & negative

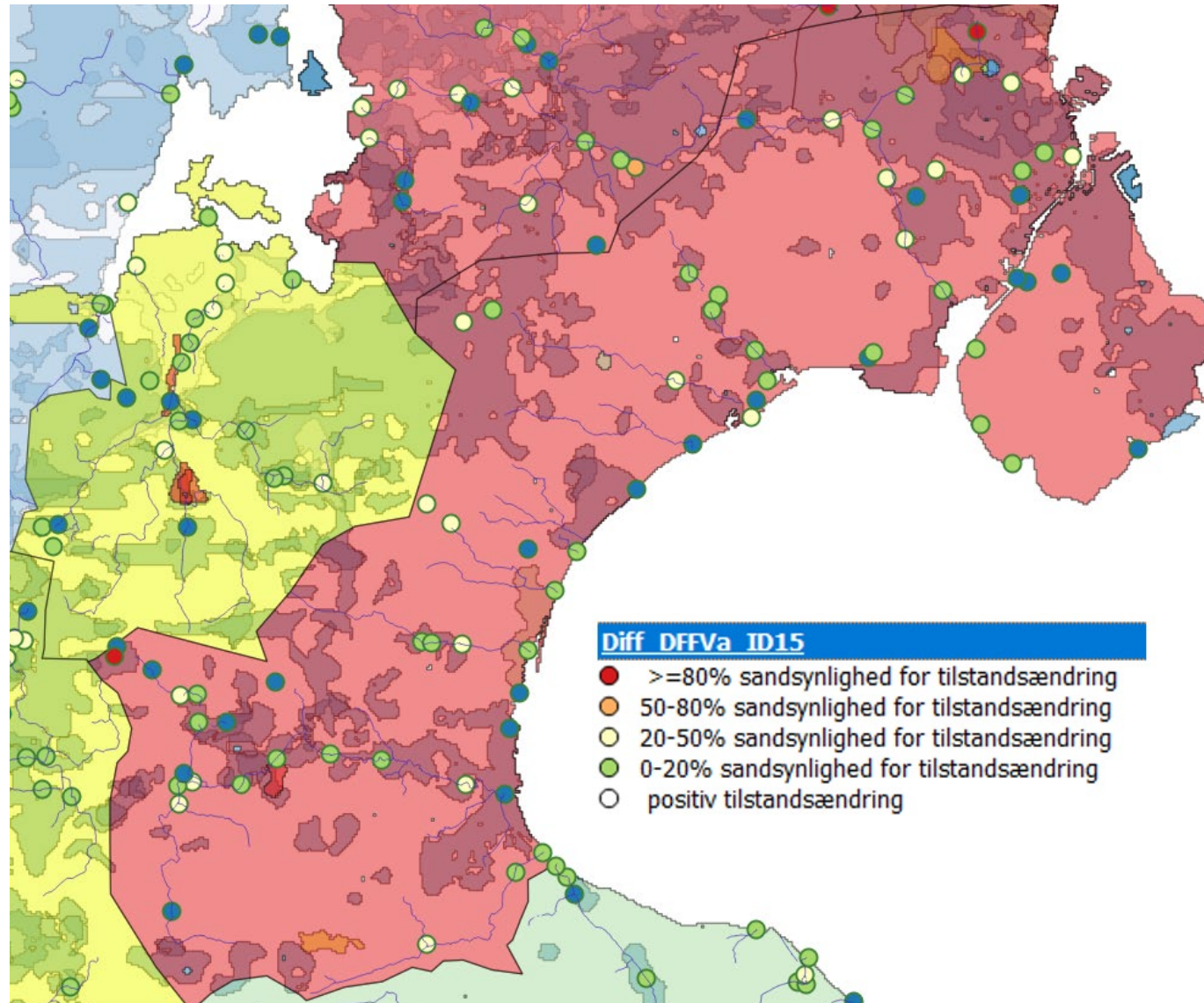


Afsækning af trykniveau, pyritoxidation og sulfat (dkms_3627_kalk)

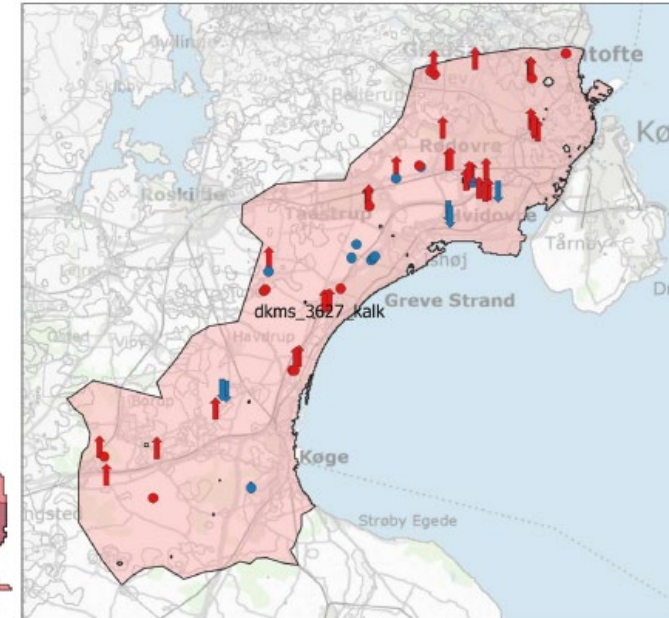


Sulfat	Nikkel	Arsen
▲ < 75	■ 0 - 5	● 0 - 2.5
▲ 75 - 150	■ 5 - 10	● 2.5 - 5
▲ 150 - 250	■ 10 - 20	● 5 - 10
▲ 250 - 350	■ 20 - 40	● 10 - 20
▲ > 350	■ > 40	● > 20

