Introduktion til SWAT+ oplandsmodel og eksempler på virkemiddel-scenarier

Dennis Trolle og Anders Nielsen (WateriTech)

Baggrund

WateriTech i samarbejde med Aarhus Universitet og SEGES:

- Et oplandsanalysenotat (baggrundsnotat)
- Opsætning af oplandsmodel (SWAT+) (model-protokol/notat)
  - Indarbejdelse af detaljeret landbrugspraksis
  - Indarbejdelse af spildevandsdata
- Design og kørsel af en række virkemiddel-scenarier med SWAT+ model (scenarie-notat)

Aarhus Universitet:

- Design og kørsel af en række virkemiddel-scenarier fokuseret på fosfor

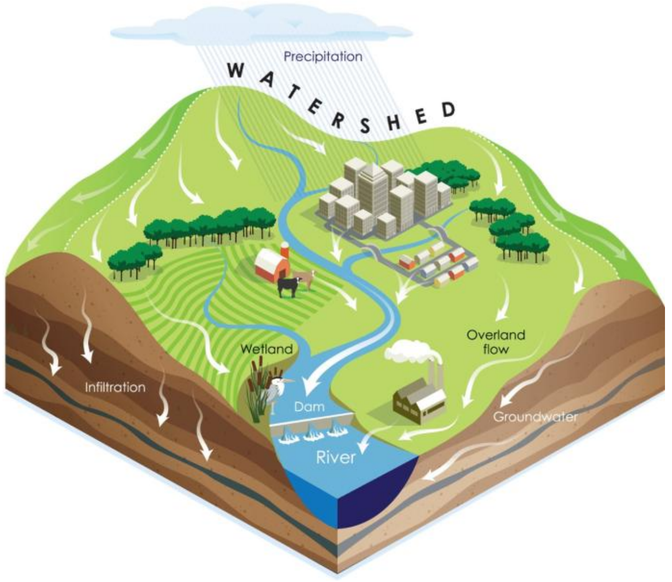
Formål med denne præsentation

- At give en grundlæggende forståelse for konceptet bag SWAT+ modellen
- At give en grundlæggende forståelse for det lokale data der ligger til grund for SWAT+ modellen for Roskilde Fjord og Isefjord oplandene
- At give indsigt i de forskellige muligheder der findes for at simulere en række forskellige typer af virkemiddel-scenarier med SWAT+ modellen
- At give mulighed for spørgsmål og åben diskussion af både model-konceptet og datagrundlaget

Hvad er SWAT+

WateriTech

SWAT Soil & Water Assessment Tool



- SWAT+ er en procesbaseret agro-hydrologisk oplandsmodel
- Modellen er holistisk og omfattende med mange procesinteraktioner
- Open source og med et kæmpestort netværk af forskere og brugere, som løbende tester og forbedrer modellen
- Et af modellens hovedformål er at simulere mængden og kvaliteten af overfladevand, og herudfra at forudsige de miljømæssige konsekvenser af ændringer i arealanvendelser, landbrugspraksis samt effekter af klimaforandringer

Eksempler på spørgsmål som typisk søges besvaret med SWAT+

- Hvad er effekten af et ændret klima på tilgængeligheden af vand?
- Hvad er effekten af reduktion i punktkilder sammenlignet med effekten af ændret arealanvendelse og landbrugspraksis på tabet af kvælstof og fosfor til vandmiljøet?
- Hvordan kan afgrødeproduktionen ændre sig under fremtidige klimaforhold?
- Hvilke virkemidler kunne være mest effektive ift. at reducere transporten af N og P?
- og mange flere spørgsmål….

Historien bag SWAT+

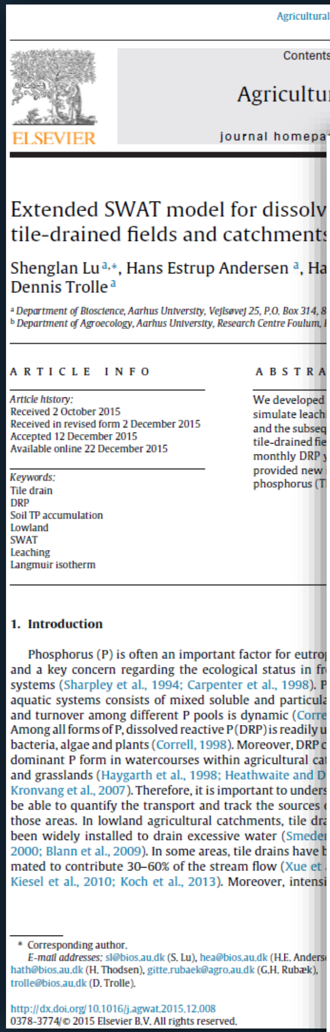
SWAT Soil & Water Assessment Tool

- SWAT+ er oprindeligt udviklet af USDA i samarbejde med Texas A&M University, og en lang række internationale samarbejdspartnere
- Første version udgivet i begyndelsen af 90erne (Arnold et al. 1998 er citeret > 6000 gange)
- Blandt verdens mest gennemtestede og publicerede modeller (>6500 publikationer)
- Løbende under udvikling igennem forskning, som tilsigter at model altid er state-of-the-art
- Har været anvendt i forskellige forskningsprojekter i Danmark igennem de seneste 10-15 år

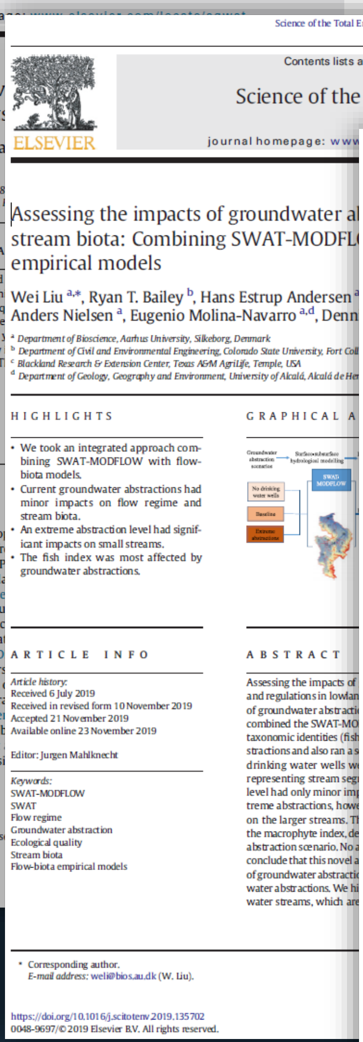
Hvorfor: fordi 1) den simulerer både kvælstof og fosfor, 2) den er open source og under løbende udvikling af stærke forskningsgrupper, 3) den har en stærk landbrugskomponent, og 4) den kan simulere effekter af både ændret klima og arealanvendelse

Vi har en internationalt anerkendt gruppe af SWAT+ eksperter i Danmark

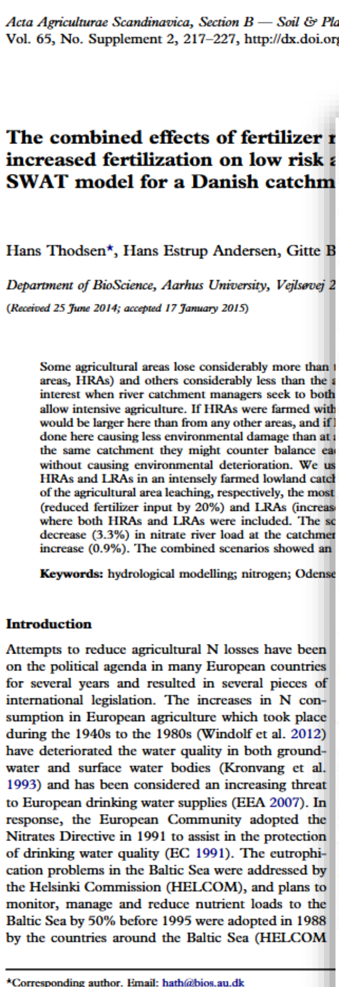
Nogle forsknings-eksempler fra Danmark



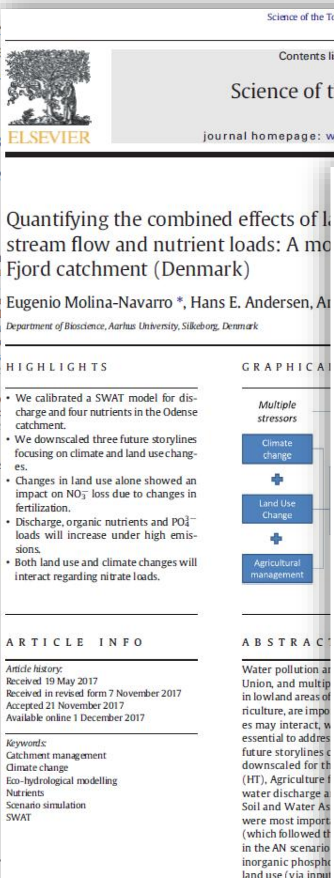
Hvilken rolle spiller dræn i transporten af opløst og partikelbundet fosfor til vandmiljøet?



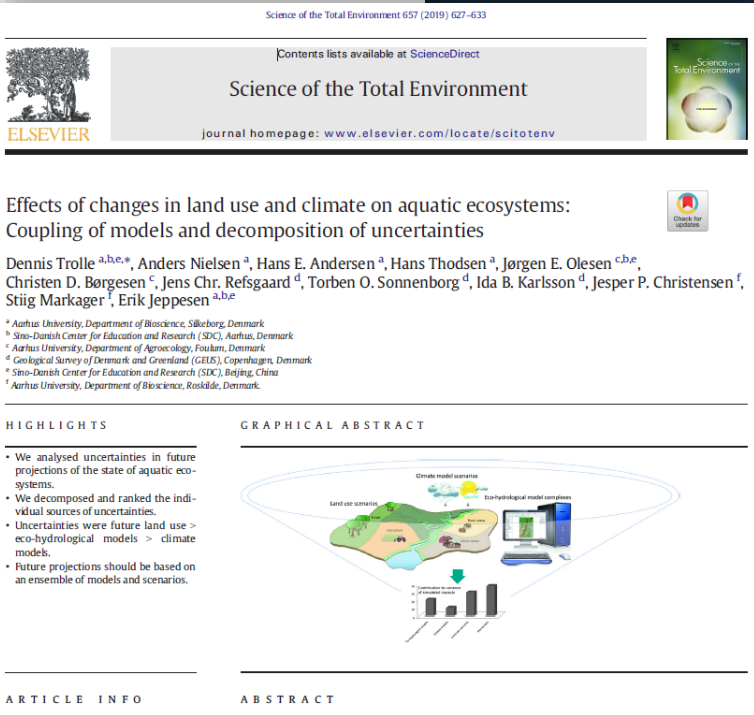
Har niveauet af grundvandsindvinding betydning for vandløbsbiologien?



Hvilke områder er hotspots ift. næringssalttransport?



Hvad betyder fremtidens klima for N & P transporter?



Hvor er de største kilder til usikkerheder når der simuleres både ændret landbrugs-praksis og et ændret klima?

