DK-Model HIP

Modelmetodik, klimafremskrivning og nedskalering

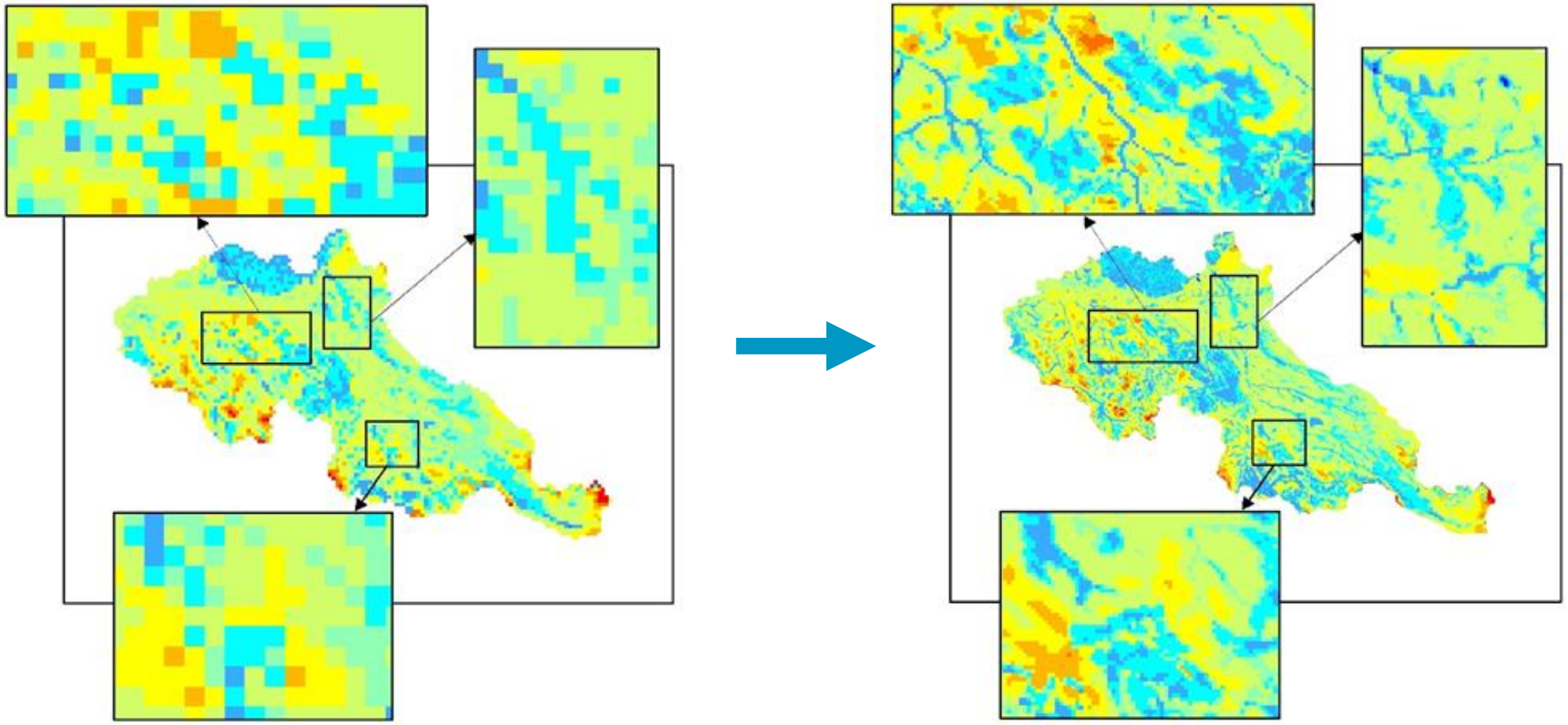
Professor Simon Stisen, Hydrologisk Afdeling
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS

Baseret på arbejde af:
Søren J. Kragh, Jane Gotfredsen, Maria Ondracek, Michael van Til, Annesofie Jakobsen, Raphael J.M. Schneider, Julian Koch, Lars Troldborg, Per Rasmussen, Ernesto Pasten-Zapata og Hans Jørgen Henriksen

GEUS

Baggrund

- Klimaet bliver **mere vådt, varmere, mere ekstremt** og havet stiger
- Anvendere ønsker **mere detaljerede national data** om højtstående grundvand



DK-Modellen i HIP

Formål/Ønsker:

- Øget fokus på den terrænnære hydrologi
- Øget fokus på den rumlige opløsning og rumlige konsistens i modellen
- Udbygning af leverancer for klimafremskrivning

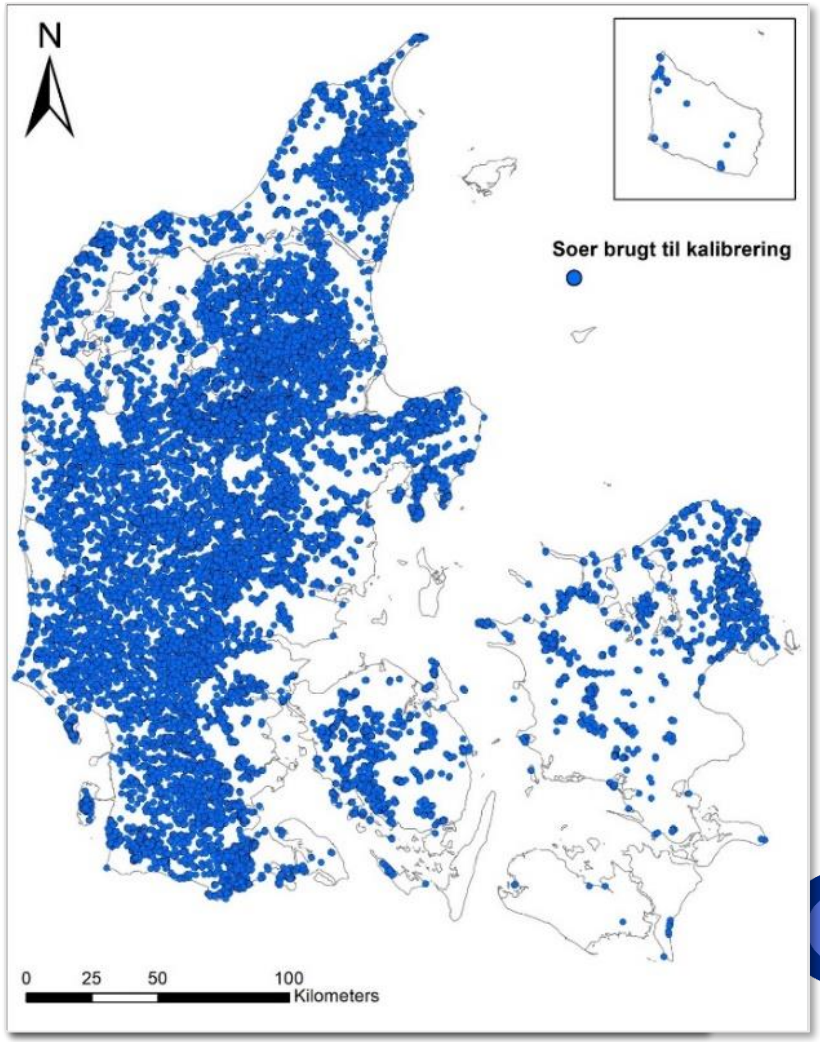
Tilgang:

- Højere rumlig opløsning af modellen 500m->100m
- Rumlig konsistent parametrisering
- Inddragelse af nye kalibrerings og validerings data
- Machine learning baseret nedskalering af model beregninger
- Klimafaktorer for nye variable, bredere vifte af statistik

GEUS

Fokus på den terrænnære hydrologi

- Flere pejlinger – vægtning af terrænnære data – Ny kvalitetssikringsrutine (ML)
  - 667.568 observations / 40.103 indtag (27% terrænnære)
  - 687 tidsserier med sæsonamplitude
- Inklusion af søer som kalibreringsdata
  - 20.470 søer (terrænnære)
  - Uden tilløb, afløb og dræn
- Forsimpling af de dybere geologiske beregningslag i Jyllands modellen



GEUS

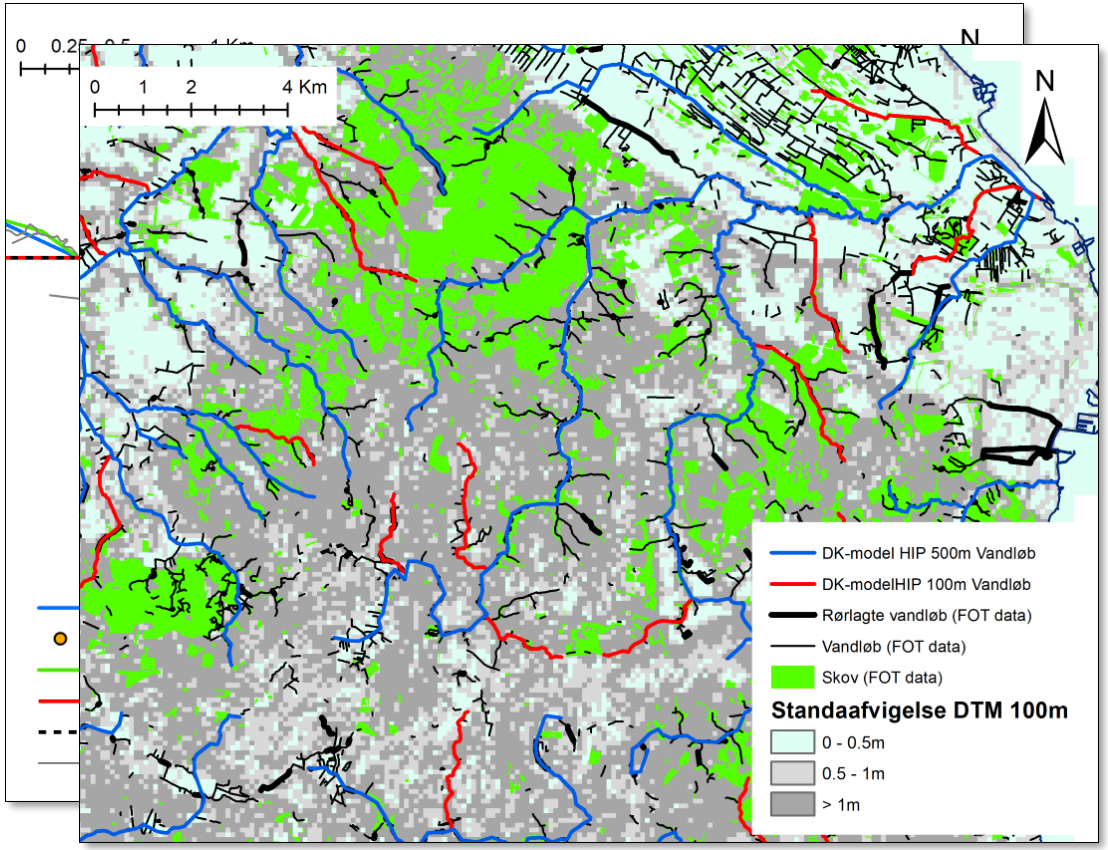
Fokus på den terrænnære hydrologi

- Flere pejlinger – vægtning af terrænnære data – Ny kvalitetssikringsrutine (ML)
  - 667.568 observations / 40.103 indtag (27% terrænnære)
  - 687 tidsserier med sæsonamplitude
- Inklusion af søer som kalibreringsdata
  - 20.470 søer (terrænnære)
  - Uden tilløb, afløb og dræn
- Forsimpling af de dybere geologiske beregningslag i Jyllands modellen

Gamle lag		Nye lag DK4, DK5, DK6	Navn
DK5 DK6	DK 4		
1		1	TOP2m
2		2	KL1
3			KS1
			KL2
			KS2
4		3	KL3
5		4	KS3
6		5	KL4
7		6	KS4
8		7	KL5
9		8	KS5
			KL6
			KS6
10			KL7
			PL1
11			PS1
12	12	9	PL2
13		10	PS2
14			PL3
15	13		PS3
16	14		PL4
17	15		PS4
18	16		PL5
19			PS5
20			PL6
21	17		PS6
22	18	11	PL7
			Kalk
			Kalk

Fokus på den rumlige opløsning og konsistens

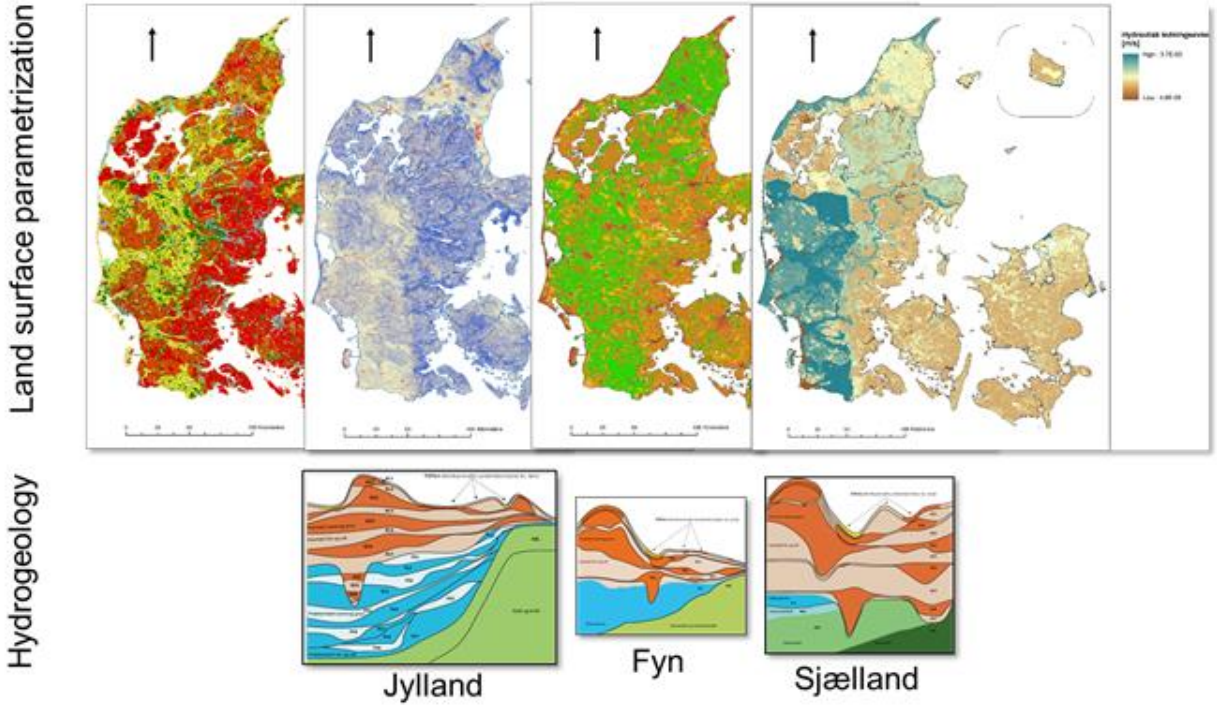
- Modelberegninger både 500m og 100m opløsning
  - Historiske beregninger i 100m (1990-2019)
  - Klimafremskrivninger i 500 m (nedskaleres)
- Rumligt konsistent model parametrisering på tværs af landet
  - Forfining af vandløbsnetværk til 100m DEM
  - Opdatering af Arealanvendelse, jordtyper mm.
  - Samme modelinput i 500m og 100m
  - Samme parametrisering på tværs af alle modelområder
- Samlet kalibrering af hele landet (-BH)
  - 500 m kalibreres først
  - Re-kalibrering af 100m model med submodeller



GEUS

Fokus på den rumlige opløsning og konsistens

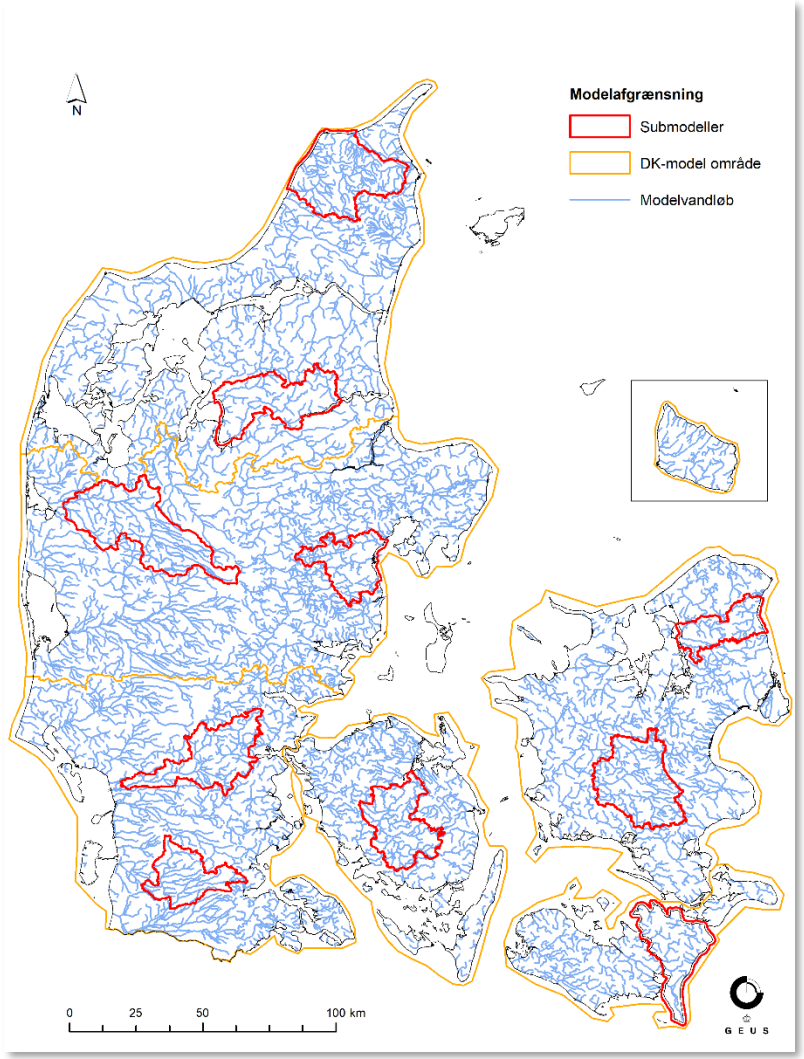
- Modelberegninger både 500m og 100m opløsning
  - Historiske beregninger i 100m (1990-2019)
  - Klimafremskrivninger i 500 m (nedskaleres)
- Rumligt konsistent model parametrisering på tværs af landet
  - Forfining af vandløbsnetværk til 100m DEM
  - Opdatering af Arealanvendelse, jordtyper mm.
  - Samme modelinput i 500m og 100m
  - Samme parametrisering på tværs af alle modelområder
- Samlet kalibrering af hele landet (-BH)
  - 500 m kalibreres først
  - Re-kalibrering af 100m model med submodeller



GEUS

Fokus på den rumlige opløsning og konsistens

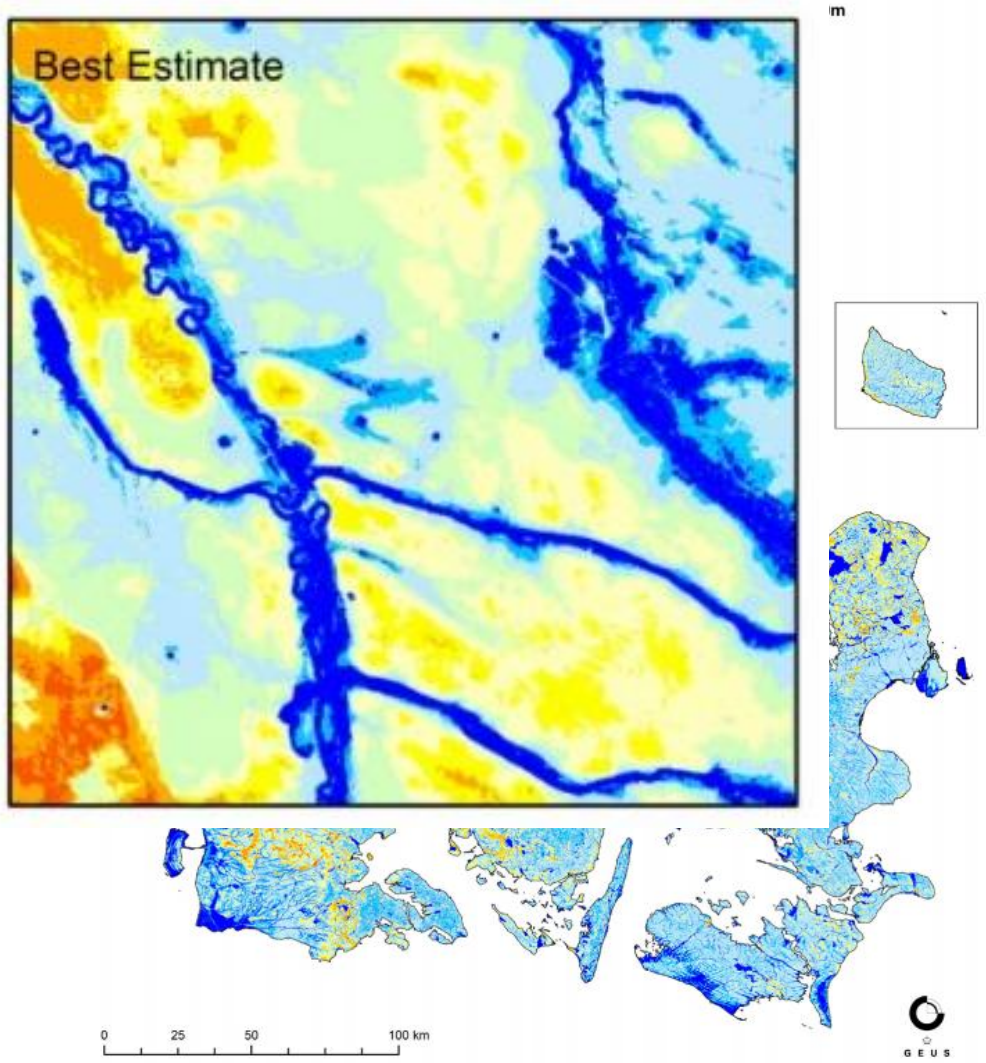
- Modelberegninger både 500m og 100m opløsning
  - Historiske beregninger i 100m (1990-2019)
  - Klimafremskrivninger i 500 m (nedskaleres)
- Rumligt konsistent model parametrisering på tværs af landet
  - Forfining af vandløbsnetværk til 100m DEM
  - Opdatering af Arealanvendelse, jordtyper mm.
  - Samme modelinput i 500m og 100m
  - Samme parametrisering på tværs af alle modelområder
- Samlet kalibrering af hele landet (-BH)
  - 500 m kalibreres først
  - Re-kalibrering af 100m model med submodeller



GEUS

Fokus på den rumlige opløsning og konsistens

- Machine learning baseret estimering af dybde til terrænnært grundvandsspejl i 10m
  - Videreudvikling af C2C metoden
  - Baseret på 100m DK-Model simuleringer
  - En række co-variates i finere opløsning (ned til 10m)
  - Trænet mod terrænære pejleobservationer
  - En sommer og en vintermodel



Model performance (100m DK-Model HIP)

- MAE på ca. 2,5 m for det terrænnære grundvand ($MAE_{90\%}$ = 1,5 m)
- MAE på ca. 4,0 m for det dybe grundvand ($MAE_{90\%}$ = 2,75 m)
- Vandføringsstationerne (305) overholder screeningskriterierne for:
  - KGE (ca. 75-80%)
  - WBE (ca. 70-80 %)
  - WBEsommer (ca. 70-80%)
  - Q1 (ca. 95%)
  - T1-T20 (ca. 80-90%)
  - T50-T100 (ca. 60-70%)

- Machine learning 10 m, MAE på ca. 1.2 m for det terrænnære grundvand

GEUS

Udbygning af leverancer for klimafremskrivning

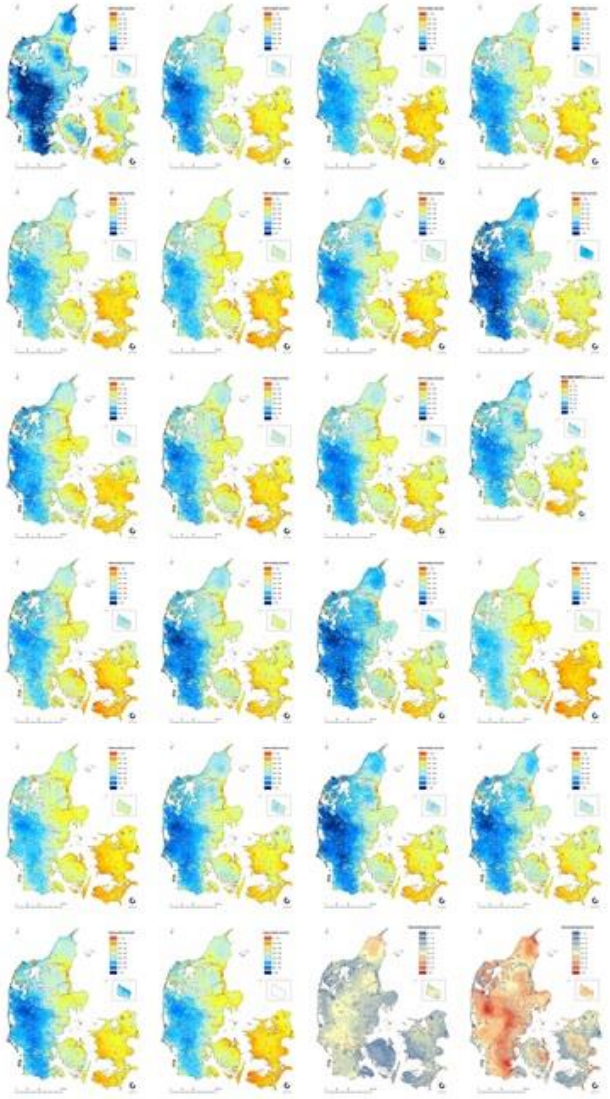
- 22 regionale klimamodeller Euro-CORDEX
  - 17 RCP8.5
  - 5 RCP4.5
  - 1971-2100, daglige data, 11,5 km grid
- Biaskorrigeret til DMI klima obs.
  - Nedbør, temperatur og potential fordampning
  - For perioden 1990-2010
  - Distributionsbaseret statistisk korrektion
- Klimafremskrivning af havniveau

	Kørsel periode
Reference kørsel	01-01-1990 til 31-12-2020
Nær-fremtid kørsel	01-01-2040 til 31-12-2070
Fjern-fremtid kørsel	01-01-2070 til 31-12-2100

- Hydrologiske klimafremskrivninger
  - 3 time-slices
  - 500 m DK-Model HIP
  - Vandføring (daglig)
  - Terrænnært grundvand (daglig)
  - Vandindhold i rodzonen (daglig)
  - Grundvandsdannelse (daglig)
  - Dybere grundvand (15 dage)

GEUS

Udbygning af leverancer for klimafremskrivning



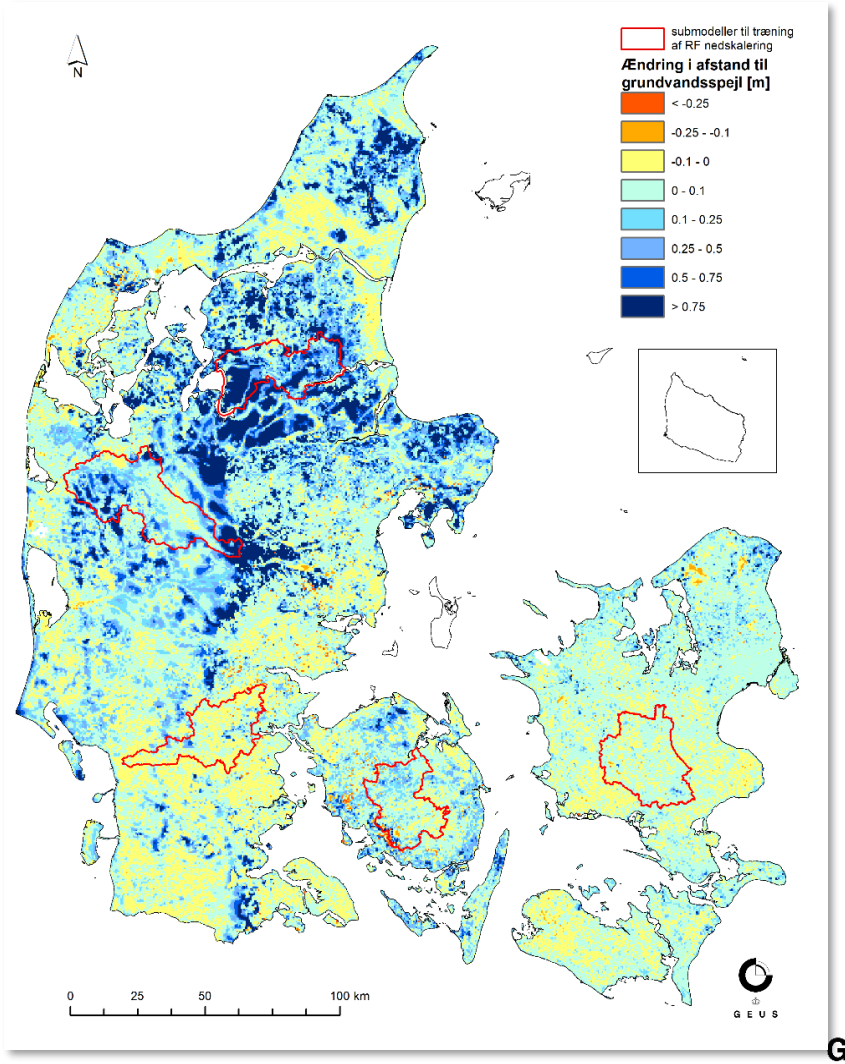
	Kørsel periode
Reference kørsel	01-01-1990 til 31-12-2020
Nær-fremtid kørsel	01-01-2040 til 31-12-2070
Fjern-fremtid kørsel	01-01-2070 til 31-12-2100

- Hydrologiske klimafremskrivninger
  - 3 time-slices
  - 500 m DK-Model HIP
  - Vandføring (daglig)
  - Terrænnært grundvand (daglig)
  - Vandindhold i rodzonen (daglig)
  - Grundvandsdannelse (daglig)
  - Dybere grundvand (15 dage)

GEUS

Udbygning af leverancer for klimafremskrivning

- Nedskalering af 500m klimafremskrivning til 100m
  - Random Forest, Maskinlærings metode
  - Træne algoritmen til at prædiktere ændringer i dybden til terrænnært grundvand i 100m
  - Baseret på simulerede ændringer i 500m
  - En lang række co-variates i 100m grid
- Træningsdata
  - Baseret på 100m klimafremskrivning for 5 submodeller
  - 59 statistiker af ændring, 2 tidshorisonter, 2 RCP'er

