

SWAT+ oplandsmodellen og virkemiddel-scenarier

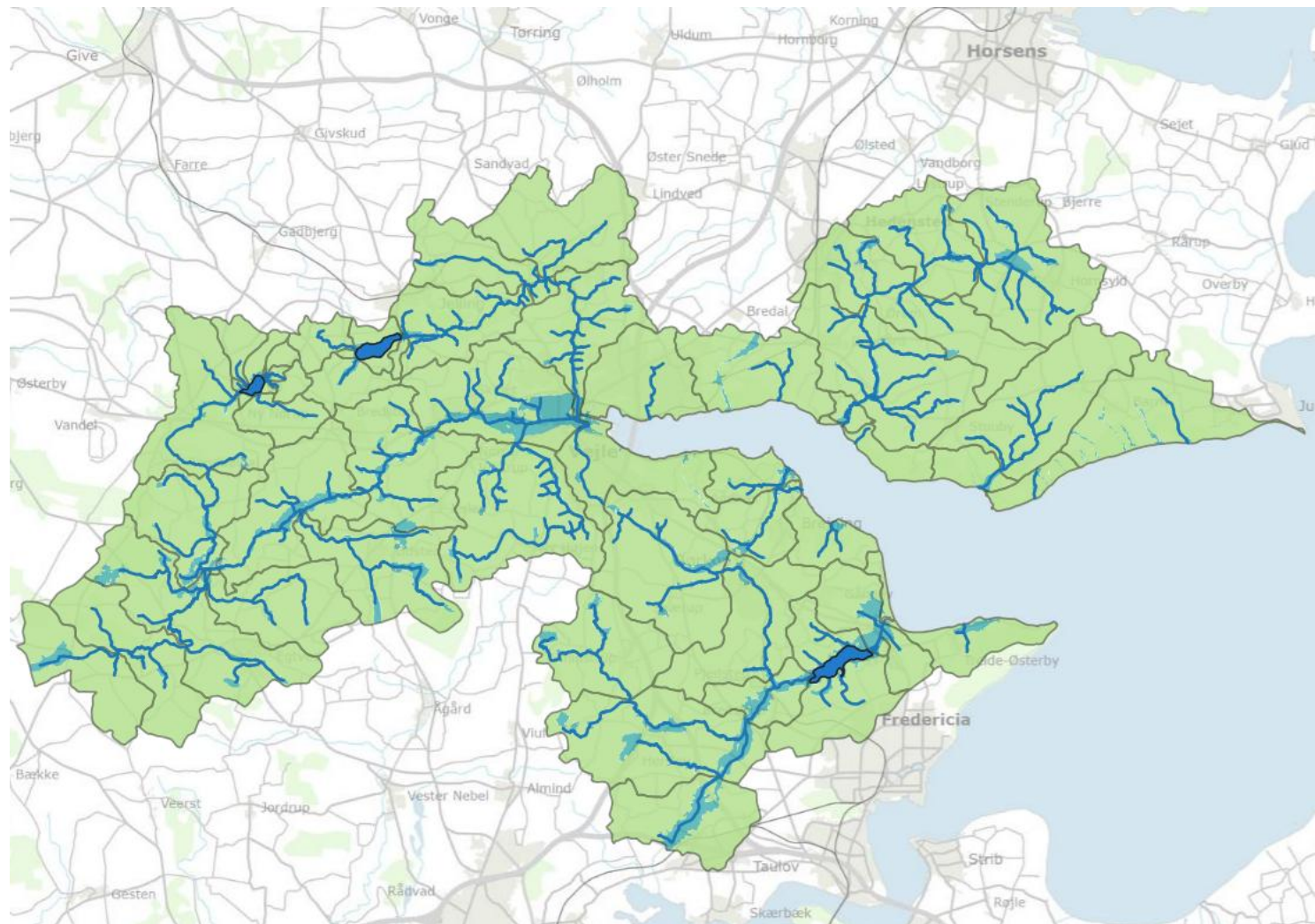
Dennis Trolle og Anders Nielsen (WateriTech)

Status: 11. maj 2026

- At give en kort status på SWAT+ oplandsmodellen, som nu er opsat og kalibreret for Vejle Fjord oplandet
- At give en status på de virkemiddel-scenarier, som vi nu har analyseret igennem SWAT+ oplandsmodellen – inkl. et par eksempler fra andre kystvandråd
- Hovedpointer fra scenarie-kørslerne, og muligheder for et par yderligere scenarier i 2026

SWAT+ model for oplandet til Vejle Fjord

- SWAT+ oplandsmodel baseret og kalibreret på lokale data
- Beskriver vand- og næringsstof-tilførslen til fjorden
- Muliggør analyse af en lang række forskellige virkemiddel-scenarier



Virkemidler som kan analyseres i oplandsscenarier

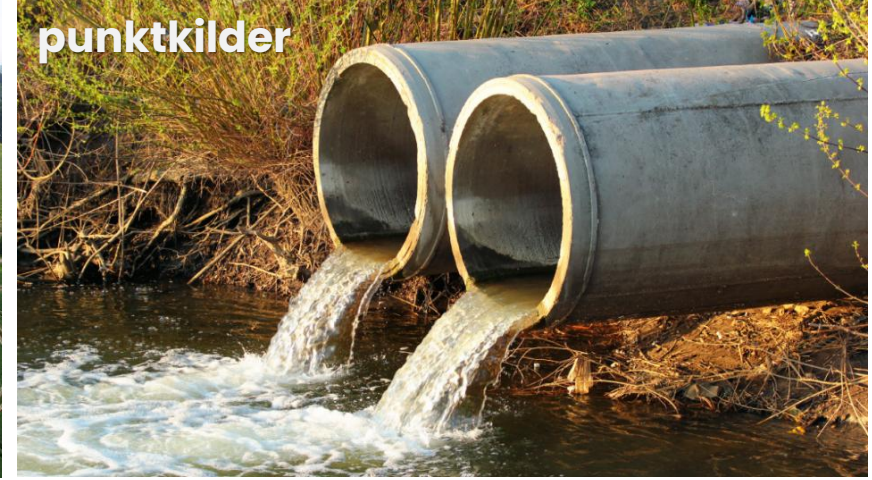
vådområder



mini-vådområder



punktkilder



skovrejsning



Ekstensivering

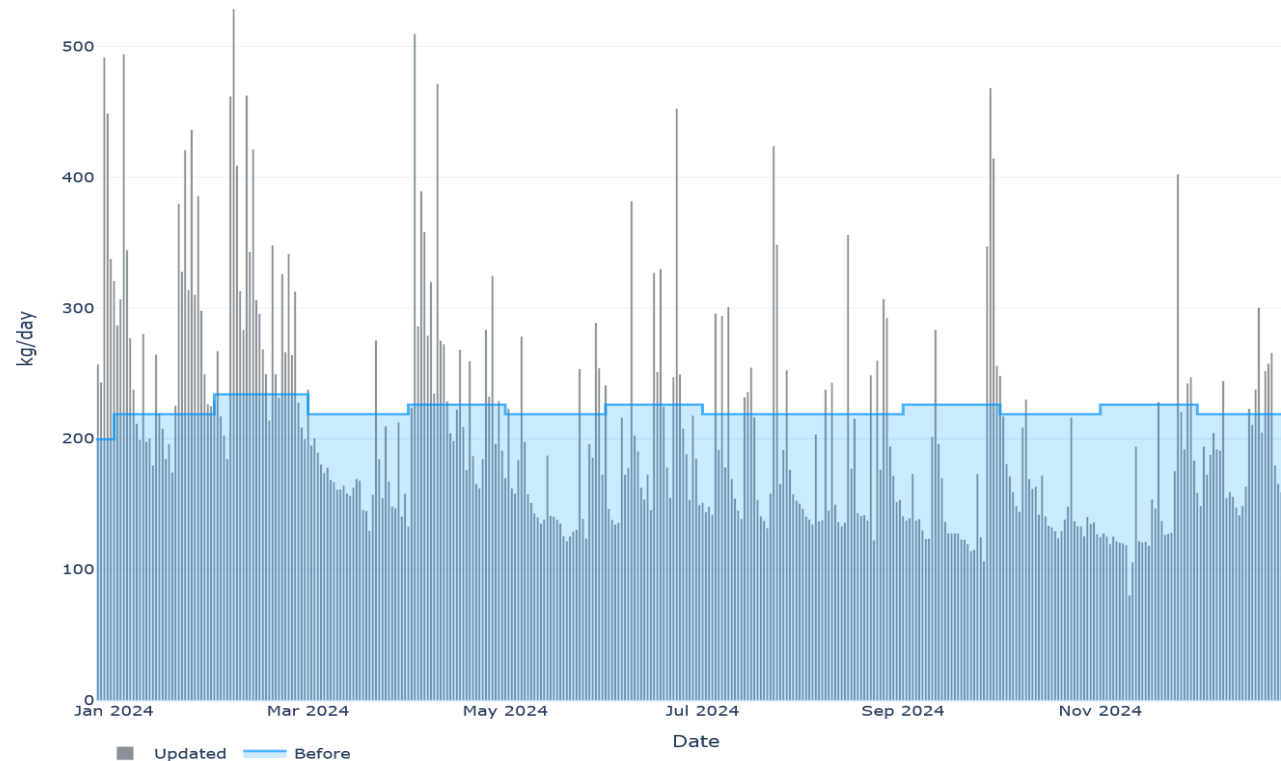


Randzoner



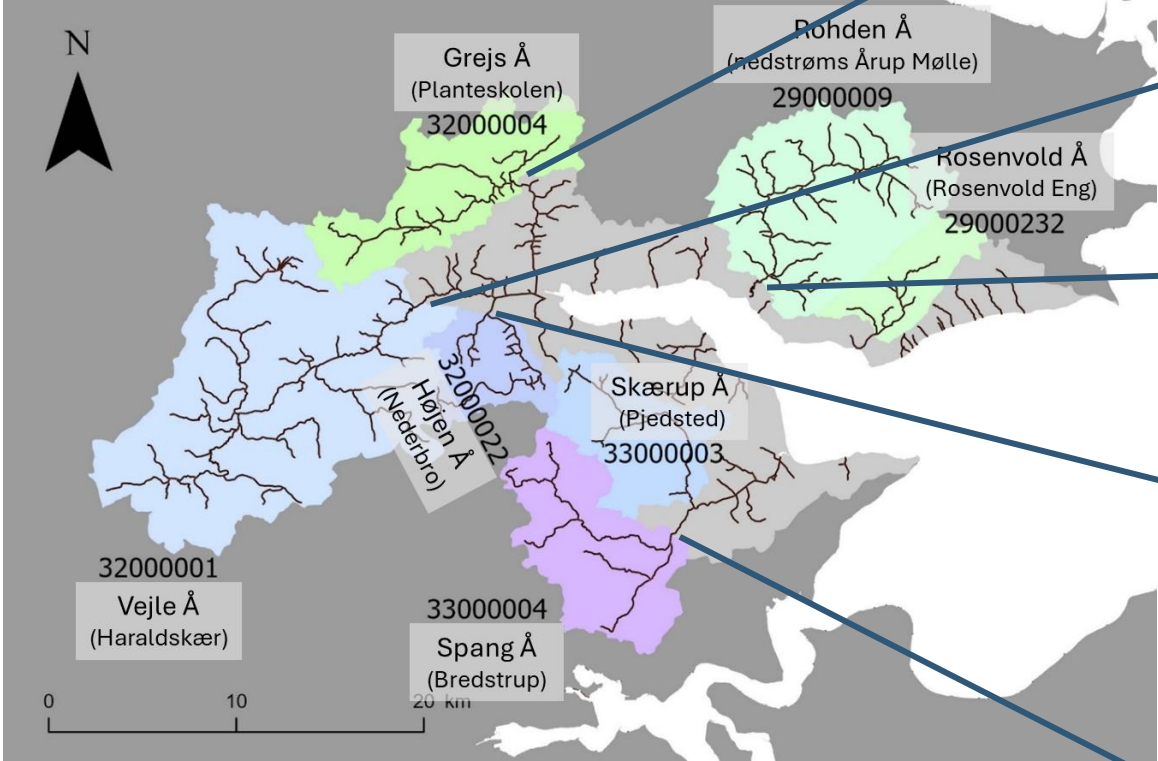
SWAT+ model status – hvad har vi lavet siden sidst?