SWAT+ og kystvandråd

SWAT Soil & Water Assessment Tool

I kystvandrådsregi arbejdes der parallelt med opsætninger af SWAT+ oplandsmodellen for:

- Roskilde Fjord
- Isefjord
- Vejle Fjord
- Kolding Fjord
- Holckenhavn Fjord
- Haderslev Fjord
- Odense Fjord (første generation af KVR)
- Ringkøbing Fjord (første generation af KVR)

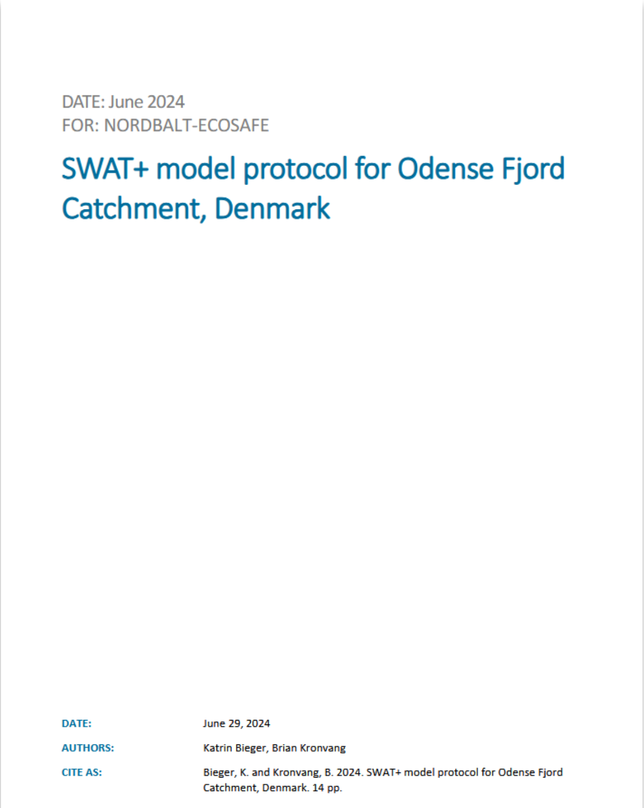

LONGLINE ENVIRONMENT

Modelling of Ringkøbing Fjord to support policy-makers for compliance with the EU Water Framework Directive

DRAFT REPORT

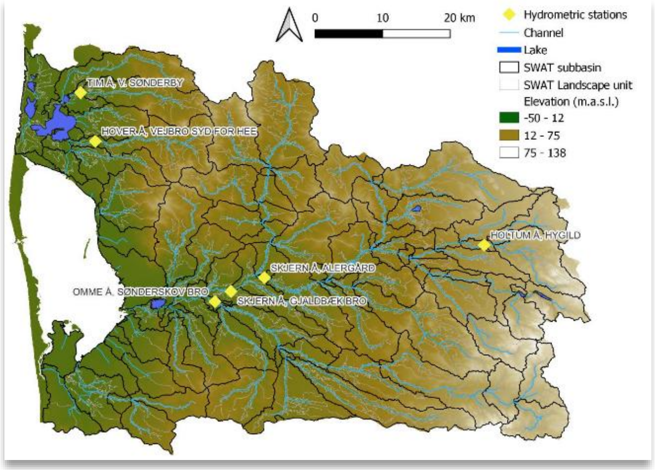
DECEMBER 2023

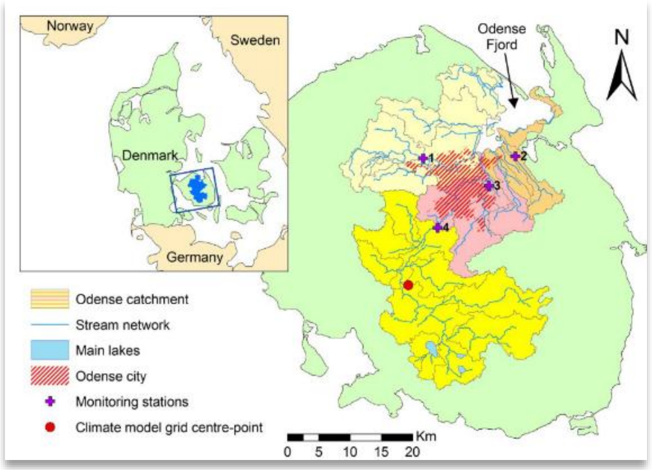
Leonard Bernard-Jannin, Joao G. Ferreira, Joao Lencart e Silva, Alhambra M. Cubillo, Gerhardus Diedricks


DATE: June 2024
FOR: NORDBALT-ECOSAFE

SWAT+ model protocol for Odense Fjord Catchment, Denmark

DATE: June 29, 2024
AUTHORS: Katrin Bieger, Brian Kronvang
CITE AS: Bieger, K. and Kronvang, B. 2024. SWAT+ model protocol for Odense Fjord Catchment, Denmark. 14 pp.

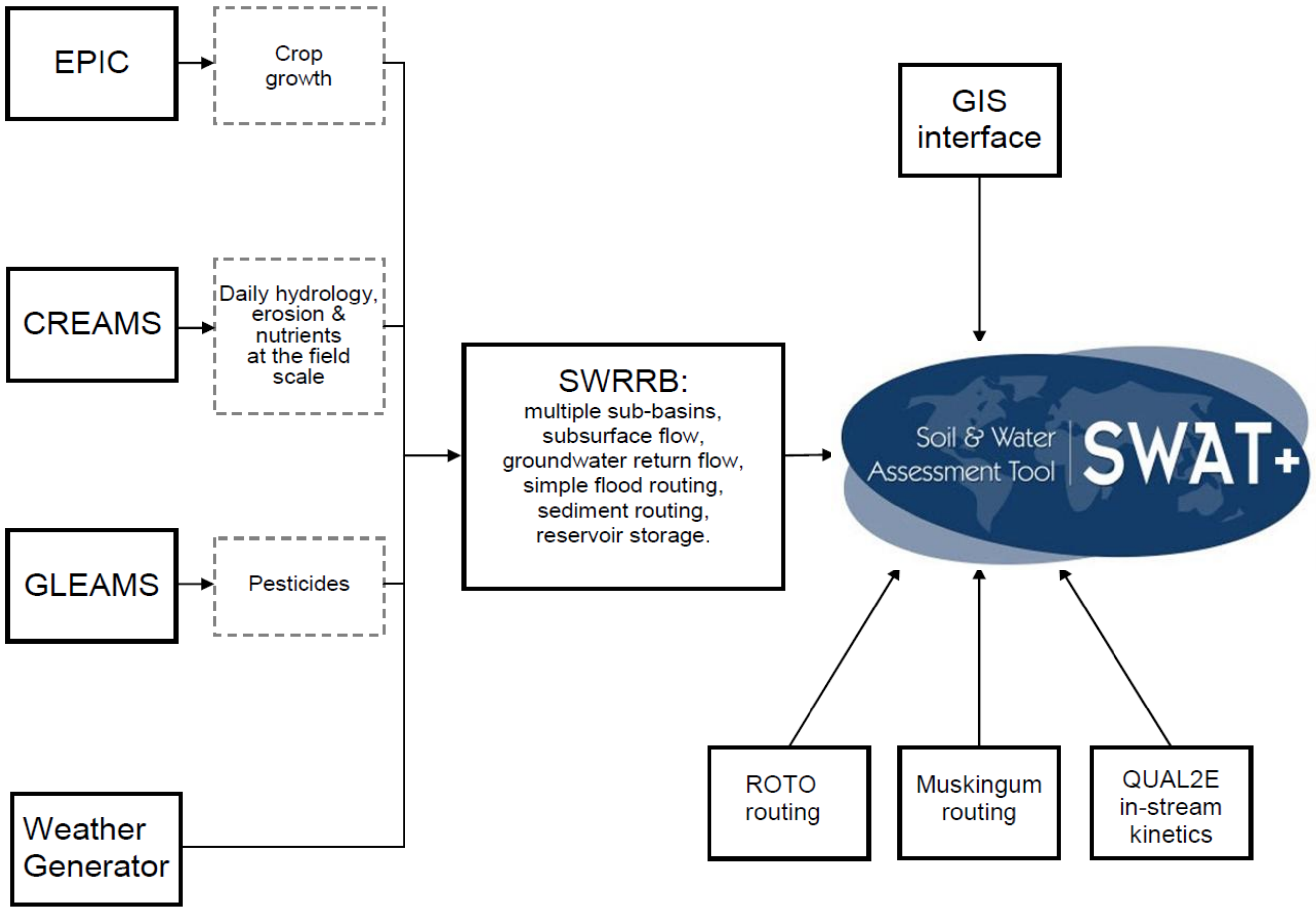




Komponenterne i SWAT+

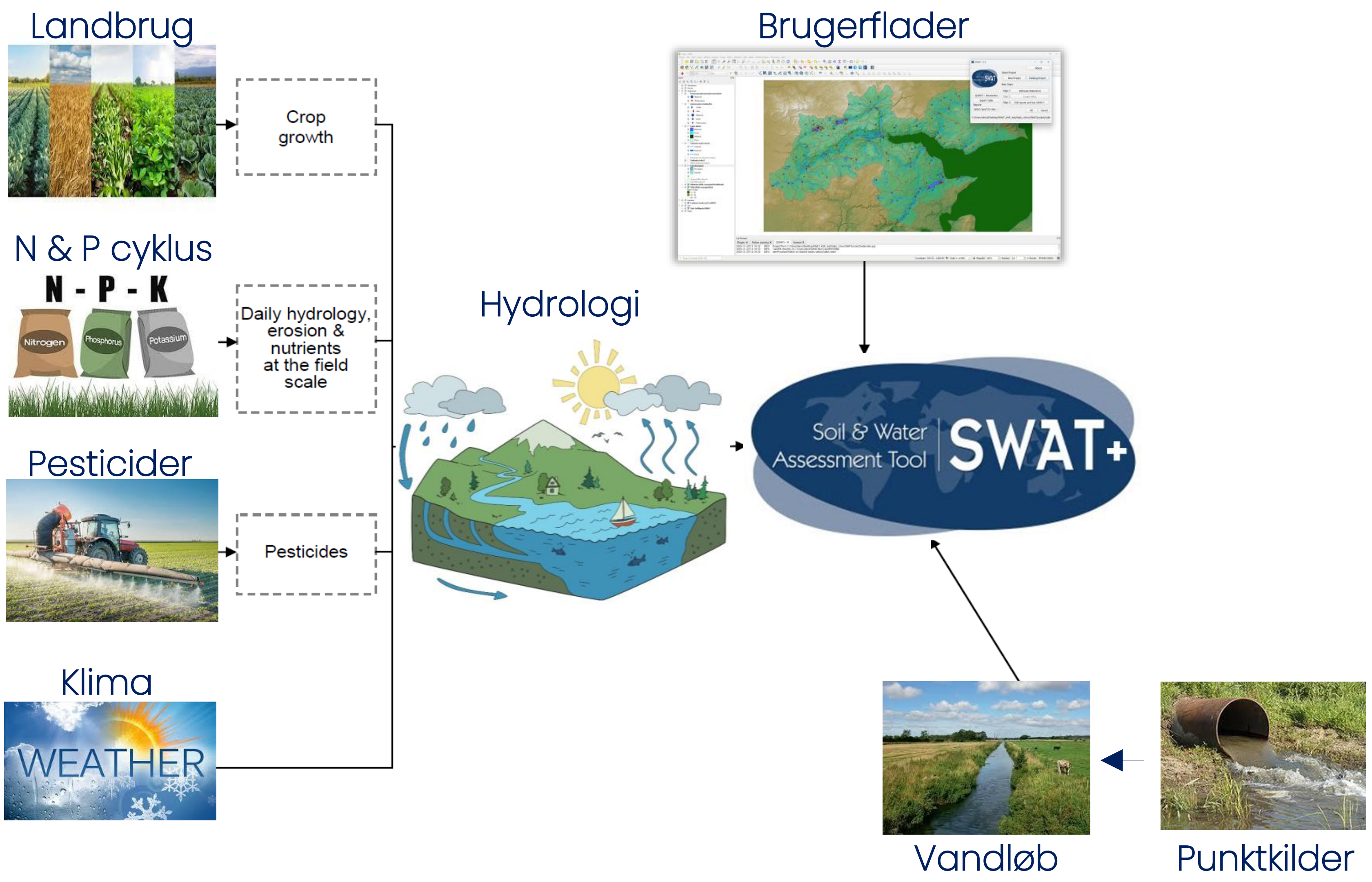
Soil & Water Assessment Tool SWAT+

Komponenterne i SWAT+



Krysanova and Arnold (2008)