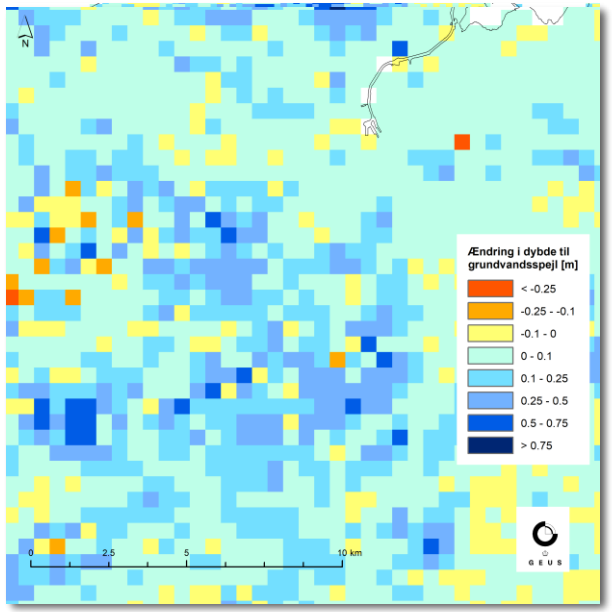


GEUS

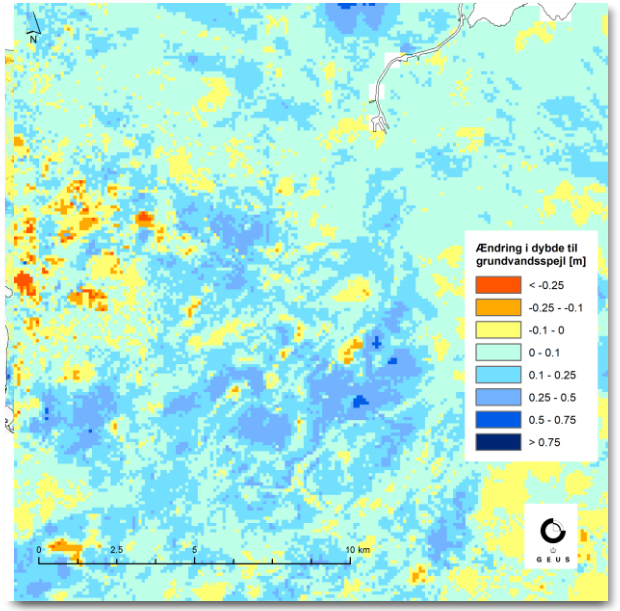
Udbygning af leverancer for klimafremskrivning

- Nedskalering af 500m klimafremskrivning til 100m
  - Random Forest, Maskinlærings metode
  - Træne algoritmen til at prædiktere ændringer i dybden til terrænnært grundvand i 100m
  - Baseret på simulerede ændringer i 500m
  - En lang række co-variates i 100m grid
- Træningsdata
  - Baseret på 100m klimafremskrivning for 5 submodeller
  - 59 statistiker af ændring, 2 tidshorisonter, 2 RCP'er

500m



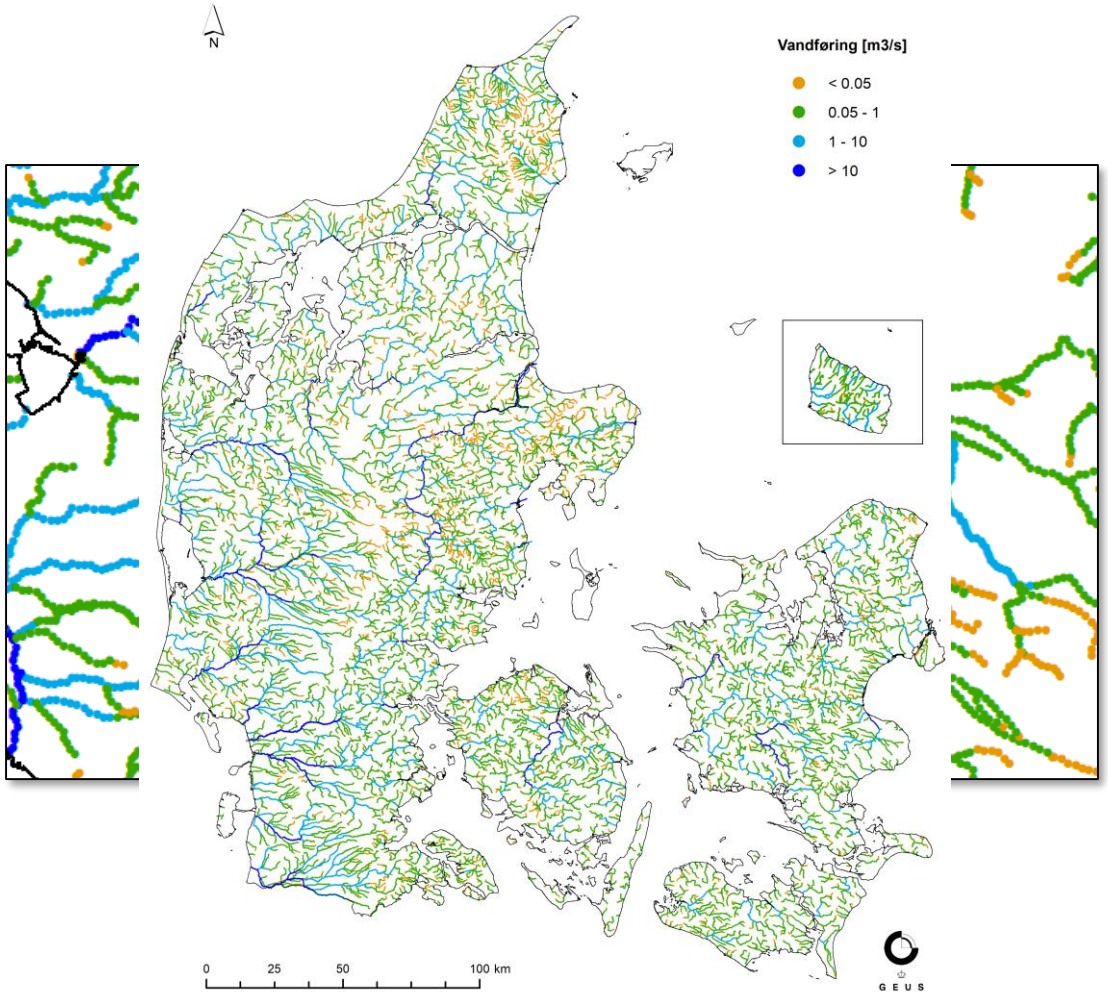
100m



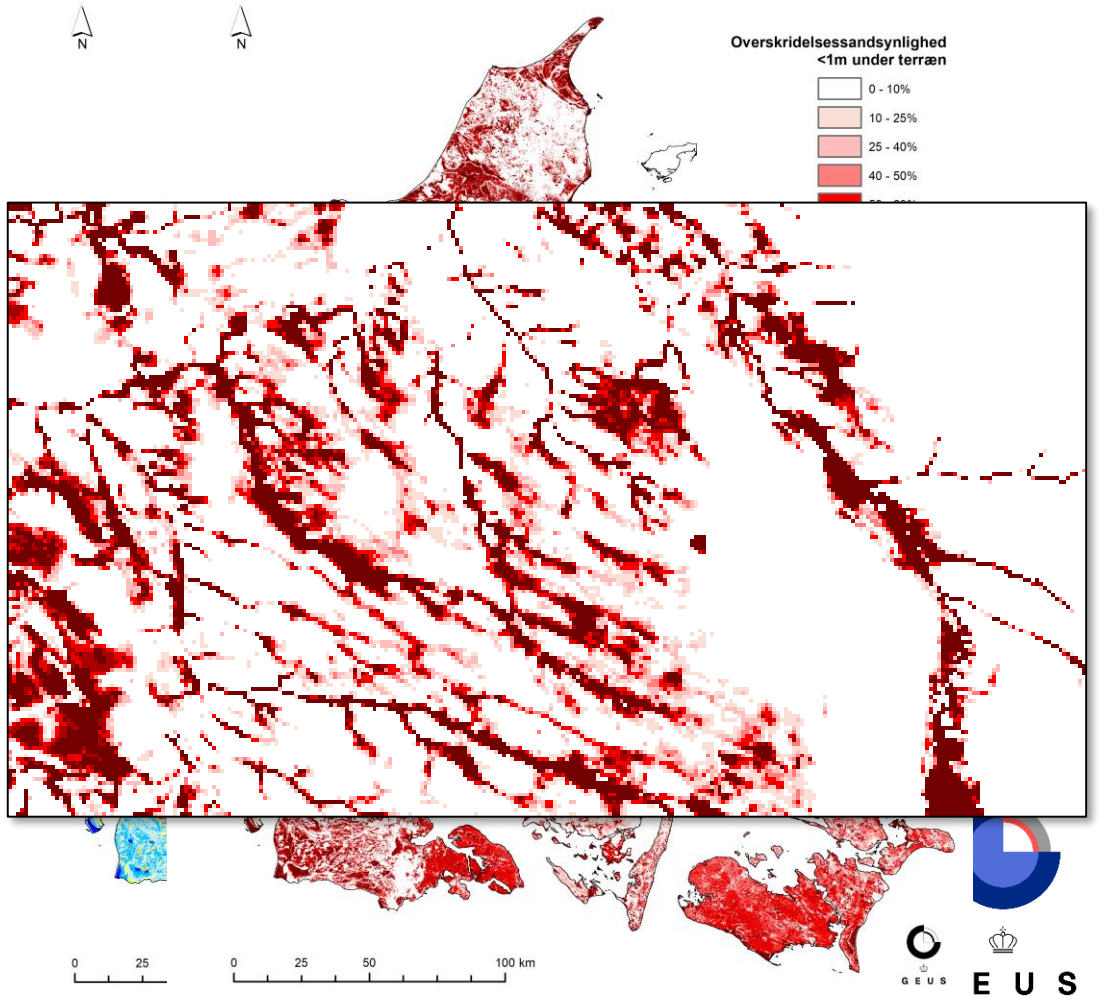
GEUS

Simuleringer 1990-2019 (100m)

Q1 – høj vandføring



Afstand til grundvandsspejl

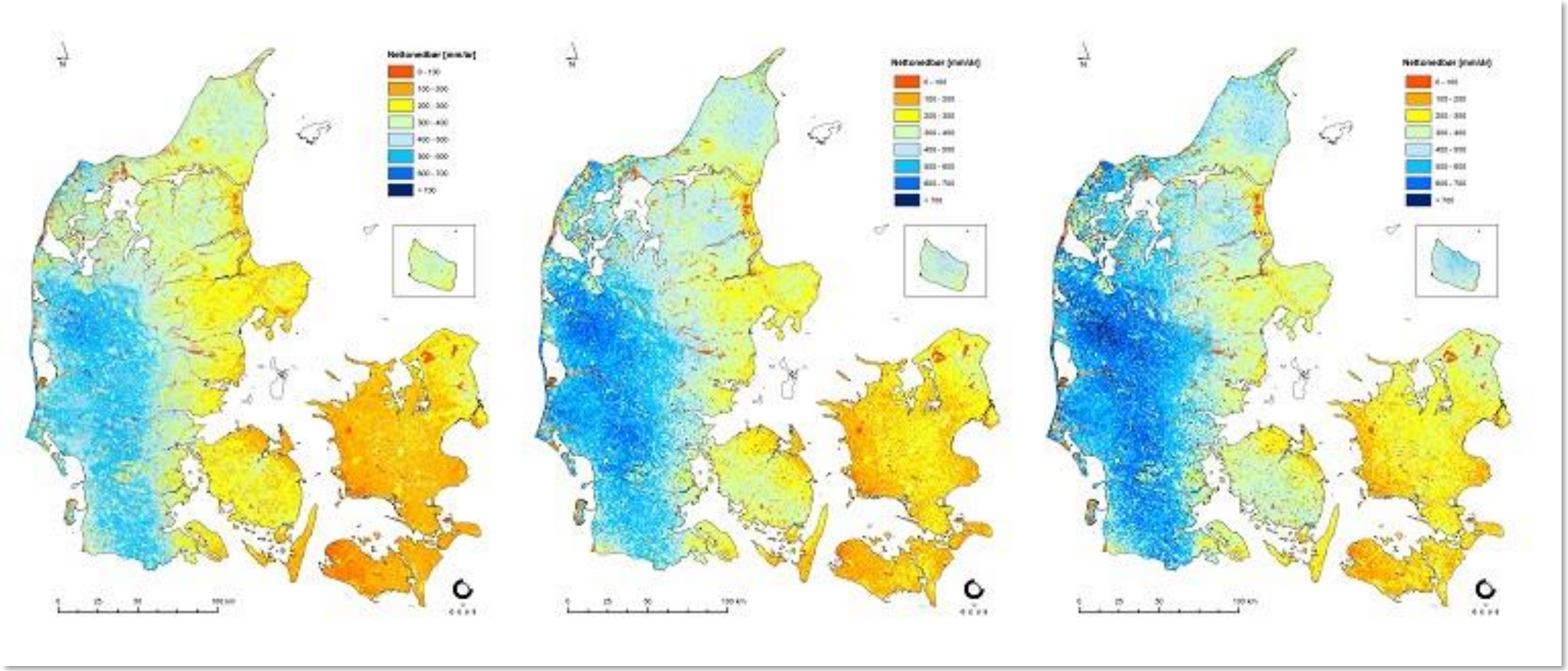


Effekterne af to klimascenarier i 2071-2100

Nettonedbør 1990-2019

Nettonedbør ved RCP4.5

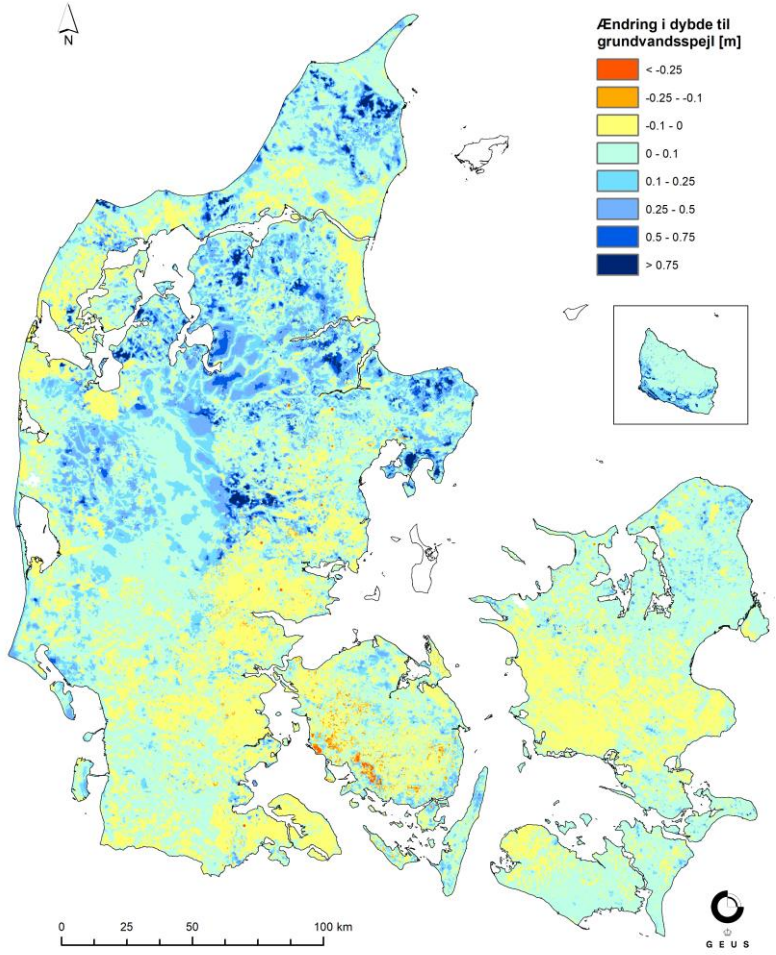
Nettonedbør ved RCP8.5



GEUS

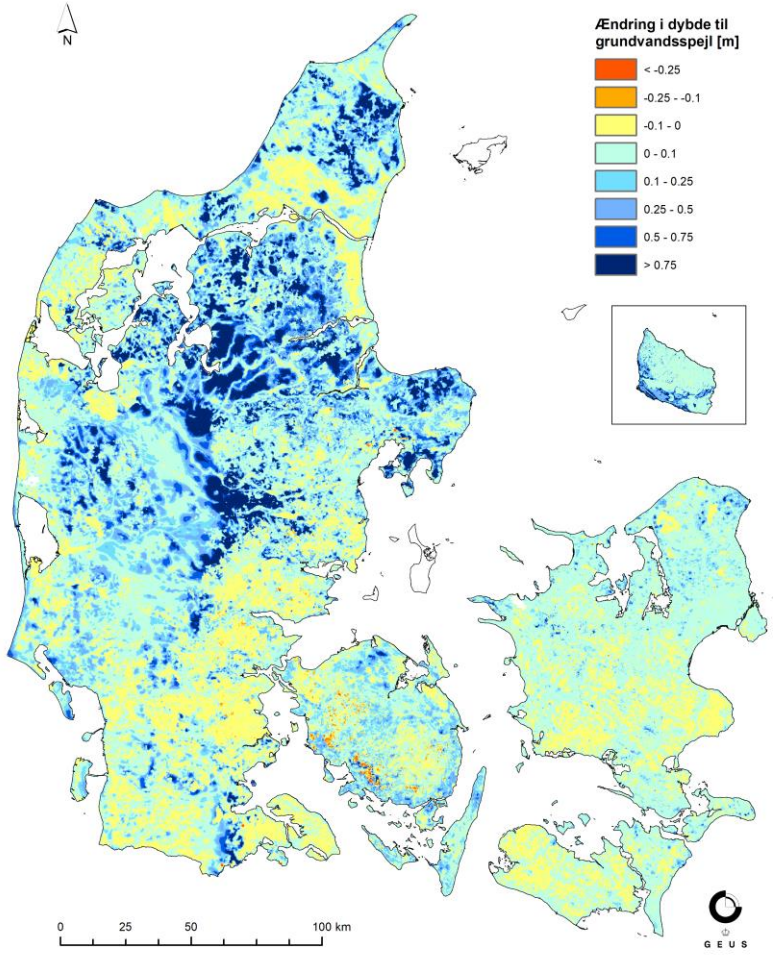
Effekterne af to klimascenarier i 2071-2100

Ændring i middeldybde ved RCP4.5



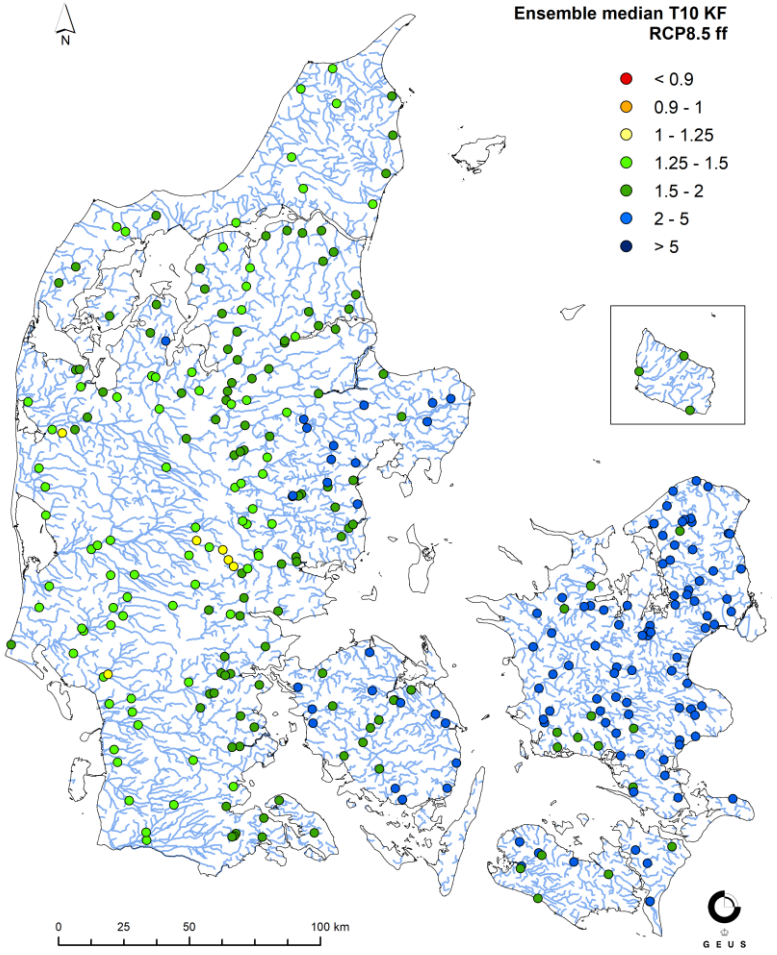
GEUSfile: Klimafremskrivninger\dkm_2020_100m_RCP45_ff_median_phreatic_all_mean.tif

Ændring i middeldybde ved RCP8.5



GEUSfile: Klimafremskrivninger\dkm_2020_100m_RCP85_ff_median_phreatic_all_mean.tif

Ændring for 10-års hændelse ved RCP8.5



GEUSfile:\Klimafaktorer\Qstations_RCP85_ff_median_kf.shp\T10

Baggrund

- Klimaet bliver **mere vådt, varmere, mere ekstremt** og havet stiger
- Anvendere ønsker **mere detaljerede national data** af højtstående grundvand

Projektets hovedkomponenter:

- Overførsel af terrænnære pejledata fra regionerne til Jupiter-databasen (**flere terrænnære data** til kalibrering og validering)
- Modelberegning med **100 m model for 1990-2019** – randbetingelser til detailmodeller og maskinlæring på dybden til terrænnært grundvand i 10 m
- **Klimafremskrivning for 2041-2070 og 2071-2100** for RCP4.5 (mellem drivhusgasscenarie) og RCP8.5 (højt drivhusgasscenarie) med 500 m model og nedskalering til 100 m

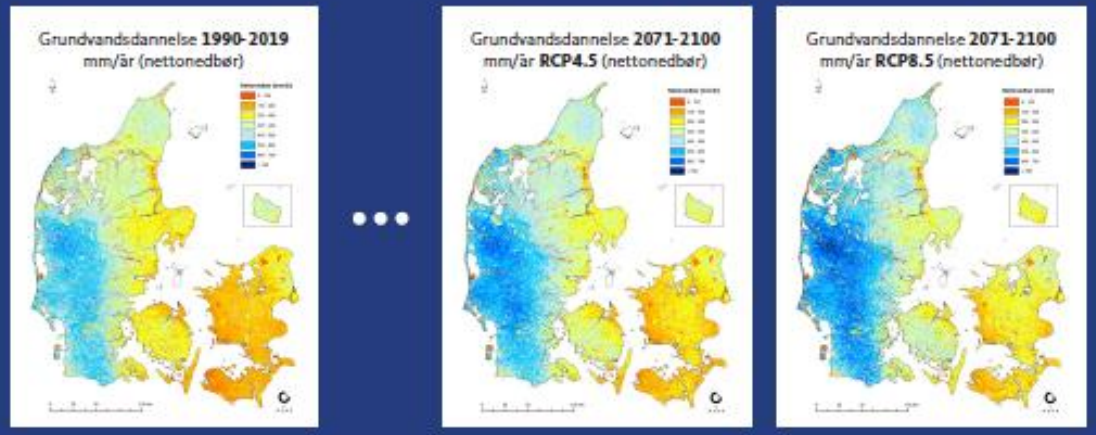
GEUS

Udvikling af landsdækkende modelberegninger af terrænnære hydrologiske forhold i 100m grid ved anvendelse af DK-modellen:

Sammenfatningsrapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Informations- og Prognosesystem

Udarbejdet som en del af DEN FÆLLESOFFENTLIGE DIGITALISERINGSSTRATEGI 2016-2020
INITIATIVET FÆLLES DATA OM TERRÆN, KLIMA OG VAND

Henriksen HJ, Kragh SJ, Gotfredsen J, Ondracek M, van Til M, Jakobsen A, Schneider RJM, Koch J, Troldborg L, Rasmussen P, Pasten-Zapata E og Stisen S (2020)



Tak for opmærksomheden!

https://sdfe.dk/media/2920242/hip4plus_dokumentationsrapport31jan2021.pdf

https://sdfe.dk/media/2920241/sammenfatningsrapport-hip4plus31jan2021.pdf

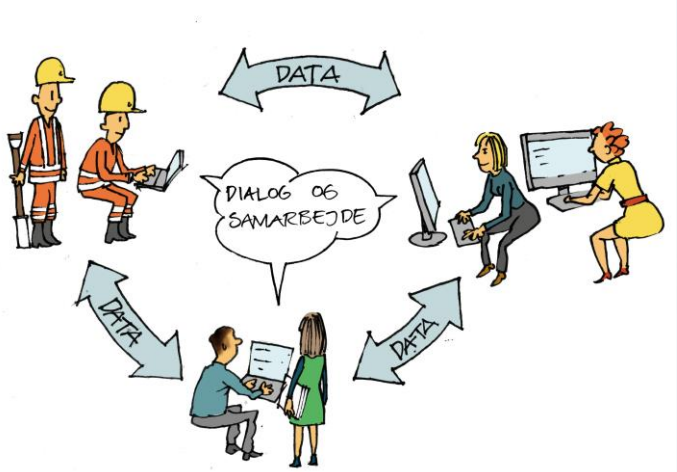
GEUS

Styrelsen for
Dataforsyning og
Effektivisering

HIP

et hydrologisk informations- og prognose system om terrænnær hydrologi på HIPdata.dk

Eva Bøgh



Udviklet under den Fællesoffentlige Digitaliseringsstrategi - Initiativ 6.1 Fælles data om terræn, klima og vand

Eksempel på brug af HIP til submodel

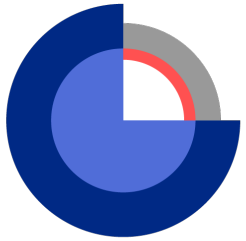
Udtræk og brug af randbetingelser fra HIP

HIP – Hydrologisk Information og Prognosesystem

ATV vintermøde 2021

Lars Troldborg, PhD, Special konsulent

ltr@geus.dk



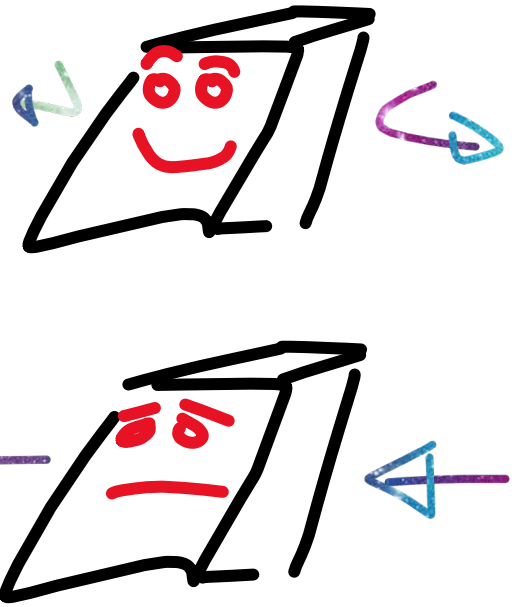
G E U S

Generelle overvejelser om randafgrænsning og brugen af randbetingelser fra en storskala model til lokalskala hydrologisk modellering

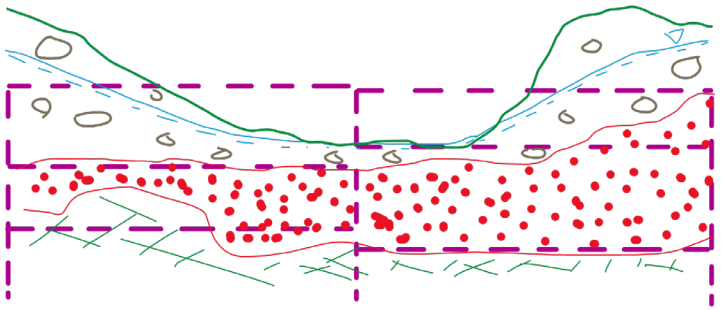
OPSTILLING AF SUBMODEL

Klassiske problemstillinger

- Afgrænsning af randbetingelser
  - Leder efter steder uden strømning på tværs af randen
    - Langs topografiske oplande, langs vandløb, ved kysten…
- Strømningerne i dybere lag kan være styret af hydrogeologiske forhold
- Multiplicer udfordringer ved ændret klima

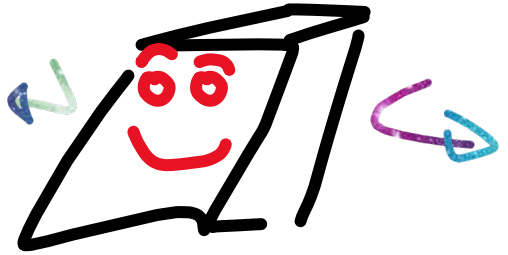


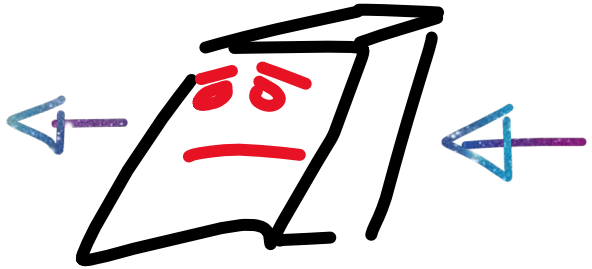
- Grov skala geologi vs lokal forfining af grid
  - kan give udfordringer med opståen af mærkværdige strømnings billeder
  - Dkmodel-HIP i 100x100m, ønskes finere grid skal man gå tilbage til tolkningsdata (FOHM database = anden session her på ATV)



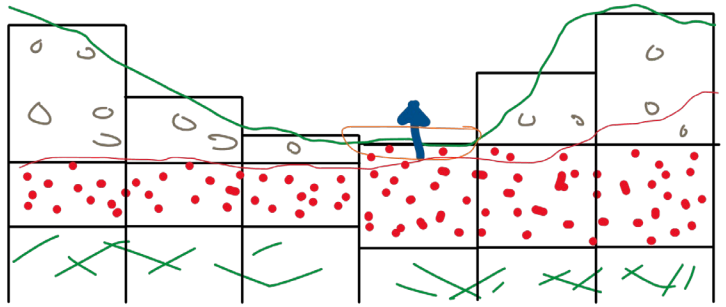
Klassiske problemstillinger

- Afgrænsning af randbetingelser
  - Leder efter steder uden strømning på tværs af randen
    - Langs topografiske oplande, langs vandløb, ved kysten…
- Strømningerne i dybere lag kan være styret af hydrogeologiske forhold
- Multiplicer udfordringer ved ændret klima