Vi har modtaget daglige tidsserier fra de væsentligste renseanlæg i oplandet for perioden 2020-2024. Dette data har nu erstattet de årlige værdier fra PULS, og giver dermed en bedre tidlig beskrivelse af punktkildeudledningerne.

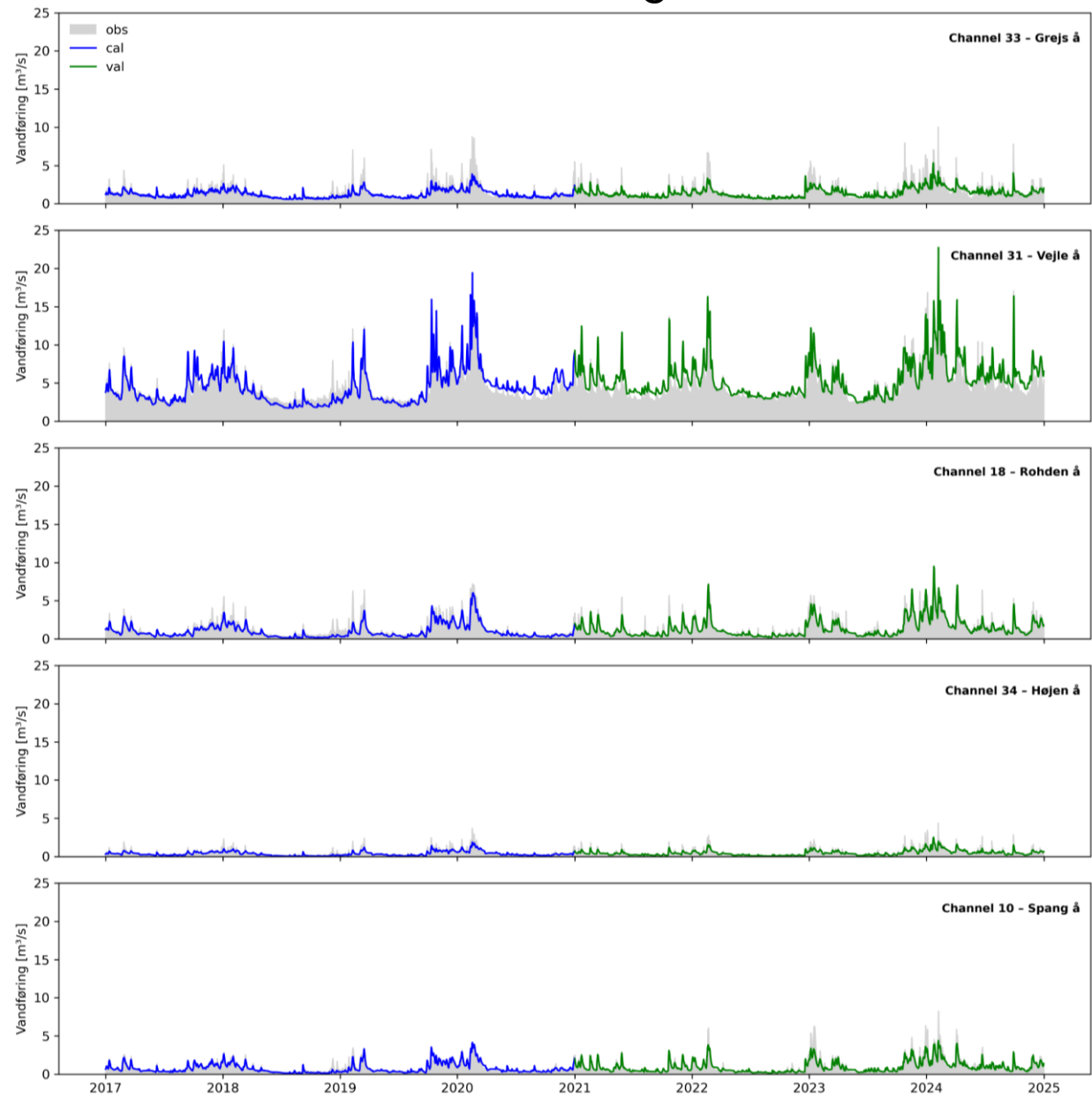


SWAT+ model status – hvad har vi lavet siden sidst?

Vi har løbende kalibreret og testet SWAT+ modellens vandføringer og kvælstoftransporter mod målestationer i vandløbene i oplandet

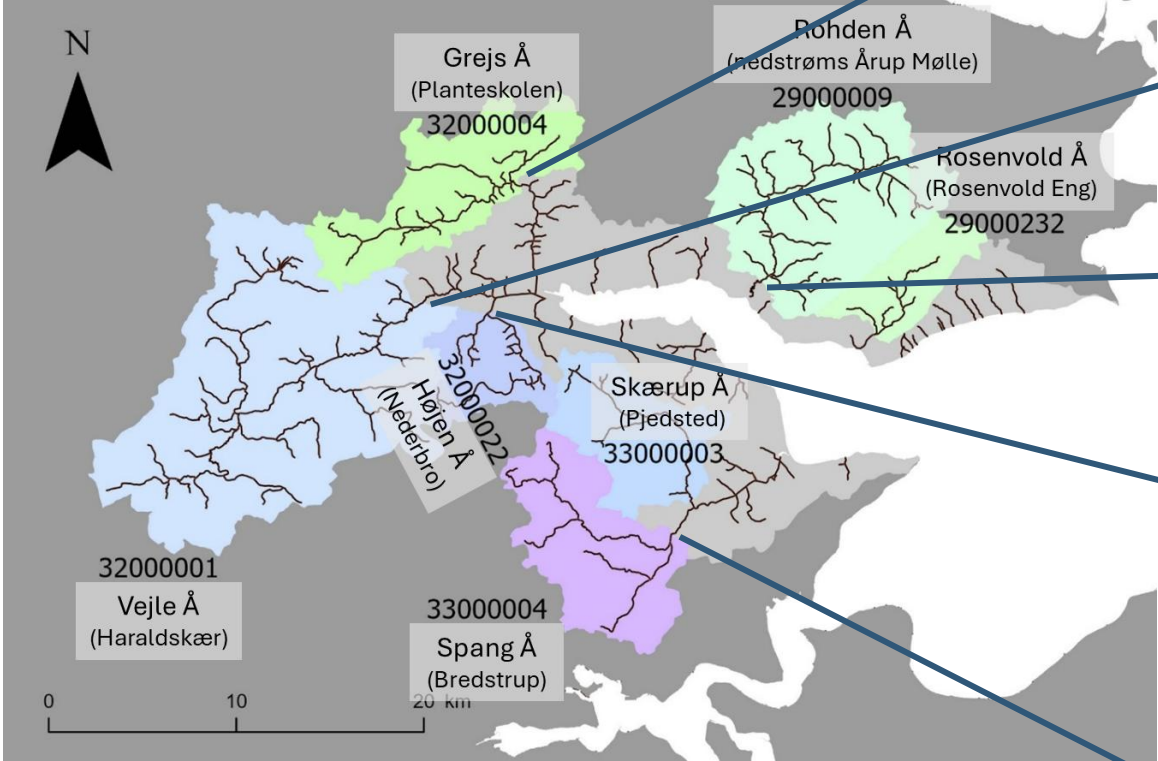


vandføring

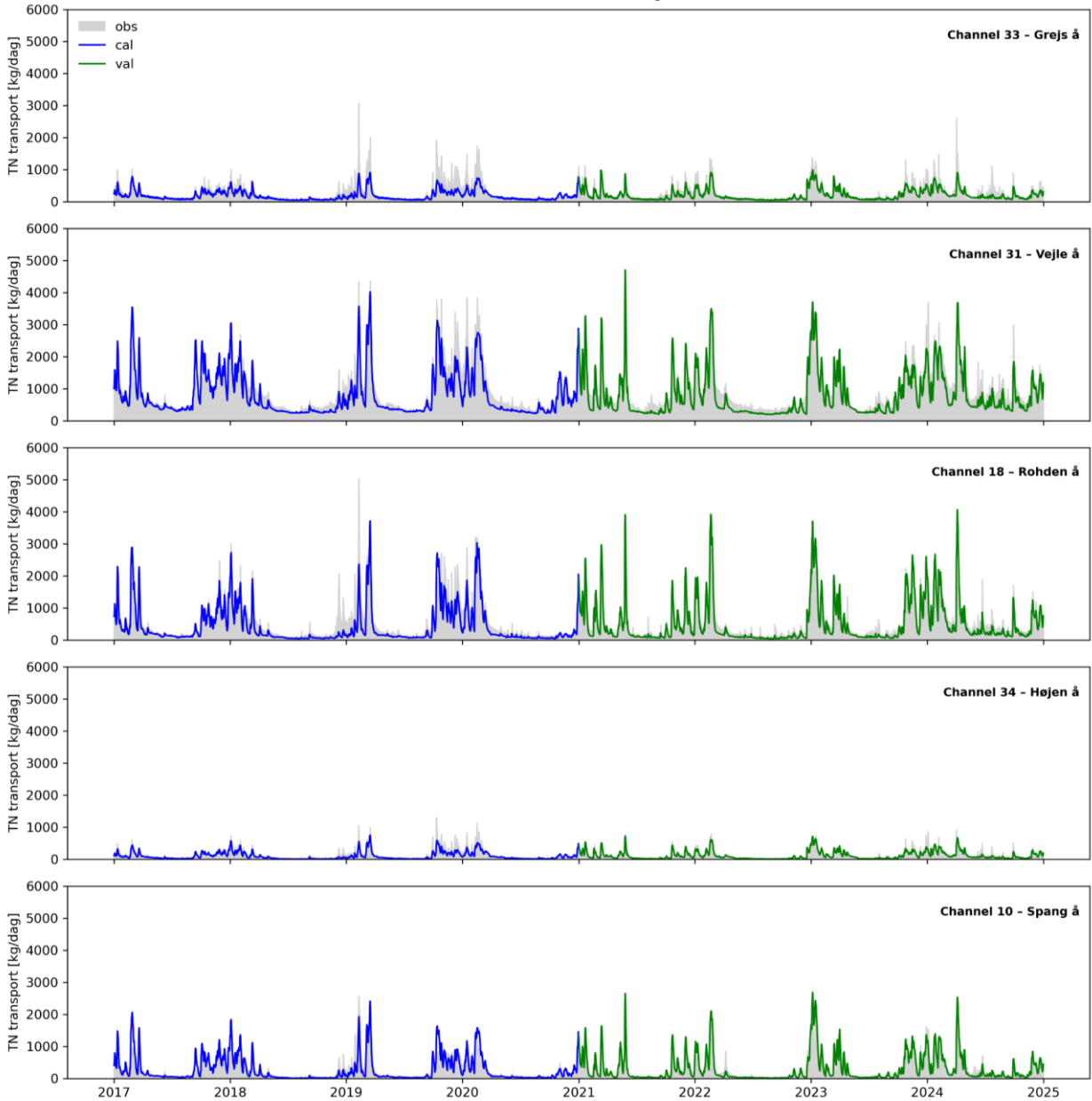


SWAT+ model status – hvad har vi lavet siden sidst?