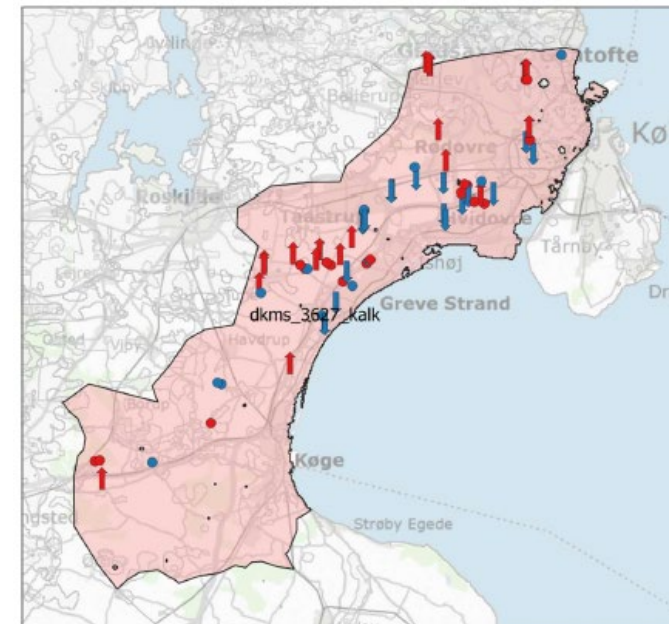
Vandløbspåvirkning og trend (dkms_3627_kalk)



DK204_dkms_3627_kalk



- Chlorid**
- ↑ Stigende (signifikant)
 - Stigende (ikke signifikant)
 - Faldende (ikke signifikant)
 - ↓ Faldende (signifikant)
 - Grundvandsforekomsten



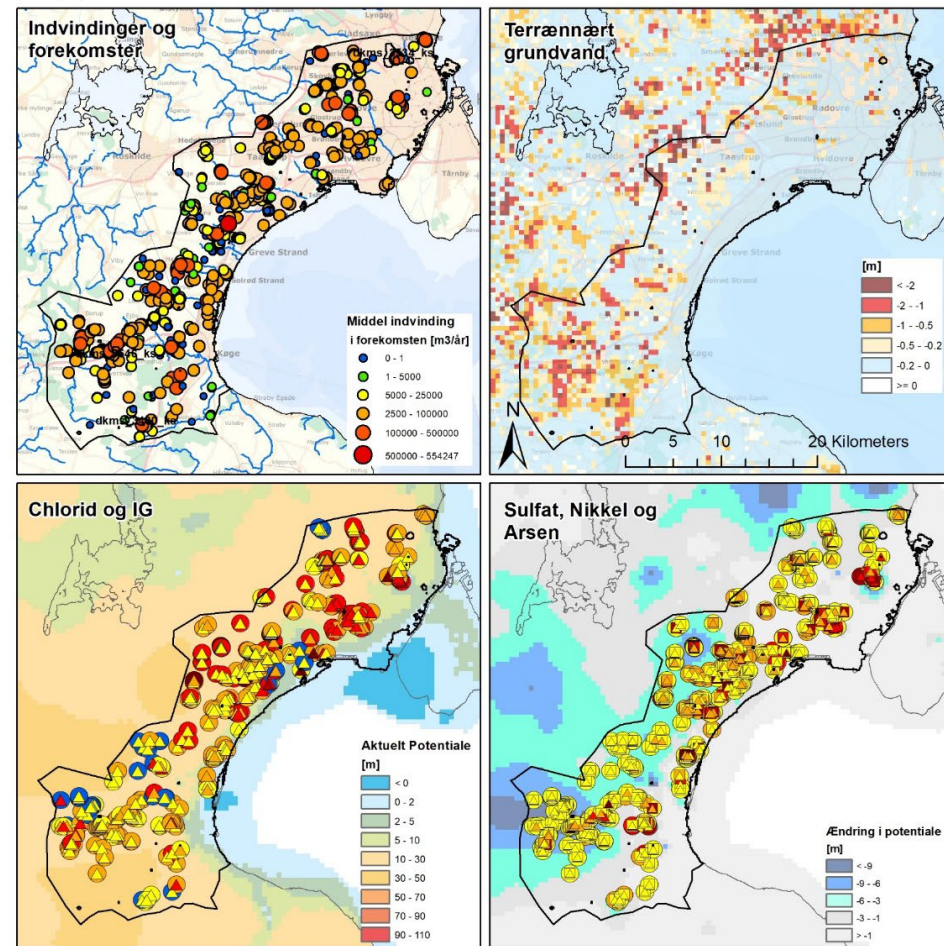
- Sulfate**
- ↑ Stigende (signifikant)
 - Stigende (ikke signifikant)
 - Faldende (ikke signifikant)
 - ↓ Faldende (signifikant)
 - Grundvandsforekomsten

0 4 8 12 16 20 km

Oversigt

- Grundvandsforekomsten
- Andre grundvandsforekomster indenfor denne
- Vandplan3 vandløb
- Kystlinje

dkms_3627_kalk



Chlorid (Cl)

- < 75
- 75 - 125
- 125 - 250
- 250 - 500
- > 500

IG (Na/Cl)