- Grov skala geologi vs lokal forfining af grid
  - kan give udfordringer med opståen af mærkværdige strømnings billeder
  - Dkmodel-HIP i 100x100m, ønskes finere grid skal man gå tilbage til tolkningsdata (FOHM database = anden session her på ATV)



Randbetingelser hentet fra storskala model

- Afgrænsning af modelrand som følger modelgrid opløsning i storskala modellen vs afgrænsning ved model topografi
  - Bedre styr på strømninger fra storskala model, ingen interpolation når der anvendes samme modelgrid (bedre strømninger ved randen)
  - Topografisk afgrænsning giver ikke udfordringer med overland flow (bedre vandbalance)

- Placering af randen langt fra fokus området, således at ændringer indenfor fokus området ikke når helt ud til randområdet
  - Indvindingsoplande, nye byområder, styring af vandstand i søer/åer, ny geologisk model, parameter justeringer…

UDTRÆK AF RANDBETINGELSER FRA HIPdata.dk

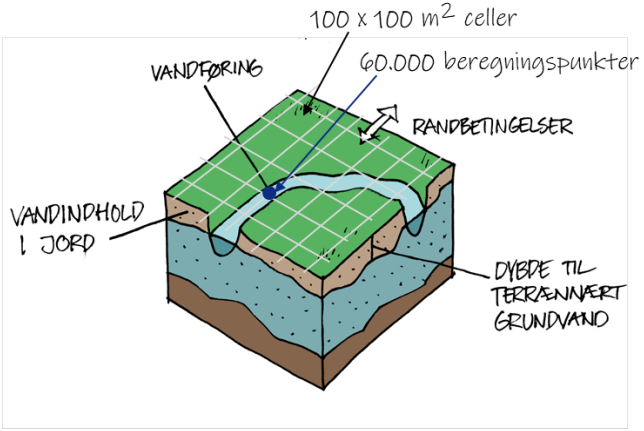
Randbetingelser fra HIP

Klimascenarier for historisk (reference) periode (1990-2019) samt for fremtiden (2041-2070 og 2071-2100)

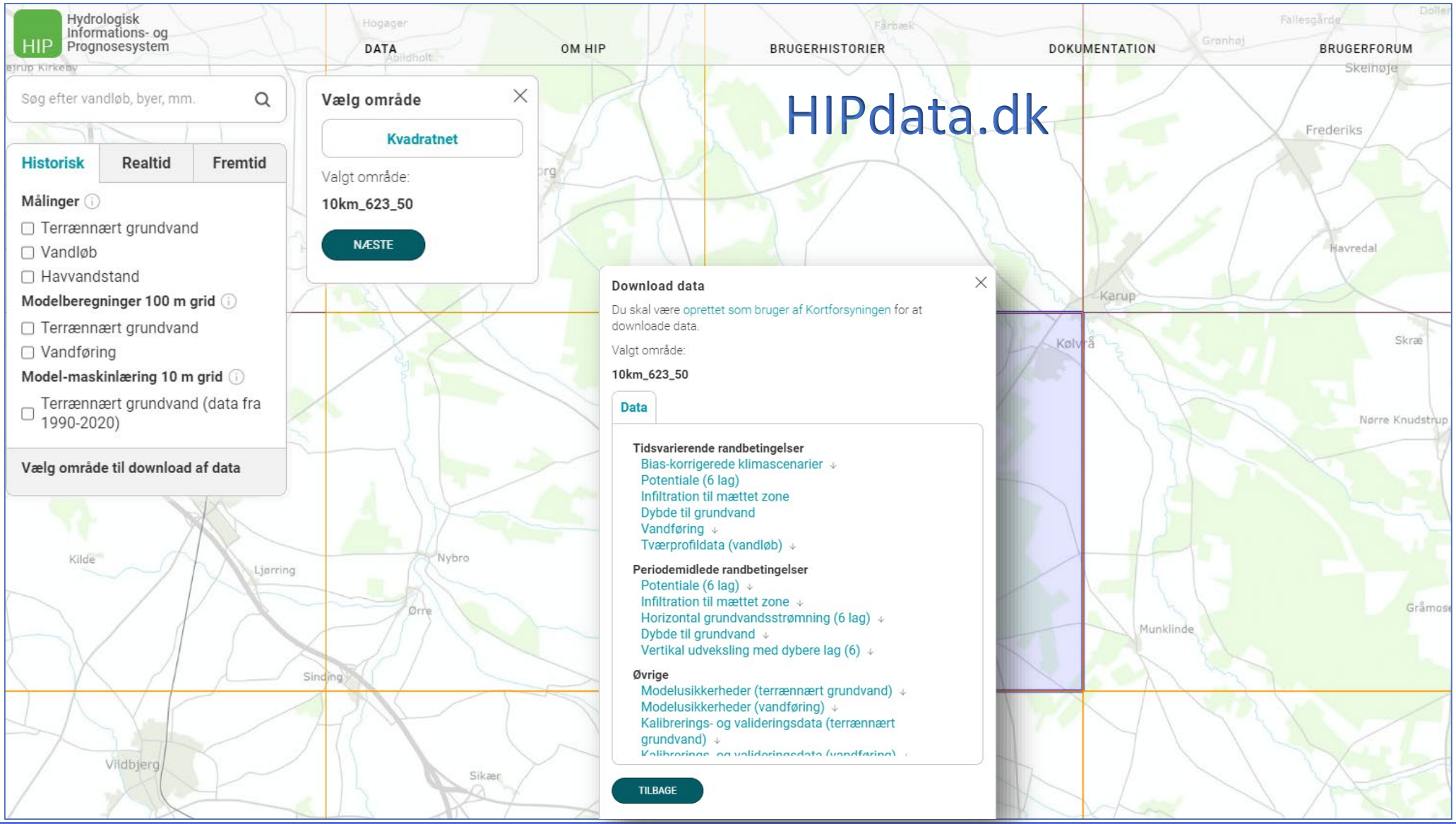
- *Bias korrigeret nedbør, Potentiel fordampning og Temperatur*

Dynamiske og stationære randbetingelser for historisk (reference) periode (1990-2019) samt for fremtiden (2041-2070 og 2071-2100)

- *Grundvandspotentiale*
- *Dybde til grundvand*
- *Vandføring (vandløb)*
- *Infiltration til mættet zone*
- *Horisontal grundvandsstrømning for vandførende lag*
- *Vertikal grundvandsstrømning til/fra vandførende lag*
- *Hydrostratigrafiske model (100x100m – seks vandførende lag) og vandløb*



Randbetingelser fra HIP

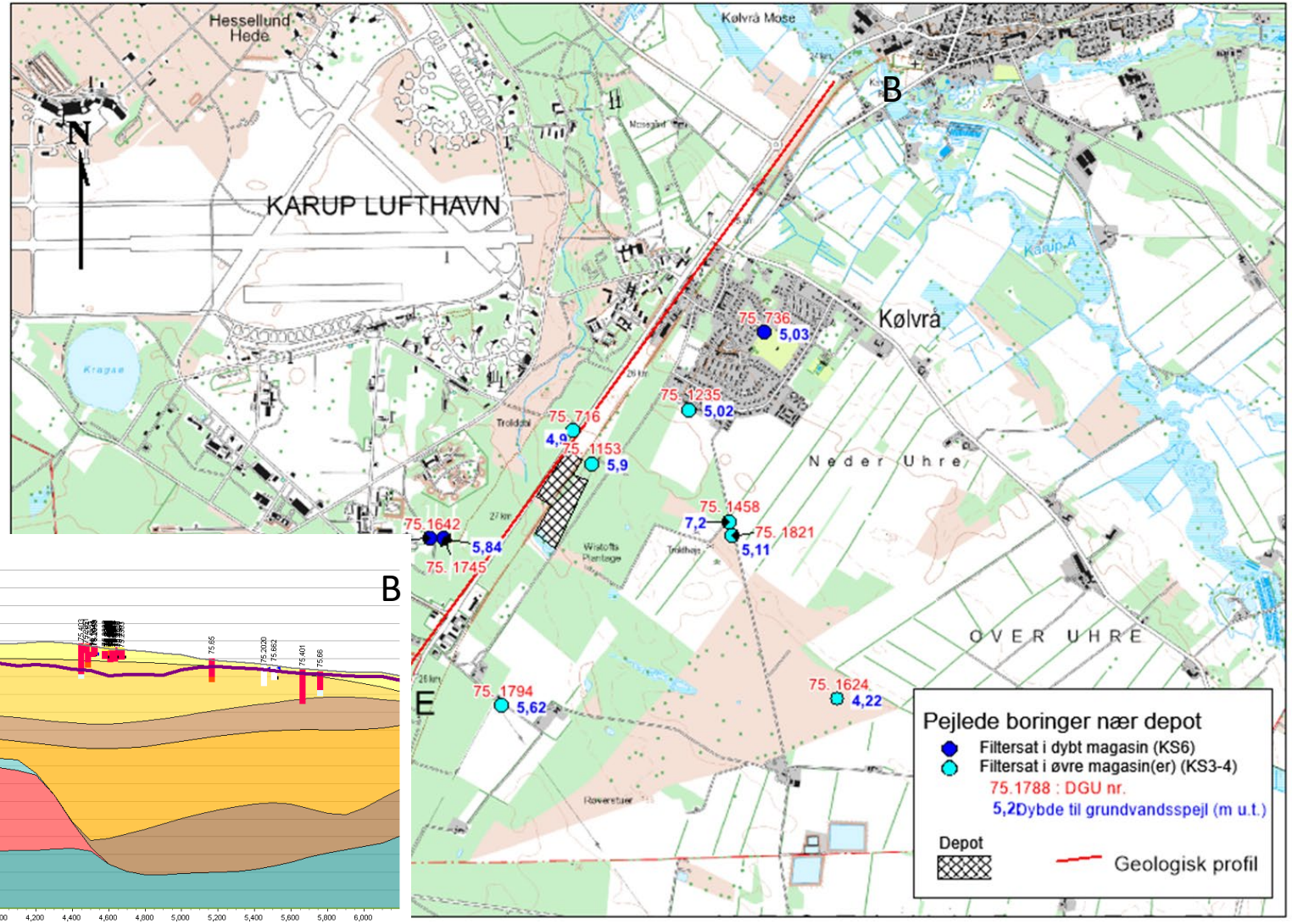


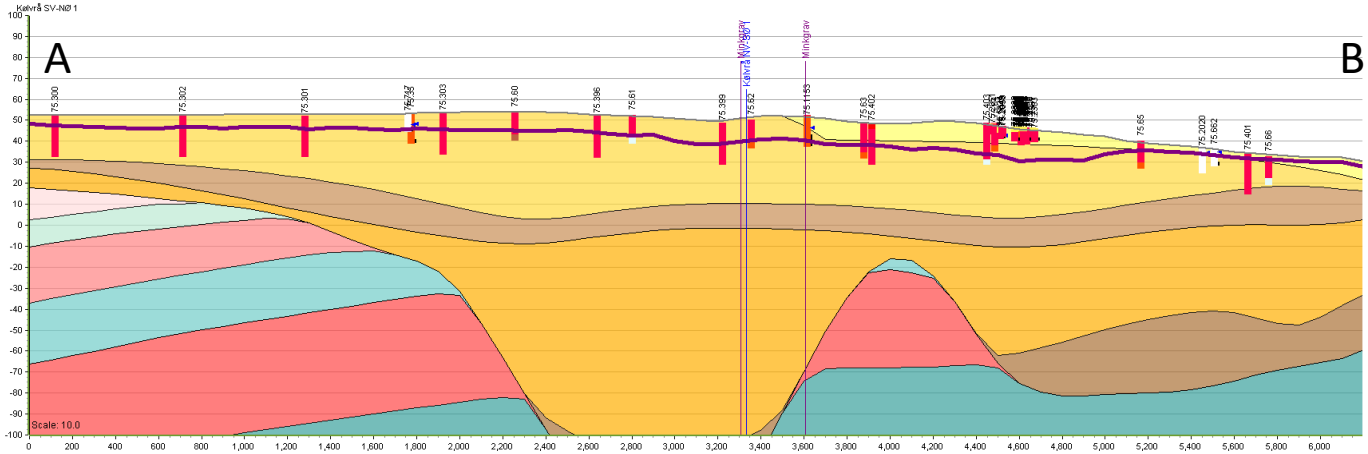
Brug af HIP data for et hurtigt hydrologisk overblik ved Karup

EKSEMPEL FRA KARUP

KARUP

Hedeslette over smeltevandssand

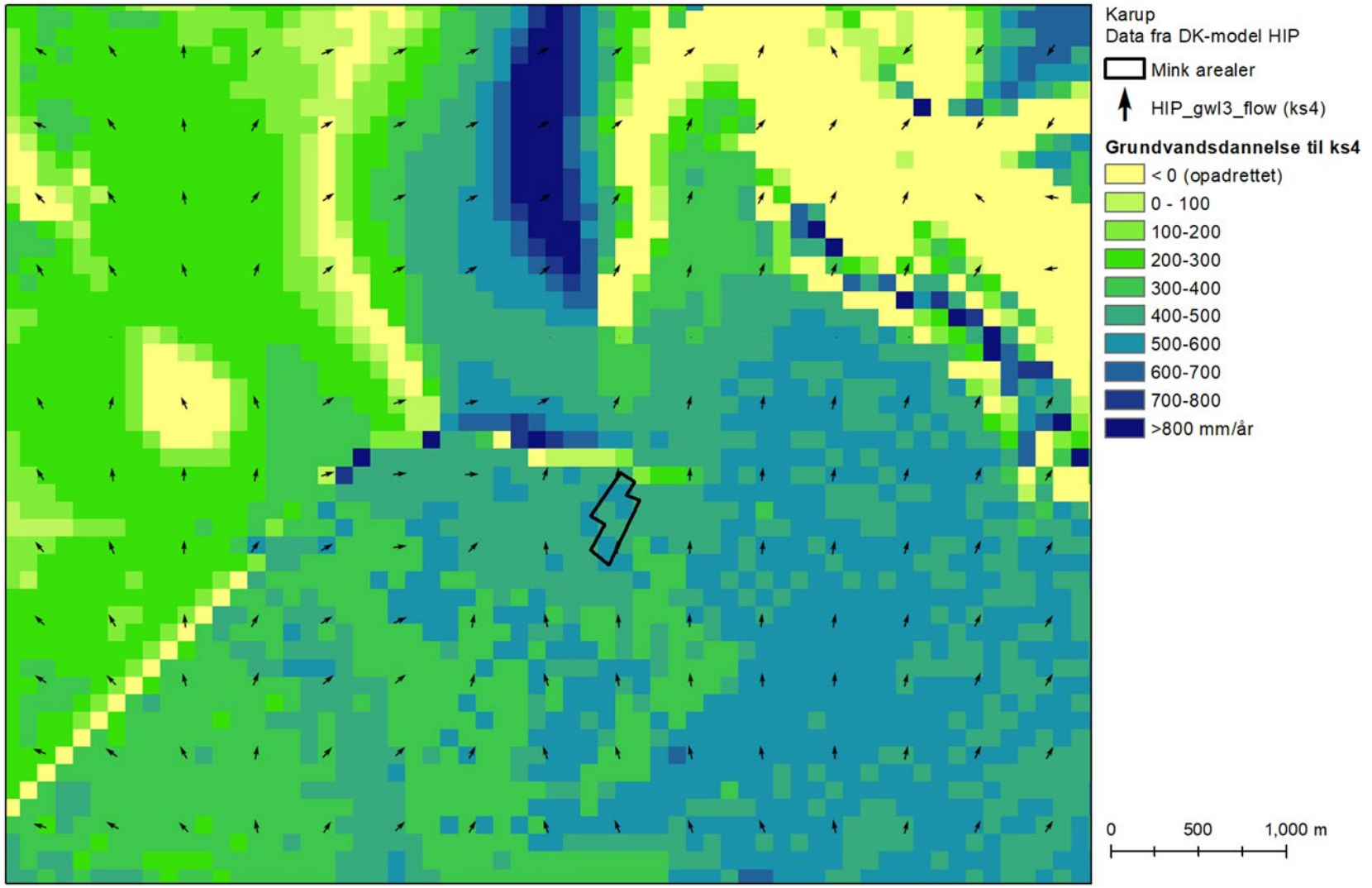




KARUP

Hedeslette over smeltevandssand

Grundvandsdannelse til magasinet 400-600 mm/år

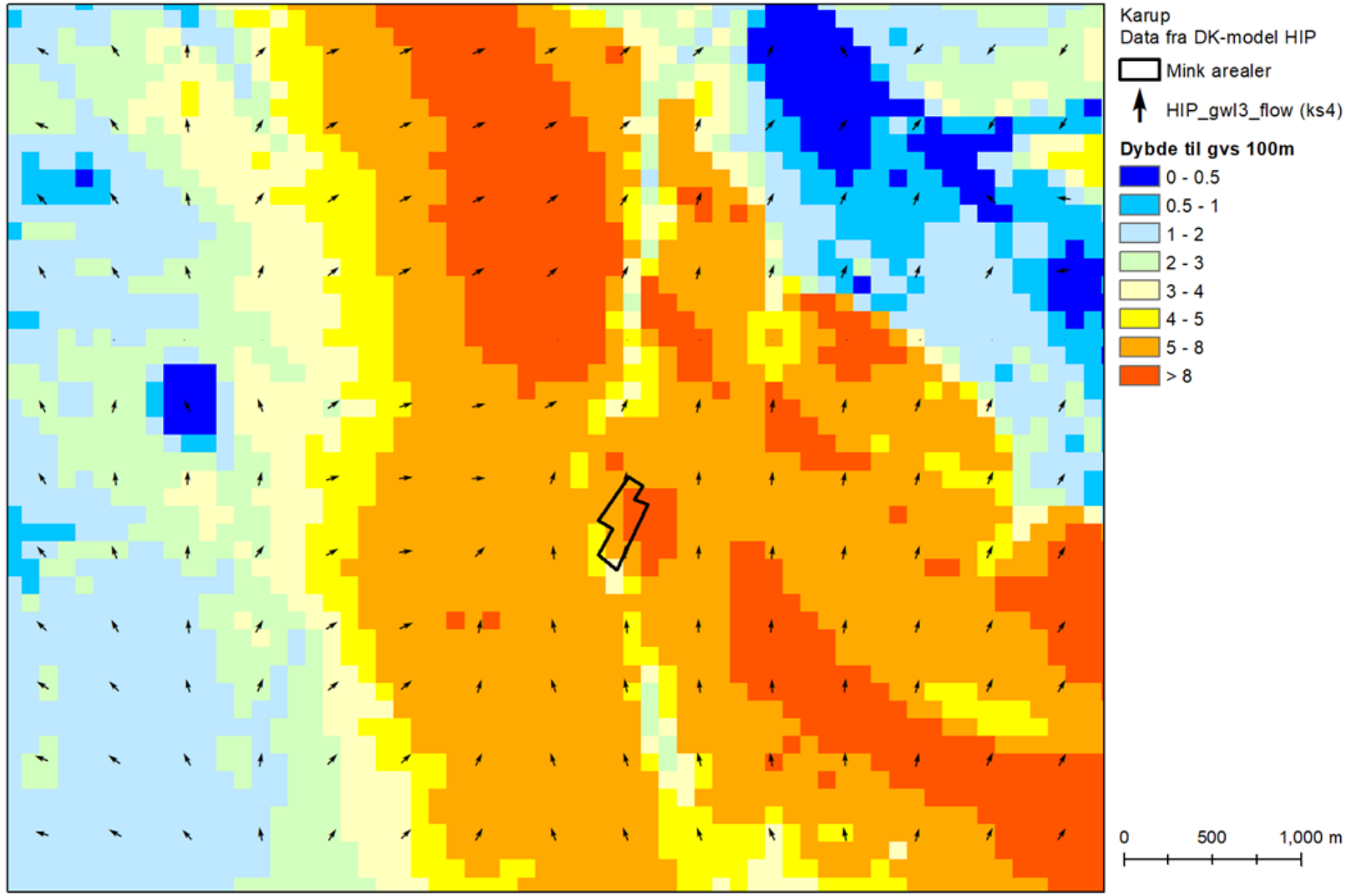


KARUP

Hedeslette over smeltevandssand

Grundvandsdannelse til magasinet 400-600 mm/år

Dybde til grundvandsspejl 4-8 m



KARUP

Hedeslette over smeltevandssand

Grundvandsdannelse til magasinet 400-600 mm/år

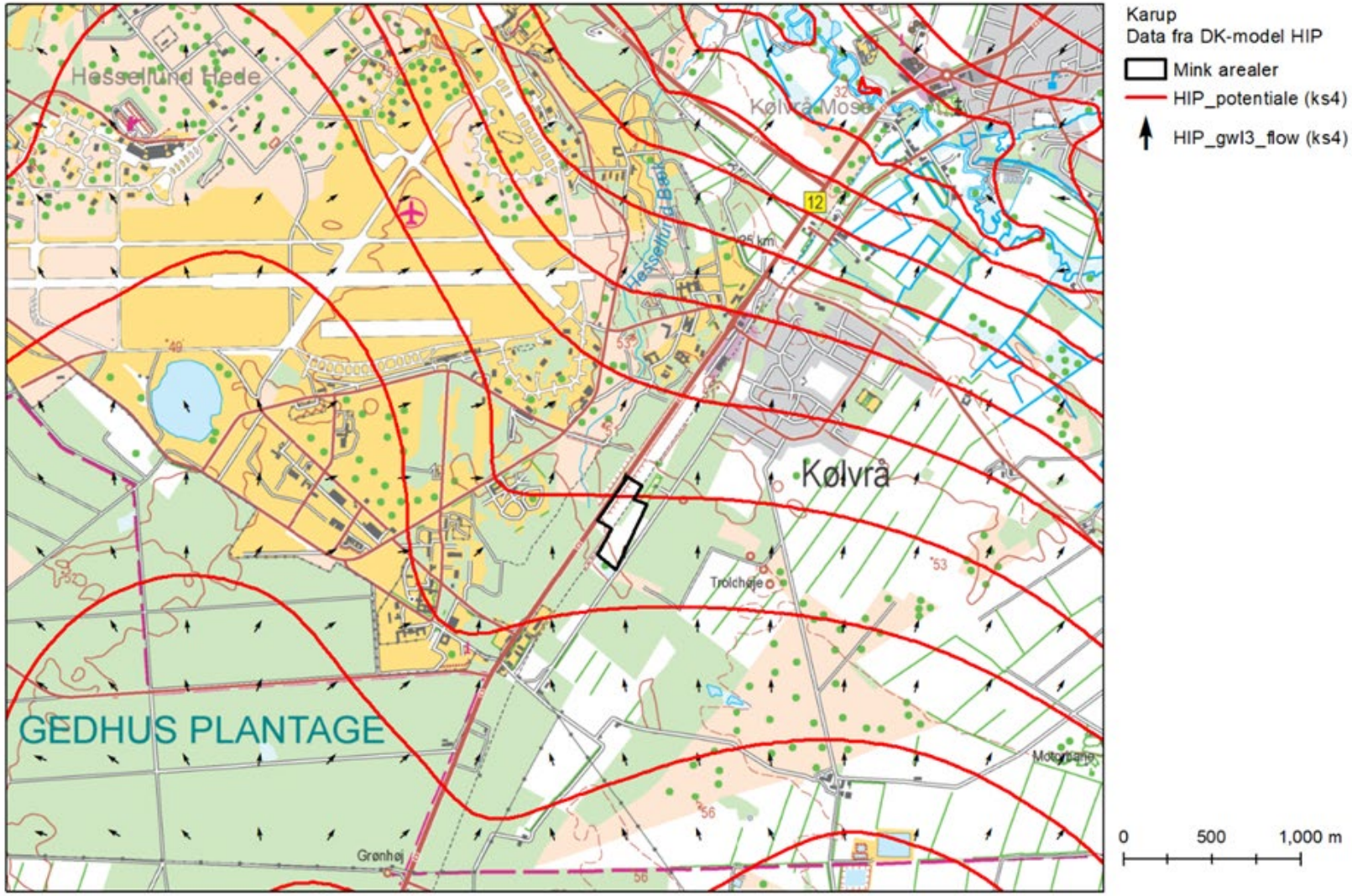
Dybde til grundvandsspejl

Grundvandsstrømning typisk 45-120 meter pr år

-> tidsperspektiv

-> ilt forhold

-> Alle modelberegninger fra HIP



Brug af HIP data ved opstilling af en lokal model til vurdering af ændret vandpåvirkning af byområder ved Ribe

EKSEMPEL FRA RIBE

RIBE

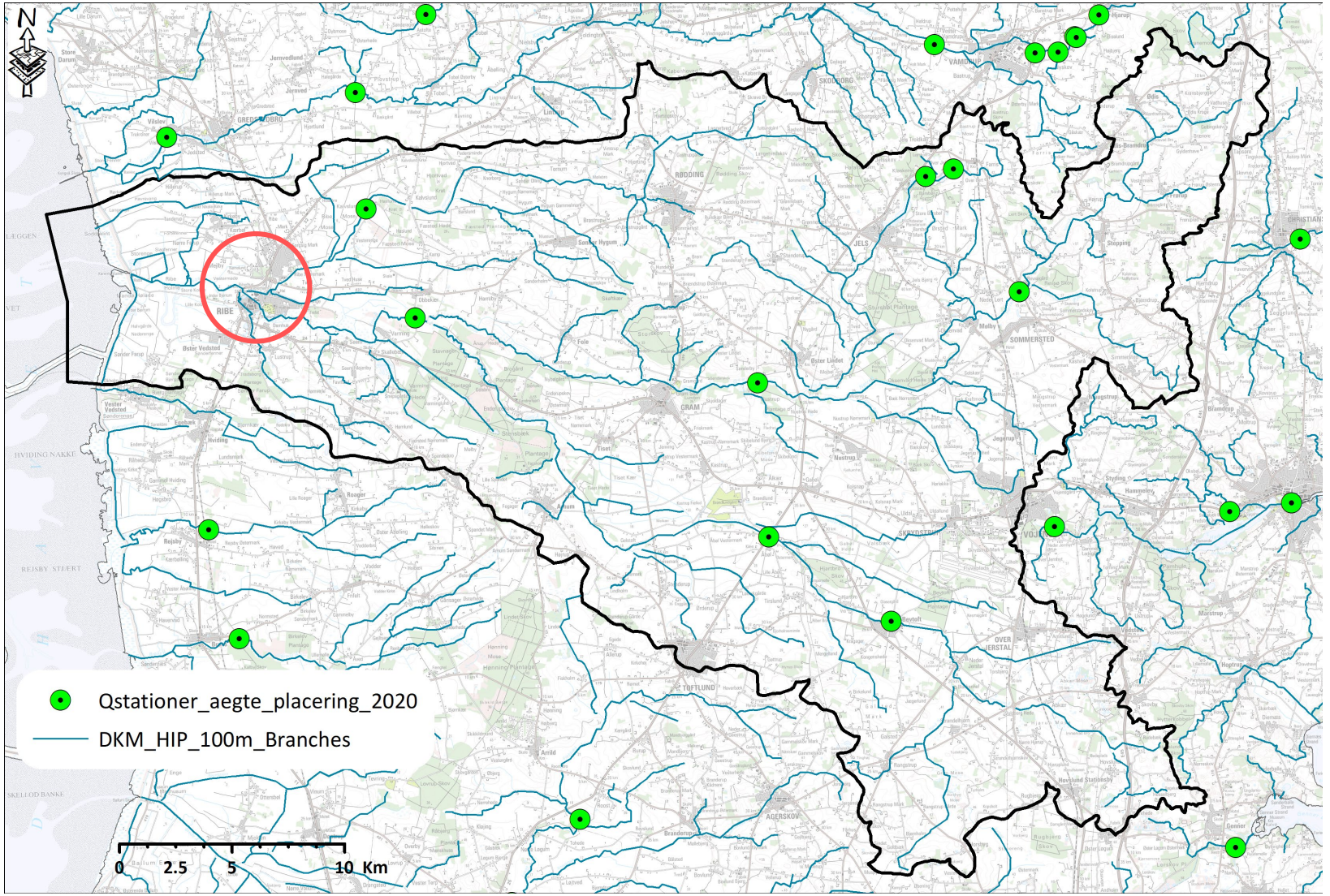
Ingen vandføringsstationer i det urbane område ved Ribe

Relativt stort topografisk opland

Klimafremskrivning af terrænnært grundvand og afstrømning

Test af klimatilpasningstiltag

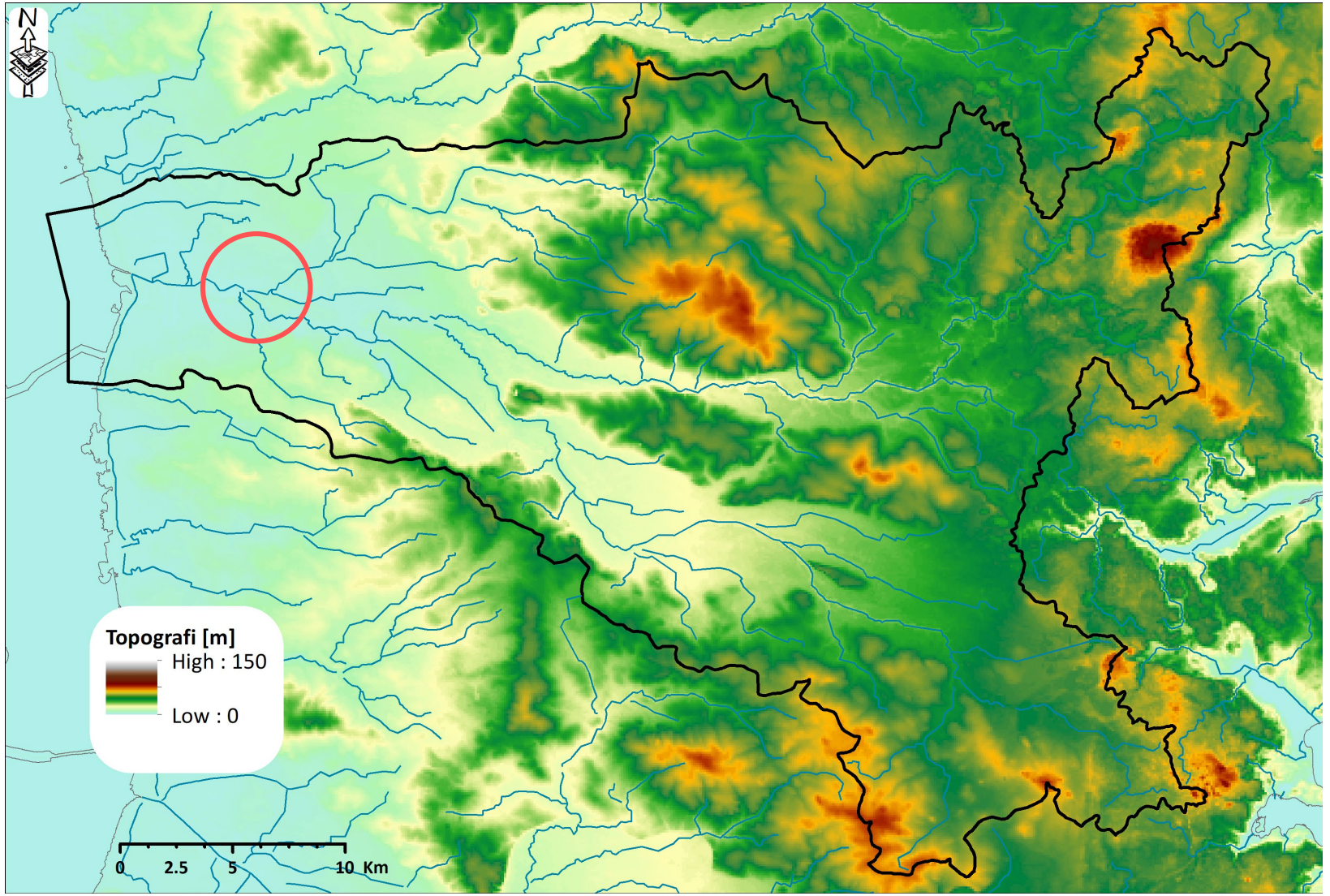
Fokus på havstigninger og påvirkning af vandløbspåvirkninger af samme