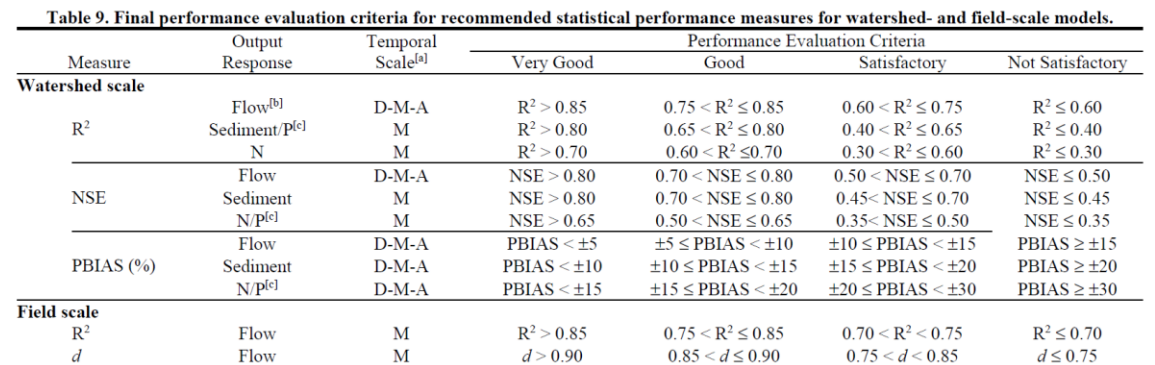
Vi har løbende kalibreret og testet SWAT+ modellens vandføringer og kvælstoftransporter mod målestationer i vandløbene i oplandet



kvælstoftransport



- Det er altid det store spørgsmål, og det kommer i sidste ende an på kontekst, formålet og en subjektiv vurdering.
- Men der findes adskillige forsknings-eksempler på modelanvendelse, som giver en god indikation på, hvad der typisk er acceptabelt for et højt fagligt niveau i en fagfælle-bedømt artikel.



Metric	Variable	Temporal Scale	Limited	Satisfactory	Good	Very Good
NSE	Flow	SD-D-M	< 0.50	$0.50 \leq \text{NSE} < 0.70$	$0.70 \leq \text{NSE} < 0.80$	≥ 0.80
	Sediment	SD-D	< 0.45	$0.45 \leq \text{NSE} < 0.55$	$0.55 \leq \text{NSE} < 0.65$	≥ 0.65
		M	< 0.50	$0.50 \leq \text{NSE} < 0.60$	$0.60 \leq \text{NSE} < 0.70$	≥ 0.70
	Total Nutrient	D	< 0.30	$0.30 \leq \text{NSE} < 0.45$	$0.45 \leq \text{NSE} < 0.60$	≥ 0.60
		M	< 0.45	$0.45 \leq \text{NSE} < 0.60$	$0.60 \leq \text{NSE} < 0.70$	≥ 0.70
	Dissolved Nutrient	SD	< 0.30	$0.30 \leq \text{NSE} < 0.45$	$0.45 \leq \text{NSE} < 0.60$	≥ 0.60
		D	< 0.35	$0.35 \leq \text{NSE} < 0.50$	$0.50 \leq \text{NSE} < 0.65$	≥ 0.65
		M	< 0.45	$0.45 \leq \text{NSE} < 0.55$	$0.55 \leq \text{NSE} < 0.65$	≥ 0.65
R ²	Flow	SD-D-M	< 0.60	$0.60 \leq \text{R}^2 < 0.75$	$0.75 \leq \text{R}^2 < 0.85$	≥ 0.85
	Sediment	SD-D	< 0.45	$0.45 \leq \text{R}^2 < 0.55$	$0.55 \leq \text{R}^2 < 0.65$	≥ 0.65
		M	< 0.60	$0.60 \leq \text{R}^2 < 0.70$	$0.70 \leq \text{R}^2 < 0.80$	≥ 0.80
	Total Nutrient	SD	< 0.30	$0.30 \leq \text{R}^2 < 0.40$	$0.40 \leq \text{R}^2 < 0.60$	≥ 0.60
		D	< 0.40	$0.40 \leq \text{R}^2 < 0.50$	$0.50 \leq \text{R}^2 < 0.60$	≥ 0.60
		M	< 0.50	$0.50 \leq \text{R}^2 < 0.60$	$0.60 \leq \text{R}^2 < 0.70$	≥ 0.70
	Dissolved Nutrient	SD-D	< 0.45	$0.45 \leq \text{R}^2 < 0.60$	$0.60 \leq \text{R}^2 < 0.75$	≥ 0.75
		M	< 0.50	$0.50 \leq \text{R}^2 < 0.65$	$0.65 \leq \text{R}^2 < 0.80$	≥ 0.80
pBIAS	Flow	D-M	$\geq \pm 15$	$\pm 10 < \text{pBIAS} \leq \pm 15$	$\pm 5 < \text{pBIAS} \leq \pm 10$	$\leq \pm 5$
	Sediment	D	$\geq \pm 20$	$\pm 10 < \text{pBIAS} \leq \pm 20$	$\pm 5 < \text{pBIAS} \leq \pm 10$	$\leq \pm 5$
		M	$\geq \pm 15$	$\pm 10 < \text{pBIAS} \leq \pm 15$	$\pm 5 < \text{pBIAS} \leq \pm 10$	$\leq \pm 5$
	Total Nutrient	D	$\geq \pm 40$	$\pm 20 < \text{pBIAS} \leq \pm 40$	$\pm 10 < \text{pBIAS} \leq \pm 20$	$\leq \pm 10$
		M	$\geq \pm 20$	$\pm 10 < \text{pBIAS} \leq \pm 20$	$\pm 5 < \text{pBIAS} \leq \pm 10$	$\leq \pm 5$
	Dissolved Nutrient	D-M	$\geq \pm 15$	$\pm 10 < \text{pBIAS} \leq \pm 15$	$\pm 5 < \text{pBIAS} \leq \pm 10$	$\leq \pm 5$

Excellent	God	Tilfredsstillende	Ikke tilfredsstillende	Pandit et al. (2025)
-----------	-----	-------------------	------------------------	----------------------

Målestation	Vandføring (daglig NSE kalibrering)	Kvælstoftransport (daglig NSE kalibrering)
Grejs å	0.66	0.59
Vejle å	0.73	0.73
Rohden å	0.79	0.75
Højen å	0.72	0.75
Spang å	0.85	0.61

FAKTA:

Modellen er nu på et højt niveau og vil kunne accepteres i anerkendte videnskabelige tidsskrifter.

Det er et godt udgangspunkt når der skal køres scenarier.

I har peget på en række interessante scenarier, og vi har nu kørt (stort set) alle igennem modellens regnemaskine for at se på effekten på kvælstoftransporten.

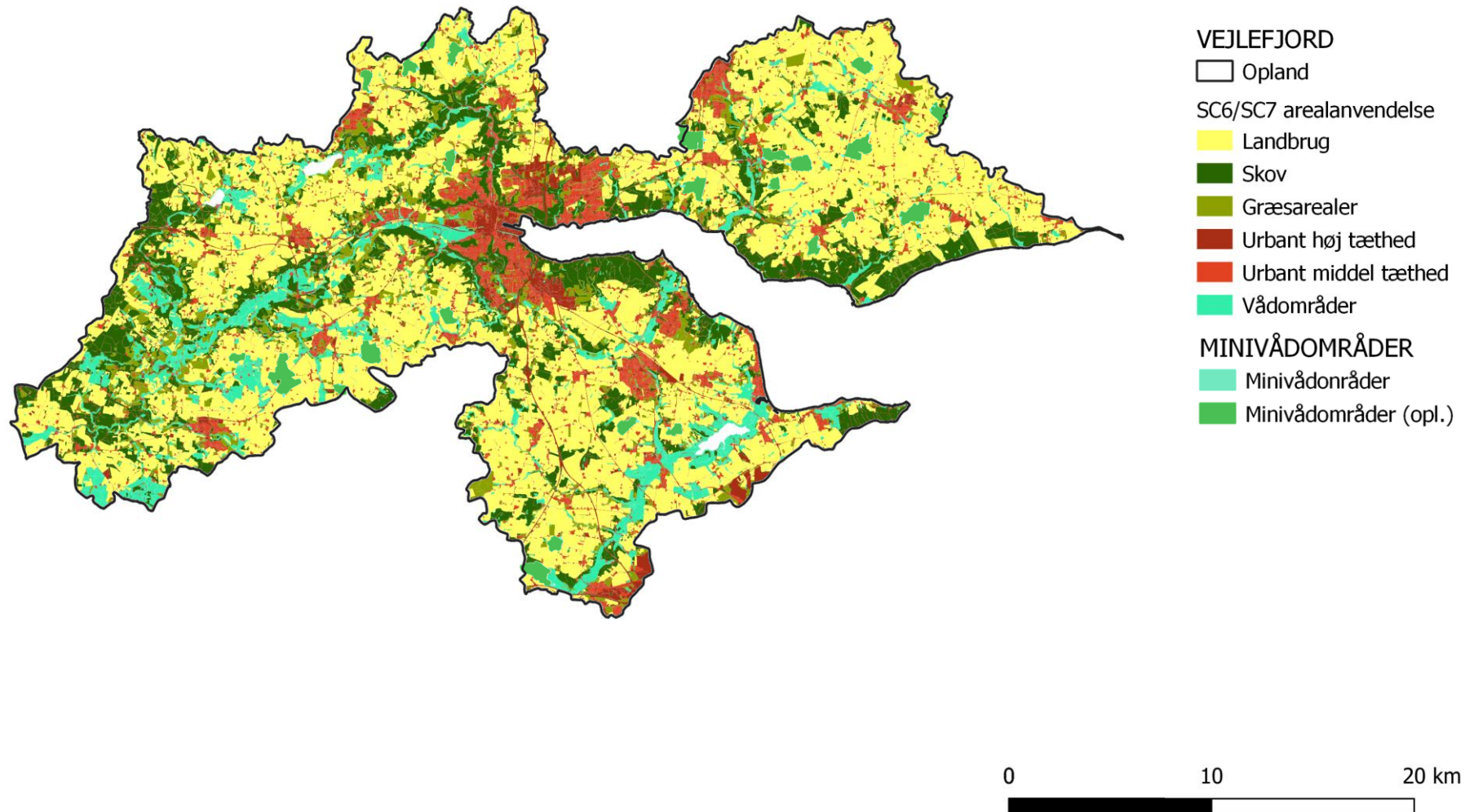


Scenarie-workshop i Kystvandrådet
d. 24. november 2025 (Vejle)

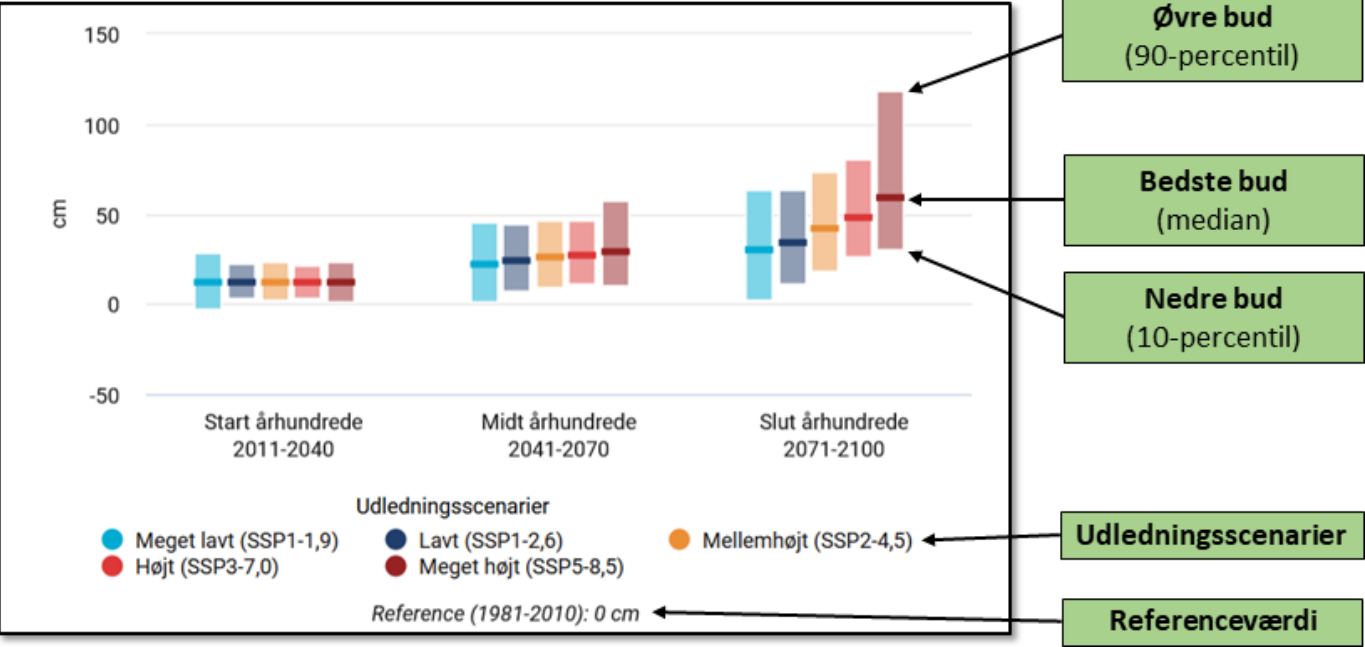
- Hvilke virkemidler kunne I tænke Jer blev analyseret?
- Hvor i landskabet skal de implementeres?
- Resultat: en liste med forskellige virkemiddel-scenarier