- 0 - 0.35
- 0.35 - 0.65
- 0.65 - 1
- 1 - 1.15
- > 1.15

Sulfat

- < 75
- 75 - 150
- 150 - 250
- 250 - 350
- > 350

Nikkel

- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 40
- > 40

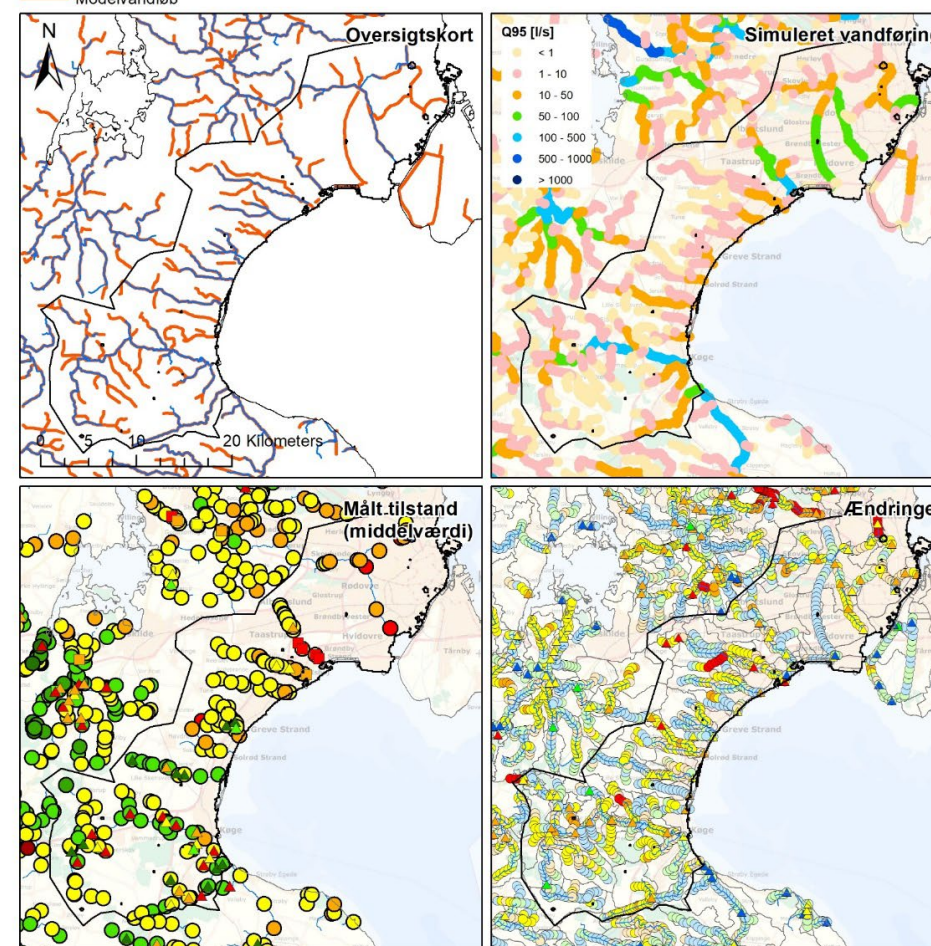
Arsen

- 0 - 2.5
- 2.5 - 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- > 20

Oversigt

- Grundvandsforekomsten
- Andre grundvandsforekomster indenfor denne
- Vandplan3 vandløb
- Modelvandløb

dkms_3627_kalk
Overfladevandspåvirkning



EQR DFFVø

- < 0.06
- 0.06 - 0.25
- 0.25 - 0.5
- 0.5 - 0.81
- > 0.81

EQR DFFVa

- < 0.11
- 0.11 - 0.4
- 0.4 - 0.72
- 0.72 - 0.94
- > 0.94

DVFI fauna

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

Forskel Q95 [l/s]

- < -45
- 45 - -25
- 25 - -10
- 10 - -5
- >= -5

Forskel EQR fisk

- < -0.22
- 0.22 - -0.16
- 0.16 - -0.05
- 0.05 - -0.025
- 0.025 - 0
- >= 0

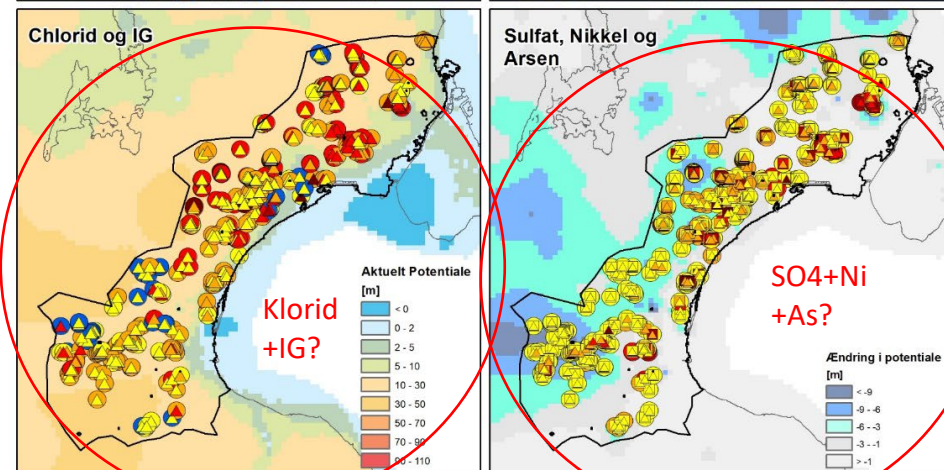
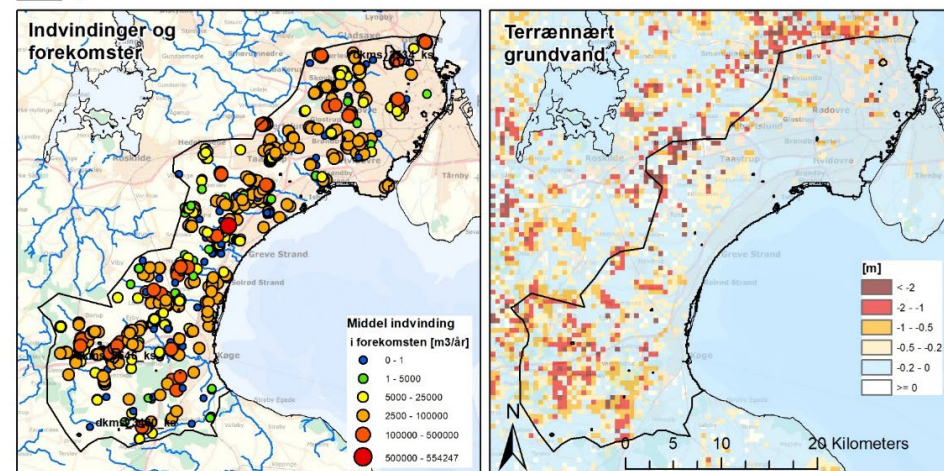
GIS Kort