Komponenterne i SWAT+



Krysanova and Arnold (2008)

Model-inputs

WaterTech

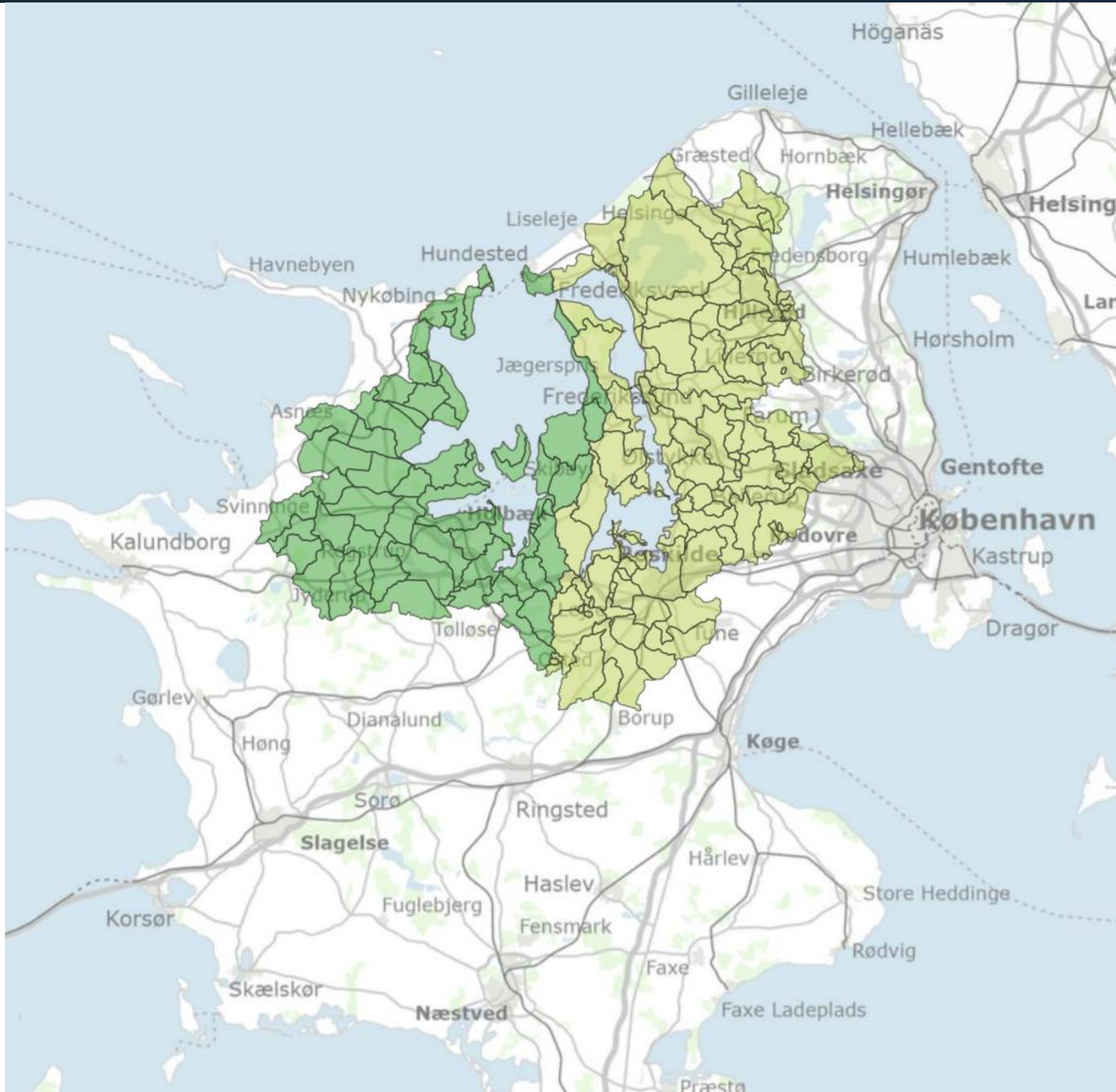
SWAT Soil & Water Assessment Tool

Grundlæggende inputs

- Højdemodel (terrænkort)
- Arealanvendelseskort
- Jordtypekort
- Vejrdata

Supplerende inputs

- Nationale oplandsgrænser
- Stationsobservationer
- Punktkilder
- Landbrugpraksis og rotationer
- Afgrødedatabase

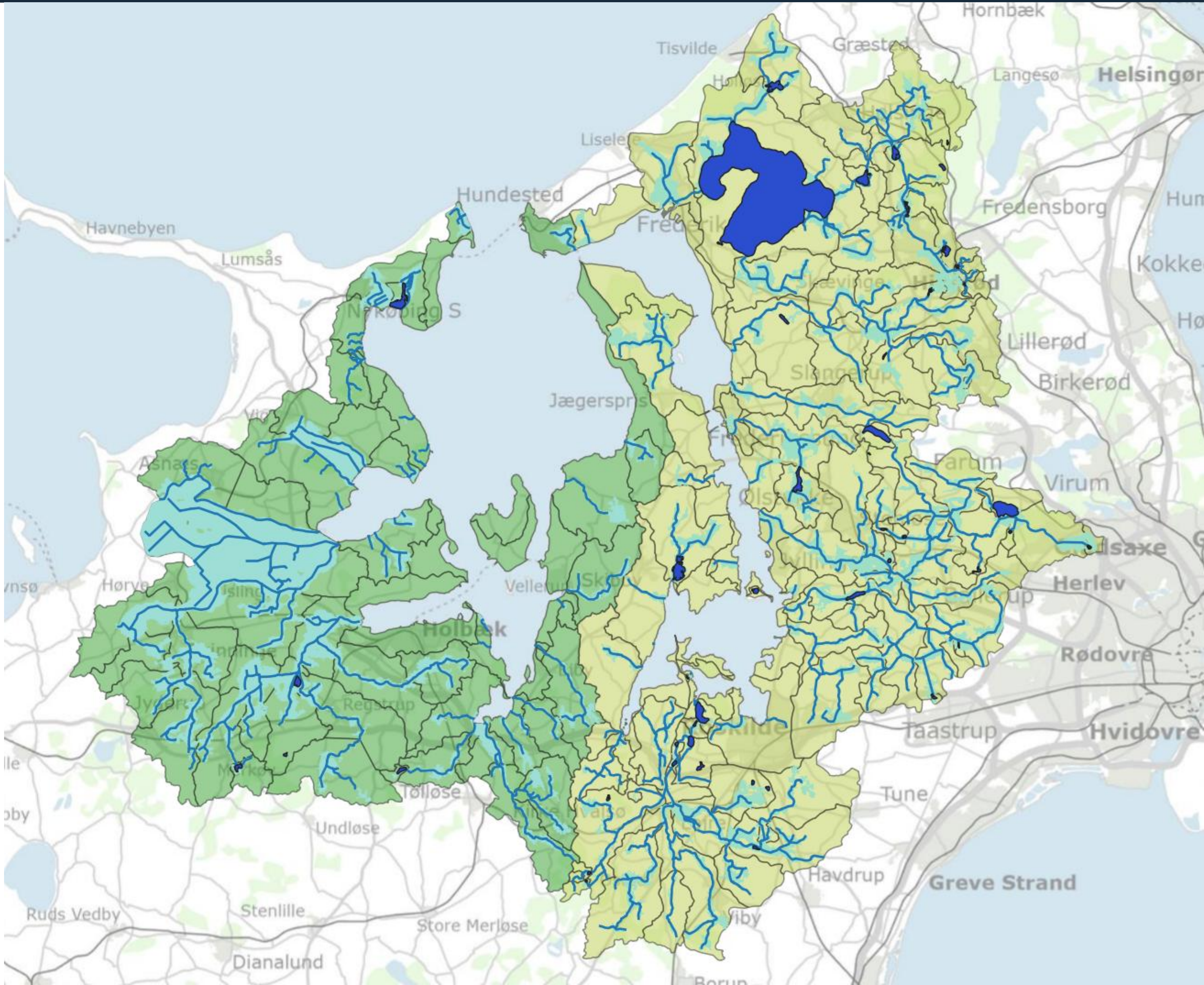


Status for SWAT+ modellen

- [x] Modelopsætning
- [ ] Kalibrering og validering (stadig i proces)
- [ ] Scenarie-workshop i januar 2026 (SEGES er tovholder)
- [ ] Forberedelse, kørsel og analyse af virkemiddel-scenarier (f.eks. punktkilder, vådområder, arealomlægning)

Model-inputs: højdemodel og oplandsgrænser

- Seneste nationale højdemodel fra dataforsyningen.dk
- Officielle id15 deloplande og vandløb
- Ådale afgrænsning beskrevet af Gasper Sechu m.fl. 2021 (AU og GEUS)