SWAT+ virkemiddel-scenarier: Vejle Fjord oplandet

#	Scenarie beskrivelse	SWAT+ implementering
	Randzoner ved alle relevante vandløb	• Relevante randzone-områder udpeges i første omgang af AU og Hans E. (mhp. reduktionspotentiallet for fosfor) • Dernæst implementeres et "bufferstrip" scenarie i SWAT for HRUer der overlapper med udpeget randzone-områder
2	Træer langs vandløb (kun AU og fosfor-scenarie)	 • Scenariet er begrænset til oplandet til Rands Fjord, Fårup Sø og Engelsholm Sø, for de strækninger, hvor der er basis for reduktion af fosfortab • Gennemføres udelukkende som fosfor-scenarie via Hans Estrup Andersen (AU)
	Overløb i oplandet – alle RBU overløb fjernes	• Alle RBU overløb slettes så det antages, at der ikke sker overløb længere. Dette vil bidrage til indsigt i den potentielle effekt af at fjerne samtlige overløb. SWAT+ model skal stadig eksekveres således retention igennem overflade-vandsystemet stadig tages i betragtning når scenarier med og uden RBU sammenlignes.
	Overløb i oplandet – fordobling af alle RBU overløb	• Alle RBU overløb fordobles i volumen og N & P. Dette vil bidrage til indsigt i usikkerheden på effekten af overløb.
5	Spildevandsudledning der lever op til fremtidens krav	 • Der laves en analyse af effekten af allerede planlagte tiltag (e.g. 2027-2030 planer) for spildevandsudledningen, baseret på input fra spildevandsselskaberne. • For at gennemføre dette scenarie er der behov for input/estimator fra spildevandsselskaberne ift.: • hvilke RBUer der forventes fjernet (hvis aktuelt) • om og hvor meget der forventes i reduktion (eller forøgelse) af udledte spildevandsmængder fra renseanlæg sammenlignet med i dag
	Effekt af omlægningsplaner	• Alle elementer fra omlægningsplaner implementeres for de udpegede områder, herunder: • Områder hvor landbrug omlægges til skov • Områder hvor landbrug ekstensiveres (permanent græs) • Vådområder • Mini-vådområder
	Effekt af omlægningsplaner under et fremtidigt klima – mellem-høj drivhusgas-scenarie (RCP4,5)	• Klima-data fra DMIs klimaatlas for midten af århundredet (2041-2070) for RCP4,5 scenariet anvendes til at estimere effekten af det fremtidigt klima på transporten af kvælstof. Data findes direkte på vandoplands-niveau i klimaatlas. • Månedss-delta'er fra klimaatlas anvendes til at korrigere klimainput data (https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-og-rapporter-klimaatlas)
	Permanent ekstensivering på skrånende vandløbsnære arealer med > 6% hældning	• Arealer med hældning > 6% i en buffer på 300 m omkring vandløb identificeres (gøres i første omgang af AU) • Alle landbrugs HRUer i berøring med det udpegede areal omlægges til permanent græs
	Ændret sædskifte på skrånende arealer med > 6% hældning	• Arealer med hældning > 6% i en buffer på 300 m omkring vandløb identificeres (ligesom ovenfor) • Alle landbrugs HRUer i berøring med det udpegede areal omlægges til en rotation med græs, som kun sjældent pløjes (SEGES har defineret rotation)