- [Henriks en et al. 2020]

Oversigt

- Grundvandsforekomsten
- Andre grundvandsforekomster indenfor denne
- Vandplan3 vandløb
- Kystlinie

dkms_3627_kalk



Chlorid (Cl) IG (Na/Cl)

▲ < 75	● 0 - 0.35
▲ 75 - 125	● 0.35 - 0.65
▲ 125 - 250	● 0.65 - 1
▲ 250 - 500	● 1 - 1.15
▲ > 500	● > 1.15

Sulfat Nikkel Arsen

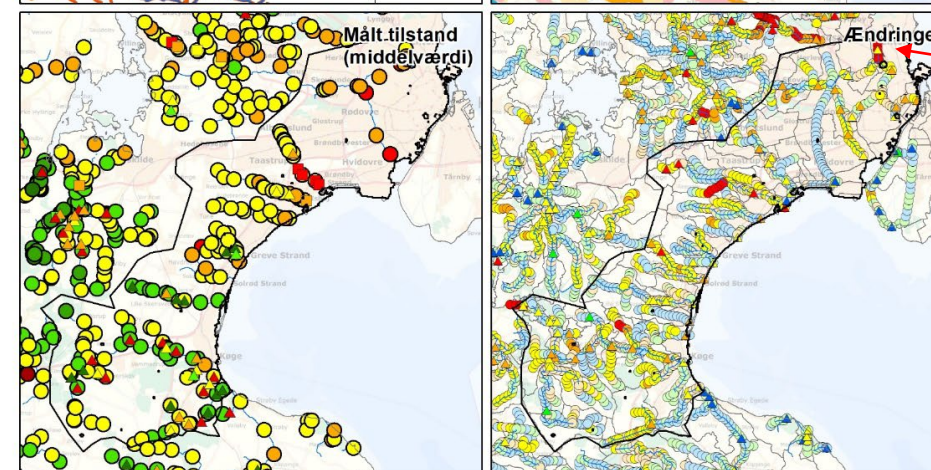
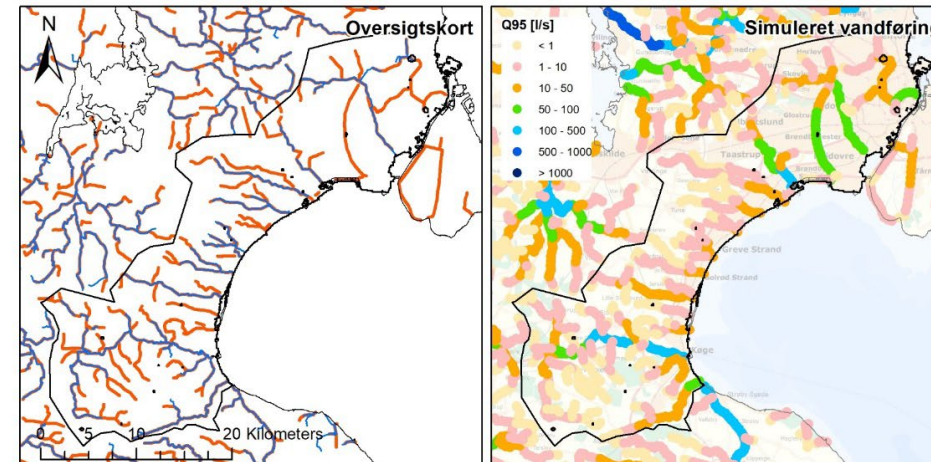
▲ < 75	■ 0 - 5	● 0 - 2.5
▲ 75 - 150	■ 5 - 10	● 2.5 - 5
▲ 150 - 250	■ 10 - 20	● 5 - 10
▲ 250 - 350	■ 20 - 40	● 10 - 20
▲ > 350	■ > 40	● > 20

SO₄+Ni
+As?