RIBE

Afgrænsning af randbetingelser ud fra topografisk opland

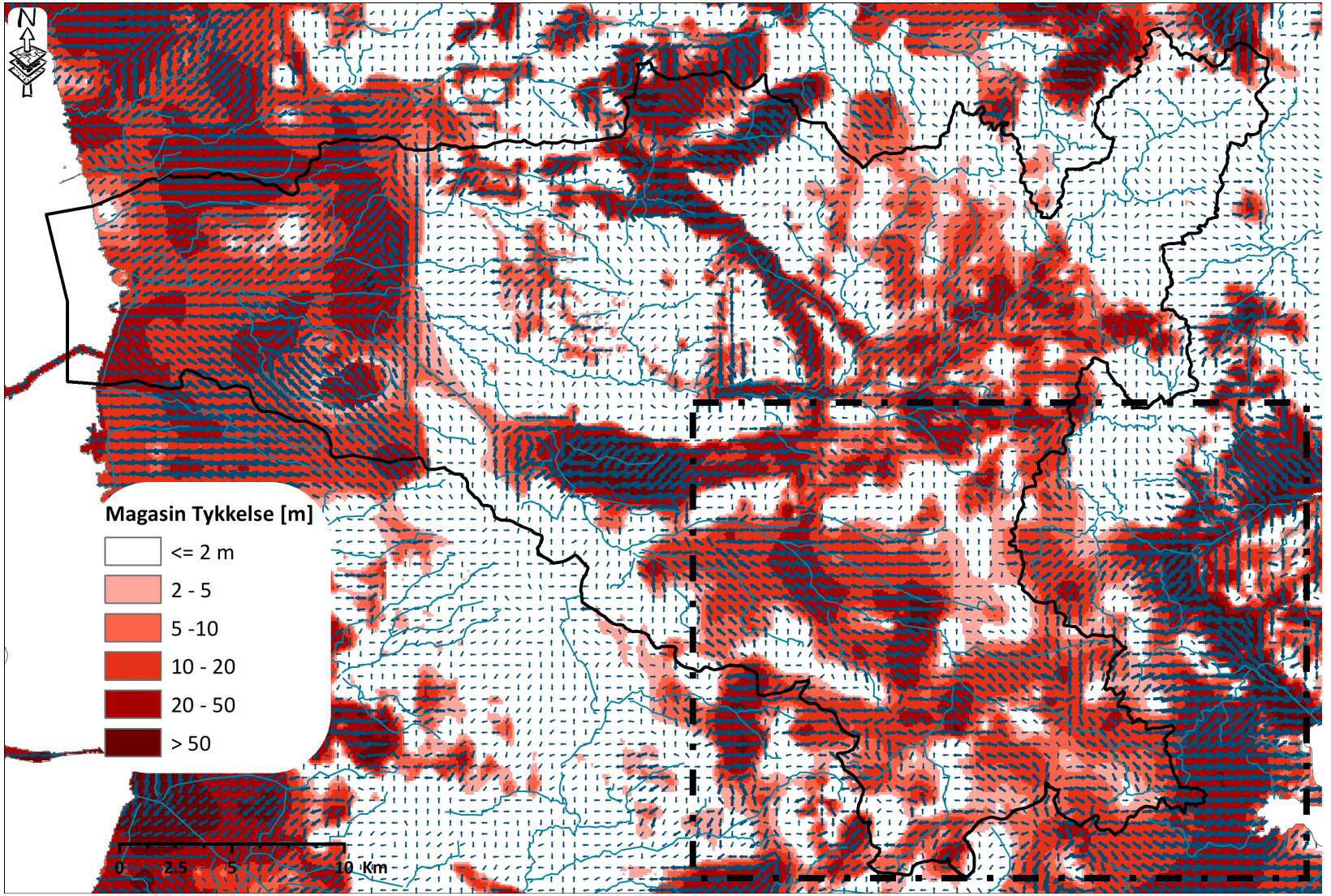
- Oplandets vandbalance styrende for vandstand og vandløbs afstrømning i og nær Ribe by
- Relativt velafgrænset topografisk opland med stor overfladenær strømning fra drænkanaler o.lign.



RIBE

Afgrænsning af randbetingelser ud fra topografisk opland

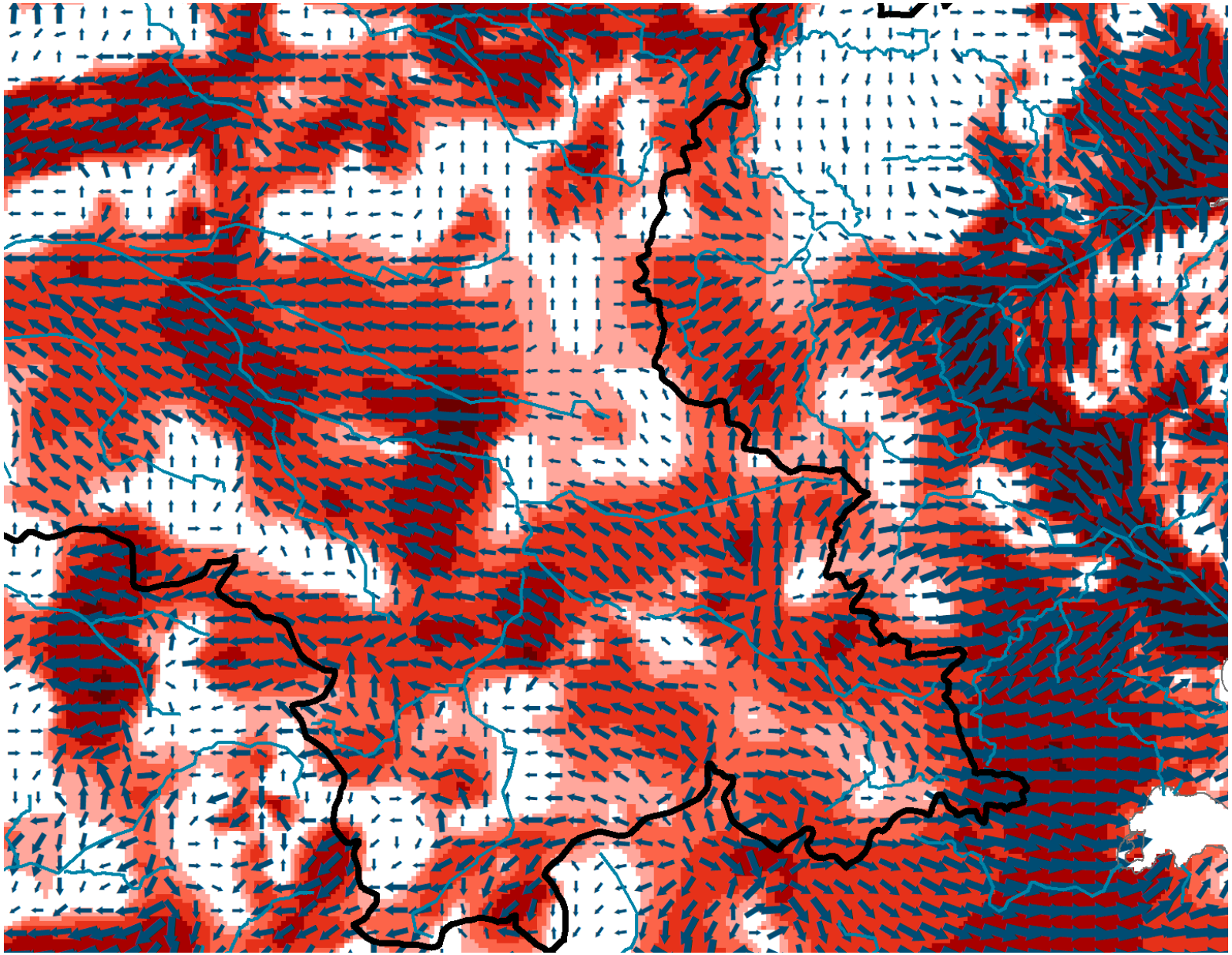
- Oplandets vandbalance styrende for vandstand og vandløbs afstrømning i og nær Ribe by
- Relativt velafgrænset topografisk opland med stor overfladenær strømning fra drænkanaler o.lign.
- Flere begravede dale og grundvandsstrømning på tværs af den topografiske afgrænsning



RIBE

Afgrænsning af randbetingelser ud fra topografisk opland

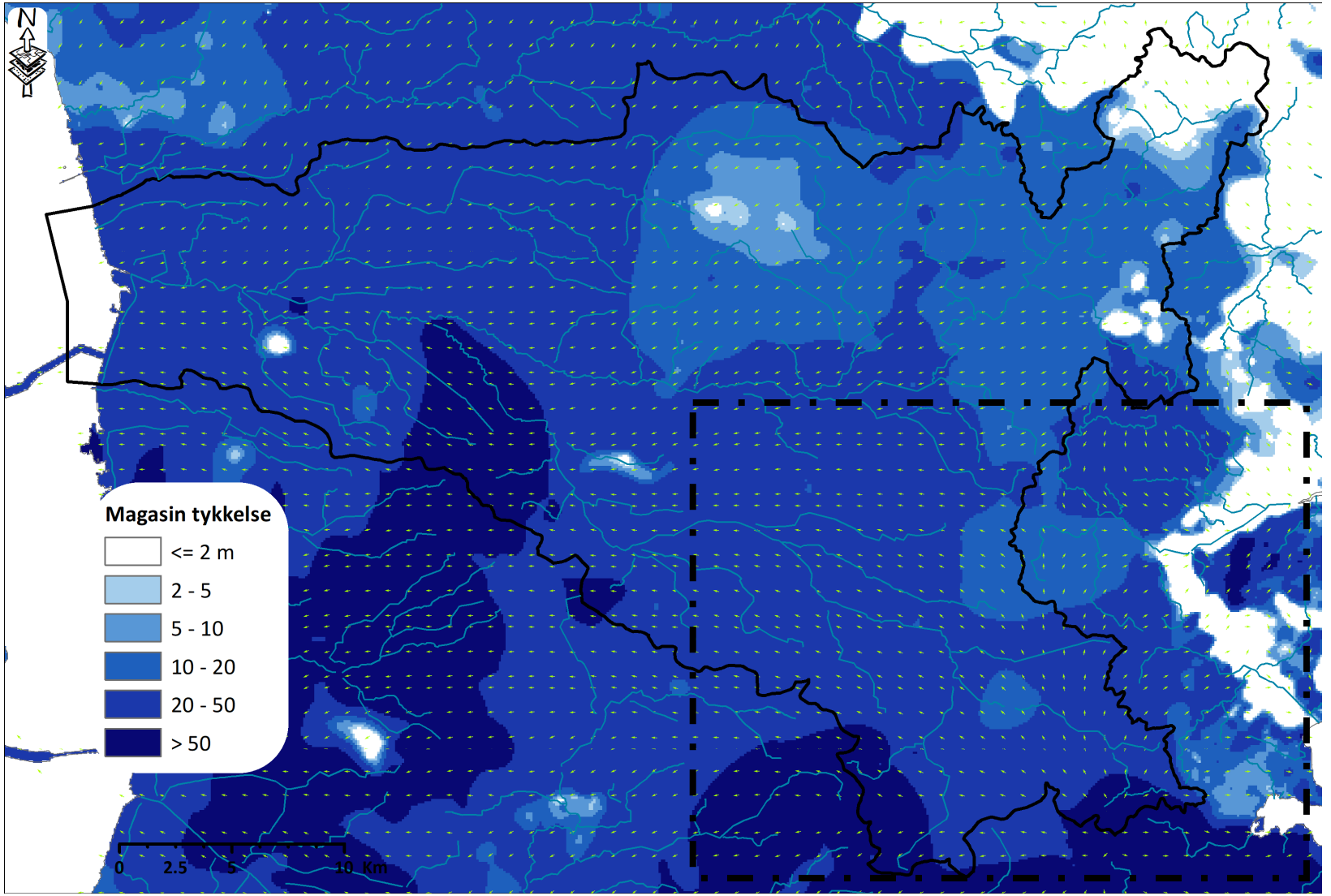
- Oplandets vandbalance styrende for vandstand og vandløbs afstrømning i og nær Ribe by
- Relativt velafgrænset topografisk opland med stor overfladenær strømning fra drænkanaler o.lign.
- Flere begravede dale og grundvandsstrømning på tværs af den topografiske afgrænsning



RIBE

Afgrænsning af randbetingelser ud fra topografisk opland

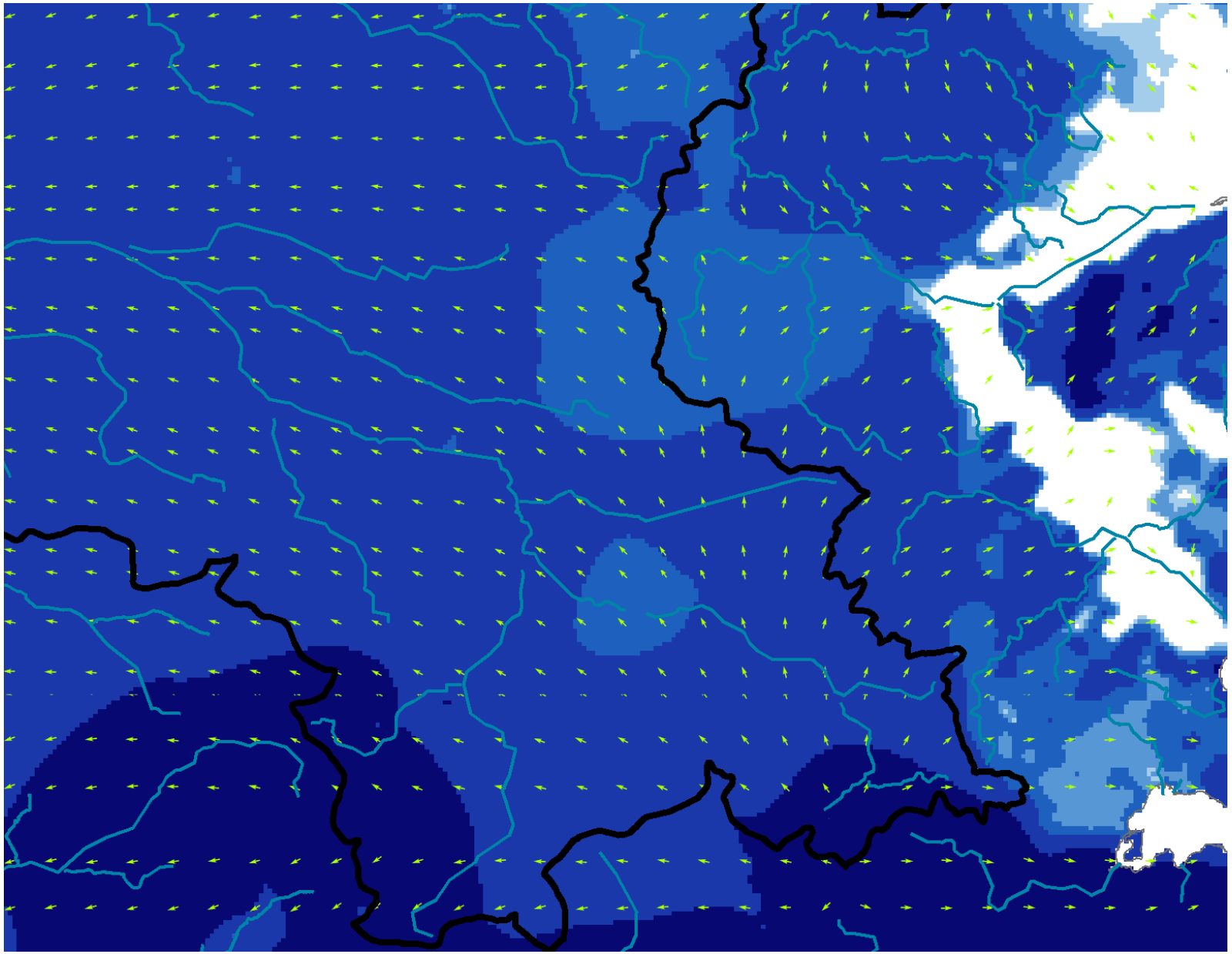
- Oplandets vandbalance styrende for vandstand og vandløbs afstrømning i og nær Ribe by
- Relativt velafgrænset topografisk opland med stor overfladenær strømning fra drænkanaler o.lign.
- Flere begravede dale og grundvandsstrømning på tværs af den topografiske afgrænsning
- Regionalt dækkende Miocæne magasiner med strømninger der ikke følger lokale topografiske variation



RIBE

Afgrænsning af randbetingelser ud fra topografisk opland

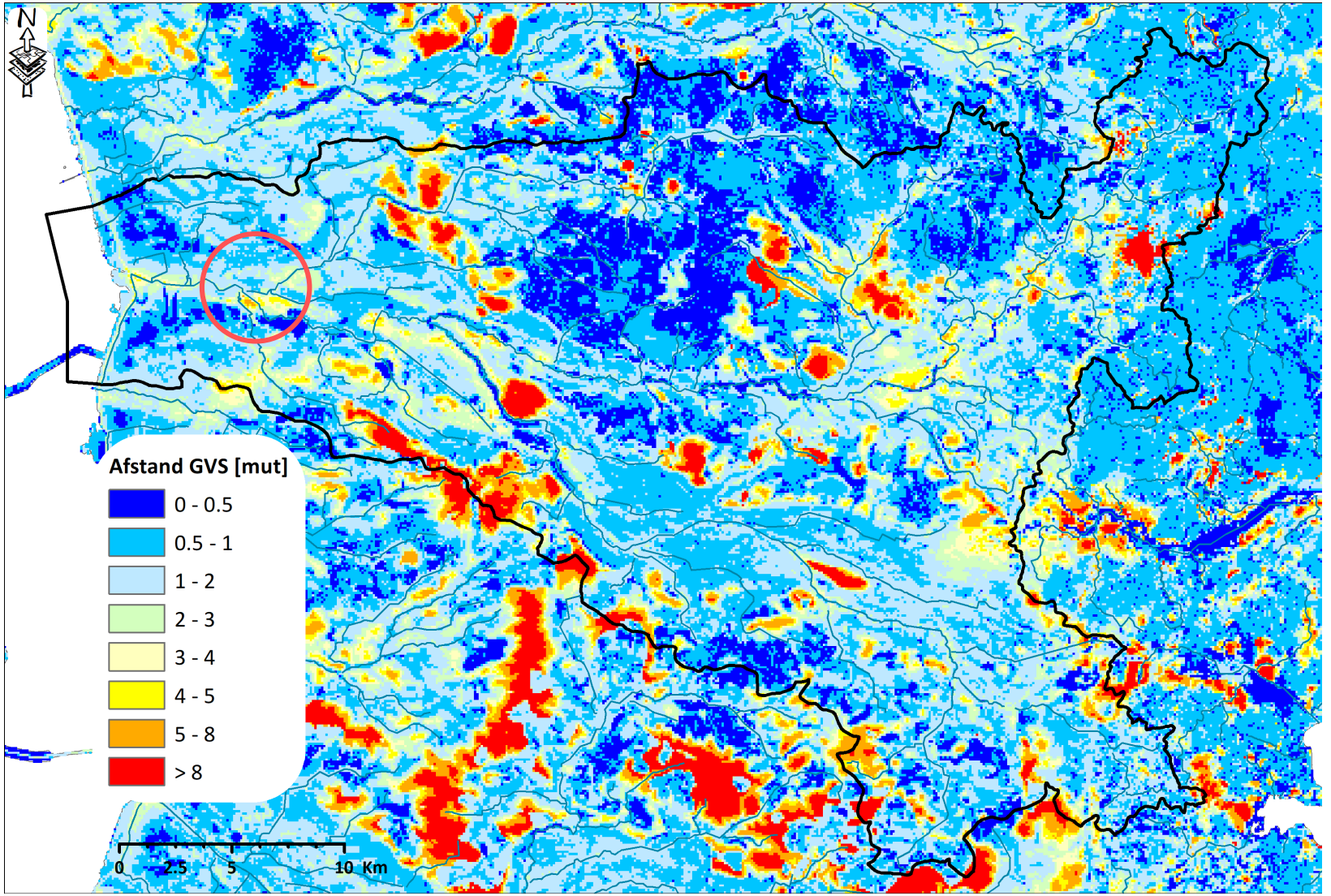
- Oplandets vandbalance styrende for vandstand og vandløbs afstrømning i og nær Ribe by
- Relativt velafgrænset topografisk opland med stor overfladenær strømning fra drænkanaler o.lign.
- Flere begravede dale og grundvandsstrømning på tværs af den topografiske afgrænsning
- Regionalt dækkende Miocæne magasiner med strømninger der ikke følger lokale topografiske variation



RIBE

Model simuleringer fra HIP af historisk grundvandsstand

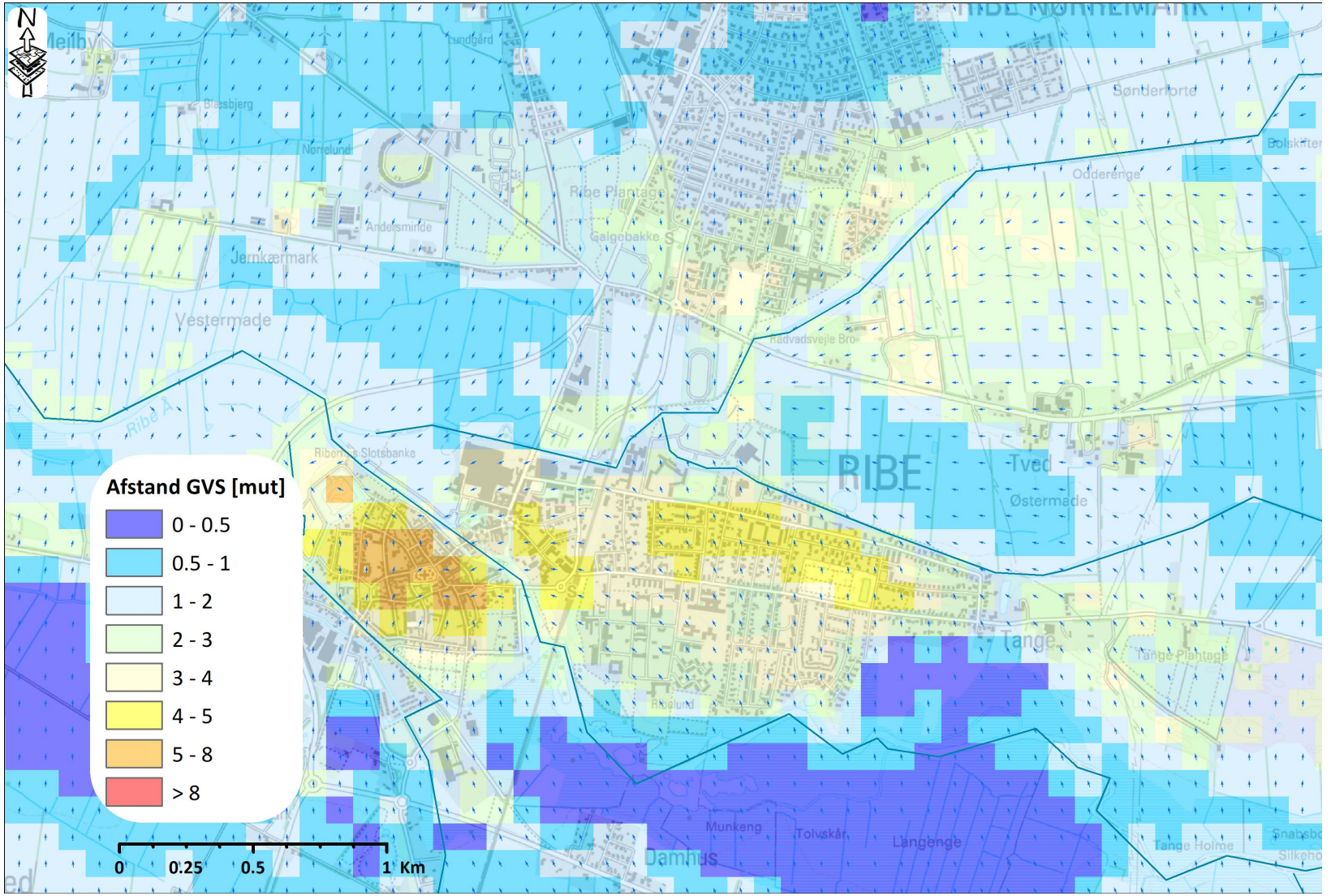
- Bynære områder meget højt simuleret grundvandsspejl (median for 1990-2019 vist her)
- Stor variation inden for lille afstand



RIBE

Model simuleringer fra HIP af historisk grundvandsstand

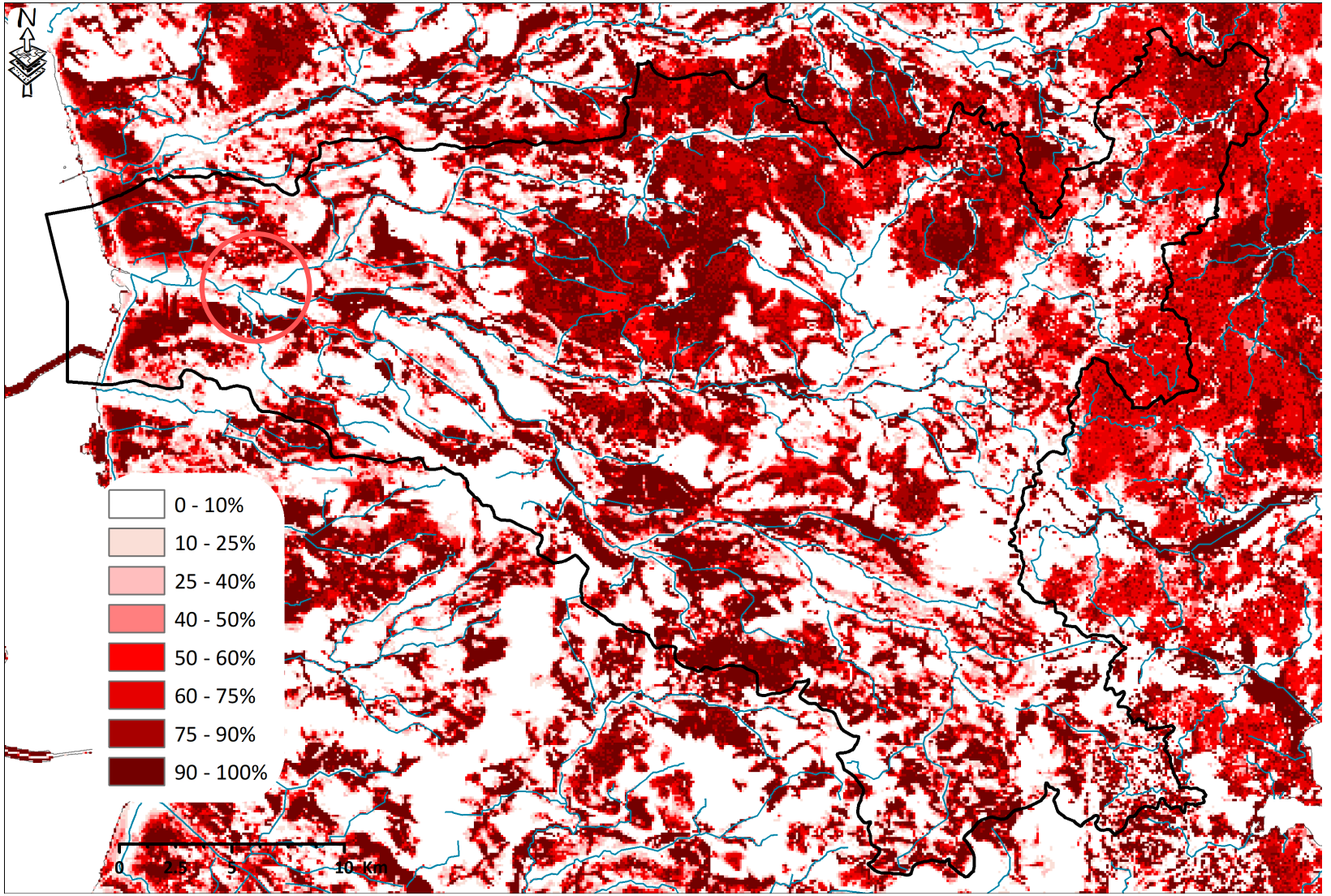
- Områder meget højt simuleret grundvandsspejl (median for 1990-2019 vist her)
- Stor variation inden for lille afstand