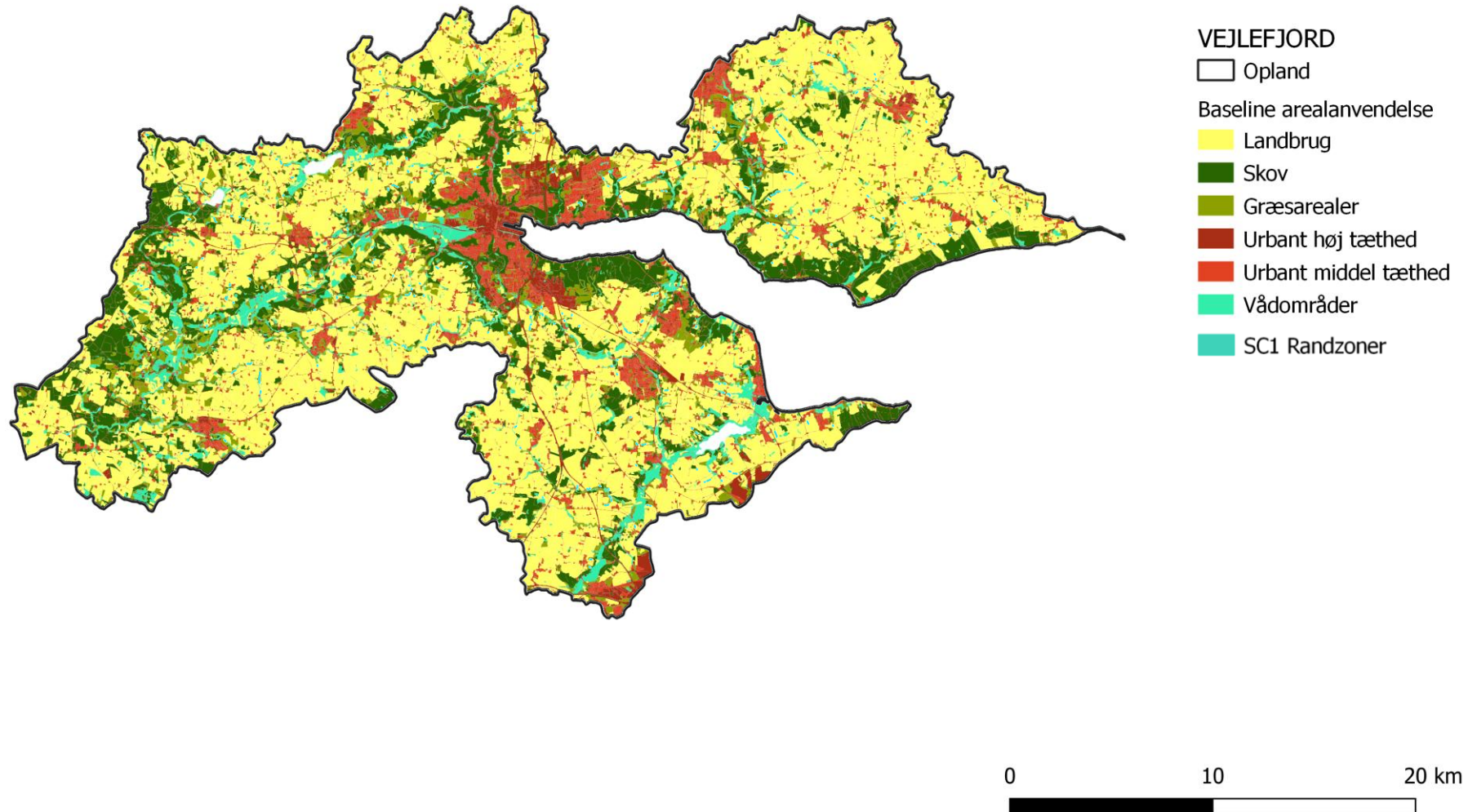


Data fra DMI's klimaatlas

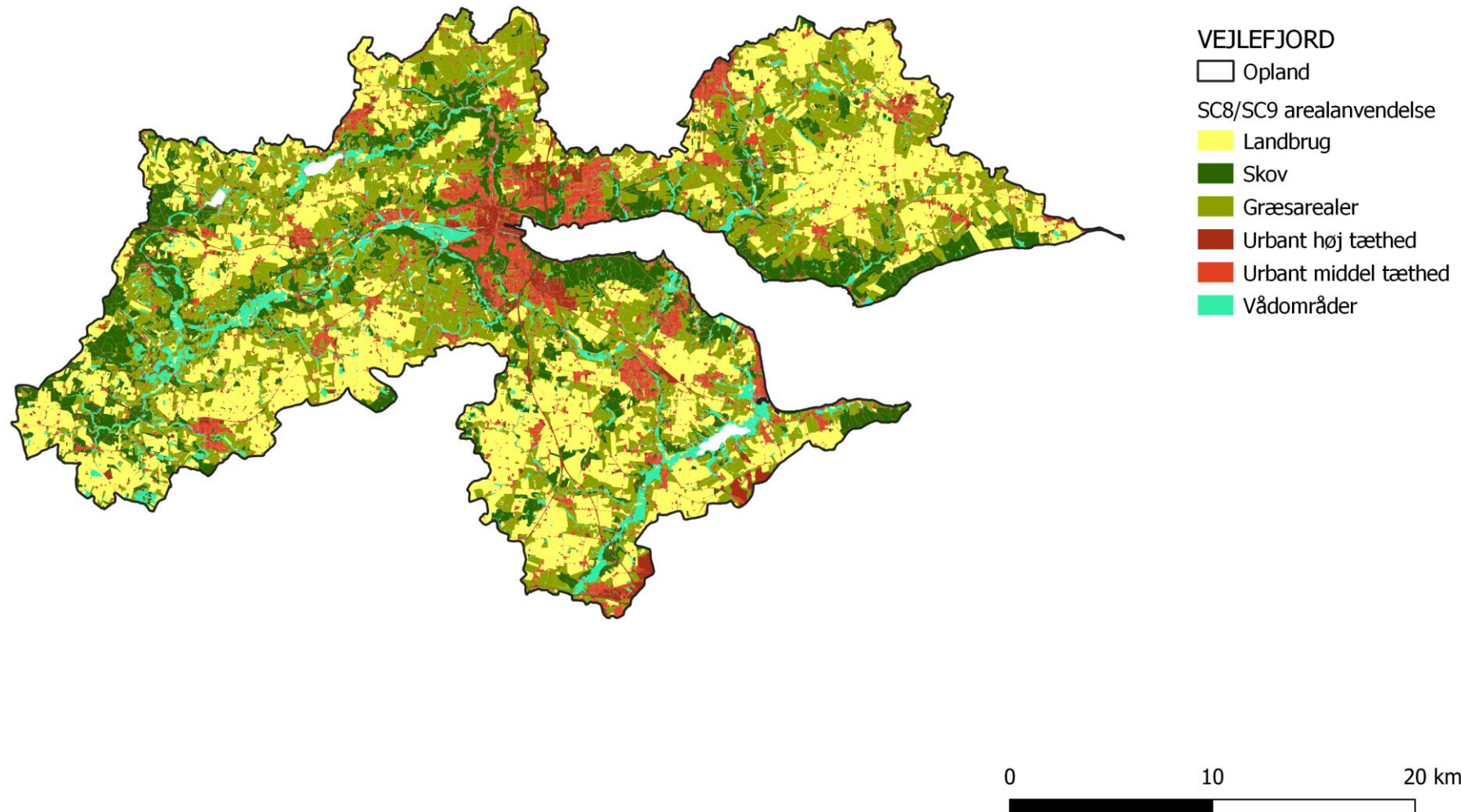


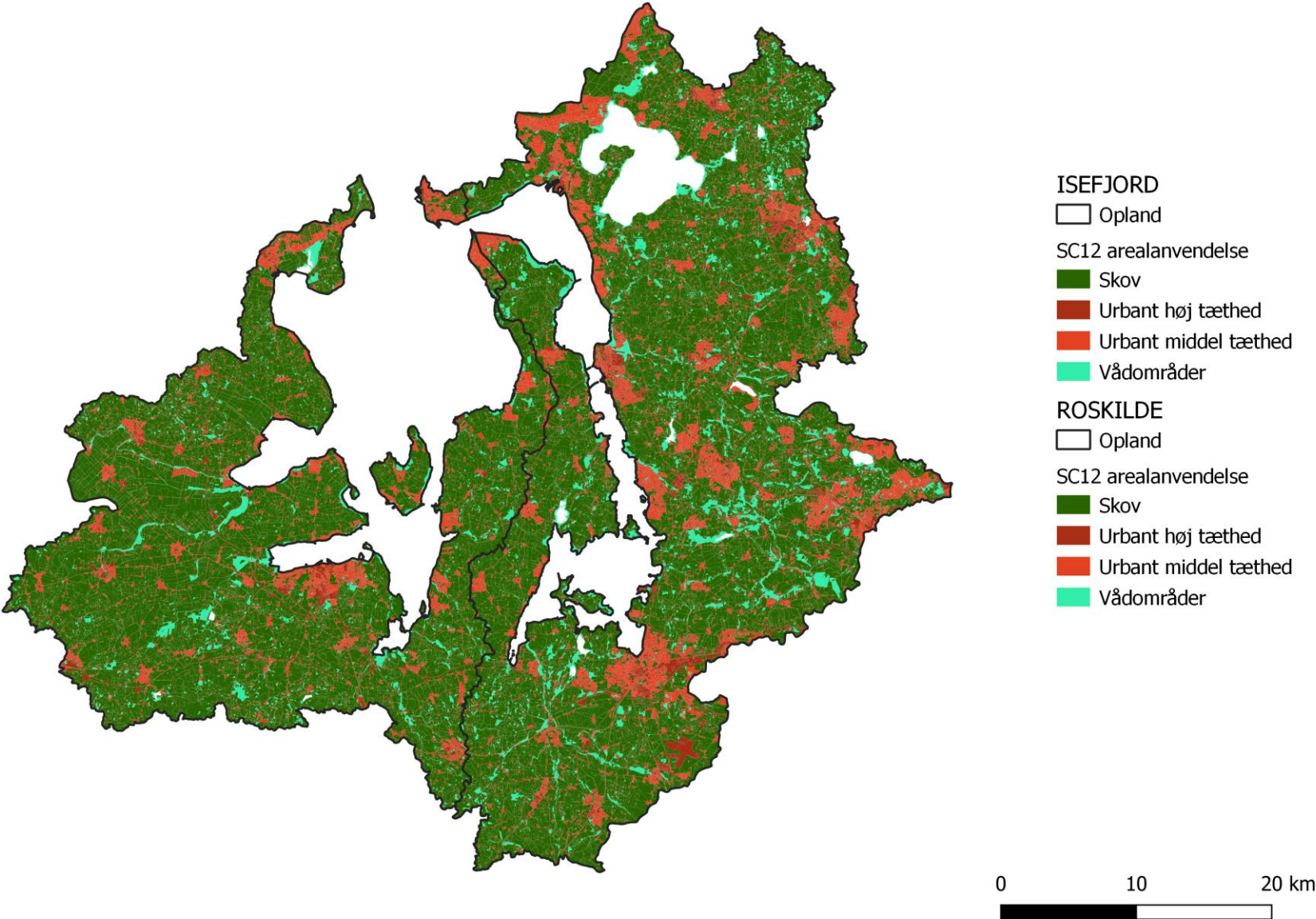
Tabel 6. Ændringer per måned i hhv. nedbør, max. og min. lufttemperatur, vindhastighed og indstråling jf. DMI's klimaatlas og et middel emissionsscenarie (RCP4,5) og perioden 2041-2070 ift. referenceperioden 1981-2010.

	Nedbør	Max. temperatur	Min. temperatur	Vindhastighed	Indstråling
Måned	(%)	(°C)	(°C)	(%)	(%)
Januar	8.98	1.40	1.46	-0.61	-4.08
Februar	8.98	1.40	1.46	-0.61	-4.08
Marts	4.58	1.60	1.57	-2.33	-1.10
April	4.58	1.60	1.57	-2.33	-1.10
Maj	4.58	1.60	1.57	-2.33	-1.10
Juni	0.50	1.54	1.70	-1.03	-0.74
Juli	0.50	1.54	1.70	-1.03	-0.74
August	0.50	1.54	1.70	-1.03	-0.74
September	4.48	1.50	1.50	-0.63	0.26
Oktober	4.48	1.50	1.50	-0.63	0.26
November	4.48	1.50	1.50	-0.63	0.26
December	8.98	1.40	1.46	-0.61	-4.08
Middel	4.64	1.51	1.56	-1.15	-1.42