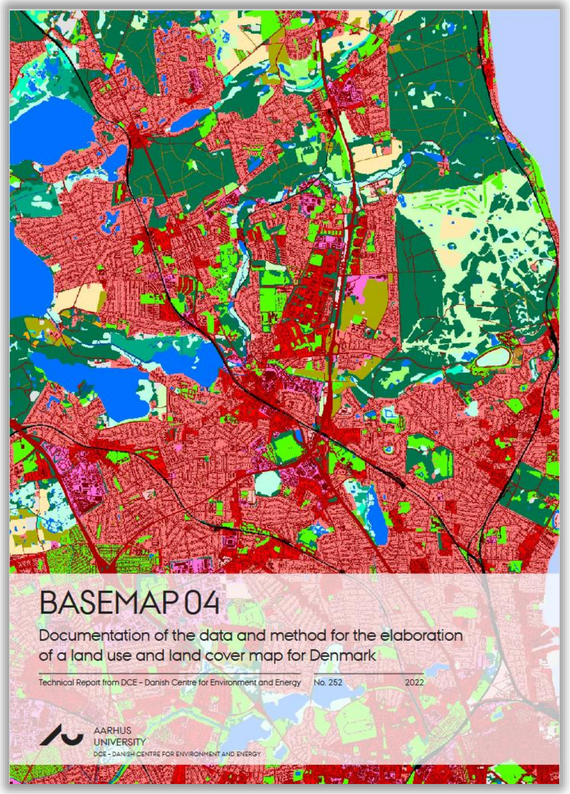


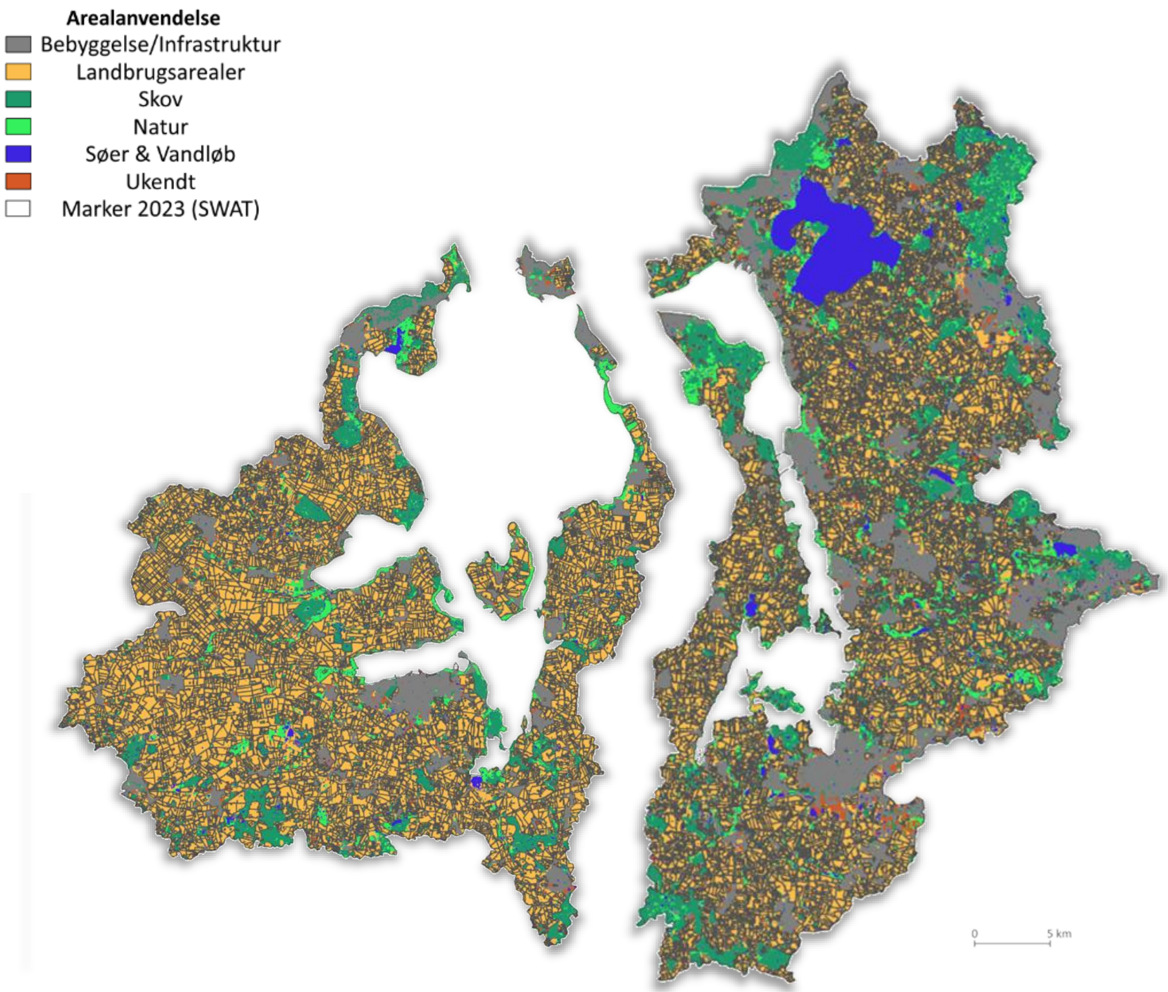
Model-inputs: arealanvendelse

10x10m opløsning

Arealanvendelse

- Baseret på **Basemap4** (2022) fra Aarhus Universitet med supplerende informationer om arealer i omdrift fra SEGES.

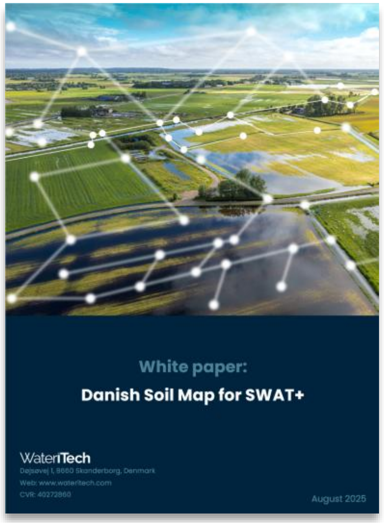


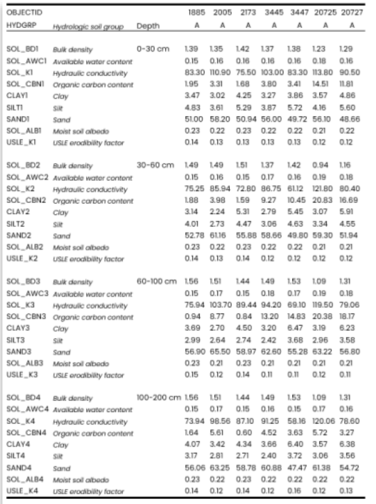


Model-inputs: jordtype

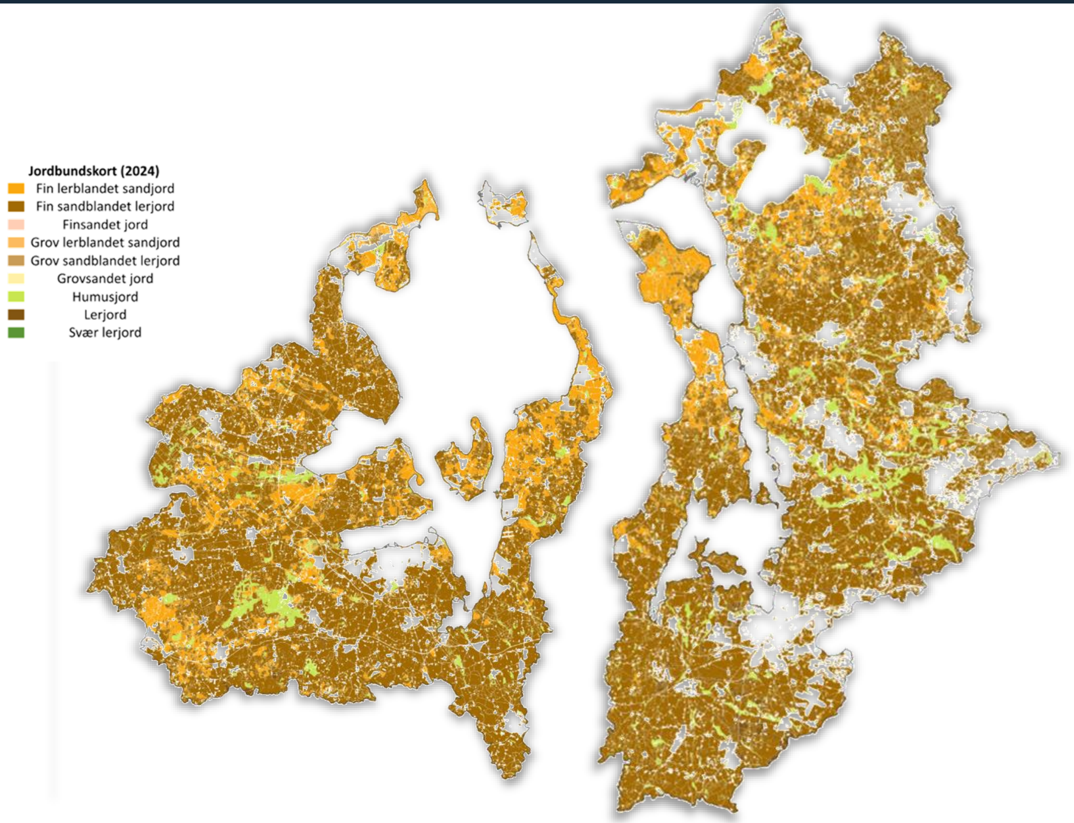
Jordtypekort

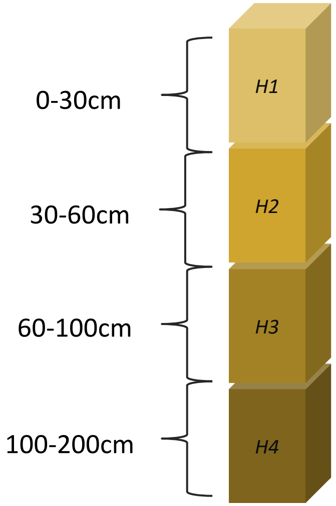
- *Baseret på "Tekstur2024" fra Aarhus Universitet*
- *Hydrologiske egenskaber beregnet af WateriTech*





OBJECTID			1885	2005	2173	3445	3447	20725	20727
HYDGRP	*Hydrologic soil group*	Depth	A	A	A	A	A	A	A
SOL_BD1	*Bulk density*	0-30 cm	1.39	1.35	1.42	1.37	1.38	1.23	1.29
SOL_AWC1	*Available water content*		0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.18	0.16
SOL_K1	*Hydraulic conductivity*		83.30	110.90	75.50	103.00	83.30	113.80	90.50
SOL_CBN1	*Organic carbon content*		1.95	3.31	1.68	3.80	3.41	14.51	11.81
CLAY1	*Clay*		3.47	3.02	4.25	3.27	3.86	3.57	4.86
SILT1	*Silt*		4.83	3.61	5.29	3.87	5.72	4.16	5.60
SAND1	*Sand*		51.00	58.20	50.94	56.00	49.72	56.10	48.66
SOL_ALB1	*Moist soil albedo*		0.23	0.22	0.23	0.22	0.22	0.21	0.22
USLE_K1	*USLE erodibility factor*		0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
SOL_BD2	*Bulk density*	30-60 cm	1.49	1.49	1.51	1.37	1.42	0.94	1.16
SOL_AWC2	*Available water content*		0.15	0.16	0.15	0.17	0.16	0.19	0.18
SOL_K2	*Hydraulic conductivity*		75.25	85.94	72.80	86.75	61.12	121.80	80.40
SOL_CBN2	*Organic carbon content*		1.88	3.98	1.59	9.27	10.45	20.83	16.69
CLAY2	*Clay*		3.14	2.24	5.31	2.79	5.45	3.07	5.91
SILT2	*Silt*		4.01	2.73	4.47	3.06	4.63	3.34	4.55
SAND2	*Sand*		52.78	61.16	55.88	58.66	49.80	59.30	51.94
SOL_ALB2	*Moist soil albedo*		0.23	0.22	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21
USLE_K2	*USLE erodibility factor*		0.14	0.13	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12
SOL_BD3	*Bulk density*	60-100 cm	1.56	1.51	1.44	1.49	1.53	1.09	1.31
SOL_AWC3	*Available water content*		0.15	0.17	0.15	0.18	0.17	0.19	0.18
SOL_K3	*Hydraulic conductivity*		75.94	103.70	89.44	94.20	69.10	119.50	79.06
SOL_CBN3	*Organic carbon content*		0.94	8.77	0.84	13.20	14.83	20.38	18.17
CLAY3	*Clay*		3.69	2.70	4.50	3.20	6.47	3.19	6.23
SILT3	*Silt*		2.99	2.64	2.74	2.42	3.68	2.96	3.58
SAND3	*Sand*		56.90	65.50	58.97	62.60	55.28	63.22	56.80
SOL_ALB3	*Moist soil albedo*		0.23	0.21	0.23	0.21	0.21	0.21	0.21
USLE_K3	*USLE erodibility factor*		0.15	0.12	0.14	0.11	0.11	0.12	0.11
SOL_BD4	*Bulk density*	100-200 cm	1.56	1.51	1.44	1.49	1.53	1.09	1.31
SOL_AWC4	*Available water content*		0.15	0.17	0.15	0.16	0.15	0.17	0.16
SOL_K4	*Hydraulic conductivity*		73.94	98.56	87.10	91.25	58.16	120.06	78.60
SOL_CBN4	*Organic carbon content*		1.64	5.61	0.60	4.52	3.63	5.72	3.27
CLAY4	*Clay*		4.07	3.42	4.34	3.66	6.40	3.57	6.38
SILT4	*Silt*		3.17	2.81	2.71	2.40	3.72	3.06	3.56
SAND4	*Sand*		56.06	63.25	58.78	60.88	47.47	61.38	54.72
SOL_ALB4	*Moist soil albedo*		0.23	0.22	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22
USLE_K4	*USLE erodibility factor*		0.14	0.12	0.14	0.12	0.16	0.12	0.13