RIBE

Model simuleringer fra HIP af historisk grundvandsstand

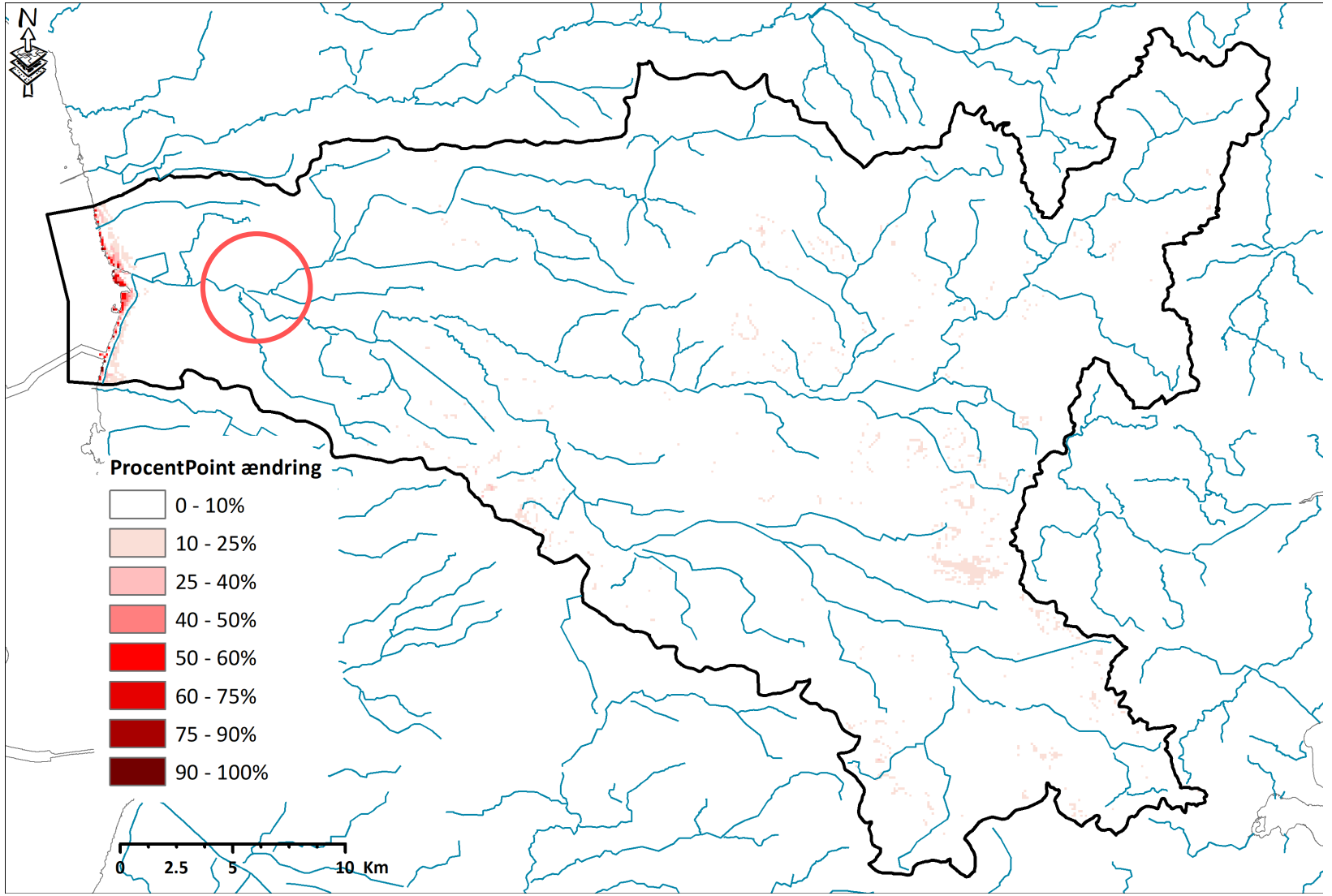
- Bynære områder meget højt simuleret grundvandsspejl
- *Overskridelsessandsynligheden for grundvandsstand mindre end 1 meter under terræn for 1990-2019 vist her*



RIBE

Model simuleret klimafremskrivning fra 100m Submodel med randbetingelser fra 500m HIP klimasimuleringer

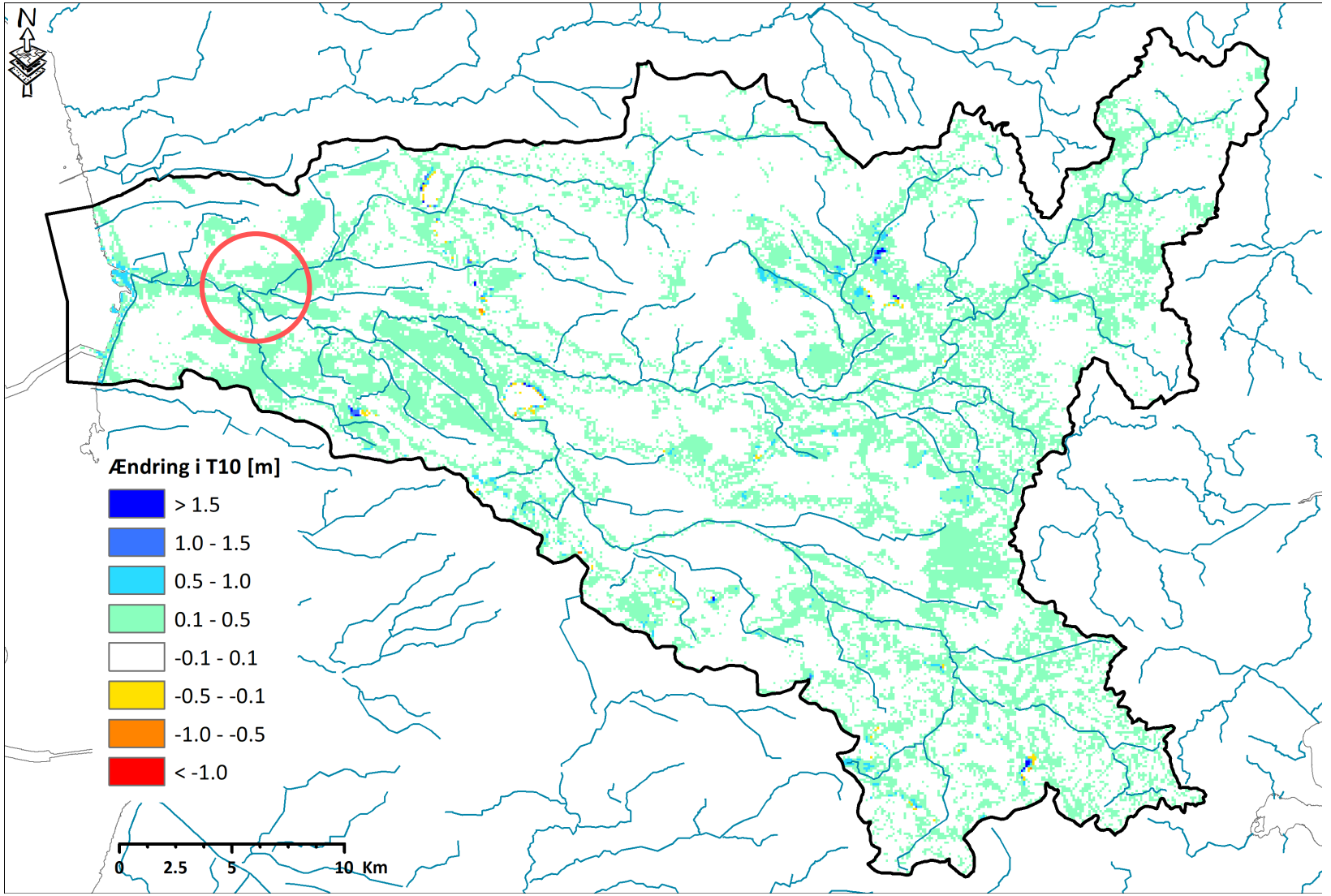
- Klimafremskrivning i 100m viser stort set ingen *ændring i overskridelsessandsynligheden for grundvandsstand tættere end 1 meter under terræn*
- *Her er vist median af resultater fra alle RCP8.5 scenarier 2071-2100*
- Nogen ændringer i de kystnære områder som følge af ændret havvandsstand



RIBE

Model simuleret klimafremskrivning fra 100m Submodel med randbetingelser fra 500m HIP klimasimuleringer

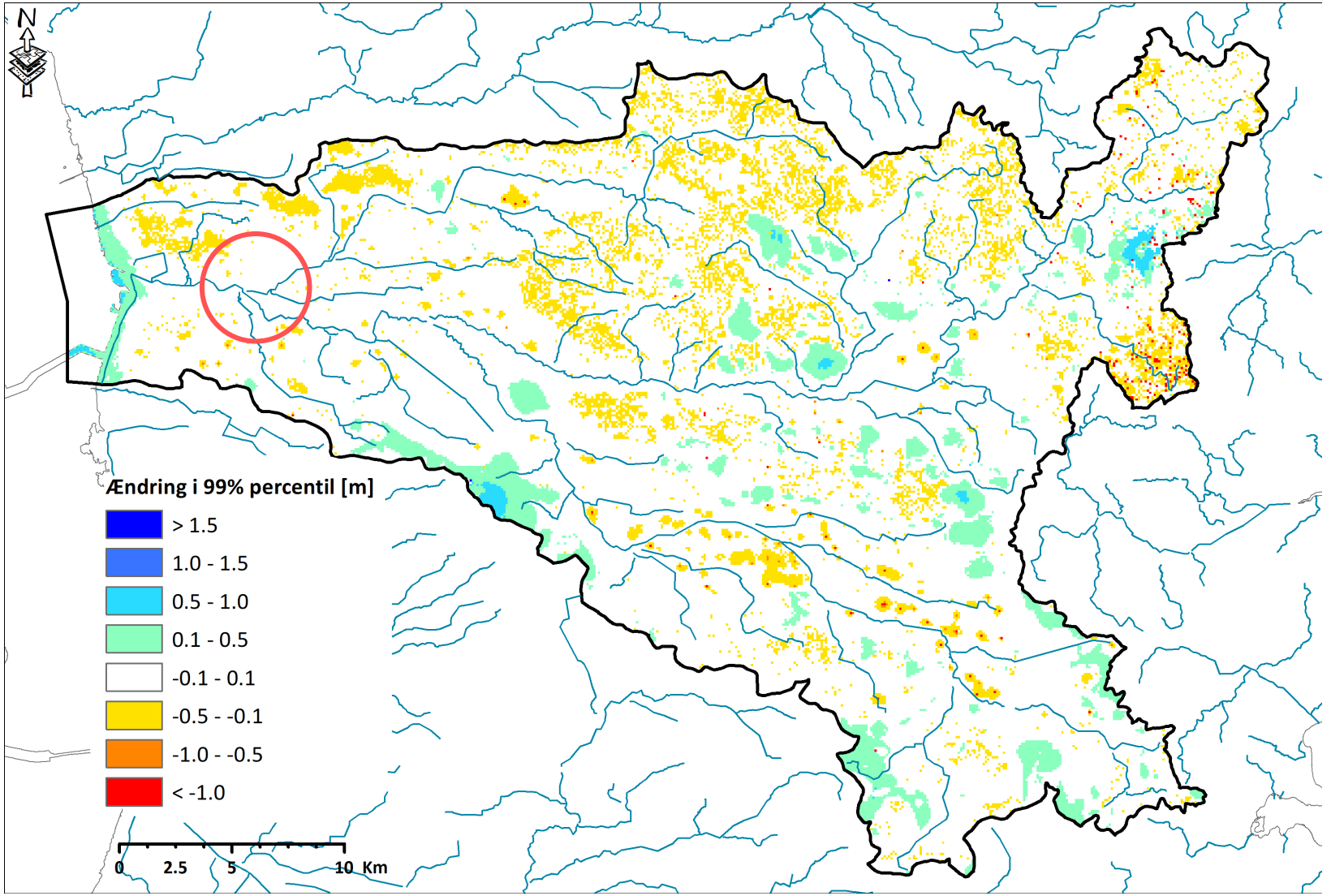
- Klimafremskrivning i 100m viser små *ændring i 10 års hændelser for grundvandsstand tæt ved terræn*
- *Her er vist median af resultater fra alle RCP8.5 scenarier 2071-2100*
- Størst ændring i de å- og kystnære områder (og områder hvor vandløbsnetværket ikke er fuldt udbygget i modellen)



RIBE

Model simuleret klimafremskrivning fra 100m Submodel med randbetingelser fra 500m HIP klimasimuleringer

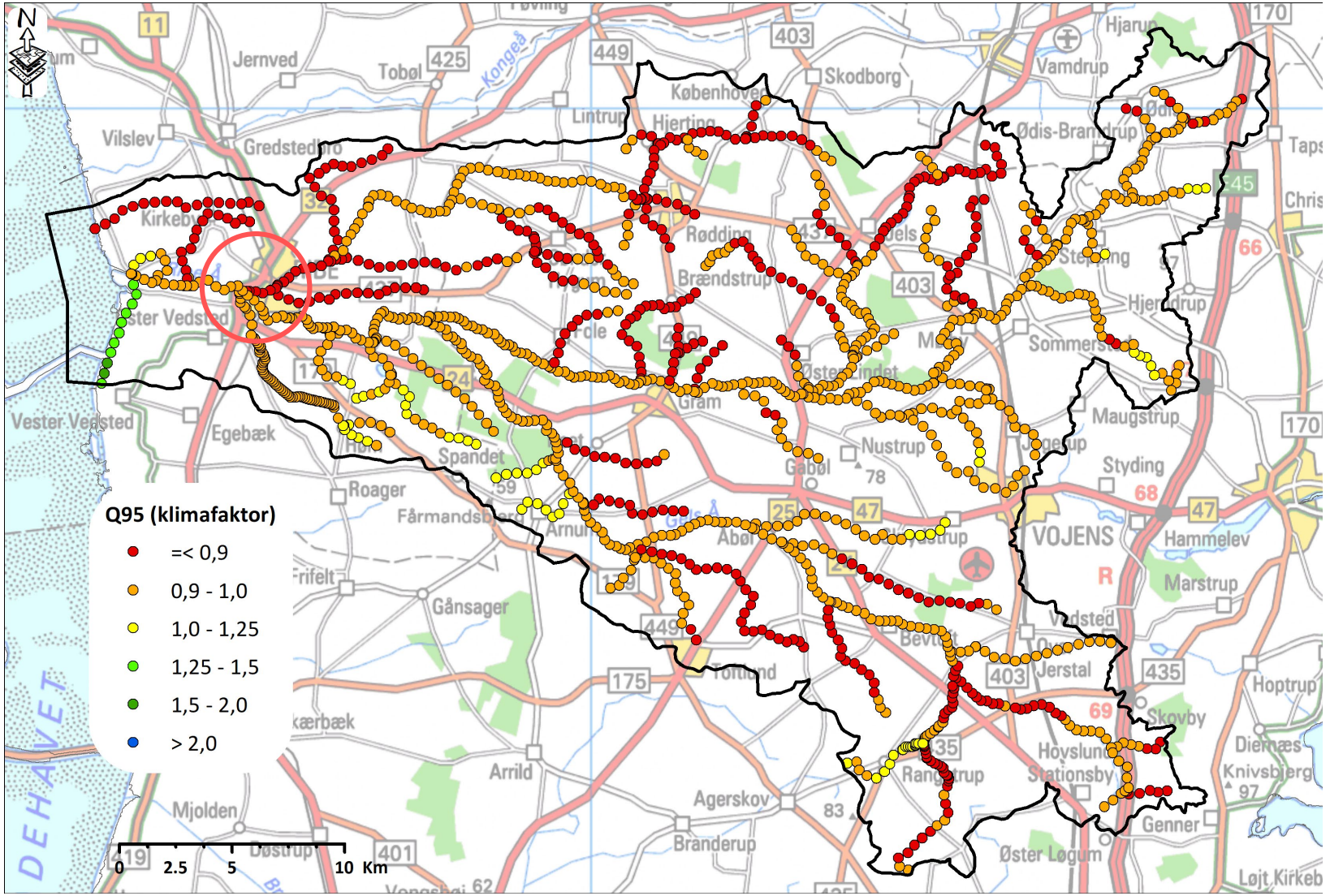
- Klimafremskrivning i 100m viser typisk længere afstand til grundvandsspejlet i de tørre perioden
- Stort set ingen ændringer i de bynære områder
- *Her er vist ændring i 99% percentilen af afstand til grundvandsspejlet, som median af resultater fra alle RCP8.5 scenarier 2071-2100*



RIBE

Model simuleret klimafremskrivning fra 100m Submodel med randbetingelser fra 500m HIP klimasimuleringer

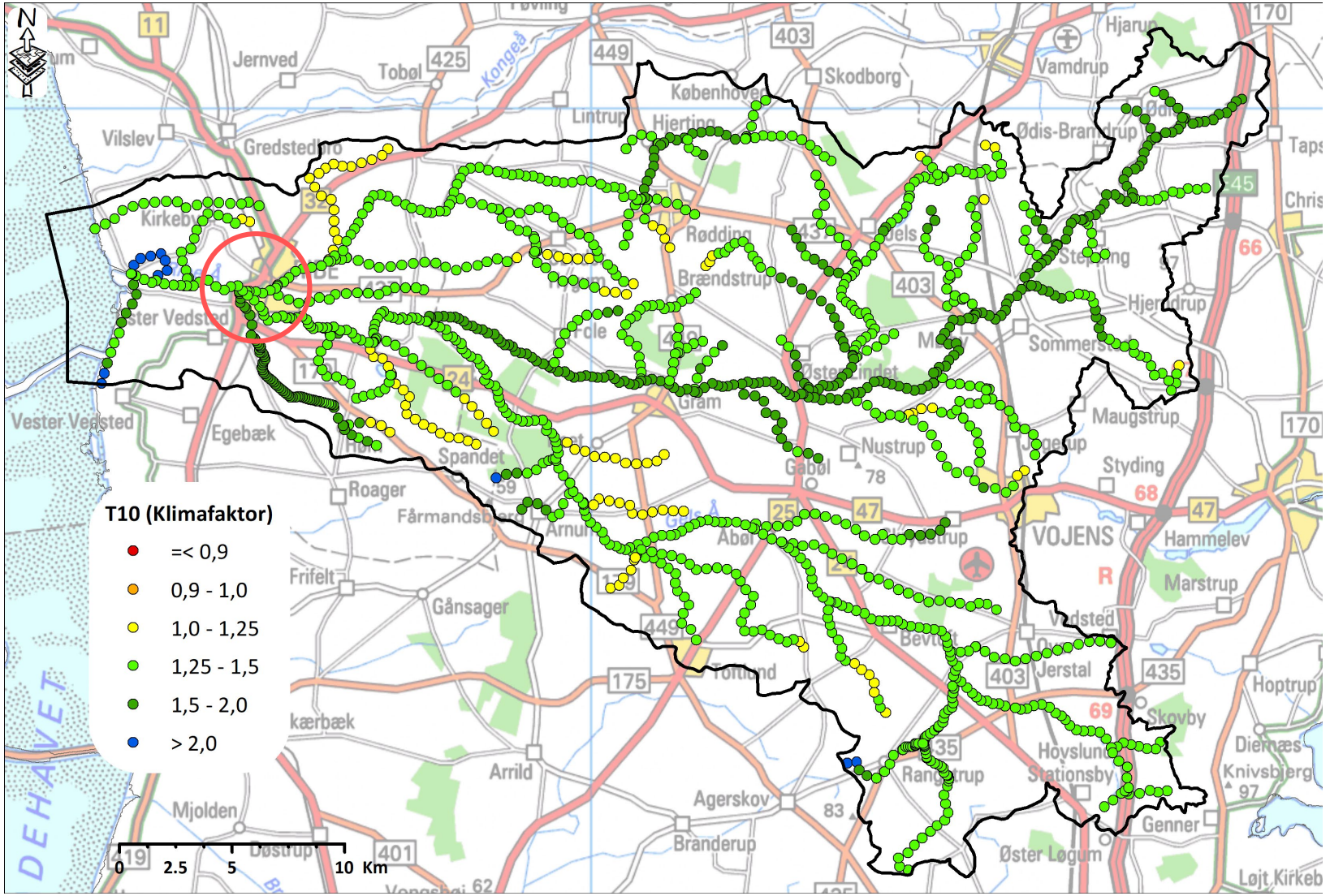
- Klimafremskrivning i 100m viser typisk mindre vand i vandløbene for de små afstrømninger
- Store ændringer i de bynære områder
- *Her er vist ændring i 95% overskridelses percentilen af vandføringen, som median af resultater fra alle RCP8.5 scenarier 2071-2100*



RIBE

Model simuleret klimafremskrivning fra 100m Submodel med randbetingelser fra 500m HIP klimasimuleringer

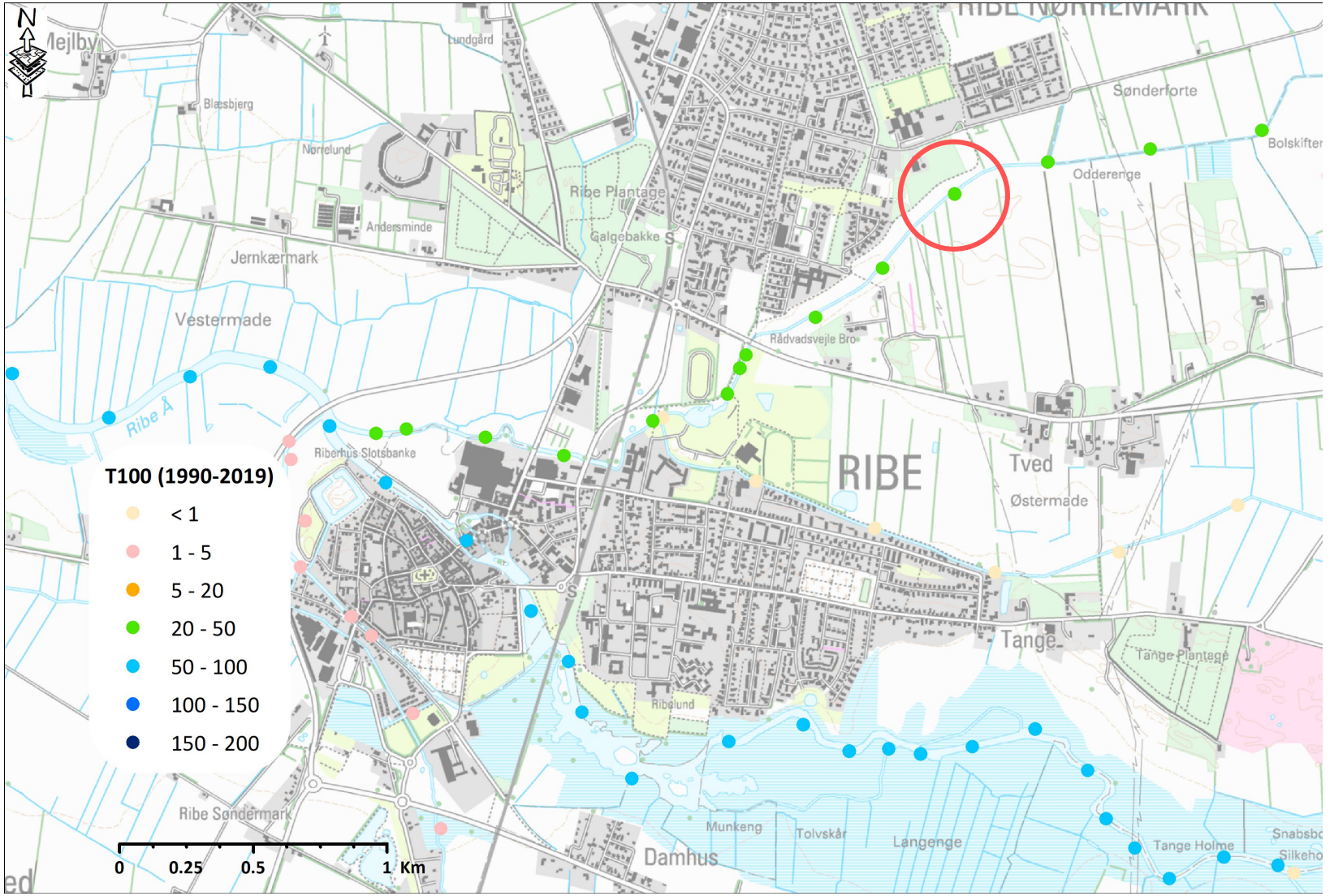
- Klimafremskrivning i 100m viser typisk mere vand i vandløbene for de store afstrømninger
- Store ændringer i de bynære områder
- *Her er vist ændring 10 års hændelsen for vandføringen, som median af resultater fra alle RCP8.5 scenarier 2071-2100*



RIBE

Model simuleringer fra HIP af historisk vandføring

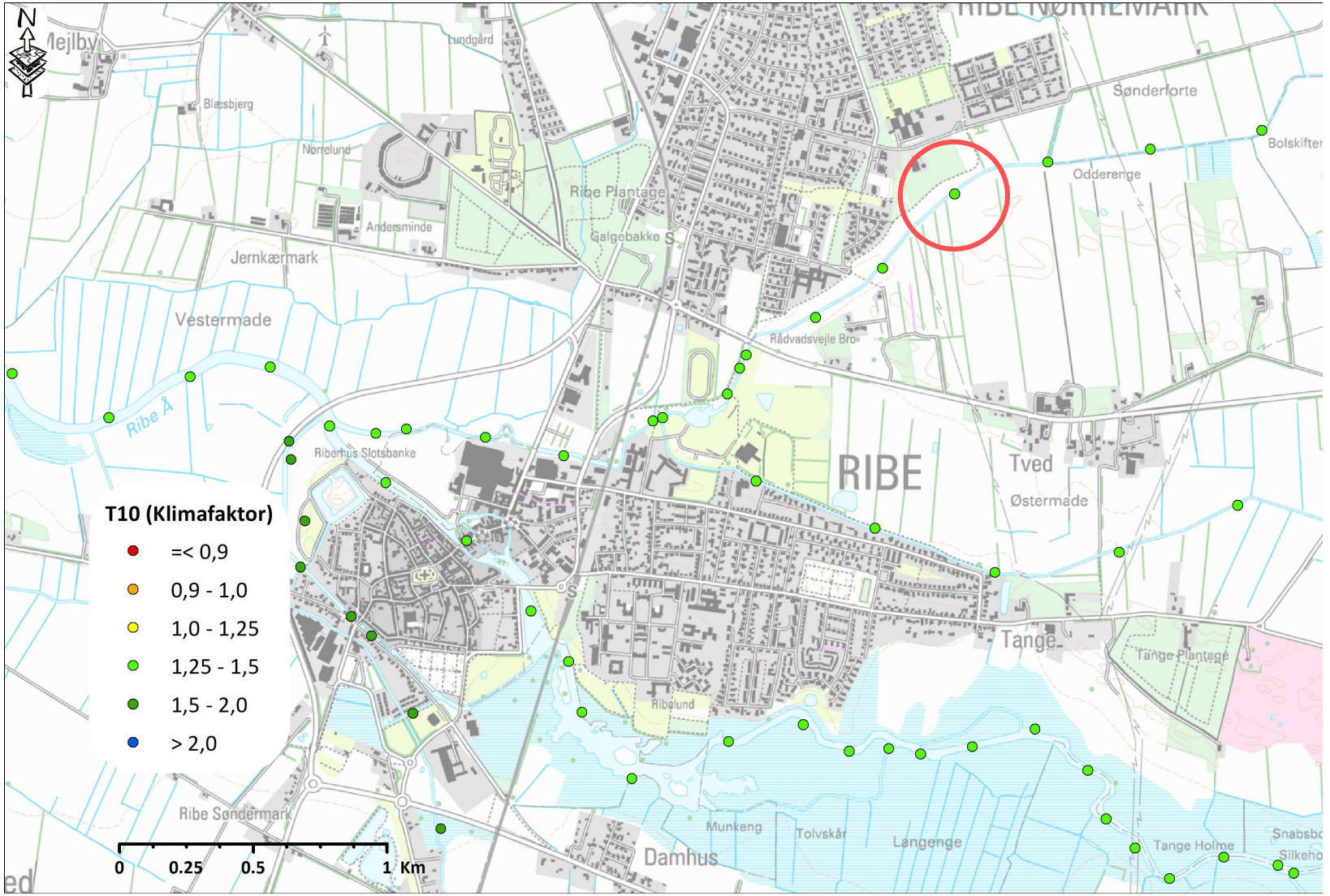
- Model simuleringer af historisk vandføring viser et tilløb med nord nær interesse område, hvor 10 årshændelsen er 18,5 m³/s
- 100 års hændelsen er beregnet til 26,9 m³/s



RIBE

Model simuleret klimafremskrivning af vandføring (fra 100m Submodel med randbetingelser fra 500m HIP klimasimuleringer)

- Viser typiske klimafaktorer for området nær Ribe på mellem 1,25 – 1,50
- *Her er vist ændring 10 års hændelsen for vandføringen, som median af resultater fra alle RCP8.5 scenarier 2071-2100*
- For samme beregningspunkt som vist tidligere er klimafaktoren udregnet til 1,41 for en 10 års hændelse - svarerende til 26,1 m³/s eller noget der ligner den nuværende 100 års hændelse



Erfaringer med brug af randbetingelser fra HIP

Har vi brug for en fælles platform for udvikling af værktøjer til håndtering af randbetingelses data fra HIP

Hvordan ser fremtiden ud

DISKUSSION

Brug af randbetingelser fra HIP

Modellering af Ribe oplandet, der stærkt påvirket af strømninger på tværs af rande, muligt med dynamiske randbetingelser fra HIP

Data ligger på HIP portalen i NetCDF format, hvilket vil kræve lidt arbejde at få om til modelspecifikt format

Modelstrukturen på HIP er bygget til 100m opløsning, hvilket gør det hurtigt at få en 100m model op at køre

Mangler fortsat i urbane og ånære geologiske tilpasninger i Ribe modellen, samt indarbejdelse af aktiv styring af vandstand i åerne (sluser)

Udtræk af simuleret historiske data hydrologiske forhold fra HIP 100m model, bidrog til et hurtigt overblik over strømningsretninger, dybde til grundvandsspejlet og grundvandsdannelse, samt vil kunne bidrage med randbetingelser for en detail modellering af Karup.