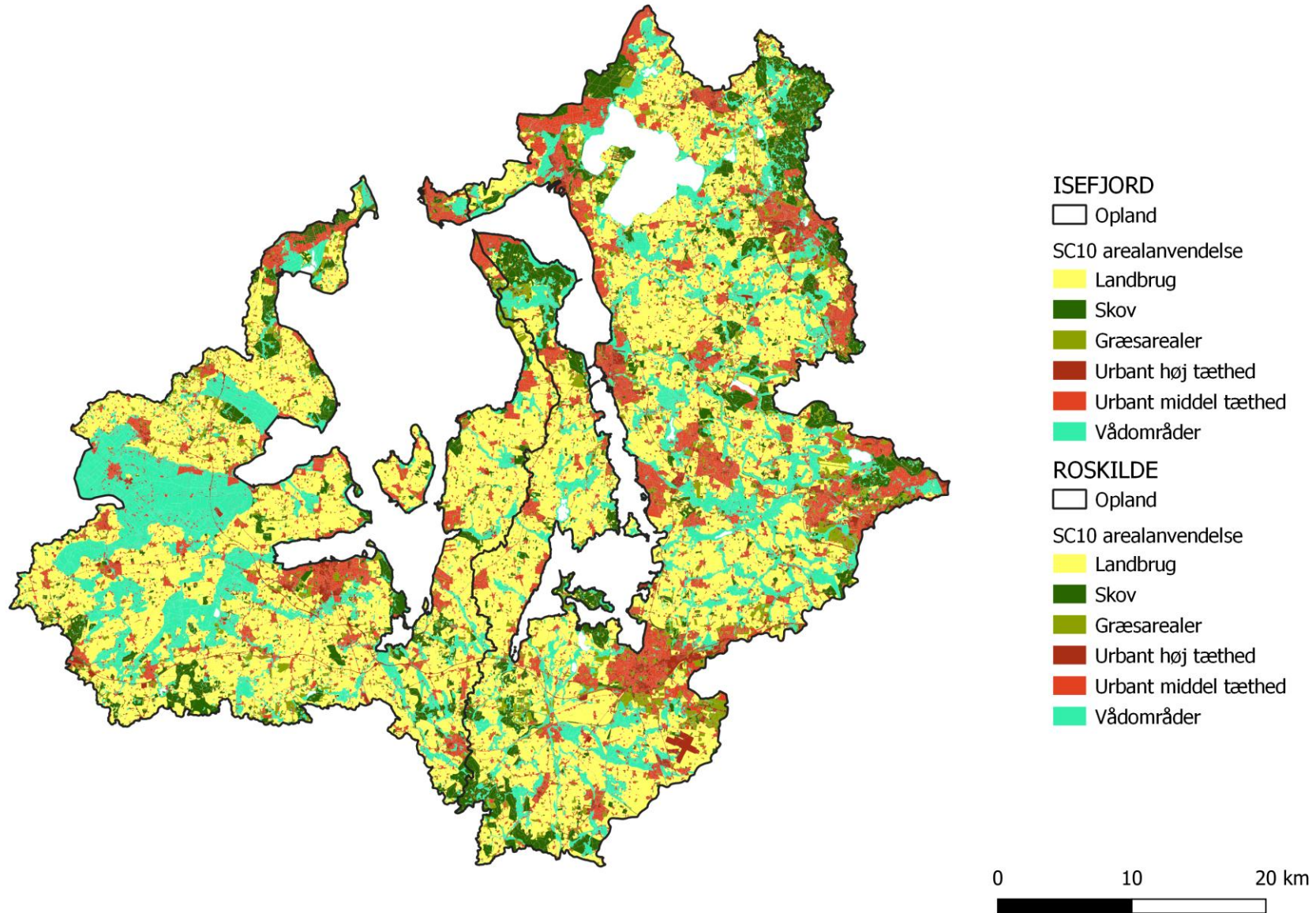


Eksempel på scenarie-implementering: SKRÅNENDE AREALER

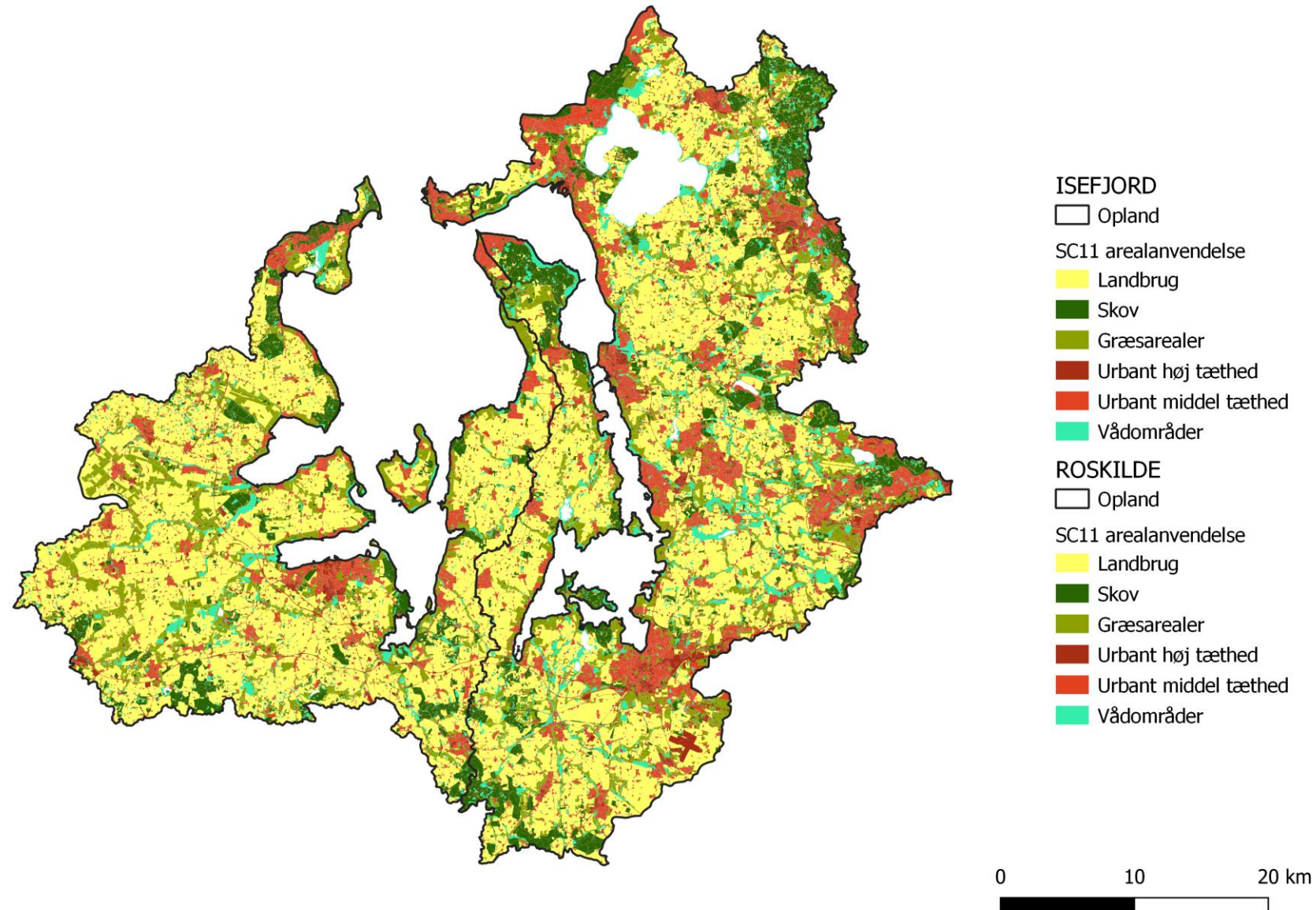


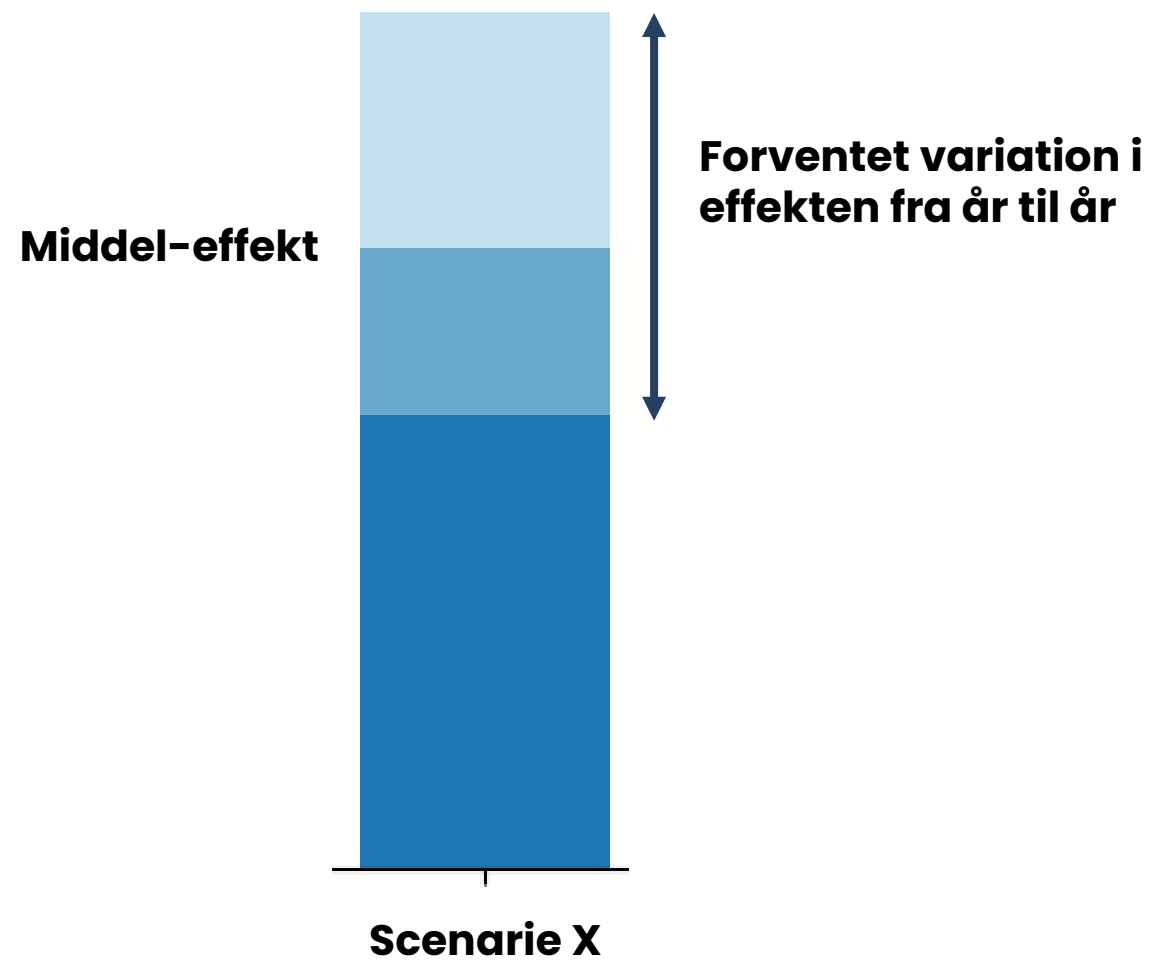


Eksempel på scenarie-implementering: vådområder

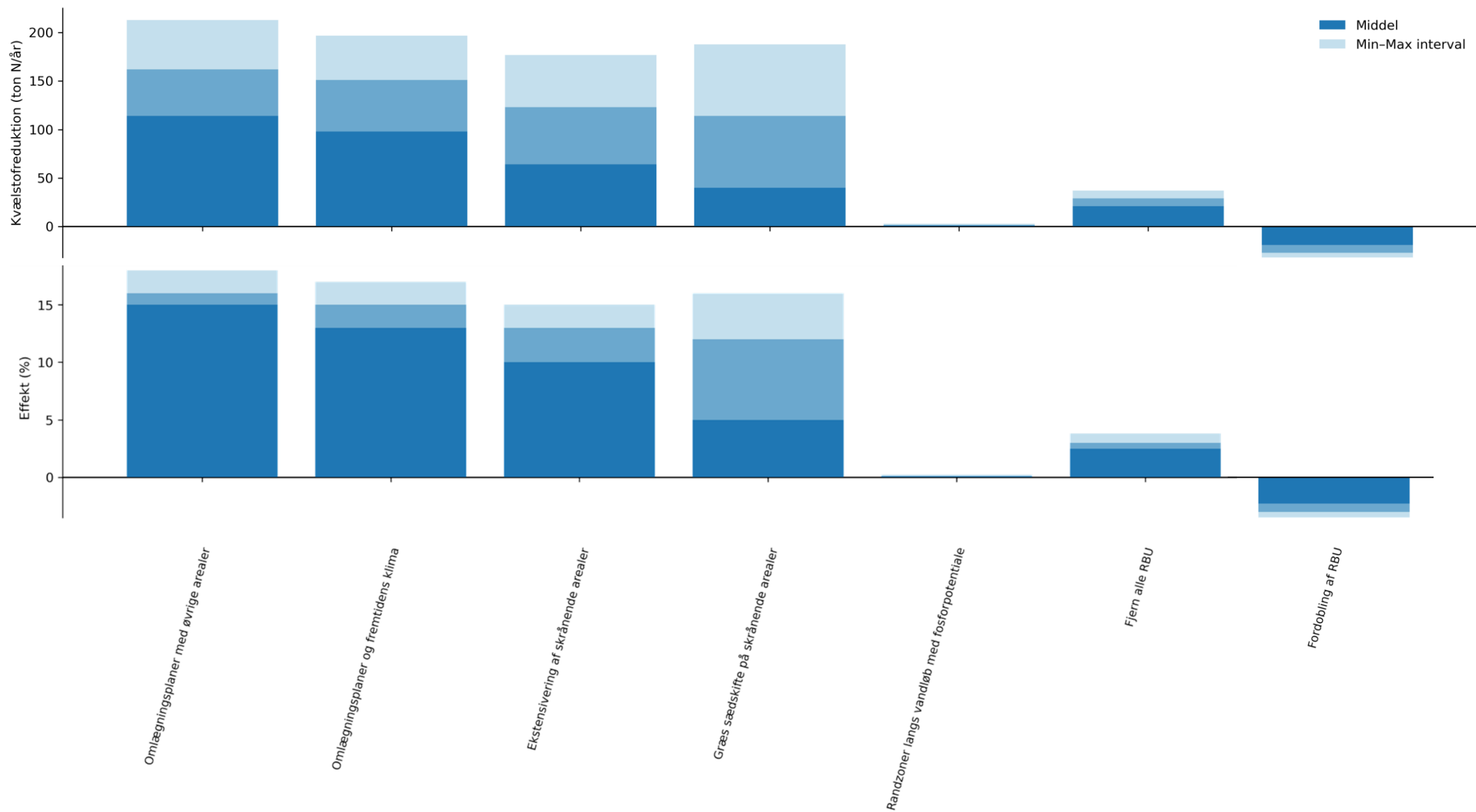


Eksempel på scenarie-implementering: RANDZONER (Holbæk model)