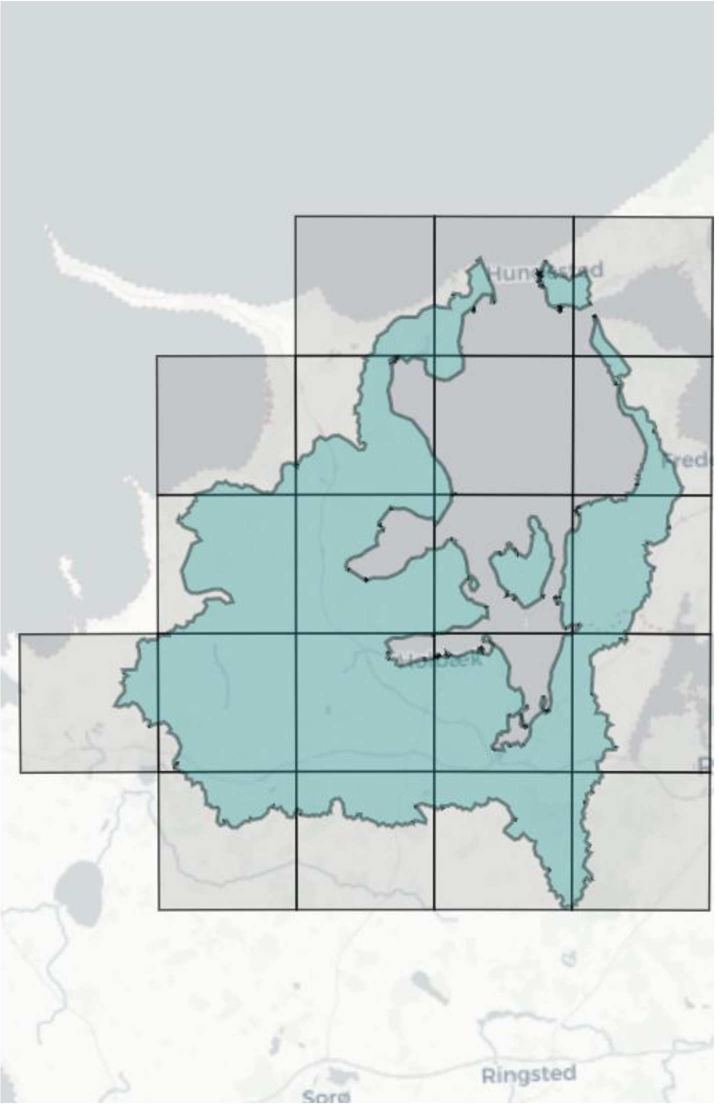


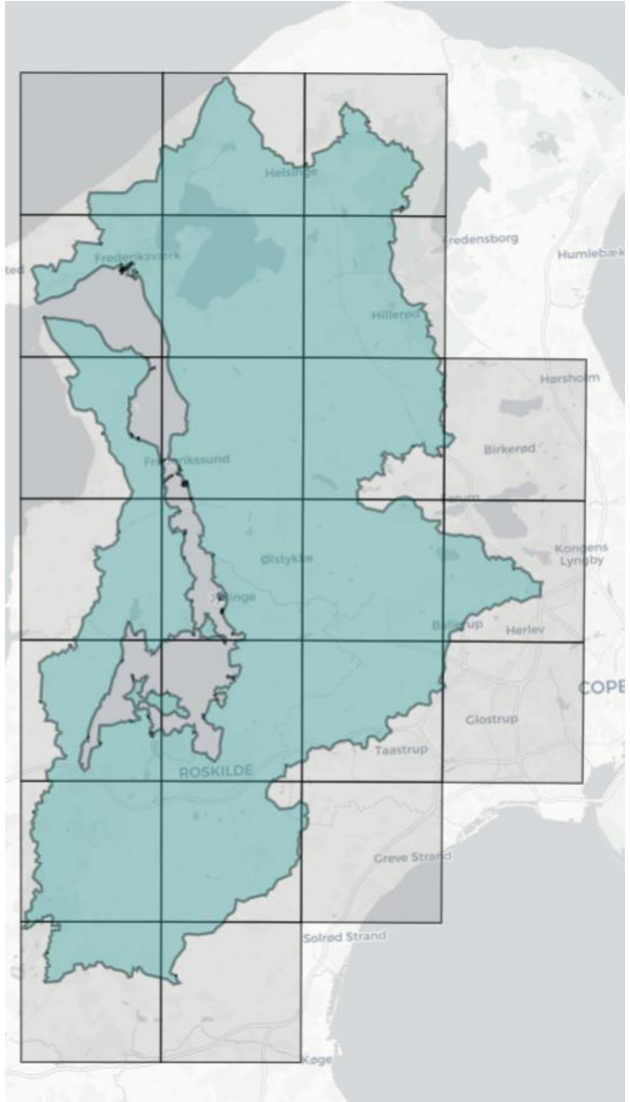
SoilID	Horizon_1	Horizon_2	Horizon_3	Horizon_4
13195	(JB-07) Lerjord	(JB-07) Lerjord	(JB-07) Lerjord	(JB-07) Lerjord
11467	(JB-06) Fin sandblandet lerjord	(JB-07) Lerjord	(JB-07) Lerjord	(JB-07) Lerjord
9425	(JB-05) Grov sandblandet lerjord	(JB-05) Grov sandblandet lerjord	(JB-05) Grov sandblandet lerjord	(JB-05) Grov sandblandet lerjord
5655	(JB-03) Grov lerblandet sandjord	(JB-03) Grov lerblandet sandjord	(JB-03) Grov lerblandet sandjord	(JB-03) Grov lerblandet sandjord
11323	(JB-06) Fin sandblandet lerjord	(JB-06) Fin sandblandet lerjord	(JB-07) Lerjord	(JB-07) Lerjord
9739	(JB-05) Grov sandblandet lerjord	(JB-07) Lerjord	(JB-07) Lerjord	(JB-07) Lerjord
5681	(JB-03) Grov lerblandet sandjord	(JB-03) Grov lerblandet sandjord	(JB-05) Grov sandblandet lerjord	(JB-05) Grov sandblandet lerjord
5969	(JB-03) Grov lerblandet sandjord	(JB-05) Grov sandblandet lerjord	(JB-05) Grov sandblandet lerjord	(JB-05) Grov sandblandet lerjord
11310	(JB-06) Fin sandblandet lerjord	(JB-06) Fin sandblandet lerjord	(JB-06) Fin sandblandet lerjord	(JB-06) Fin sandblandet lerjord
Other	blandet	blandet	blandet	blandet

Model-inputs: vejrdata

Vejrdata: 10km grid

10x10km opløsning

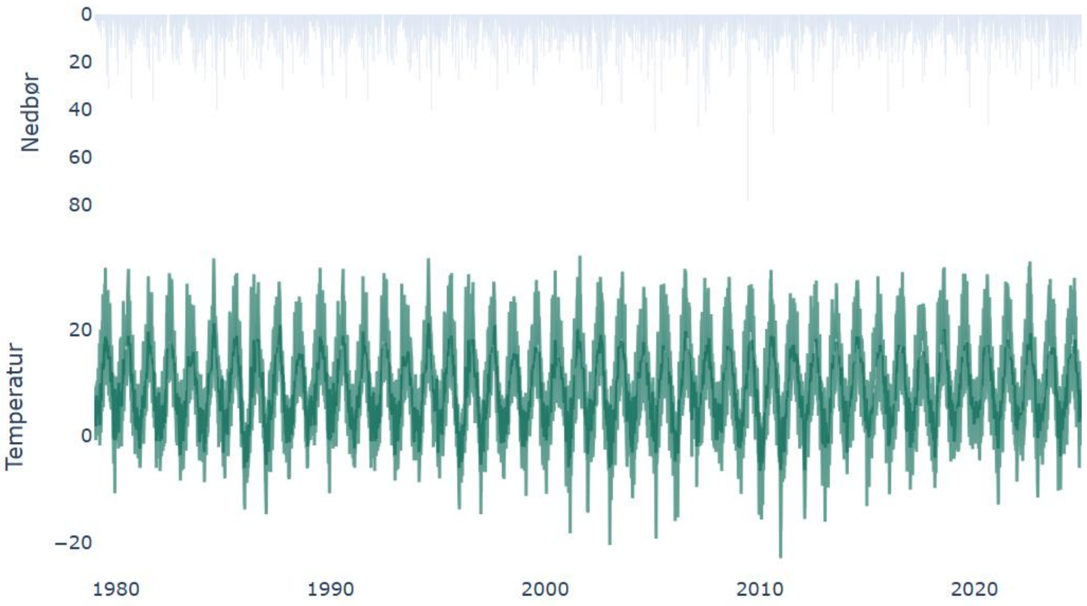




Danmarks Meteorologiske Institut

AARHUS UNIVERSITY

- Nedbør
- Temperatur
- Relativ fugtighed
- Vind
- Indstråling

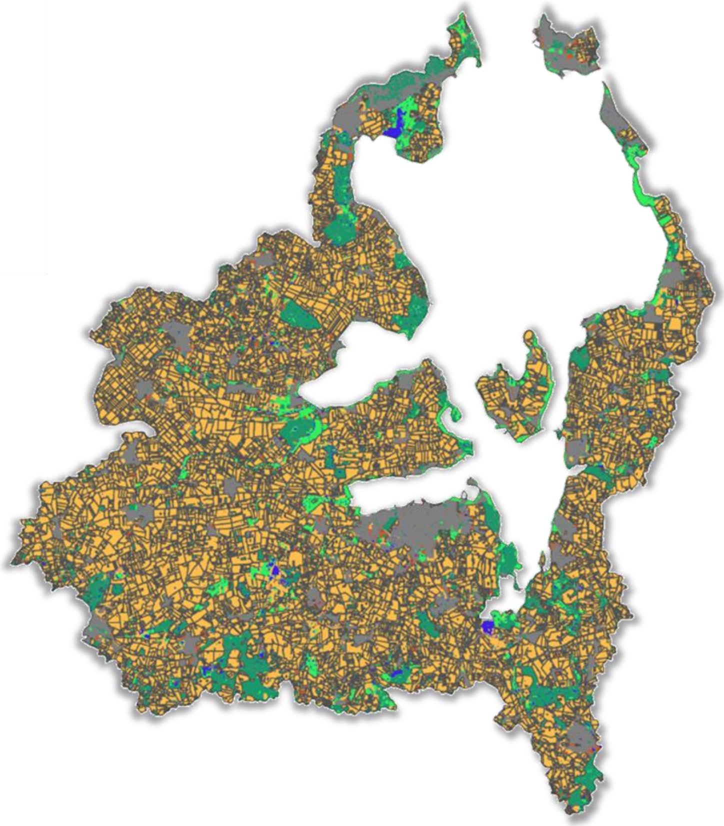


Model-inputs: landbrugspraksis

WaterTech

- **+8.000** marker for Isefjorden og **+11.000** marker for Roskilde Fjord fra Internet Markkort (IMK).
- Markdata (LandbrugsGIS), gødningsregnskaber og GKEA-data er integreret af SEGES, og anvendt til at lave 5-årige afgrøde-rotationer per mark.
- Inkl. såning af specifikke afgrøder, N & P gødskning, pløjning, efterafgrøder m.m.