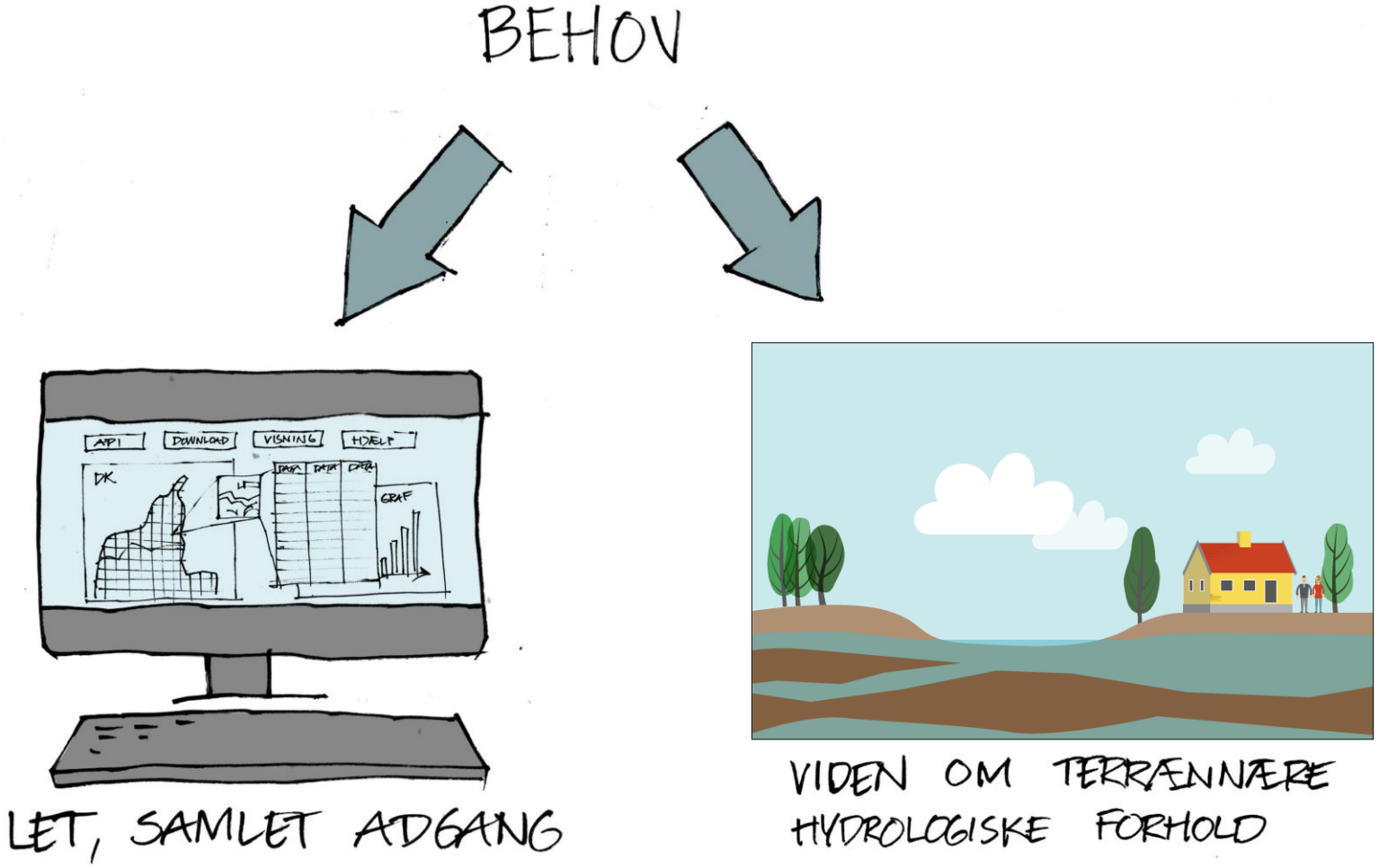
Har vi brug for en Git / HIPdata værktøjskasse

- Udtræk af hele modelopsætninger og vandløbsopsætninger via shape file
- Udtræk af randbetingelser fra vandløbspunkter umiddelbart opstrøms shapefile
  - Tidsvarierende historisk og klimafremskreven afstrømning på ønsket format, fx dfs0
- Udtræk af trykniveau randbetingelser for alle lag
  - Tidsvarierende historisk og fremskreven potentiale på ønsket format, fx dfs2
  - Tidsvarierende historisk og fremskreven dybde til grundvandsspejl
- Udtræk af klimadata
  - Tidsvarierende fremskreven klimadata på ønsket format, fx dfs2
- Udtræk af observationsdata (pejlinger og afstrømninger)
- Udtræk af indvindinger og spildevand
- Oversættelse af NetCDF format til model specifikke formater
  - Mike Zero, Swat, Modflow etc.
- Data pakke for statistisk bearbejdning af historiske og klimafremskrevne simuleringer

Fremtidsperspektiver

- Ajourføring af modelsimuleringerne
  - Historiske kørsler med seneste klimadata, indvindingsdata og spildevandsdata
  - Bedre mulighed for opdaterede randbetingelser
- Bedre beskrivelse af det urbane
  - Samling og indarbejdelse af klimatilpasningstiltag, fx LAR løsninger
  - Samling og indarbejdelse af kloakeringsdata (placering, oplands tilknytning, dræningspotentiale..)
- Indarbejdelse af vandløbsreferencen
  - Samling og indarbejdelse af opmålte tværsnit
  - Direkte oversættelse af simuleret vandføring til vandløbsreferencen
- Udvidelse af den statistiske pakke
  - Data for ændret drænafstrømning,

Brugerworkshops igangsatte initiativet



Data til klimatilpasning og håndtering af vand :

Hvor findes vandløbsdata? Svært at få vandstandsdata...

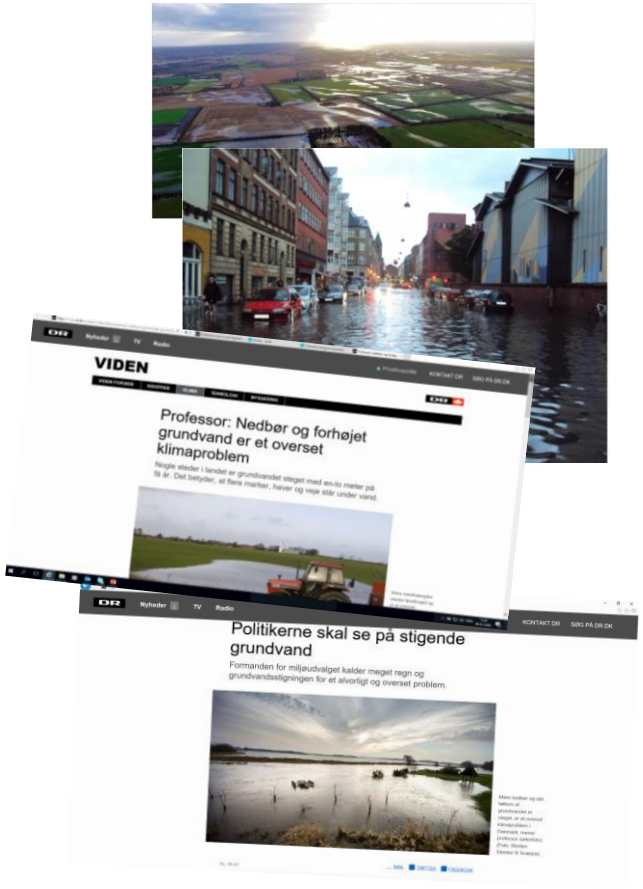
Stigende grundvand – hvor, hvor meget og hvornår?

→Modelberegninger af terrænnært grundvand i 100 m grid

Hvorfor ?

Store samfundsmæssige omkostninger forbundet med oversvømmelser

- Skybrudsskader i København 2011 for 6.2 mia. kr.
- Stormen Bodil i 2013 kostede Stormrådet 800 mio. kr.
- Stigende grundvand er et problem for boligejere og landbruget.
- Omkostninger i forbindelse med beredskabsindsatser stigende.



Klimaforandringer

- Varmere, mere regn. Nye nedbørsrekorder i 2017 og 2019.
- Flere og kraftigere skybrud.
- En 100 års-stormflod kan om mindre end 50 år komme hvert 10. år.
- Hele det hydrologiske kredsløb påvirkes.

Behov for store investeringer i klimatilpasning

- Mange dataejere af terræn, klima og vanddata gør det tidskrævende at finde og sammenstille data.
- **Samlet adgang til fælles data** vil effektivisere arbejdet med klimatilpasning, anlægs- og infrastrukturplanlægning, understøtte beredskab, og
- skabe grundlag for bedre dialog, samarbejde og planlægning på tværs af administrative grænser og forvaltningssektorer.

Styrelsen for
Dataforsyning og
Effektivisering

HIP formål og målgruppe

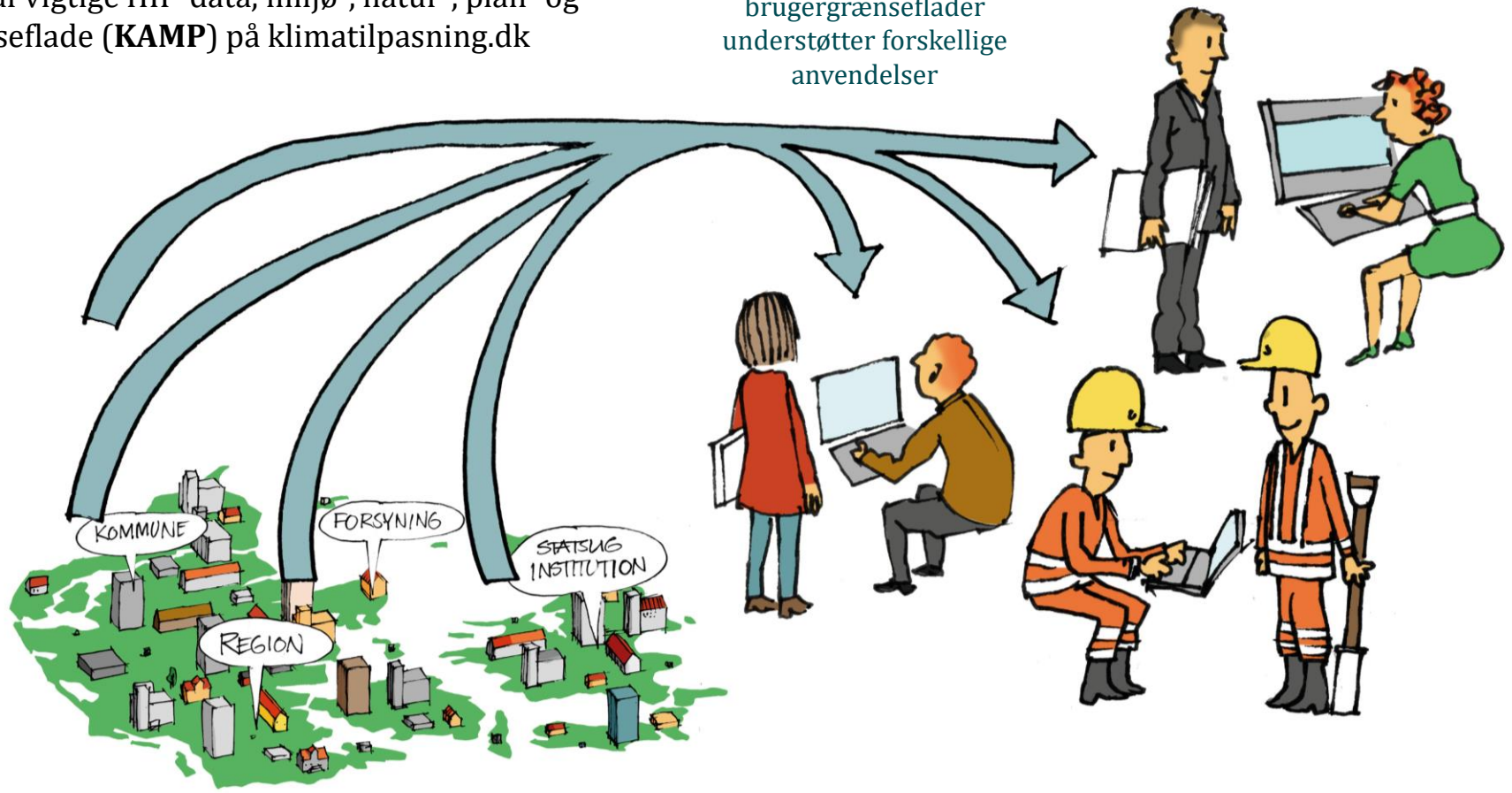
Ét styrket datagrundlag, to brugergrænseflader

- **Samlet adgang til data og nye modelberegninger om terrænnære hydrologiske forhold** i ny brugergrænseflade (**HIPdata.dk**) inkl. historiske data, realtidsdata, modelberegninger, modelusikkerheder, statistiske beregninger, ekstremværdianalyser og randbetingelser.

- Integreret adgang til et udvalg af vigtige HIP-data, miljø-, natur-, plan- og ejendomsdata i ny brugergrænseflade (**KAMP**) på klimatilpasning.dk

Udstilling af det fulde datagrundlag.
Gode muligheder for visualisering, sammenstilling og analyse af data.
Download og webservices.

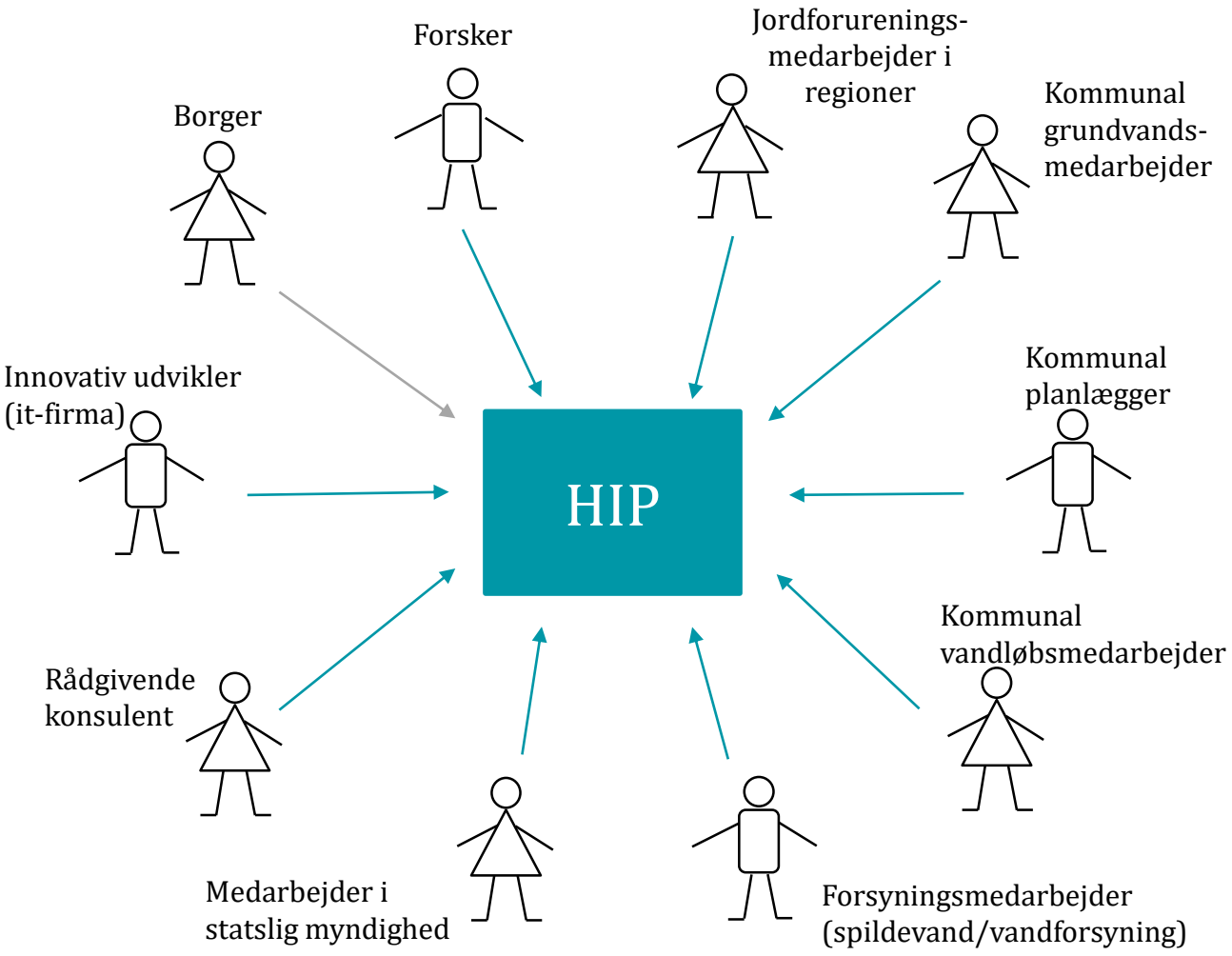
De to brugergrænseflader understøtter forskellige anvendelser



Baggrund for HIPdata.dk:
Relevante data om vandets kredsløb er vanskelige at få fat på, da de ligger spredt hos forskellige dataejere

Målgruppe for HIP

Mange forskellige brugere af HIP: planlæggere, eksperter, generalister, specialister, udviklere…



HIPdata.dk skal understøtte dialog og samarbejde om vandforvaltning og klima-tilpasning på tværs af sektorer og administrative grænser.

Antal brugerhistorier	
Kommuner	50
Forsyninger	35
Virksomheder	20
Regioner	15
Staten	11
Landbrug	9
Universiteter	6

Styrelsen for
Dataforsyning og
Effektivisering

Hydrologiske data og modelberegninger på HIPdata.dk

Data og modelberegninger

Samlet adgang til hydrologiske data og landsdækkende modelberegninger af terrænnære hydrologiske forhold i historisk tid (1990-2019) og fremtid (2041-2100)

- **til screening** af terrænnære hydrologiske forhold (10-100 m grid, ca. 60.000 vandløbspunkter) inkl. API
- **download** af data og modelberegninger, herunder
- download af **randbetingelser** til udvikling af mere detaljerede analyser, modeller og planlægningsværktøjer,

der kan understøtte dialog og samarbejde, samt bidrage til bedre vandforvaltning, klimatilpasning og planlægning

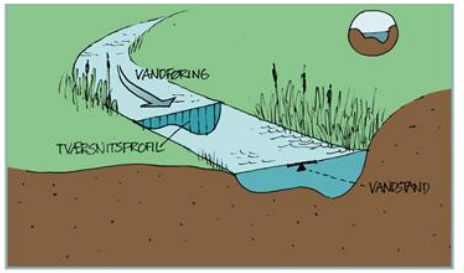
Samling af vandløbsdata-projektet (data fra kom-muner og Miljøstyrelsen)

Samling af regionernes terrænnære grundvandsdata giver bedre viden

Modelberegninger fra HIP4Plus projektet

HIP data og modelberegninger

Vandløbsdata
Vandstand & vandføring inkl. IoT, tværsnitsdata ← Indberet og se i HIP
Kommuner
Miljøstyrelsen
Danmarks Miljøportal



Terrænnært grundvand
Regioner
Kommuner
Jupiterdatabasen ← Indberet og se i HIP

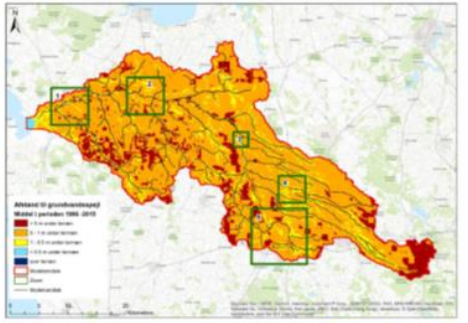
Havvandsstand
DMI
Kystdirektoratet

Hydrologiske modelberegninger i 10-100 m grid – historisk (1990- 2019) og fremtid (2041-2100)
Terrænnært grundvand, vandføring, jordvandsindhold, randbetingelser
GEUS

Miljø og Ressourcer nr. 3 (2019)

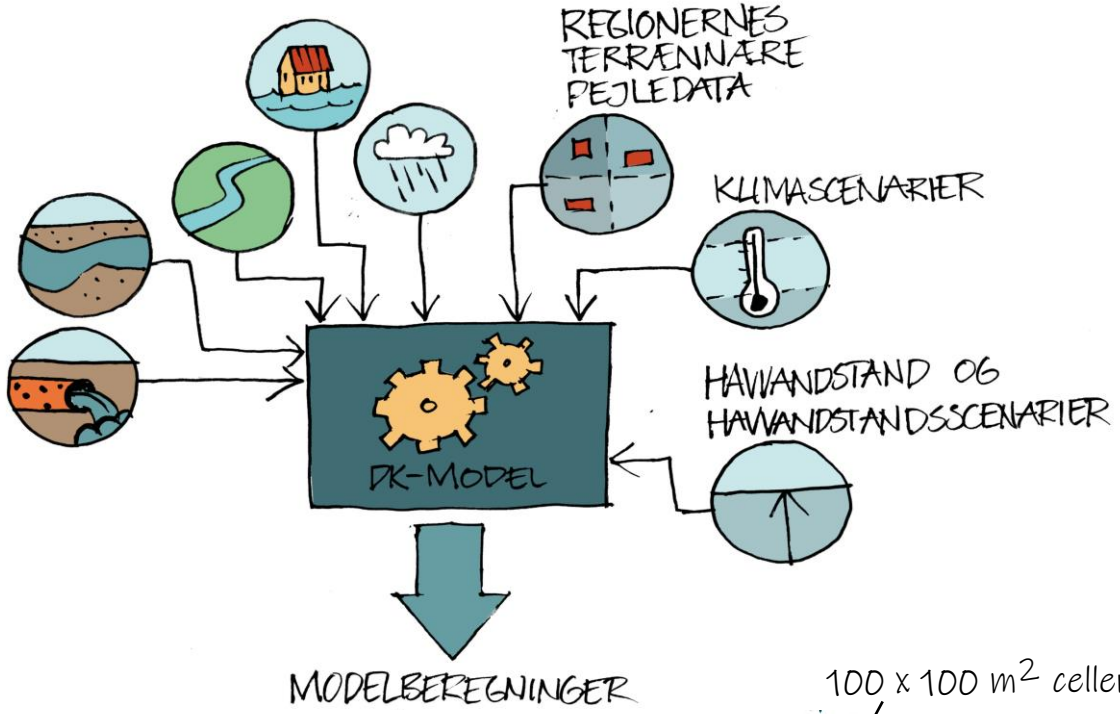
Oplandskort
Miljøstyrelsen
Landbrugsstyrelsen
DCE – Aarhus Universitet

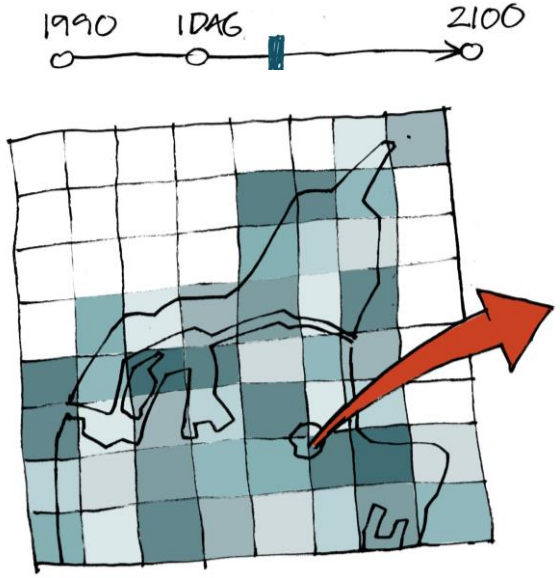
Terræn, vandløbsgeometri og andre støttedata
Støttedata og baggrundskort
SDFE m.fl.

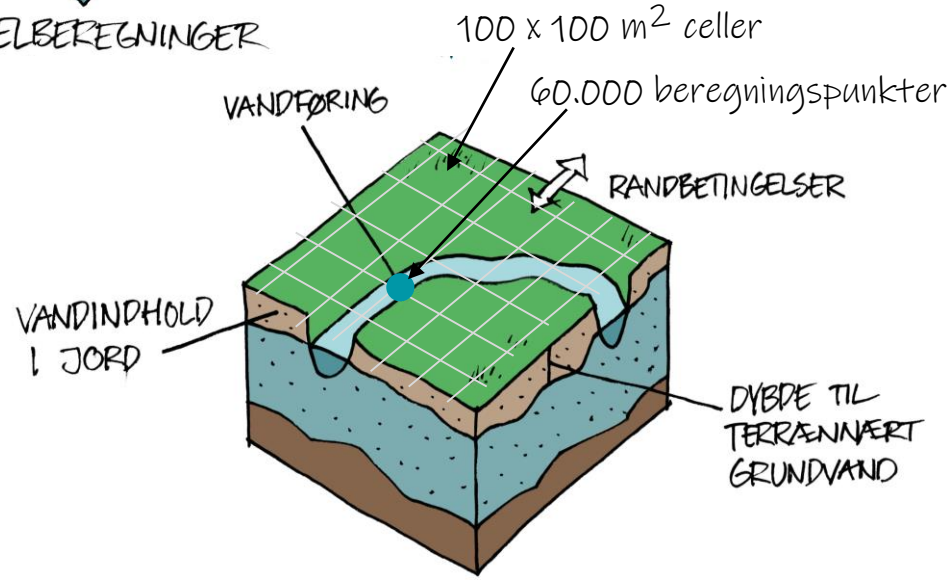

Stisen et al. (2018), GEUS, www.sdfe.dk/tkv

Modelberegninger med 'DK-model HIP'

- Landsdækkende modelberegninger til screening
- Data og randbetingelser til videreudvikling og detailplanlægning (fælles referenceramme)





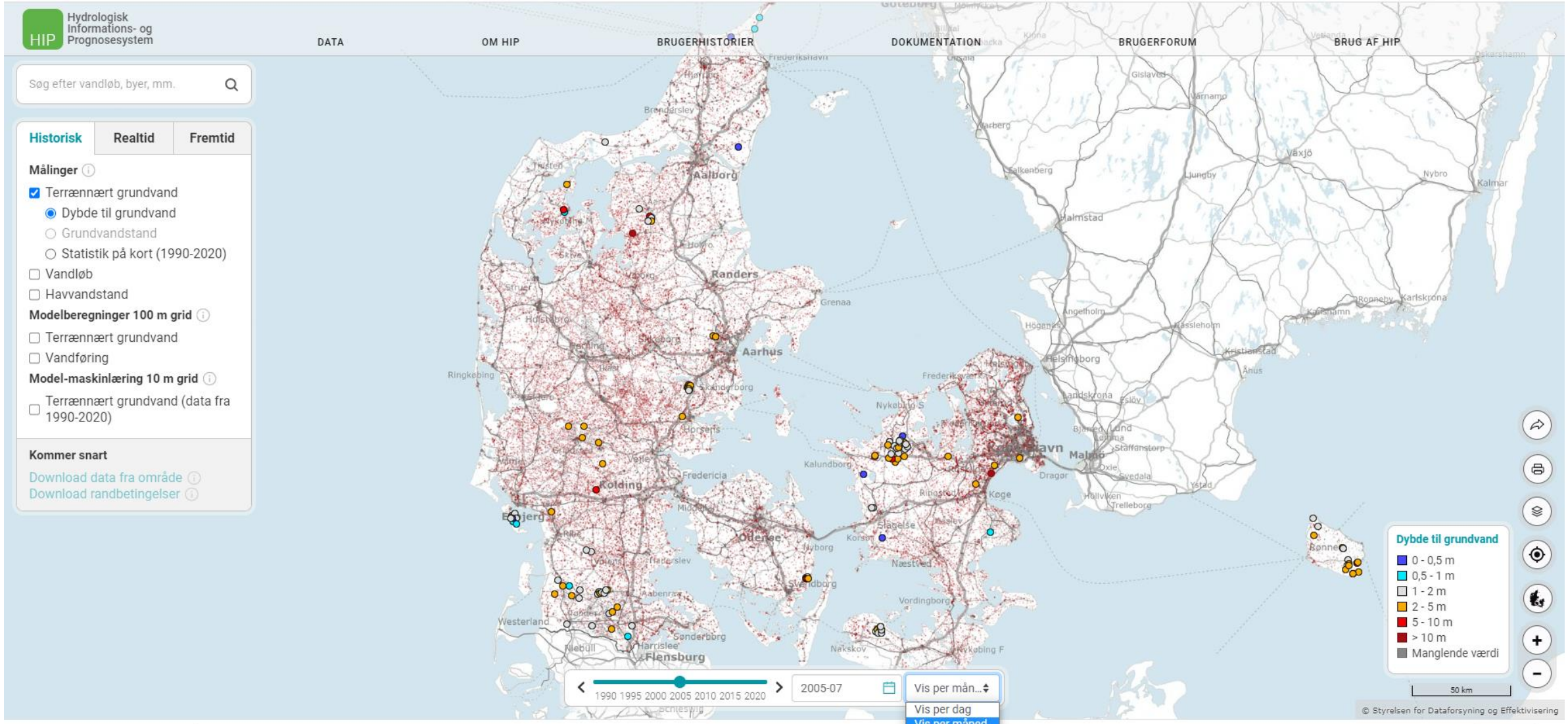


Hvad er randbetingelser?
Randbetingelser repræsenterer udveksling af vand med omgivelserne (over randen) for et mindre lokalt afgrænset område.