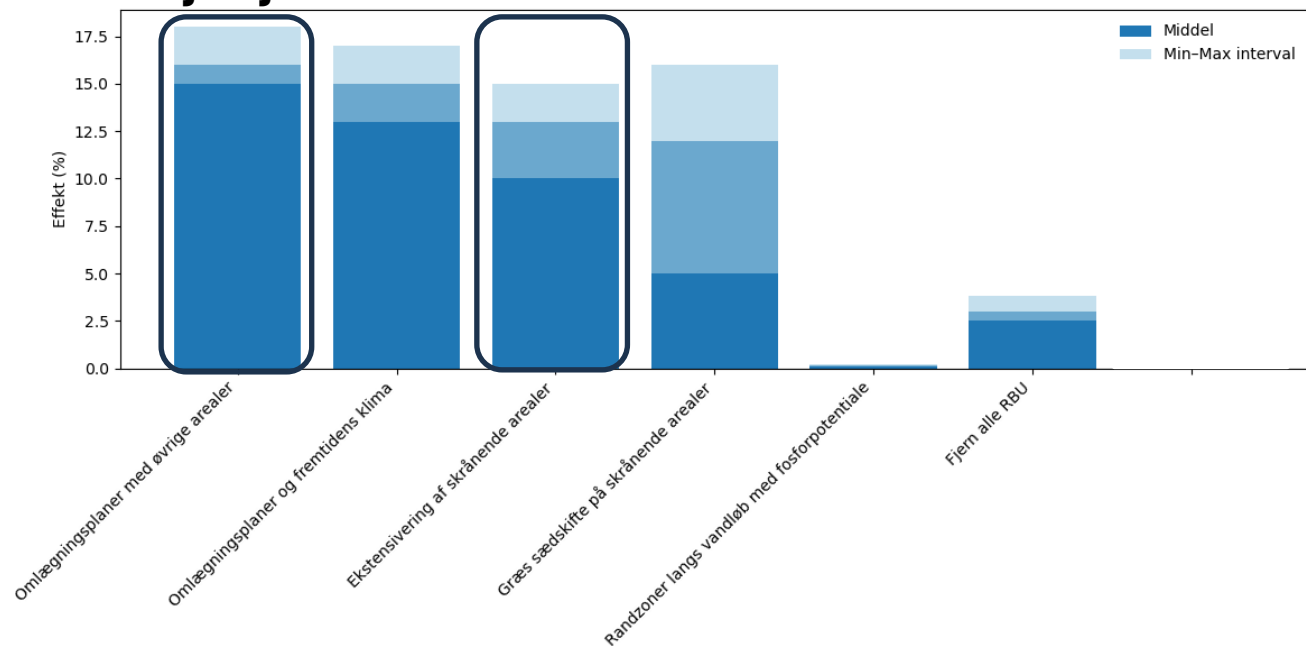


Scenarie-resultater for Vejle Fjord oplandet

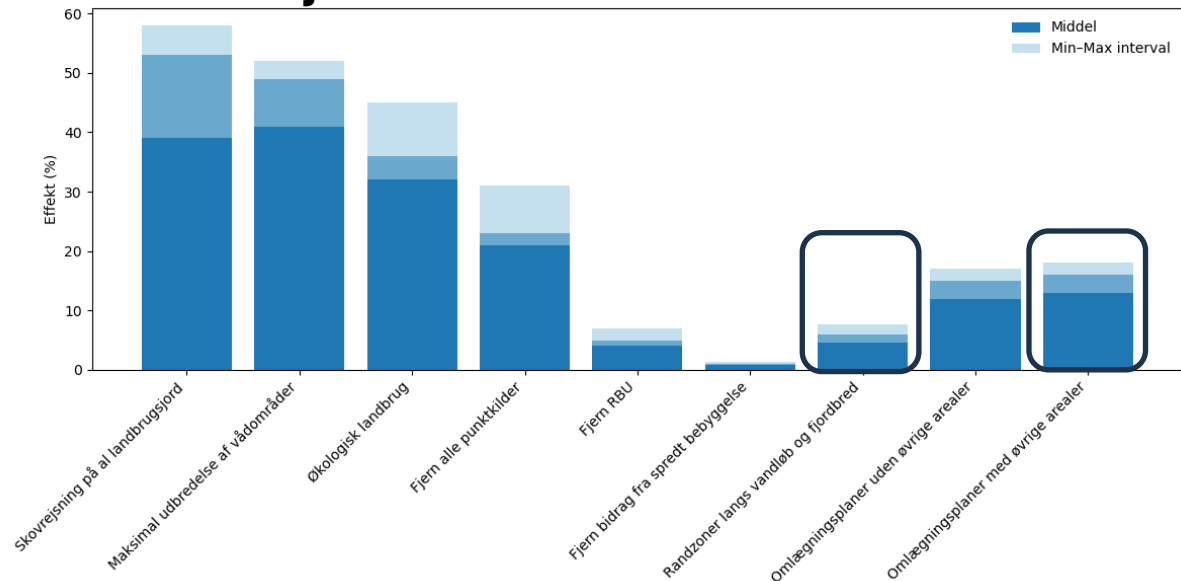


Scenarie-resultater for Vejle sammenlignet med Roskilde

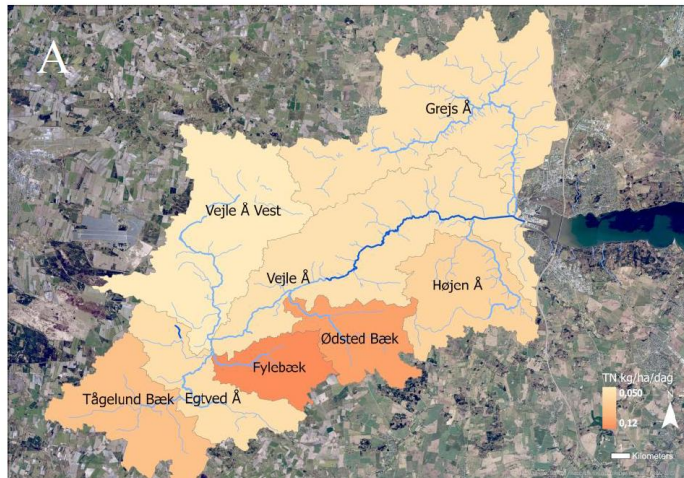
Vejle fjord



Roskilde fjord



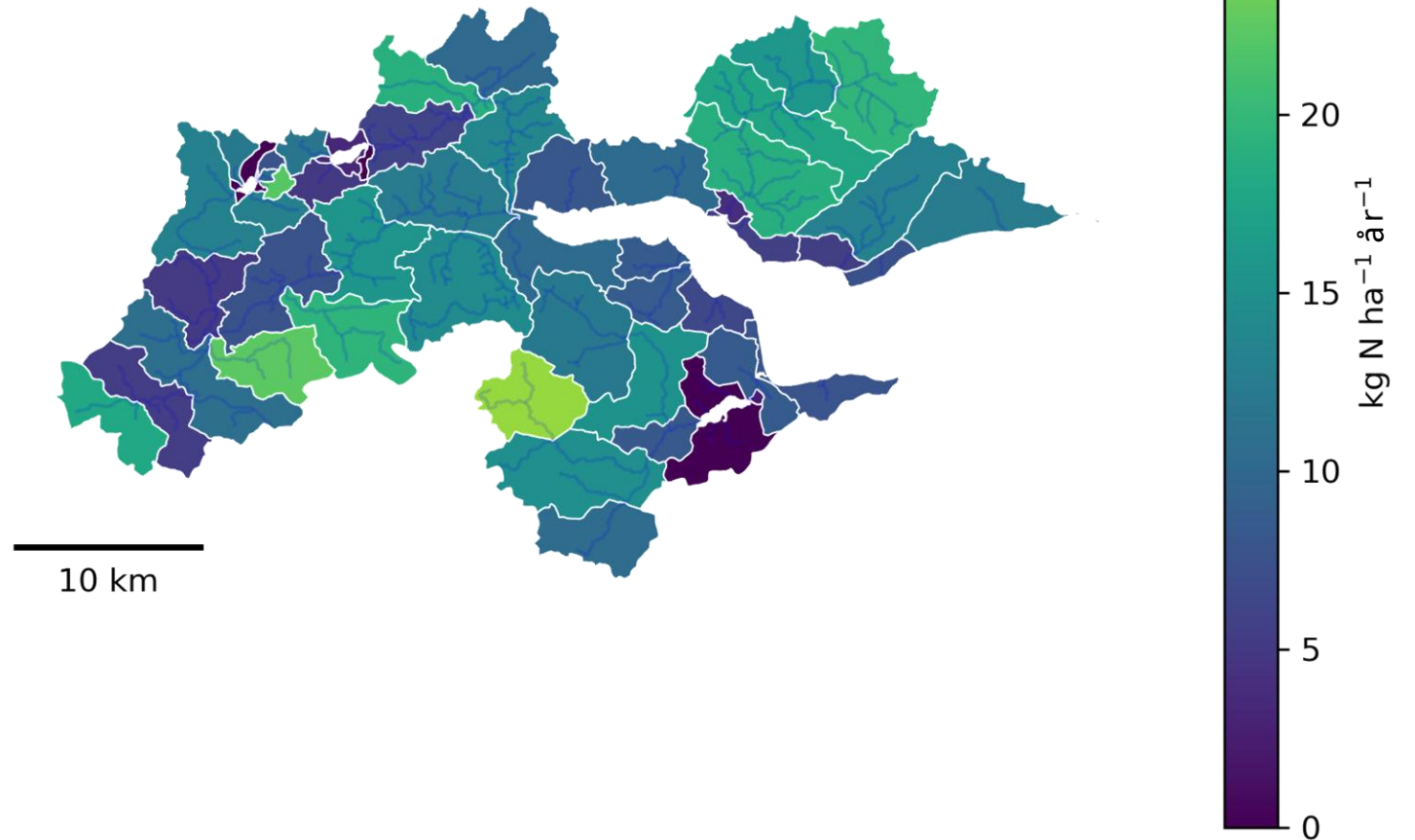
Hvor kommer kvælstoffet fra?



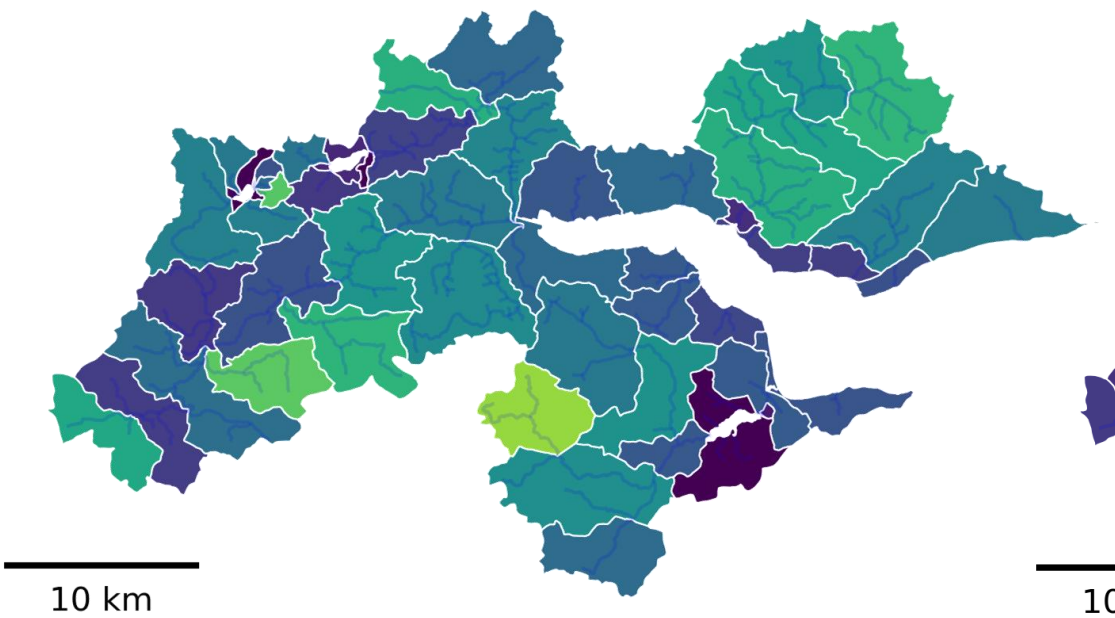
Vergés P., Lücking S., Barnewitz A., Kragh T. (2024). Præliminær Hotspotanalyse for Vejle Å. Videnskabelig rapport fra Biologisk Institut, SDU.

Bemærk stor usikkerhed pga. få målinger per sted.

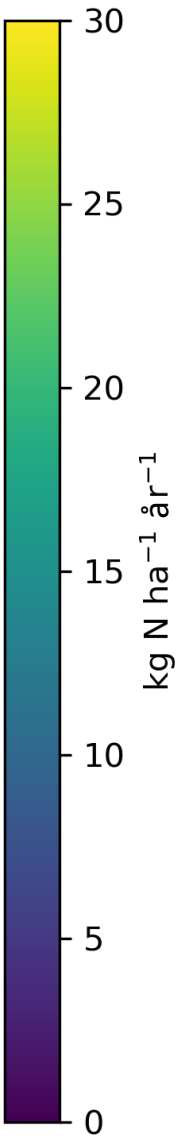
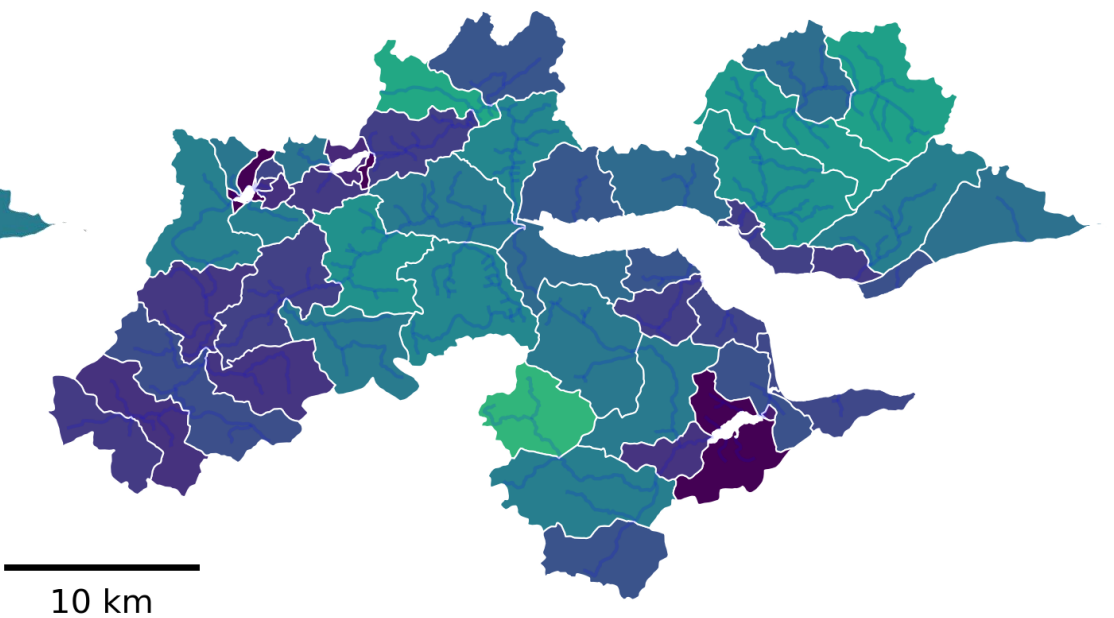
Vejle fjord - baseline



Vejle fjord - baseline



Vejle fjord - omlægningsplan



Mulige scenarier omkring drikkevandsbeskyttelse

Udfordring:

- Udpegning af sårbare grundvandsdannende områder (**SGO**) ikke gennemført for hele DK
- Vi har efterspurgt status på kortlægning igennem KVR, og har også været i dialog med MST's Afdeling for Grundvandskortlægning