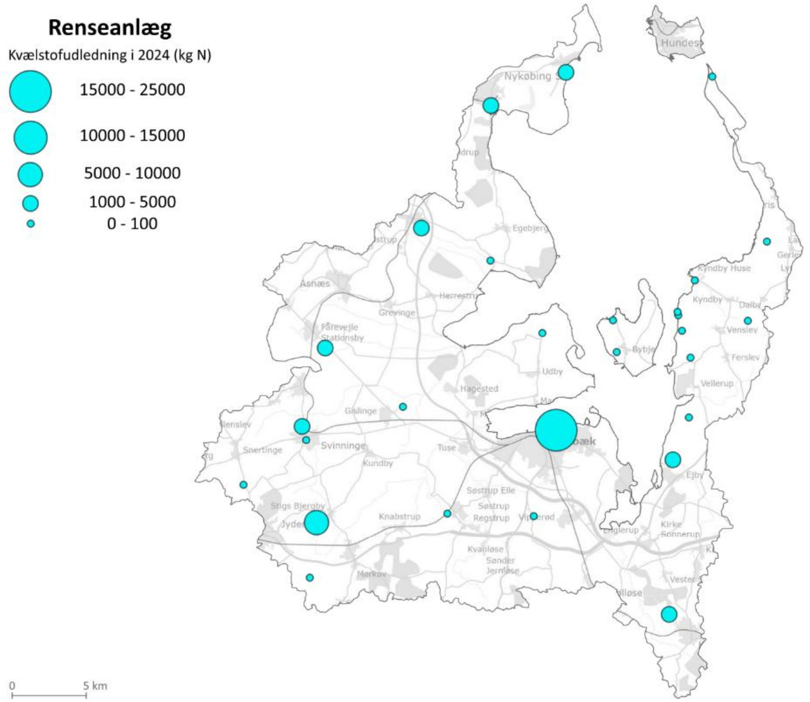
fert	3	15	0.000	elem_n	broadcast	80.00000
fert	3	15	0.000	elem_p	broadcast	4.00000
fert	3	28	0.000	elem_n	broadcast	0.41721
fert	3	28	0.000	elem_p	broadcast	0.02086
fert	3	28	0.000	org_n	broadcast	1.25164
fert	3	28	0.000	org_p	broadcast	0.22530
till	4	1	0.000	fallplow	null	0.00000
plnt	4	2	0.000	dk_barl	null	0.00000
fert	4	15	0.000	elem_n	broadcast	37.84532
fert	4	15	0.000	elem_p	broadcast	1.89227
harv	8	10	0.000	dk_barl	grain	0.00000
kill	8	10	0.000	dk_barl	null	0.00000
till	9	19	0.000	fallplow	null	0.00000
plnt	9	20	0.000	dk_wwht	null	0.00000
skip	0	0	0.000	null	null	0.00000
fert	3	10	0.000	elem_n	broadcast	0.45467
fert	3	10	0.000	elem_p	broadcast	0.02273
fert	3	10	0.000	org_n	broadcast	1.36402
fert	3	10	0.000	org_p	broadcast	0.24552
fert	3	15	0.000	elem_n	broadcast	80.00000
fert	3	15	0.000	elem_p	broadcast	4.00000
fert	4	15	0.000	elem_n	broadcast	100.00000
fert	4	15	0.000	elem_p	broadcast	5.00000
fert	5	15	0.000	elem_n	broadcast	0.38137
fert	5	15	0.000	elem_p	broadcast	0.01907
harv	8	15	0.000	dk_wwht	grain	0.00000
kill	8	15	0.000	dk_wwht	null	0.00000
skip	0	0	0.000	null	null	0.00000
fert	3	15	0.000	elem_n	broadcast	80.00000
fert	3	15	0.000	elem_p	broadcast	4.00000
fert	3	28	0.000	elem_n	broadcast	0.34683
fert	3	28	0.000	elem_p	broadcast	0.01734
fert	3	28	0.000	org_n	broadcast	1.04050
fert	3	28	0.000	org_p	broadcast	0.18729
till	4	1	0.000	fallplow	null	0.00000
plnt	4	2	0.000	dk_barl	null	0.00000
fert	4	15	0.000	elem_n	broadcast	29.47876
fert	4	15	0.000	elem_p	broadcast	1.47394
harv	8	10	0.000	dk_barl	grain	0.00000
kill	8	10	0.000	dk_barl	null	0.00000

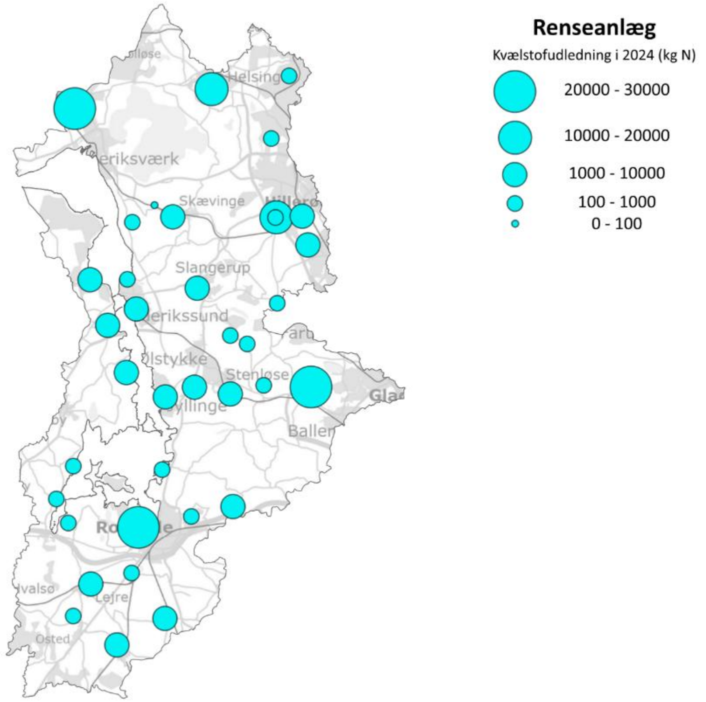


Model-inputs: punktkilder

- Der er rekvireret data fra DCE/AU på punktkilder (alt i PULS er med + estimater på spredt bebyggelse) > 1.000 individuelle punktkilder for Roskilde Fjord og ~ 300 for Isefjorden for perioden 1990-2024 (regnvandsbetingede udledninger, renseanlæg, industri og dambrug)

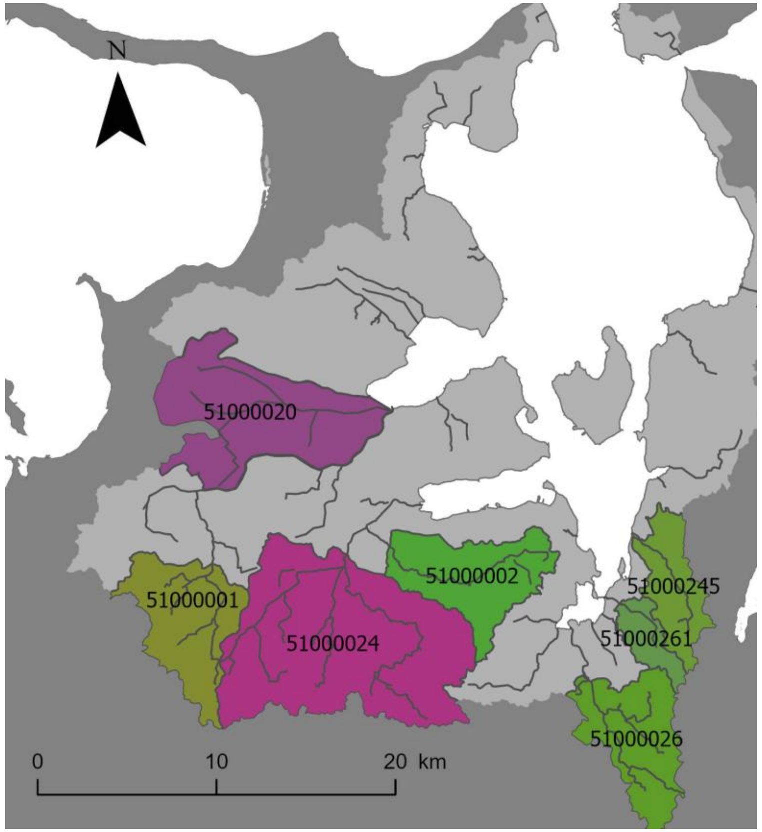
- Der er dialog med spildevandsselskaberne vedr. punktkilder (mhp. daglig opløsning af de væsentligste)

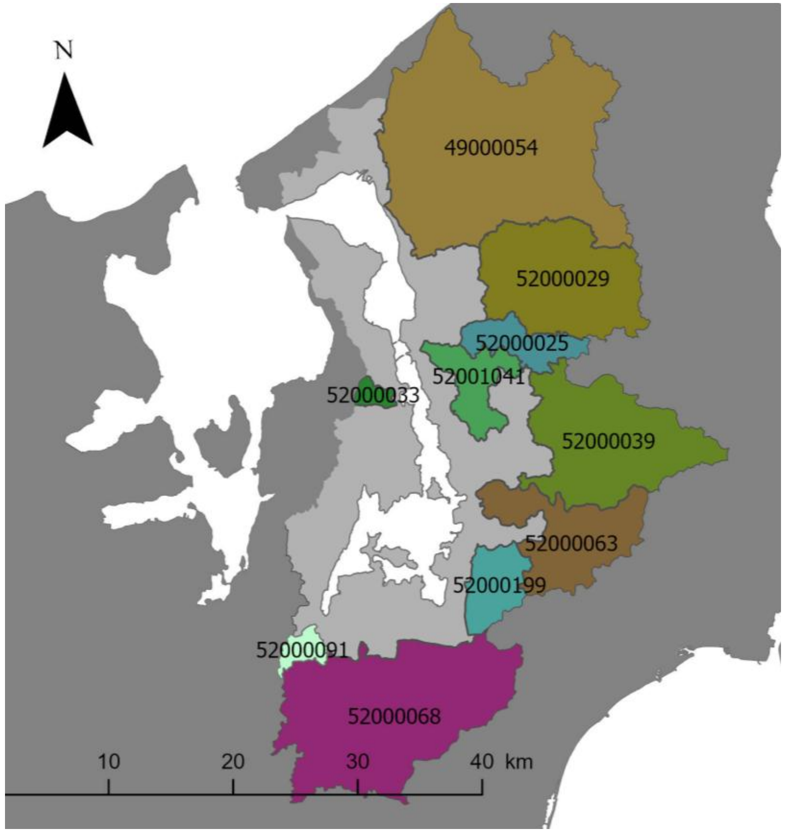




Model-inputs: observationer fra vandløb

- Observationsdata fra vandløb (fra odaforalle.dk)





Der eksisterer 3-4 stoftransportstationer i ODA data med gode (lange) tidsserier for Isefjorden og 5-6 for Roskilde Fjord. Disse bliver brugt til kalibrering og validering af modellen.

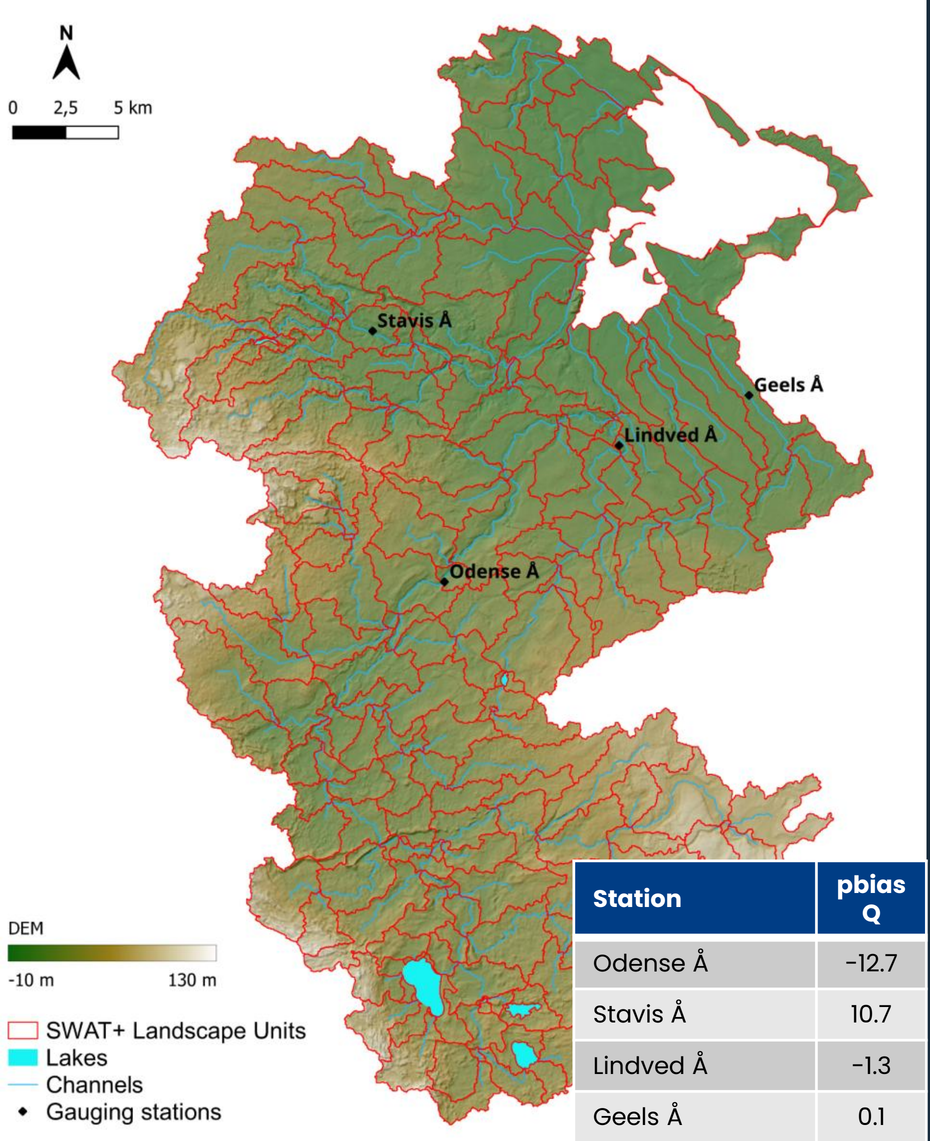
Status for SWAT+ modellen

- ☑ Modelopsætning
- ☐ Kalibrering og validering (stadig i proces)
- ☐ Scenarie-workshop i januar 2026 (SEGES er tovholder)
- ☐ Forberedelse, kørsel og analyse af virkemiddel-scenarier (f.eks. punktkilder, vådområder, arealomlægning)