Oversigt

- Grundvandsforekomsten
- Andre grundvandsforekomster indenfor denne
- Vandplan3 vandløb
- Modelvandløb

dkms_3627_kalk
Overfladevandspåvirkning



EQR DFFVø EQR DFFVa DVFI fauna

▲ < 0.06	■ < 0.11	● 1
▲ 0.06 - 0.25	■ 0.11 - 0.4	● 2
▲ 0.25 - 0.5	■ 0.4 - 0.72	● 3
▲ 0.5 - 0.81	■ 0.72 - 0.94	● 4
▲ > 0.81	■ > 0.94	● 5
		● 6
		● 7

Forskel Q95 [l/s] Forskel EQR fisk

▲ < -45	● < -0.22
▲ -45 - -25	● -0.22 - -0.16
▲ -25 - -10	● -0.16 - -0.05
▲ -10 - -5	● -0.05 - -0.025
▲ >= -5	● -0.025 - 0
	● >= 0

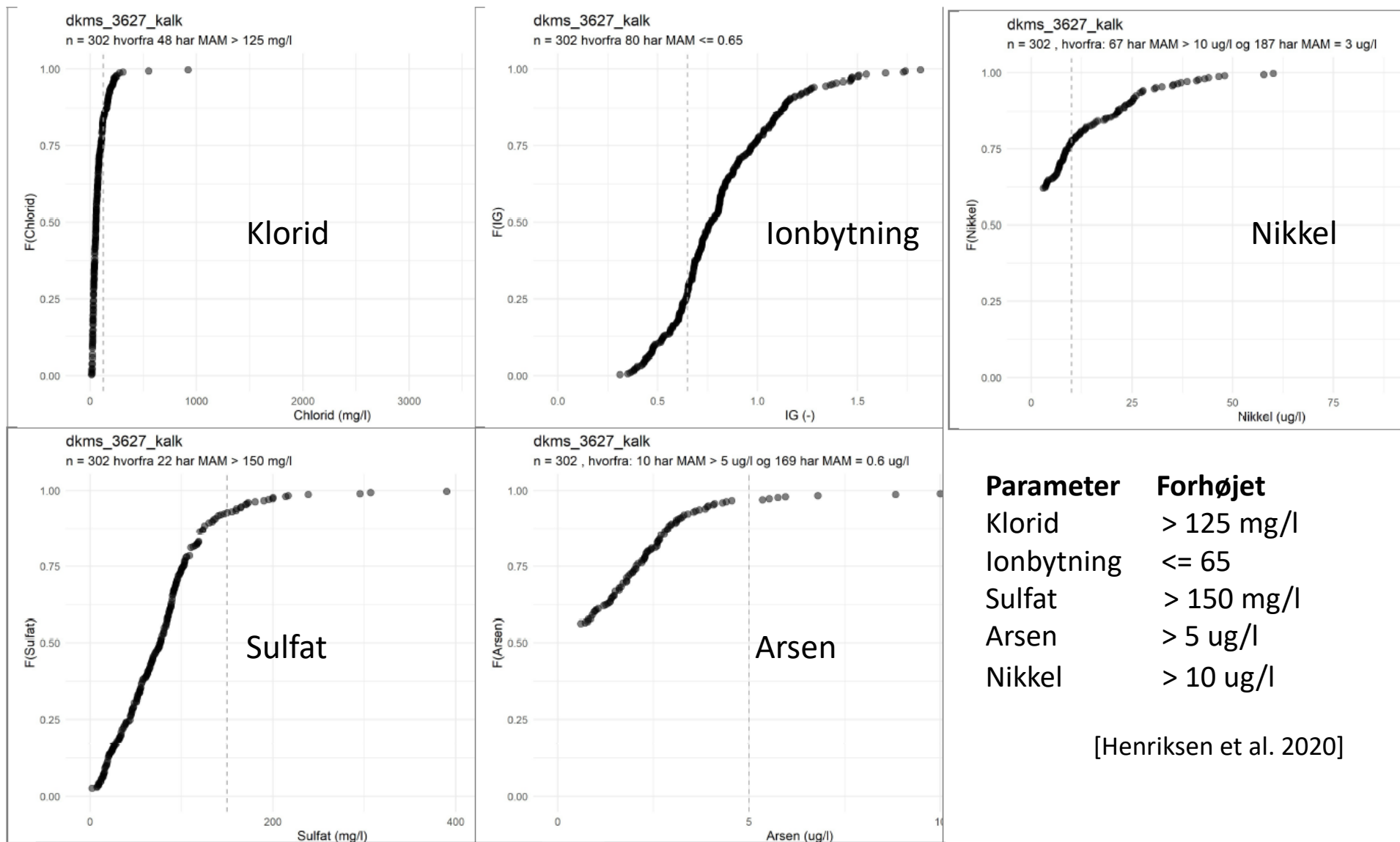
GIS Kort

- [Henriks en et al. 2020]

DFFVa?

Kumulativ fordelingsfunktion MAM (Cl, IG, SO₄, As, Ni)