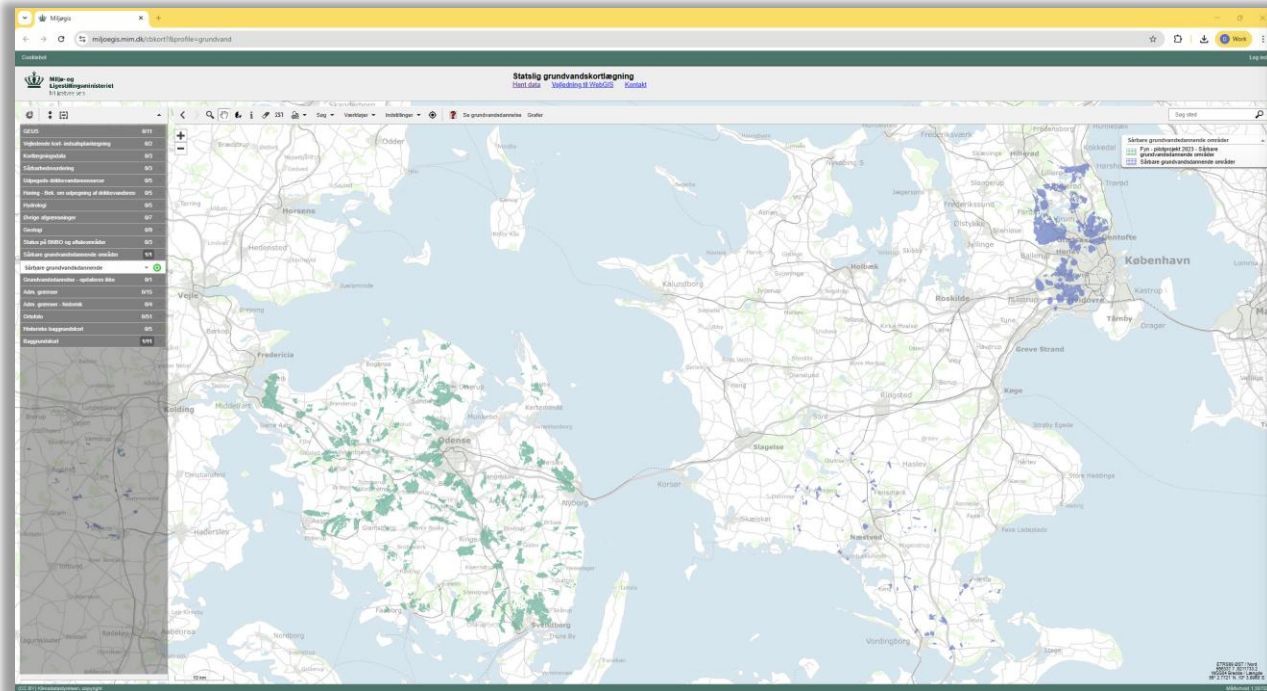
Status:

- SGO kortlægningen er stadig ikke helt færdig – skulle være færdig i løbet af 2026 (men MST kan ikke give præcis dato)

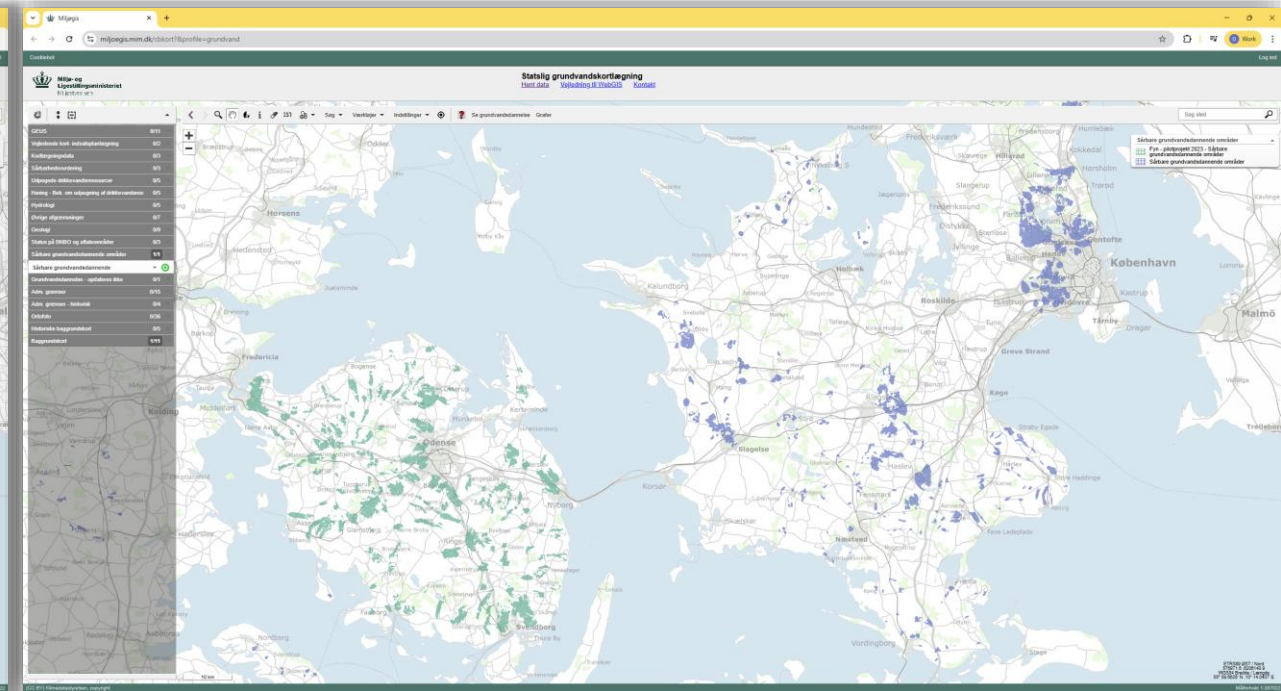
Mulighed:

- Scenarie kunne eventuelt køres når kortlægningen af SGO er færdig i 2026. Derefter kan vi præsentere resultatet på nyt KVR møde

Kort som det så ud i februar 2026:



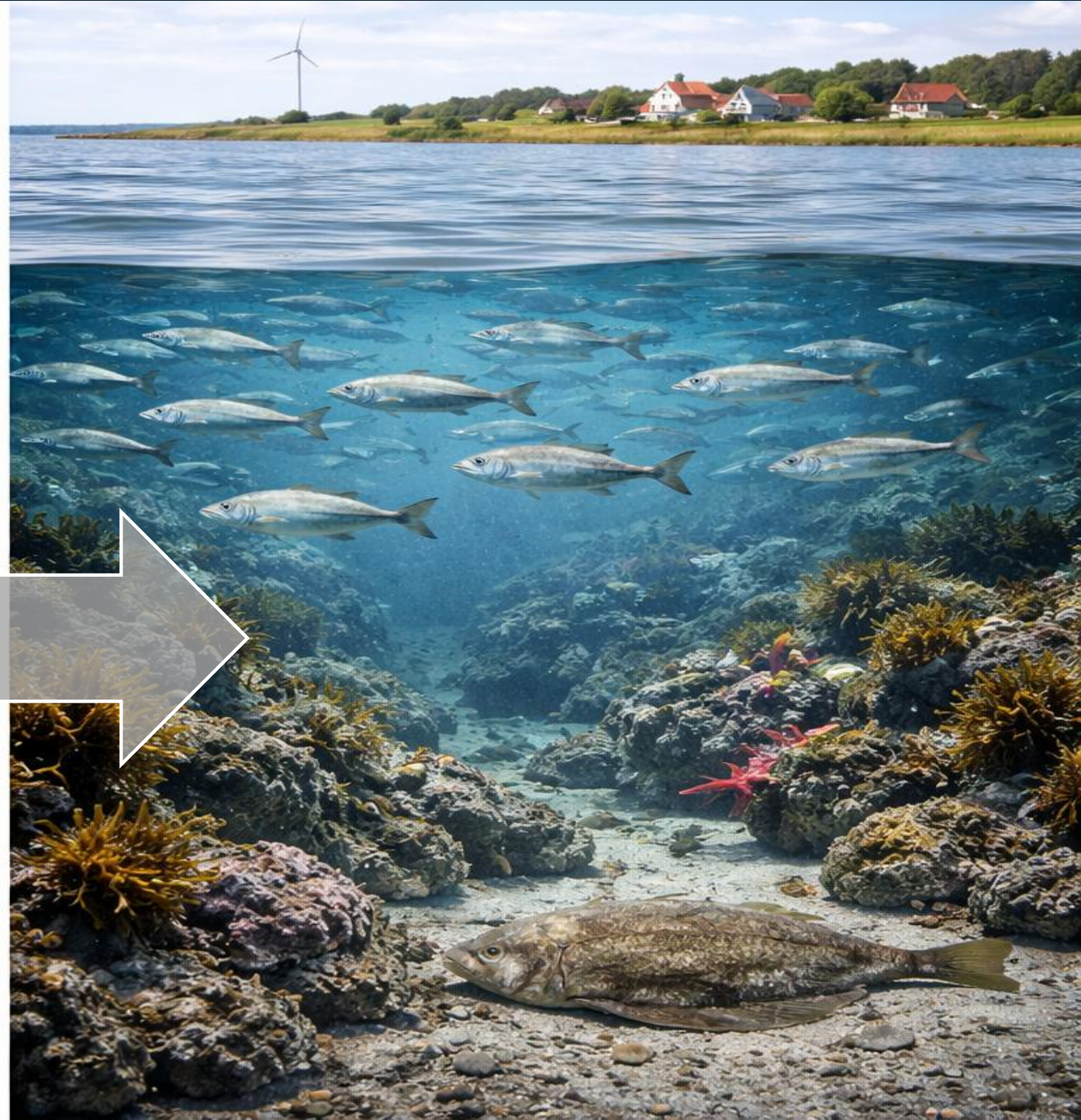
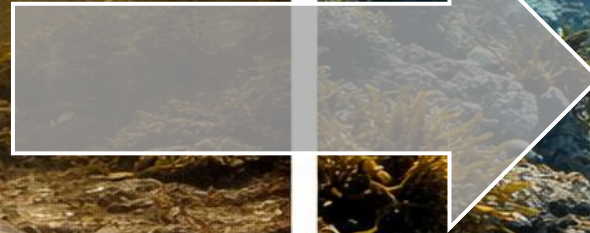
Kort fra 15. April 2026:



1. Man vil komme langt med reduktion af kvælstoftilførslen til Vejle Fjord hvis omlægningsplan realiseres
2. Vådområder i ådalene er generelt et af de mest effektive virkemidler (per hektar berørt)
3. Der er væsentlig variation i effekterne fra år til år
4. Effekten af vådområder og nogle minivådområder beregnet med SWAT+ er generelt lavere end det der er estimeret via MARS
 - Vi vurderer at hovedårsagen til dette er, at MARS ikke tager højde for kvælstoffets transportveje, og at der i MARS altid "fjernes" maksimal mængde kvælstof også selvom der slet ikke tilføres denne mængde kvælstof
 - Der er væsentlig usikkerhed på den estimerede effekt af minivådområder især pga. usikkerheder forbundet med udpegningen af deres (dræn)oplande og estimeringen af vand og stof-tilførslerne til disse. SEGES, AU og GEUS arbejder netop nu på et GUDP projekt (Optiwet, 2025-2027), som forsøger at optimere på designet af mini-vådområder

- Senere på året kan vi køre yderligere 2-3 scenarier – f.eks. vedr. drikkevandsbeskyttelse med eksempelvis skovrejsning på de kortlagte sårbare grundvandsdannende områder (SGO)
- Vi kommer gerne igen og fortæller om dette i KVR på et senere tidspunkt
- Vi forsøger også at imødekomme alle forespørgsler fra KVR om at komme ud og fortælle omkring arbejdet med oplandsmodellen

Den gode nyhed: der er flere veje der kan føre til Rom



SWAT+ model =
rutevejledning

=