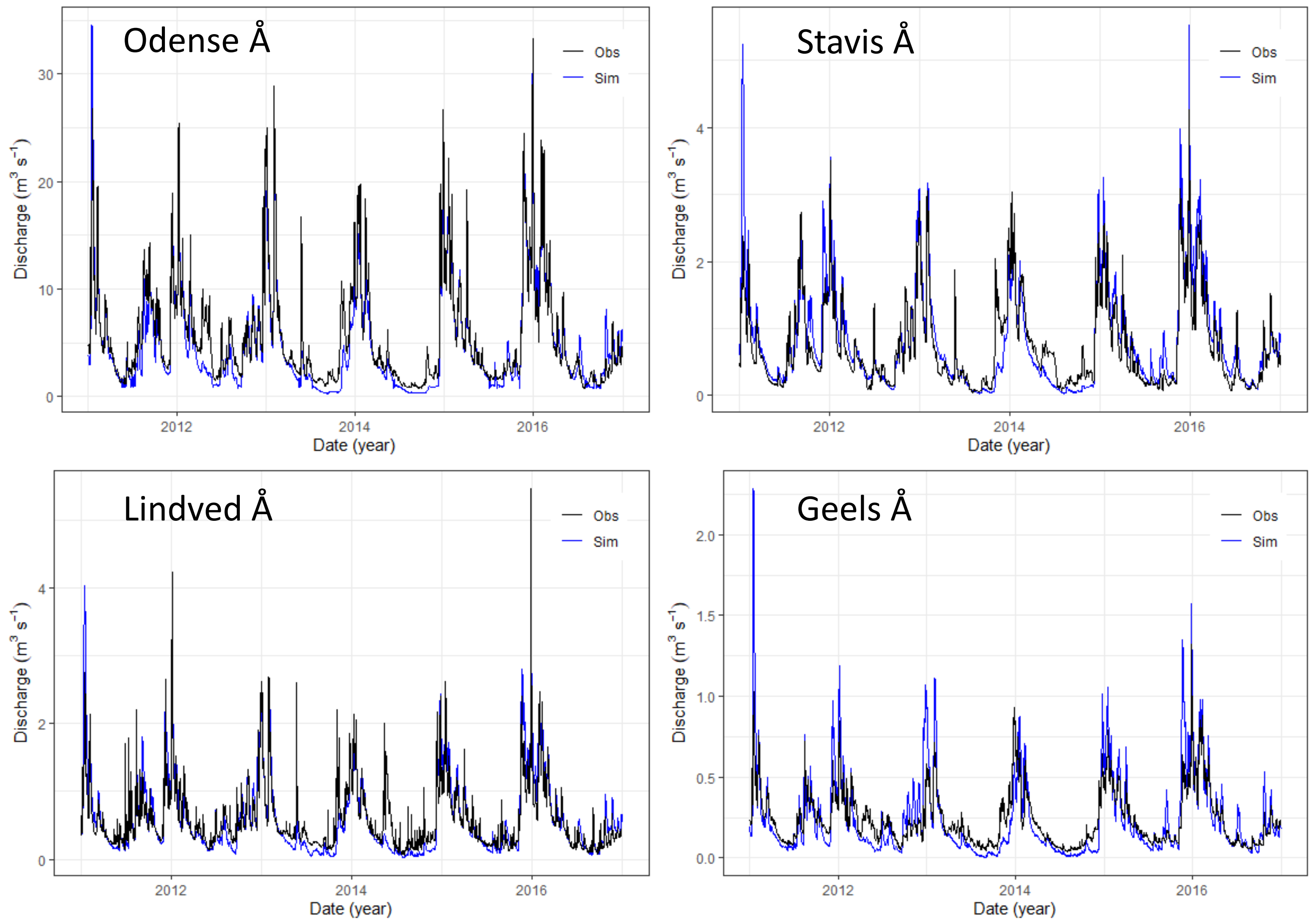
Et SWAT+ eksempel fra kystvandråd-arbejdet

- Odense Fjord (et af fire oprindelige kystvandråd)

- Tak til Katrin Bieger (AU)

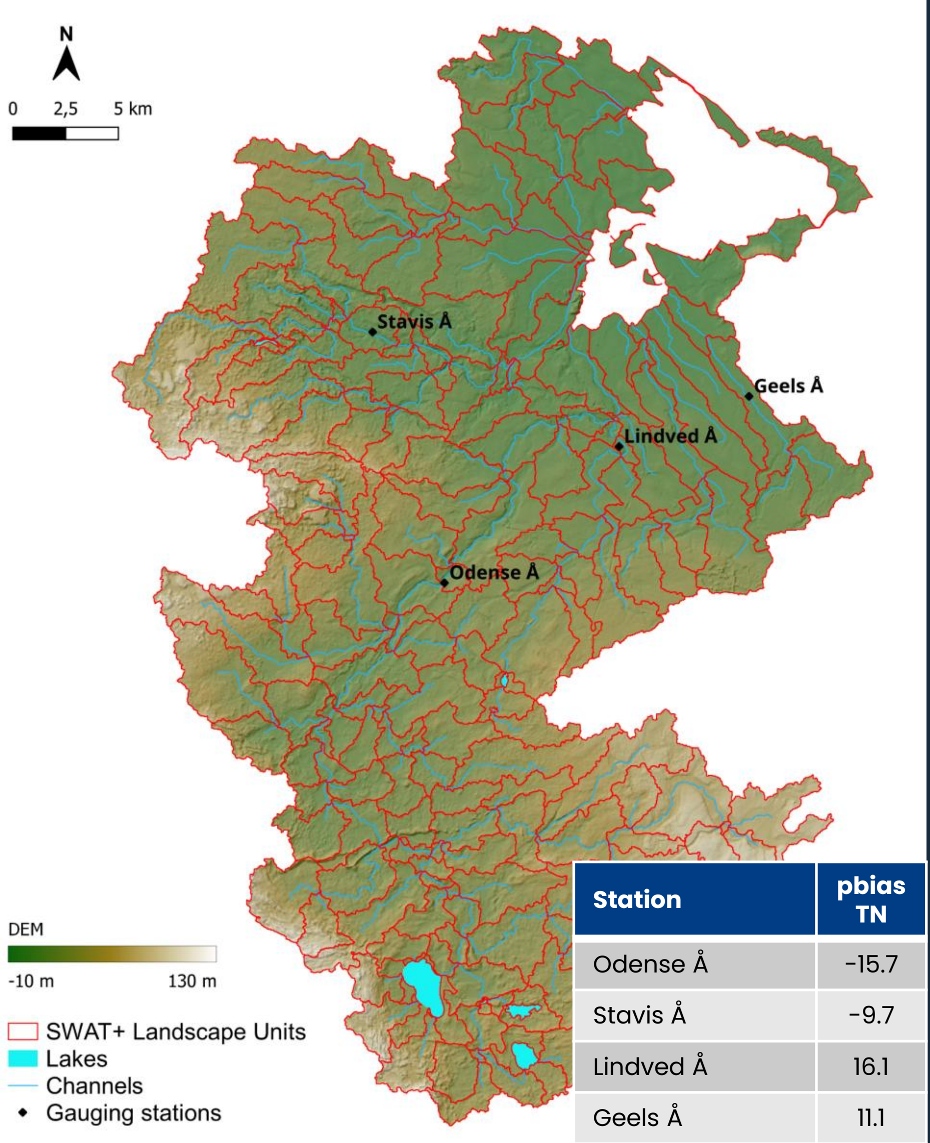


Station	pbias Q
Odense Å	-12.7
Stavis Å	10.7
Lindved Å	-1.3
Geels Å	0.1

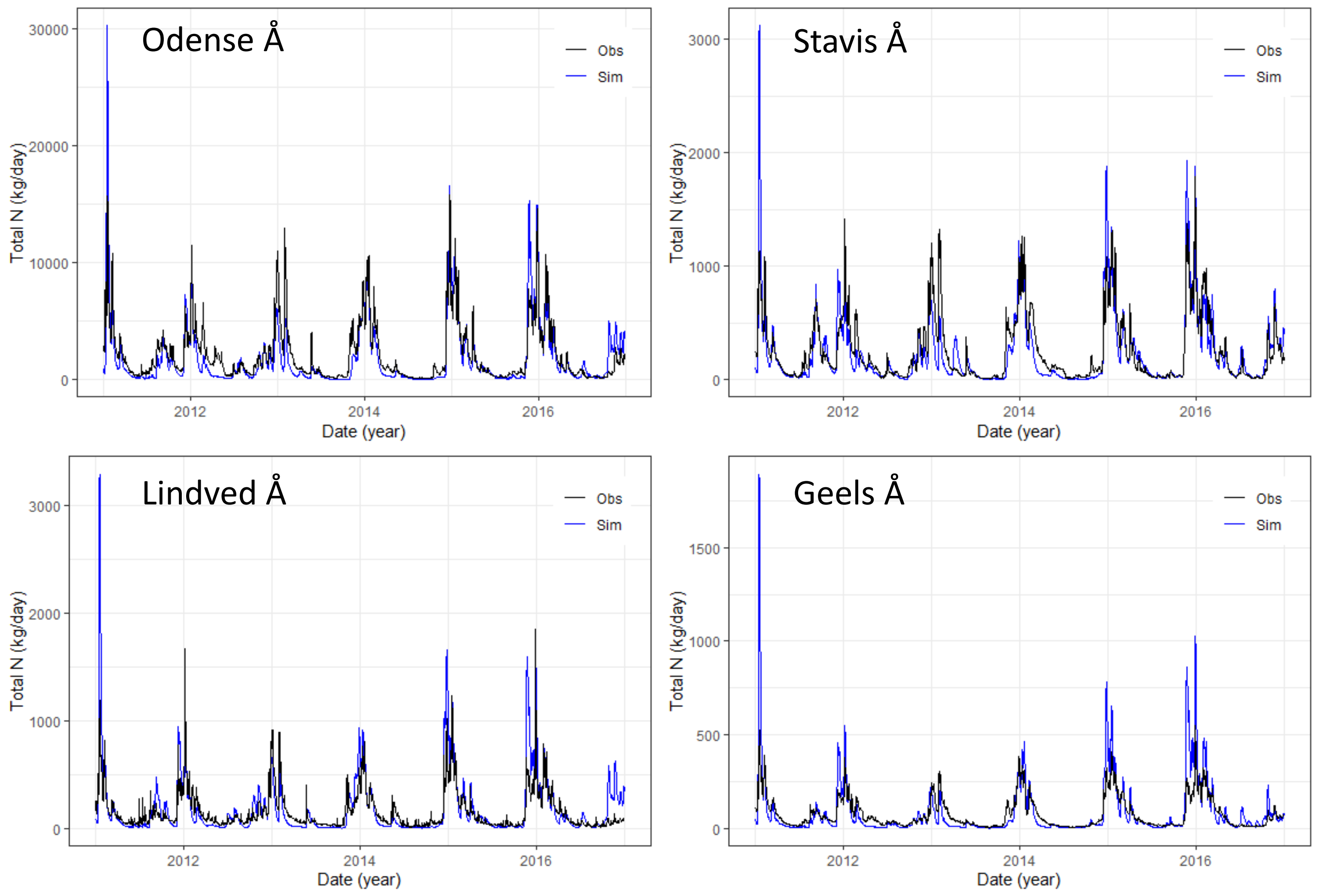


Et SWAT+ eksempel fra kystvandråd-arbejdet

- Odense Fjord (et af fire oprindelige kystvandråd)
- Tak til Katrin Bieger (AU)