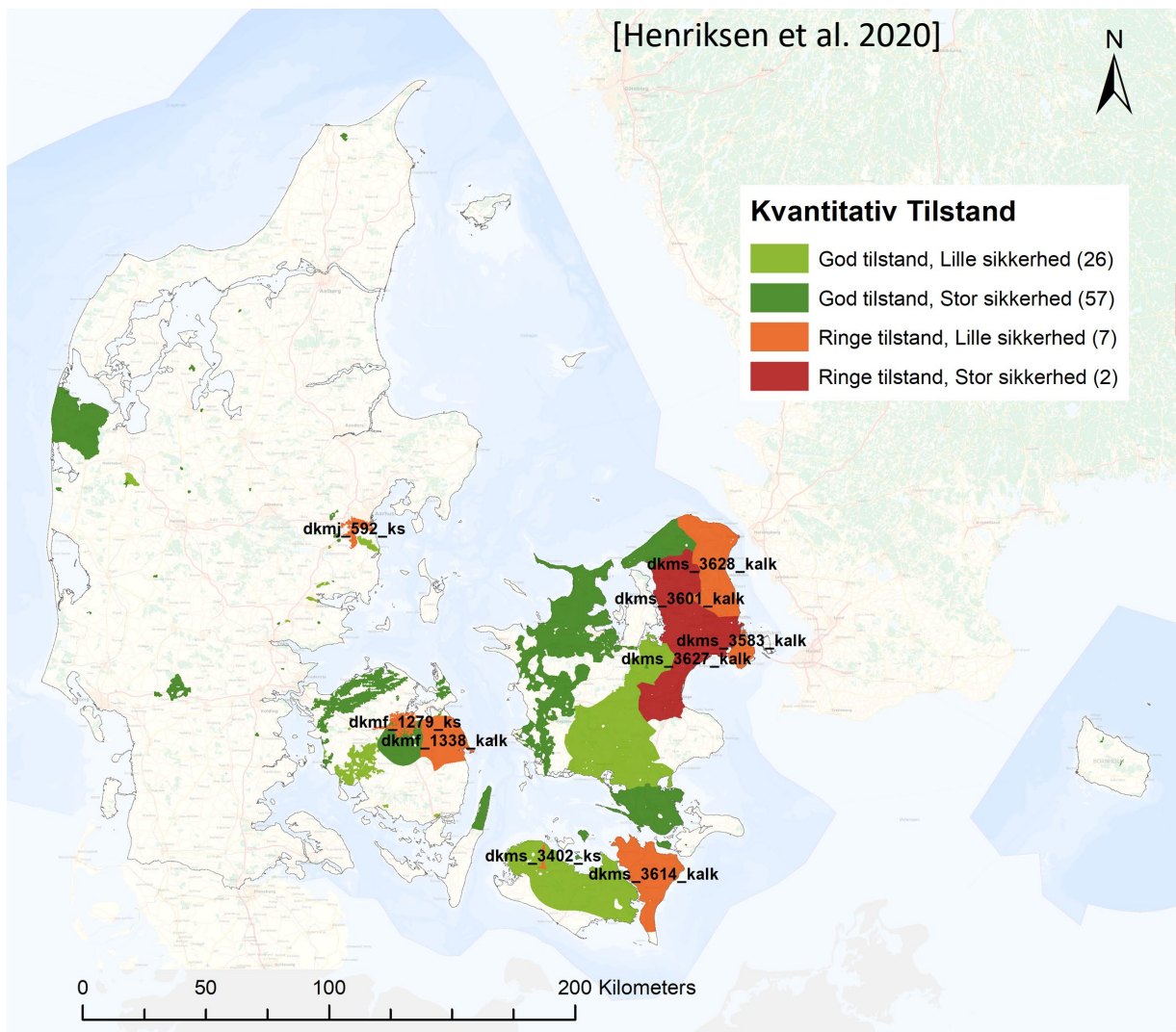
Kumulativ fordelingsfunktion



Parameter	Forhøjet	Overskredet
Klorid	> 125 mg/l	48 af 302
Ionbytning	≤ 65	80 af 302
Sulfat	> 150 mg/l	35 af 302
Arsen	> 5 ug/l	10 af 302
Nikkel	> 10 ug/l	67 af 302

[Henriksen et al. 2020]