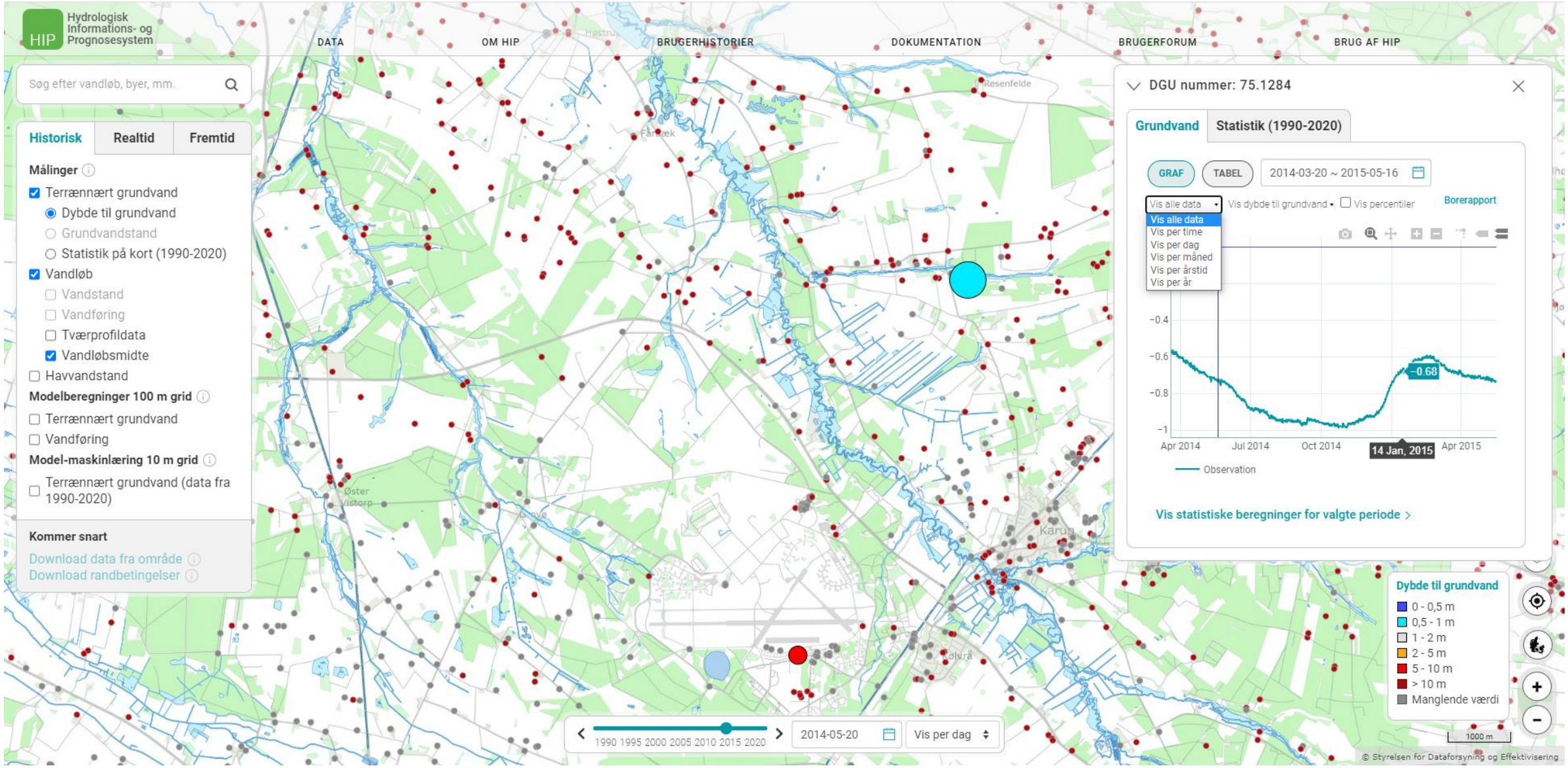
Styrelsen for
Dataforsyning og
Effektivisering

Data og funktionaliteter i HIP brugergrænsefladen

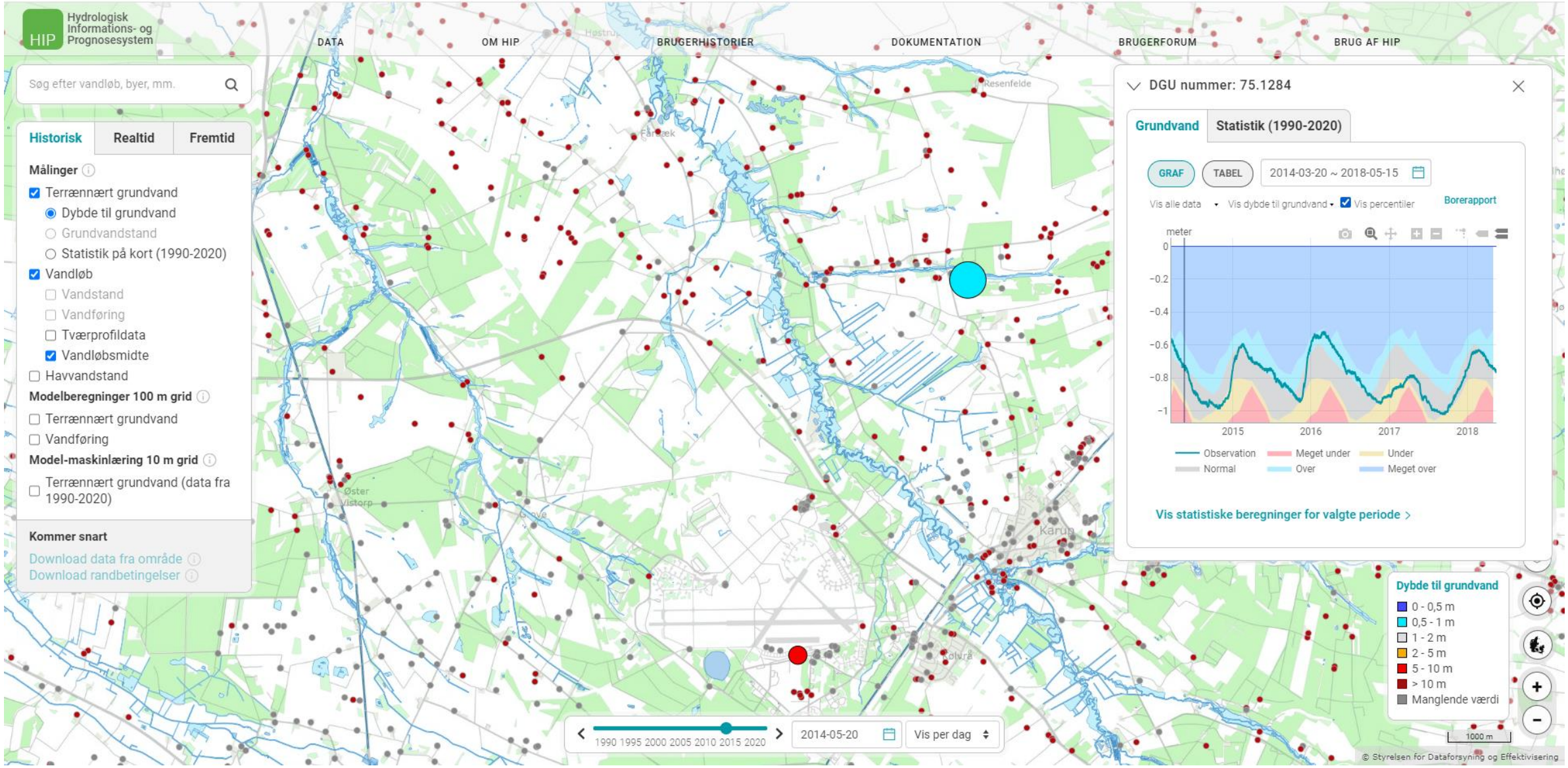
Historisk – Realtid - Fremtid



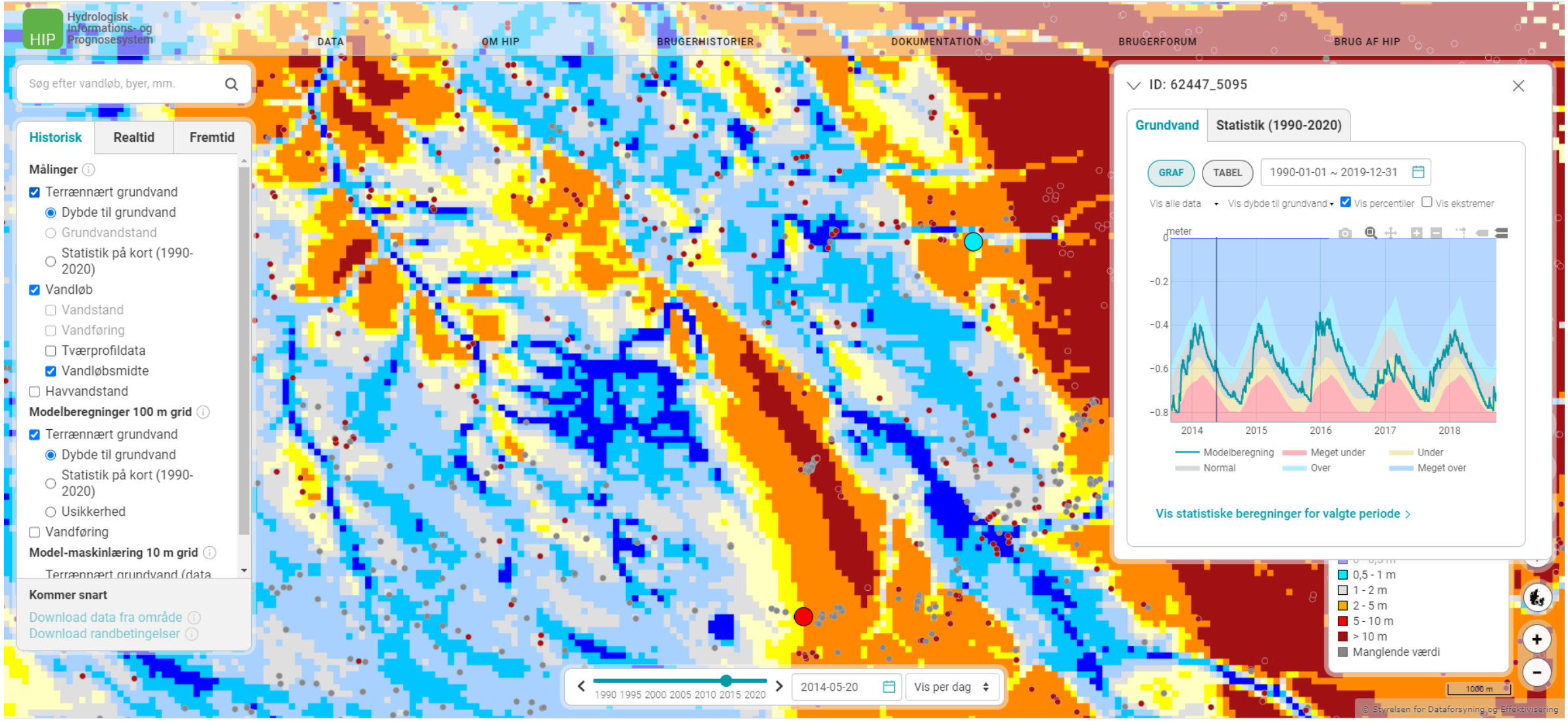
Se data på kort, i grafer og tabeller



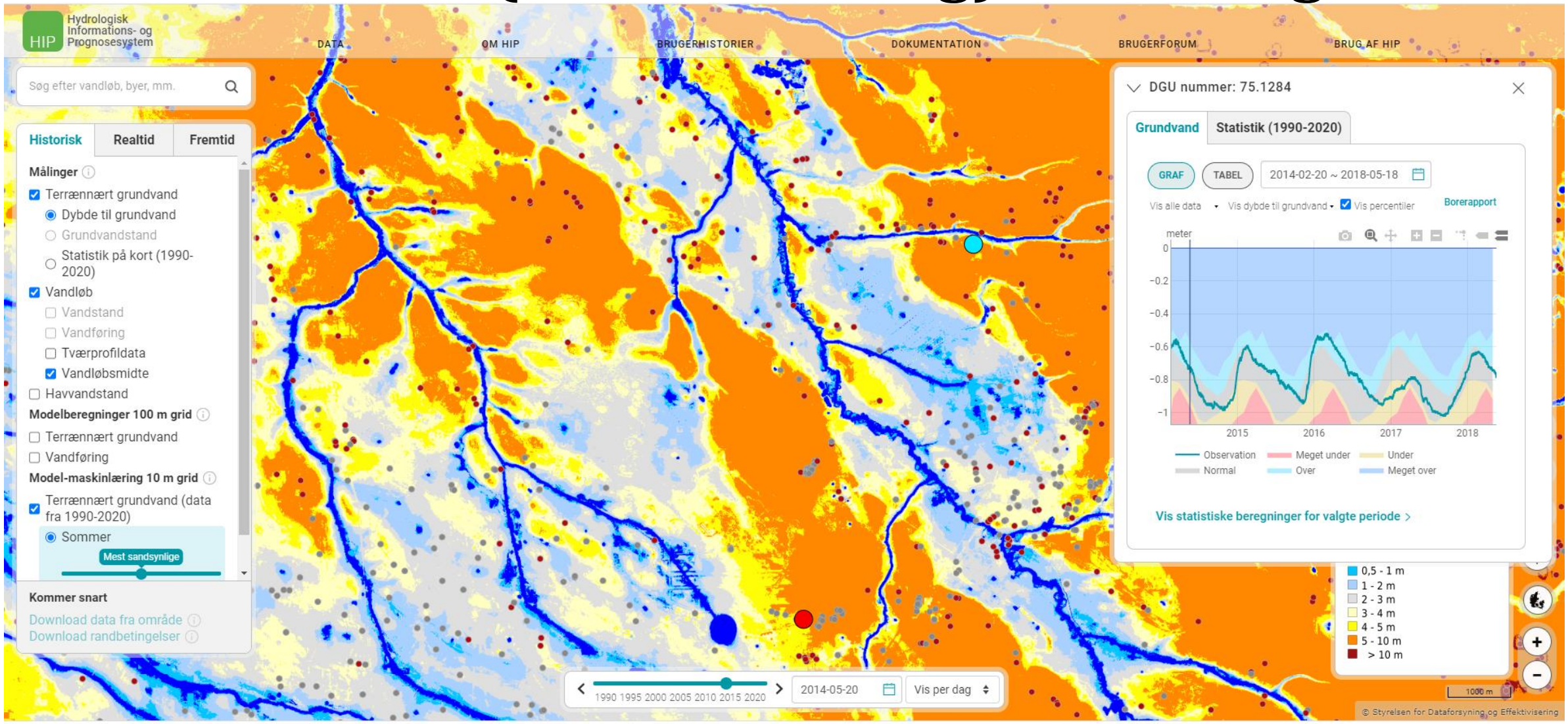
Er vandstanden højere end normalt?



Modelberegninger i 100 m grid

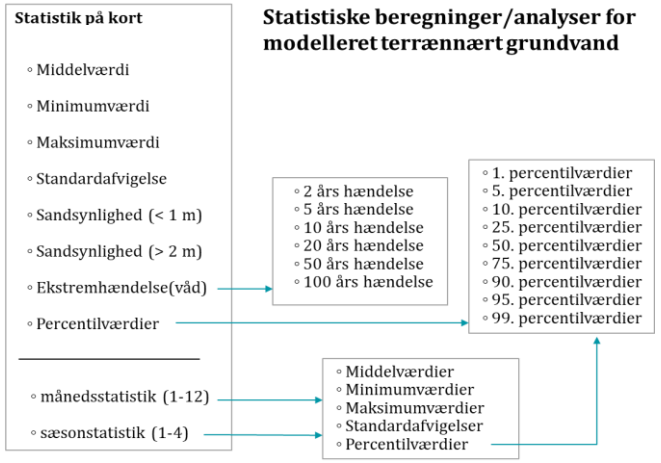


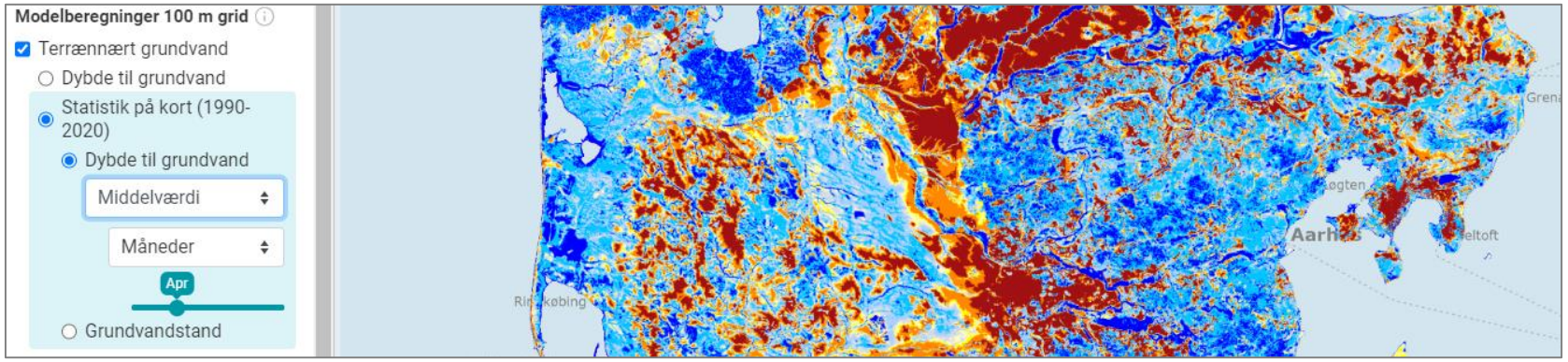
Nedskalereret (maskinlæring) til 10 m grid

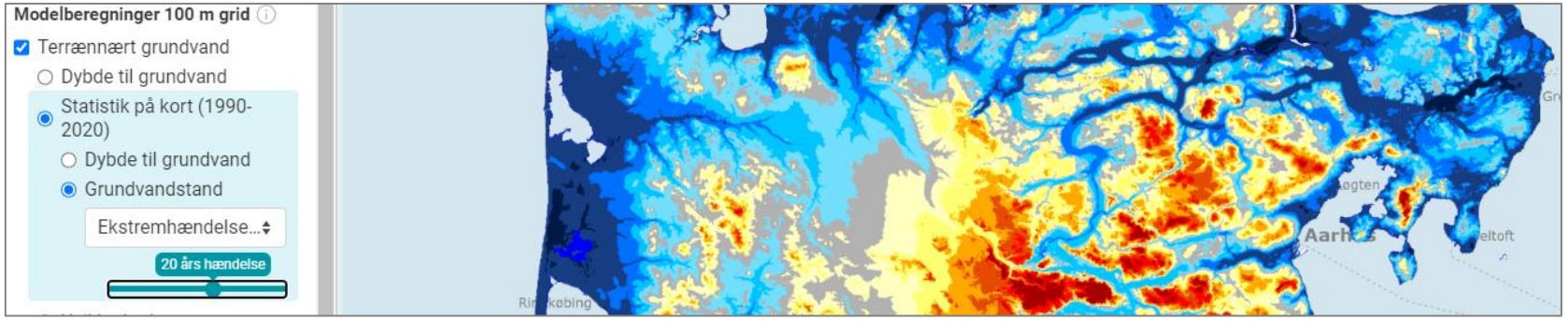


Statistiske beregninger

for perioden 1/1 1990 – 31/12 2019







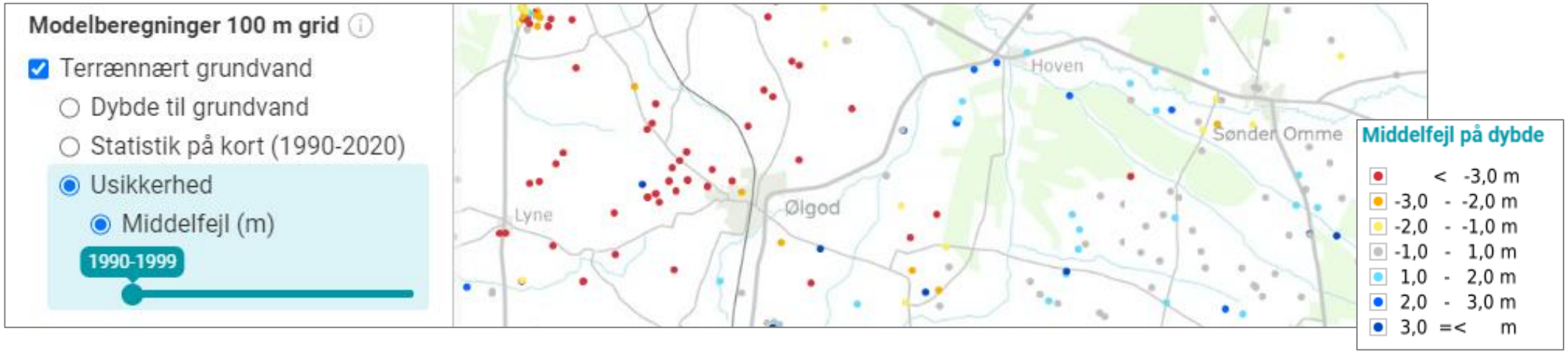
Dybde til grundvand i 100m grid

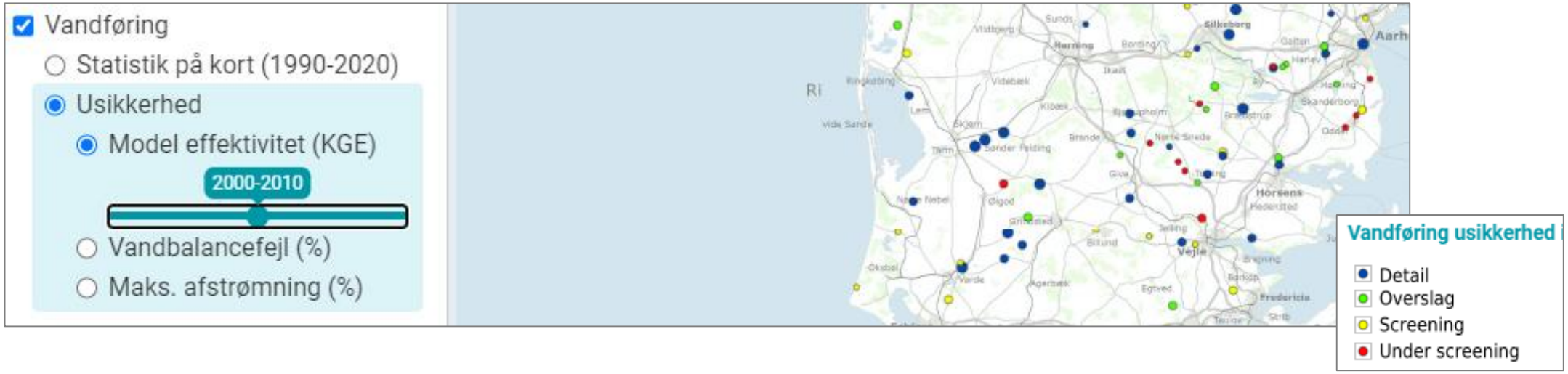
- 0 - 0,5 m
- 0,5 - 1 m
- 1 - 2 m
- 2 - 3 m
- 3 - 4 m
- 4 - 5 m
- 5 - 10 m
- > 10 m

Grundvandsstand (DVR90) i 100m grid

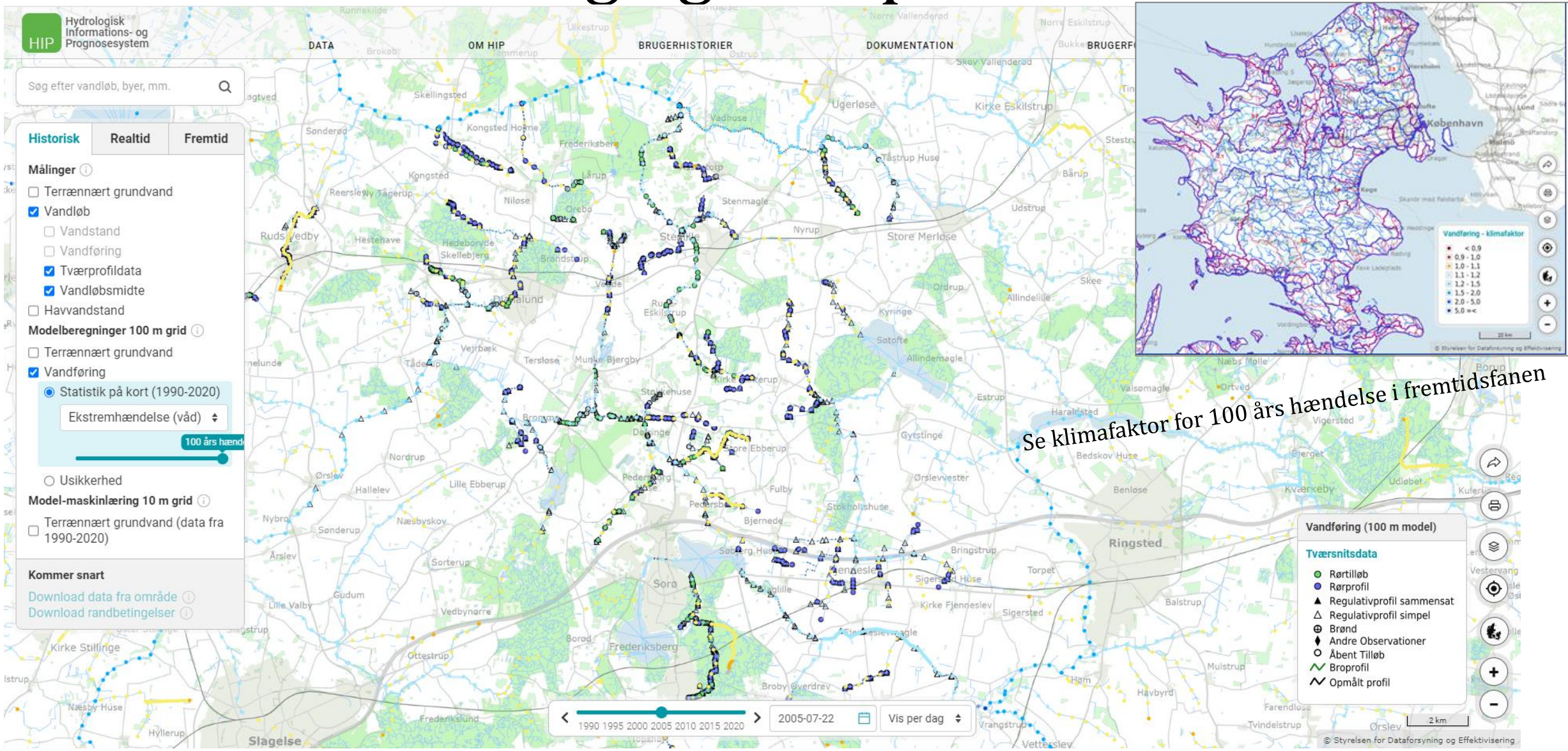
- < 0 m
- 0 - 10 m
- 10 - 20 m
- 20 - 30 m
- 30 - 40 m
- 40 - 50 m
- 50 - 60 m
- 60 - 70 m
- 70 - 80 m
- 80 - 90 m
- 90 - 100 m
- > 100 m

Hvad med modelusikkerhed…?