Station	pbias TN
Odense Å	-15.7
Stavis Å	-9.7
Lindved Å	16.1
Geels Å	11.1



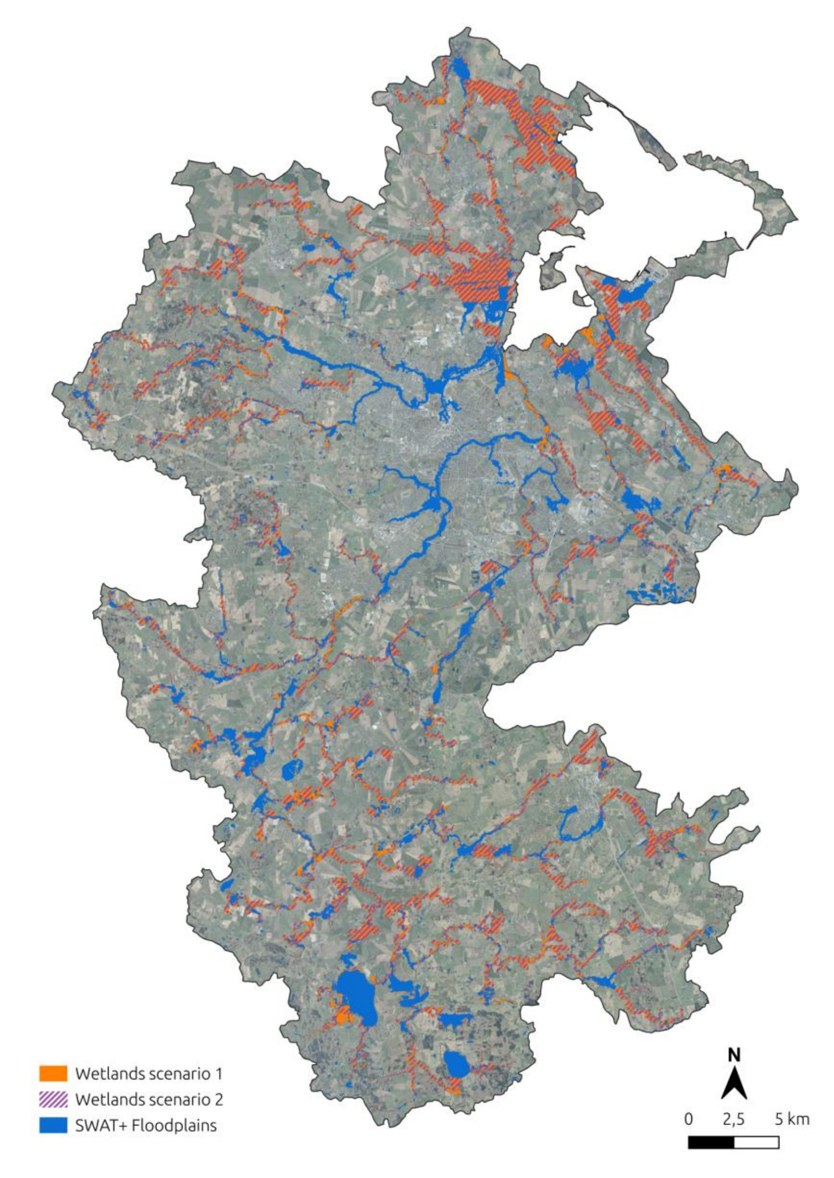
Et SWAT+ eksempel fra kystvandråd-arbejdet

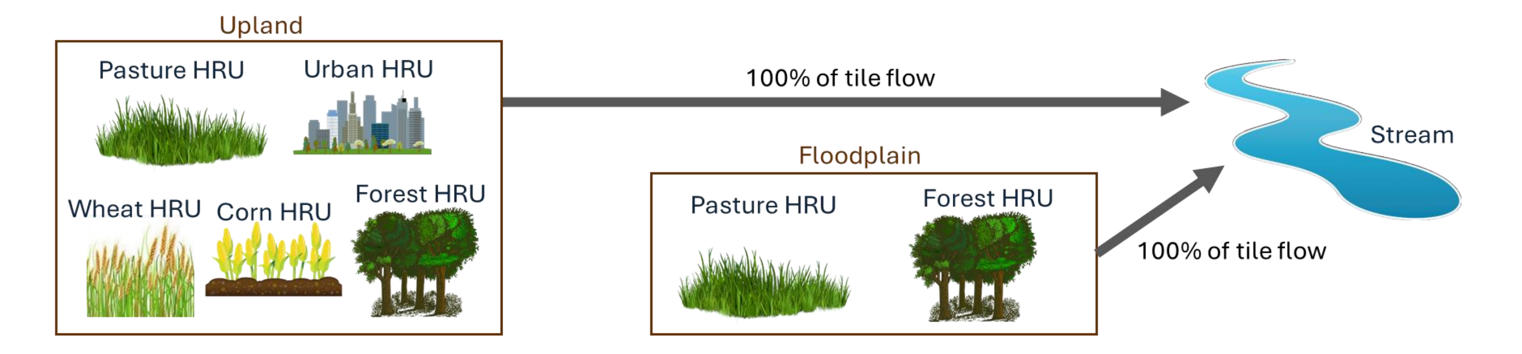
- Odense Fjord (et af fire oprindelige kystvandråd)
- Tak til Katrin Bieger (AU)

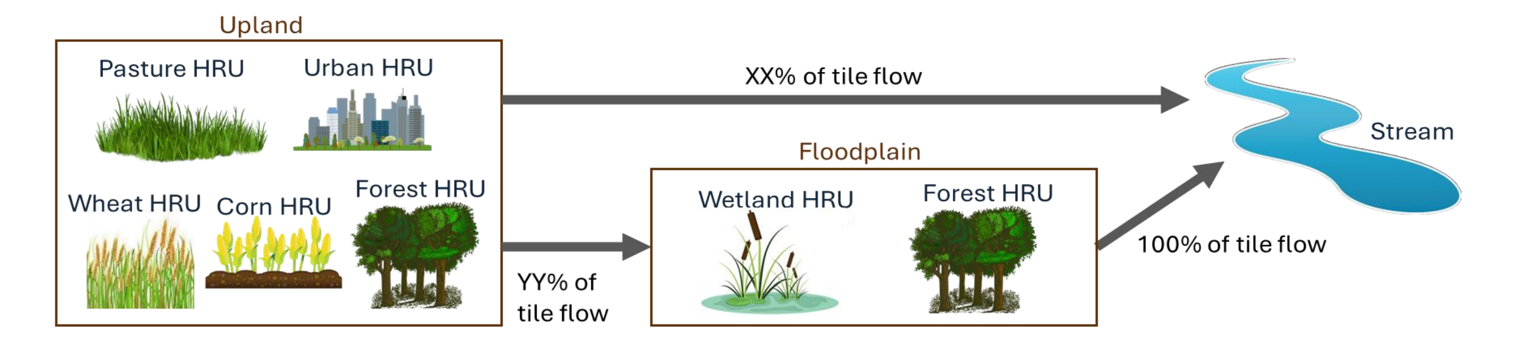
Workshop og diskussion af mulige scenarier i Odense Kystvandråd

Et SWAT+ eksempel fra kystvandråd-arbejdet

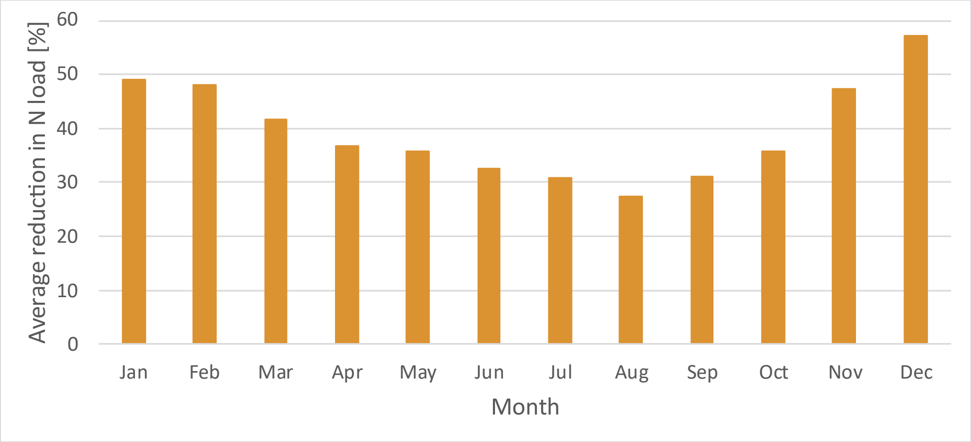
- Odense Fjord (et af fire oprindelige kystvandråd)
- Tak til Katrin Bieger (AU)







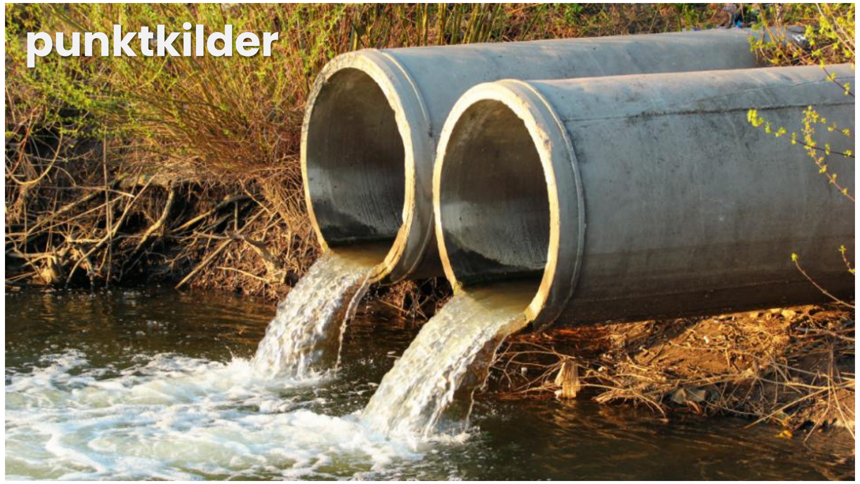
Simuleret effekt på kvælstoftransporten til Odense Fjord



Mulige virkemidler i oplandsscenarier

- Hvilke virkemidler kan analyses igennem SWAT+ modellen?

Eksempler på mulige virkemidler i oplandsscenarier



Scenarie-workshop d. 13. jan. 2026: hvad håber vi at få med derfra?

Workshop i Vejle Fjord kystvandråd, 24. nov. 2025

- Genbesøg af koncept: give en grundlæggende forståelse for og diskussion af model-tilgangene og datagrundlaget.
- Forståelse for hvilke typer virkemidler der ønskes analyseret.
- En idé om hvor i oplandene virkemidlerne ønskes implementeret i modellerne.