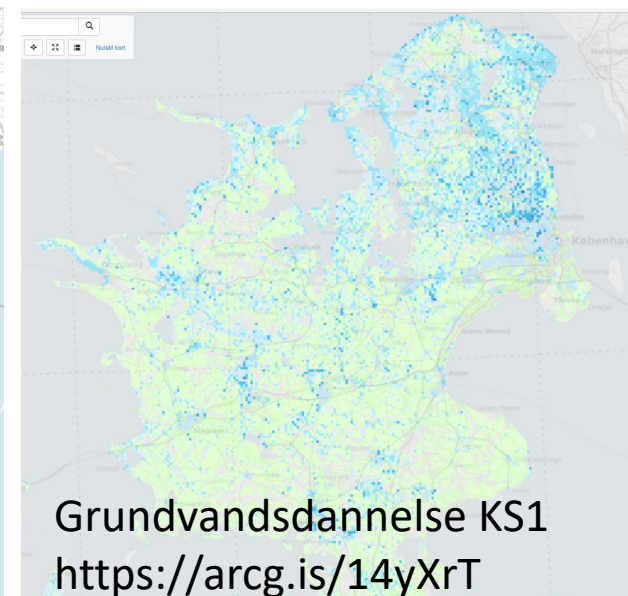
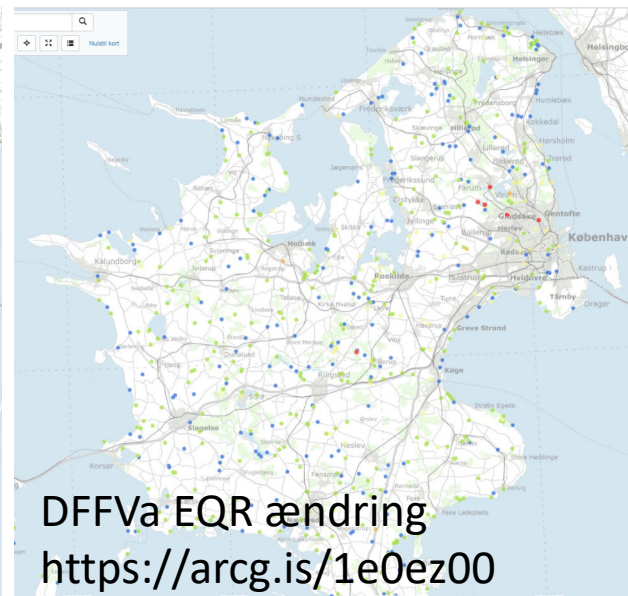
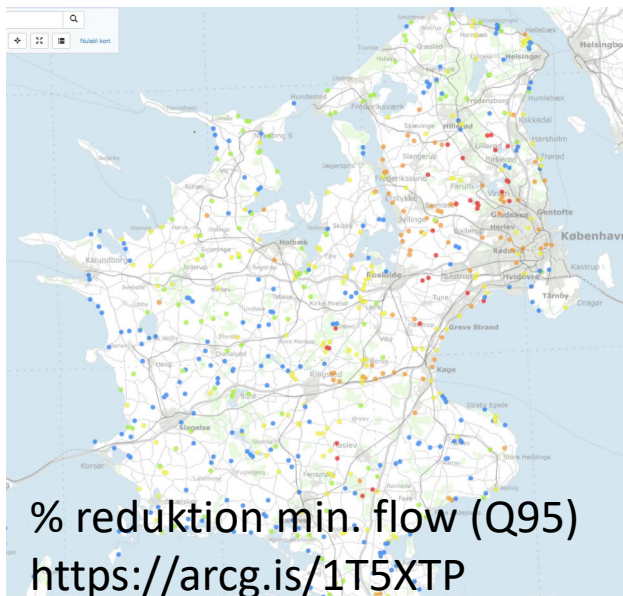
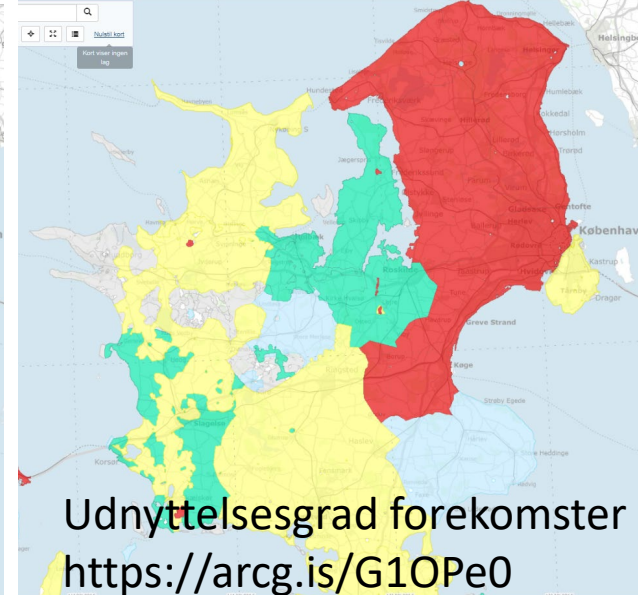
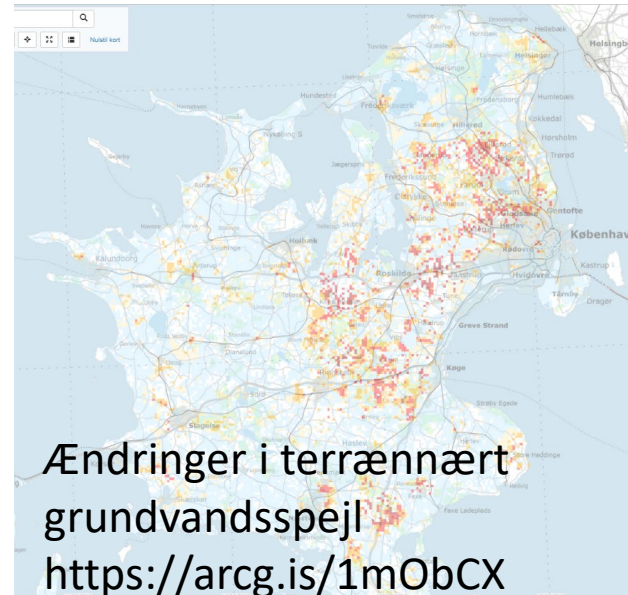
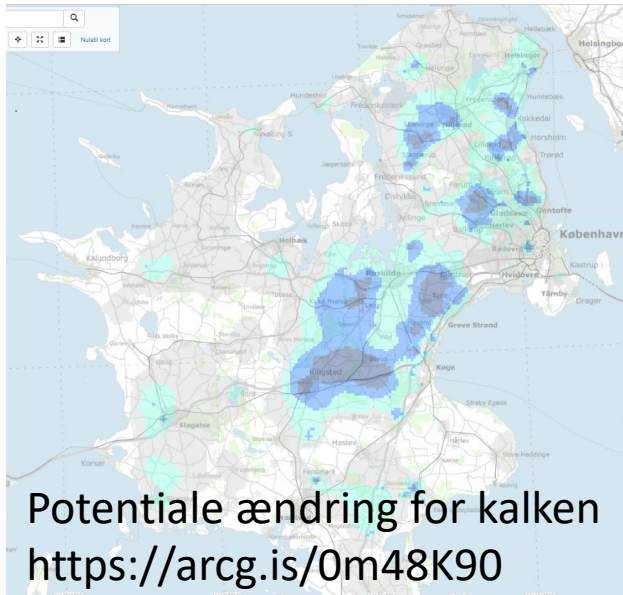
Tilstandsvurdering af 25 større forekomster



Tabel 1. Forekomster i ringe tilstand efter ekspertvurdering. RLS: Ringe tilstand, lille sikkerhed. RSS: Ringe tilstand, stor sikkerhed. GLS: God tilstand, lille sikkerhed. GSS: God tilstand, stor sikkerhed. Max DFFVa ændring: Blå: 0 % sandsynlighed for negativ tilstandsændring med en klasse. Grøn <= 20% sandsynlighed. Gul 20-50% sandsynlighed. Orange 50-80 % sandsynlighed og Rød >= 80 % sandsynlighed for negativ tilstandsændring med en klasse. Max Q95 reduktions %: Blå < 5%, grøn 5-10 %, gul 10-25 %, orange 25-45 % og rød >=45 % reduktion af minimumsvandføring for Q95.

nr.	FOREKOMST	IG ≤ 0.65	CI >125 mg/l	CI >250 mg/l	SO4 >150 mg/l	SO4 >250 mg/l	As > 5 mg/l	Ni >10 mg/l	Ind- tag	CI +	CI -	all CI	SO4 +	SO4 -	all SO4	Workshop status	Max DFFVa ændring	Max Q95 % reduktion
1	dkmj_592_ks	0	3	0	0	0	16	0	29	6	0	12	5	0	11	RLS	Gul	Gul
2	dkmj_597_ks	0	0	0	0	0	11	0	23	6	0	8	5	0	8	GLS	Gul	Orange
3	dkmf_1304_ks	1	1	0	0	0	12	0	24	2	0	5	1	1	5	GLS	Grøn	Orange
4	dkmf_1279_ks	5	1	0	0	0	16	0	24							RLS	Grøn	Grøn
5	dkmf_1340_kalk	1	1	1	0	0	11	0	13	0	1	3	1	0	3	GSS	Grøn	Gul
6	dkms_3601_kalk	82	8	0	27	0	2	13	244	22	1	41	16	3	38	RSS	Rød	Rød
7	dkms_3628_kalk	30	7	1	0	0	2	1	123	13	0	24	5	1	22	RLS	Rød	Rød
8	dkms_3627_kalk	80	48	7	35	4	10	67	302	36	5	64	19	17	69	RSS	Rød	Rød
9	dkmj_1028_ps	0	0	0	0	0	0	0	2							GSS	Grøn	Gul
10	dkmj_1014_ps	0	0	0	0	0	0	0	9							GSS	Grøn	Grøn
11	dkmj_825_ps	0	0	0	0	0	0	0								GSS	Grøn	Blå
12	dkmj_730_ks	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	2	1	0	1	GLS	Grøn	Blå
13	dkmf_1117_ks	0	1	0	0	0	18	0	38	0	0	1				GSS	Grøn	Grøn
14	dkmf_1251_ks	0	0	0	0	0	0	0	4							GSS	Blå	Grøn
15	dkmf_1328_kalk	0	2	0	0	0	0	0	16	3	1	4	1	0	3	GSS	Grøn	Gul
16	dkmf_1338_kalk	2	8	0	1	0	1	0	30							RLS	Grøn	Gul
17	dkms_3618_kalk	0	14	8	0	0	4	1	66	2	2	10	1	5	10	GSS	Gul	Orange
18	dkms_3629_kalk	2	7	3	0	0	0	0	26	0	2	3	0	0	1	GSS	Grøn	Gul
19	dkms_3655_ks	0	0	0	0	0	17	1	59	2	4	17	5	5	14	GSS	Gul	Gul
20	dkms_3583_kalk	2	11	2	13	0	2	3	20	11	1	18	6	4	18	RLS	Grøn	Gul
21	dkms_3010_ks	0	21	6	2	0	25	1	61	5	0	8	2	0	4	GSS	Grøn	Gul
22	dkms_3613_kalk	3	5	0	0	0	25	4	69	1	1	4	1	0	5	GLS	Gul	Gul
23	dkms_3614_kalk	3	21	7	3	0	0	2	91	9	1	17	4	3	11	RLS	Grøn	Orange
24	dkms_3624_kalk	2	29	12	0	0	36	4	165	5	3	21	3	2	14	GLS	Orange	Rød
25	dkms_3622_kalk	3	9	2	0	0	5	1	80	2	1	6	2	0	4	GLS	Gul	Orange

Eksempler på udtræk fra prototype af DK model udstilling

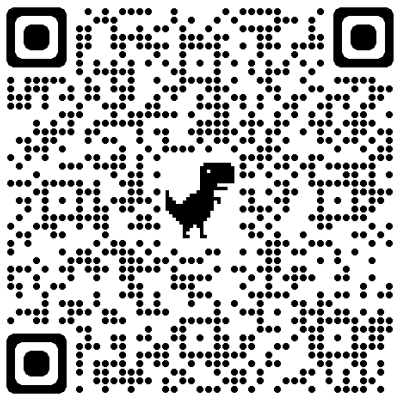


Beta version !
Release i løbet af i år

Vandmodel.dk
Under opdatering

Mere information på GEUS

- **National vandressourcemodel**
(www.vandmodel.dk)
- **Grundvandsrapporter** vedr. kvantitativ og kemisk tilstand
(www.geus.dk/vandressourcer/vandforvaltning)
- **National vandressourcemodel GIS beta version:**
(<https://geus.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27289f5a2e8a4e17872ff26835112a27>)



Henriksen HJ, Voutchkova D, Trolborg 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 Trolborg L (2021) 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, Trolborg L og 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.

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

Trolborg L. (2020) Afgrænsning af de danske grundvandsforekomster. Ny afgrænsning og delkarakterisering samt fagligt grundlag for udpegning af drikkevandsforekomster. GEUS rapport 2020/1.

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.

Gejl RN (2019) Assessing sustainable groundwater abstraction: an evaluation of impacts on groundwater quantity and quality Technical University of Denmark.

VandWeb. Tilgængeligt via Vandmodel.dk

Henriksen HJ, Jakobsen A, Pasten-Zapata E, Trolborg L og Sonnenborg TO (2021) Assessing the impacts of climate change on hydrological regimes and fish EQR in two Danish catchments. Journal of Hydrology: Regional Studies. Vol. 34, April 2021, 100798.