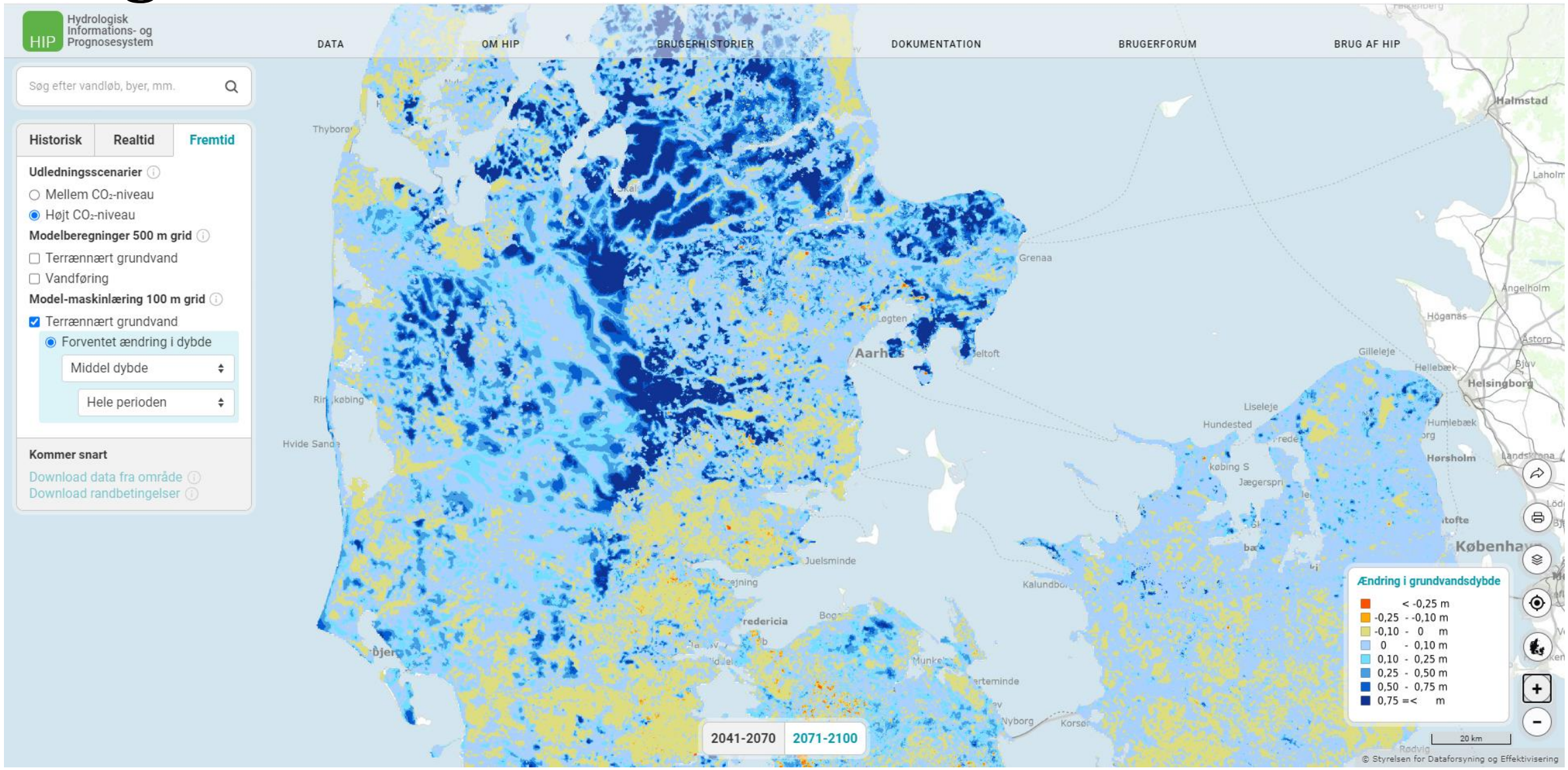




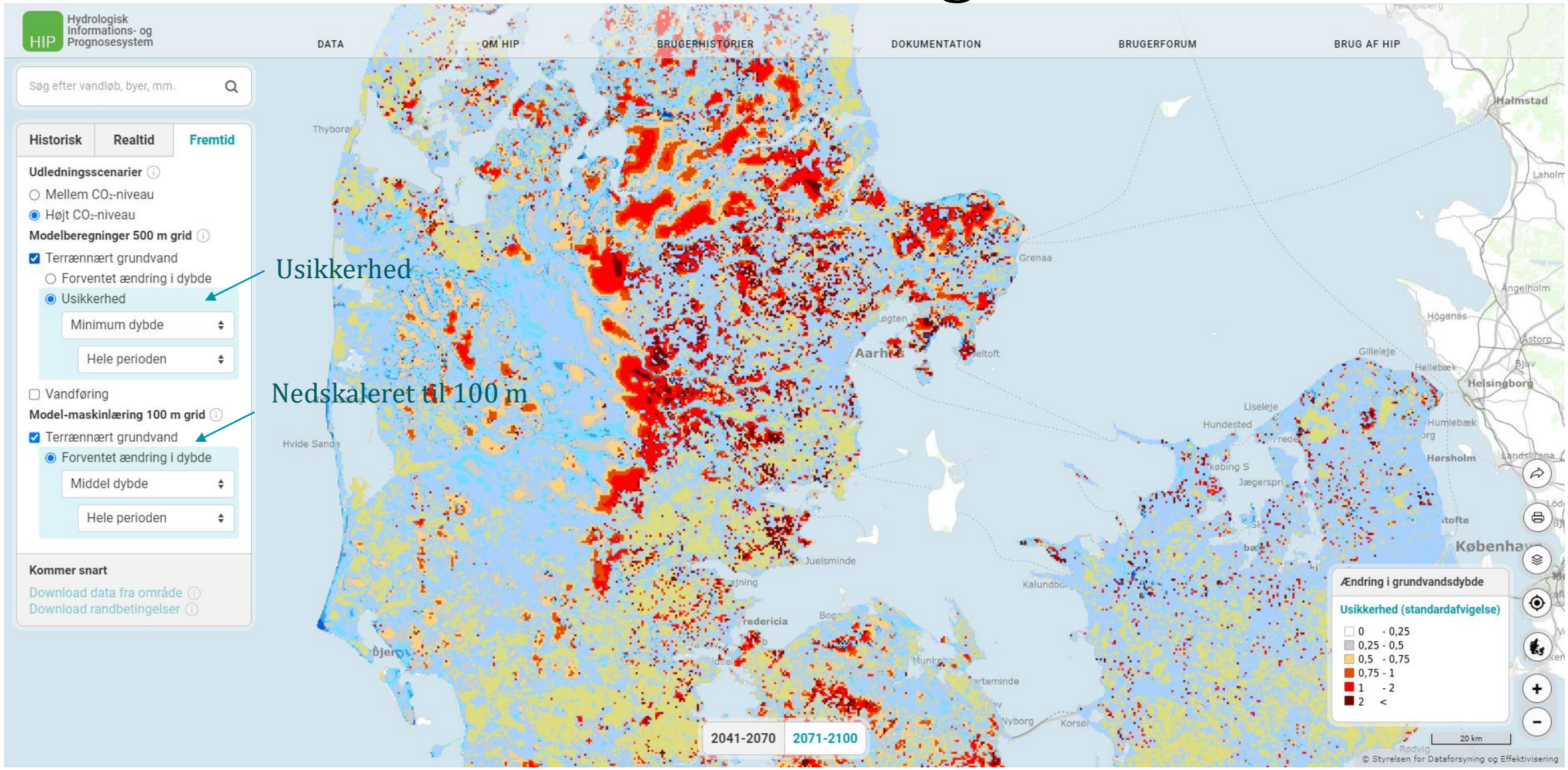
100-års vandføring og tværprofildata



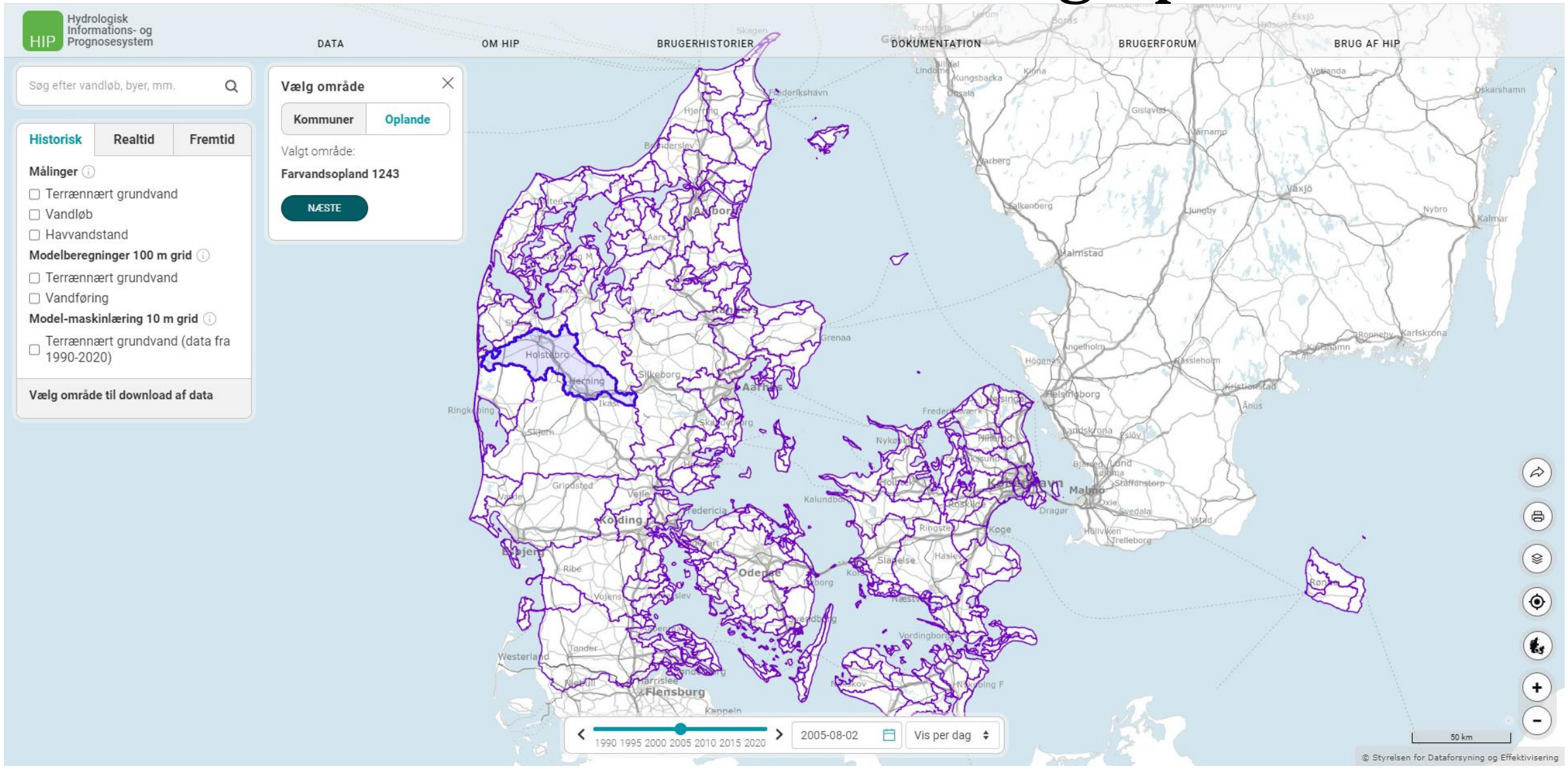
Prognoser for fremtiden



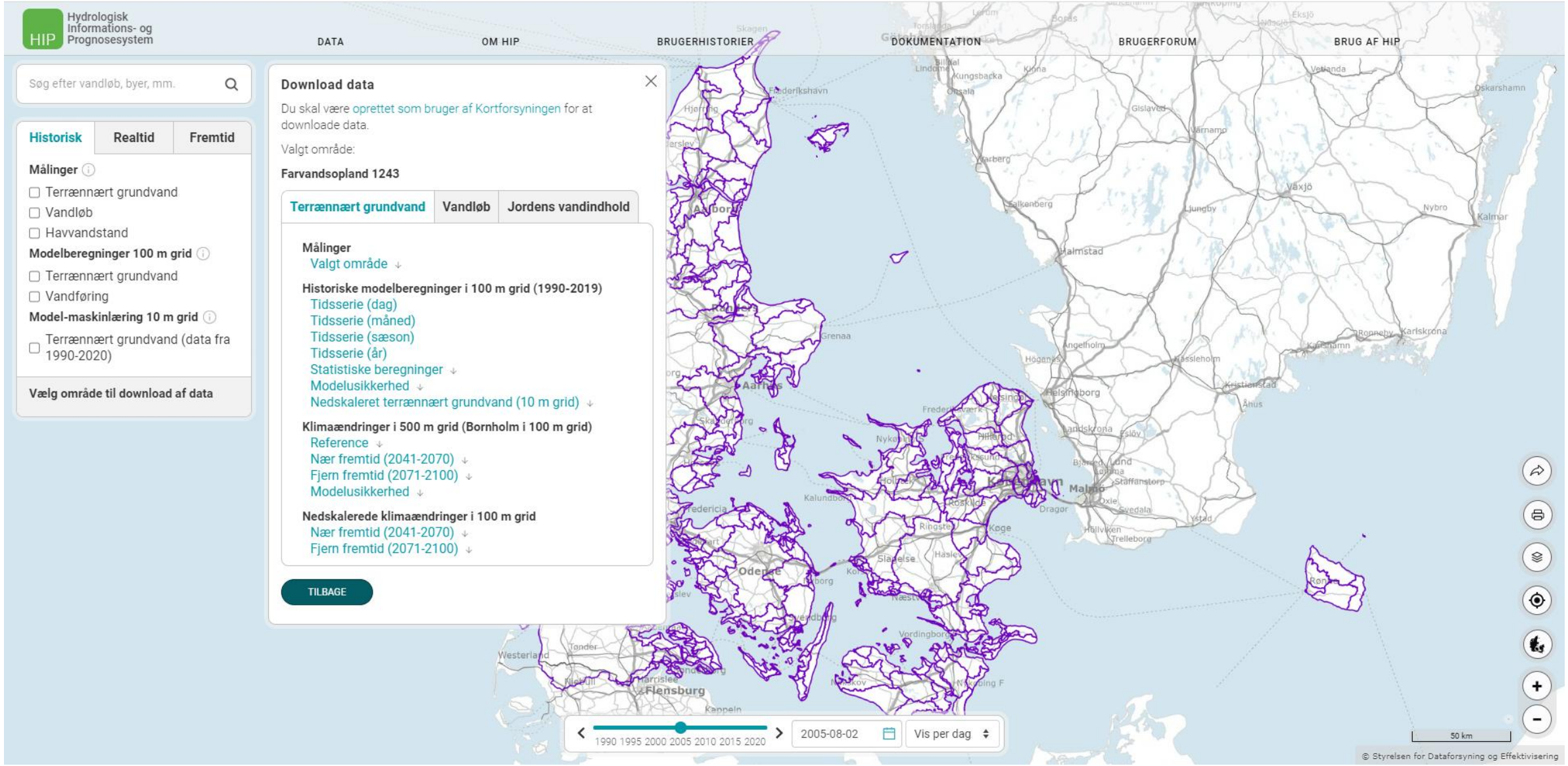
Usikkerhed for klimaændringerne



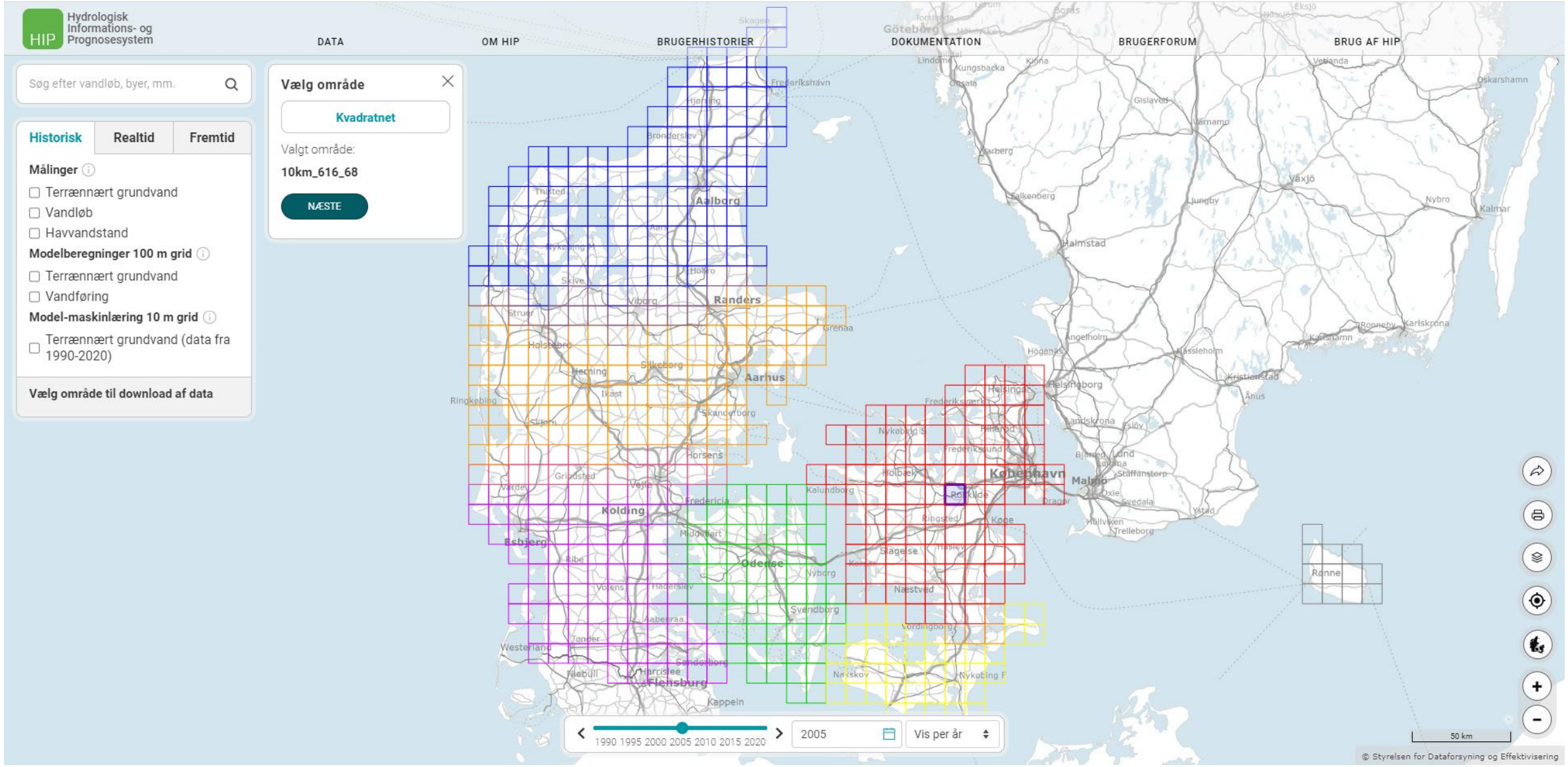
Download data for kommuner og oplande



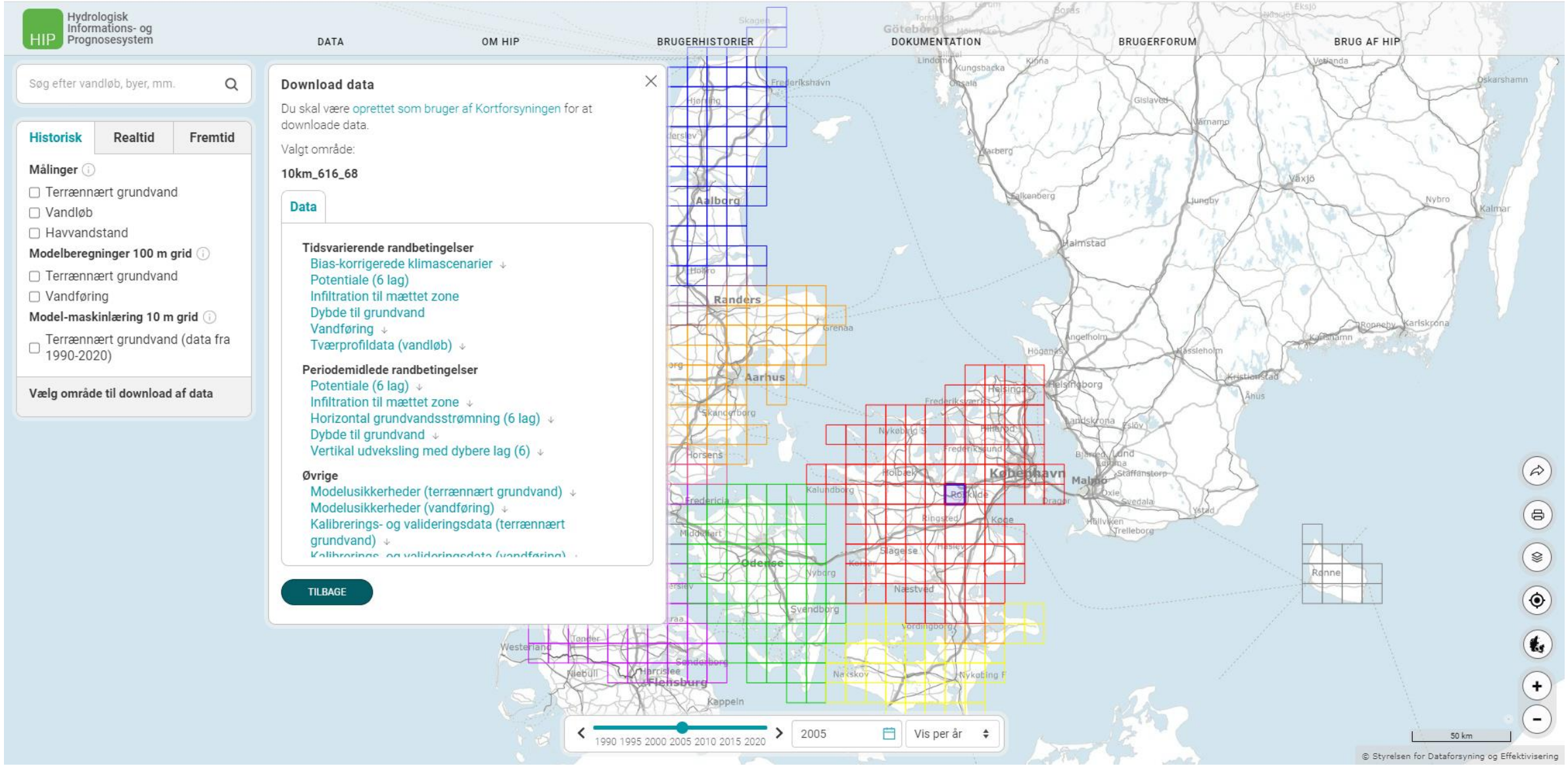
Download data for kommuner og oplande



Download randbetingelser



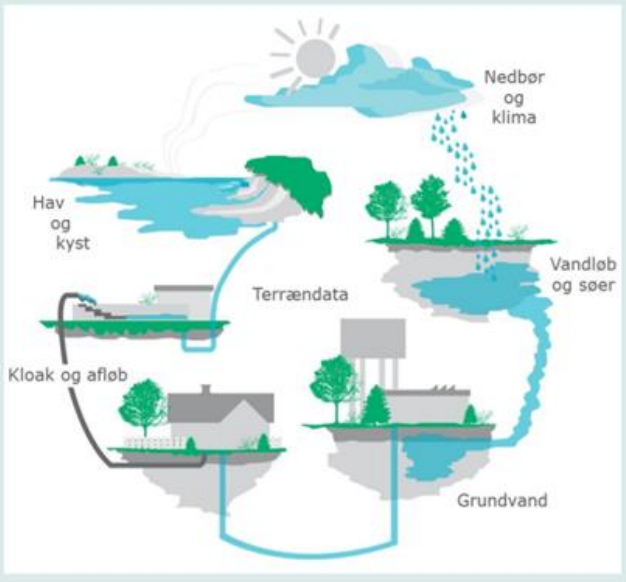
Download randbetingelser



Hvilken værdi for anvendere og samfund?

Brugerhistorier

- Kommunale planlæggere og klimamedarbejdere
- Vandløbs-, spildevands- og grundvandsmedarbejdere
- Forsyningsmedarbejdere
- Regionale medarbejdere
- Medarbejdere i staten
- Landbruget
- It-udviklere
- Rådgivende ingeniører



Værdi af HIP

”Beslutningstagere/anvendere kan bruge den viden, som HIP skaber til at træffe bedre beslutninger om planlægning og investering i bl.a. klimatilpasning, grundareal-anvendelse og vandløbsforvaltning”

Værdi af HIP ≈ 58 mio. kr per år

≈ 116 mio. kr per år
(*inkl. oversvømmelseskortlægning, realtidsmodelberegninger og bedre adgang til terrænnære grundvands-data*)

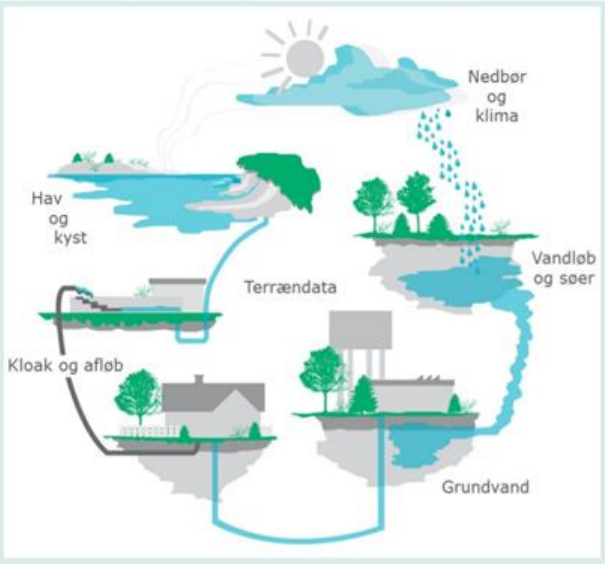
Behov og muligheder for videreudvikling?

Oversvømmelseskortlægning
Realtidsmodellering (screening og randbetingelser)
Befæstelseskortlægning og andre urbane data

Styrelsen for
Dataforsyning og
Effektivisering

Opsamling

- **Samlet adgang** til data og modelberegninger om terrænnære hydrologiske forhold i HIPdata.dk skal understøtte klimatilpasning og vandforvaltning
- **Visualisering af data og beskrivende statistiske beregninger** skal understøtte dialog og samarbejde på tværs af administrative grænser og sektorer
- **Download af modelberegninger inkl. randbetingelser** til videreudvikling og detailplanlægning
- Alle data tilgængelige som **webservices**
- Stort anvendelsesværdi til **klimatilpasning og vandforvaltning**



Introduktion til MapField

Birgitte Hansen, Seniorforsker, GEUS

Erfaringer ved tTEM kortlægning i Mapfield

Vintermøde ATV Jord og Grundvand, 9. marts 2021

Senior Geofysiker, Jesper Bjergsted Pedersen
HydroGeofysik Gruppen, Institut for Geoscience,
Aarhus Universitet, Danmark

Indhold

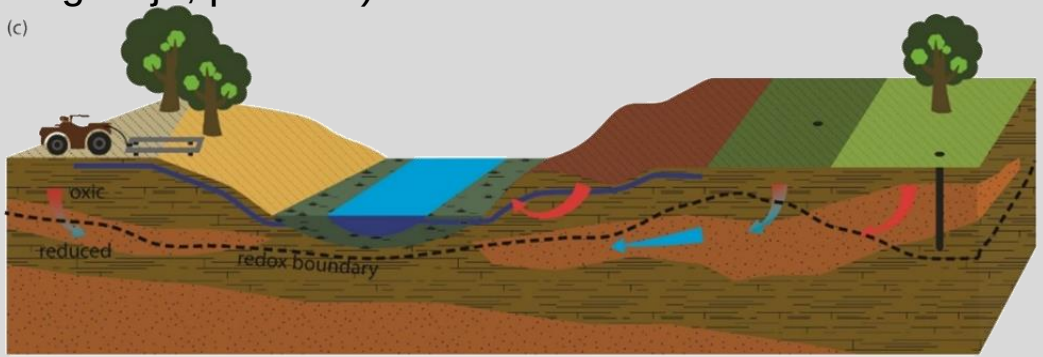
- **Motivation**
- **tTEM systemet – hvordan virker det?**
- **Kortlægningseksempler**
  - MapField-områderne
  - Råstoffer
  - Punktkildeforurening
  - Udlandet

Indhold

- **Motivation**
- **tTEM systemet – hvordan virker det?**
- **Kortlægningseksempler**
  - MapField-områderne
  - Råstoffer
  - Punktkildeforurening
  - Udlandet

Motivation

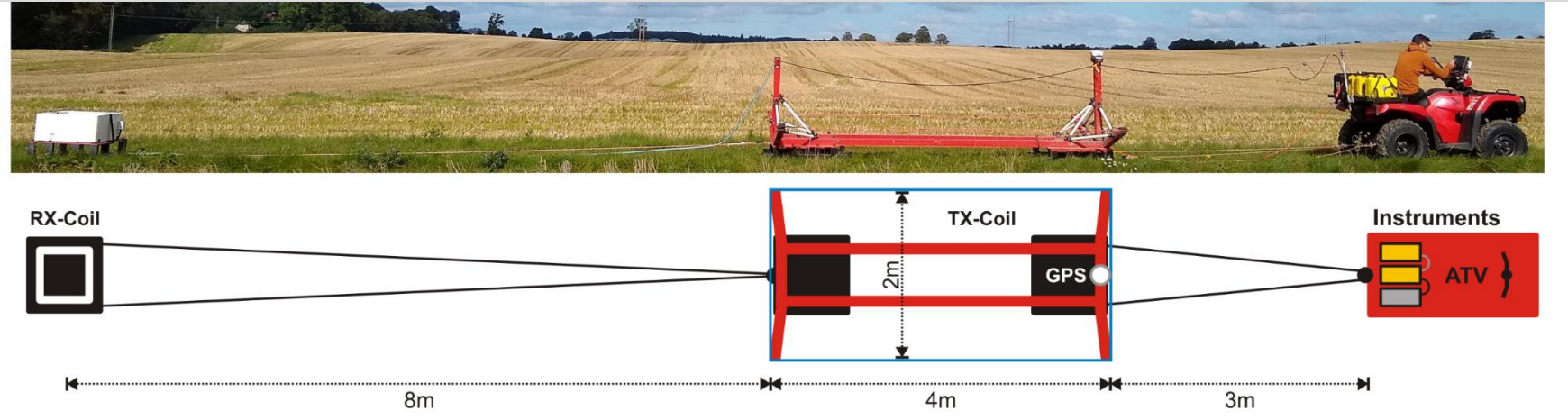
- **tTEM udviklingen drevet af behovet for en kortlægningsmetode til at beskrive følgende på mark-skala:**
  - Overflade-/grundvands-interaktion (geologiske strukturer, grundvands-ressource sårbarhedskortlægning)
  - Geoteknisk anvendelse (byggemodning, etablering af veje)
  - Råstoffer (sand-grus)
  - Punktkildeforureninger (strømingsveje, perkolat)
- **Behov for**
  - Høj opløsning
  - Fladedækning
  - Hurtig og kost-effektiv



Indhold

- **Motivation**
- **tTEM systemet – hvordan virker det?**
- **Kortlægningseksempler**
  - MapField-områderne
  - Råstoffer
  - Punktkildeforurening
  - Udlandet

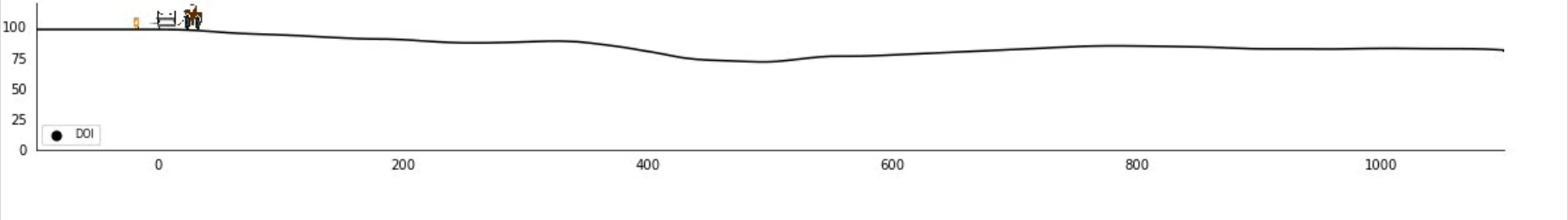
tTEM systemet - design



- 10-20 km/t ~ 3-5 m/s
- Målinger tager få millisekunder (3-10 m lateral opløselighed), 10-30 m mellem linjerne = 3D!!
- Indtrængningsdybde på 0-100 m, har mest opløsning i de øvre 30 m
- Kortlægge 100-260 hektar per dag
- Real-tid resultater og navigation software til visning af kortlægnings linjer mm.

tTEM systemet – I felten

tTEM systemet – hvad måler vi?

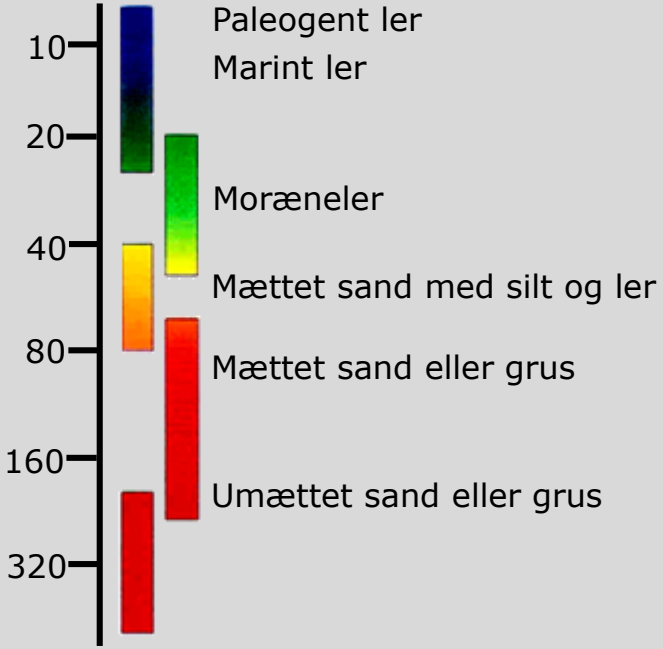


tTEM systemet – hvad måler vi?

Modstand er afhængig af:

- Sedimenttype – sand eller ler
- Ionindhold of porevand
- Porøsitet

Modstand af forskellige jordtyper:



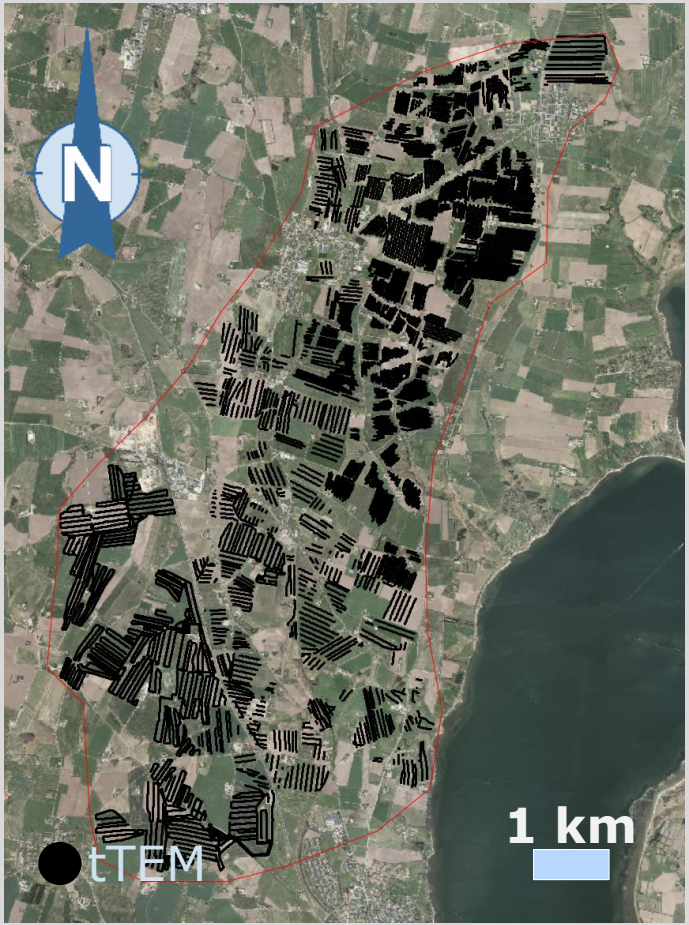
tTEM systemet

- **tTEM – åbne landskab**
- **FloaTEM – søer, floder og lav-vandet saltvand**
- **SnowTEM – permafrost**

Indhold

- **Motivation**
- **tTEM systemet – hvordan virker det?**
- **Kortlægningseksempler**
  - MapField-områderne
  - Råstoffer
  - Punktkildeforurening
  - Udlandet

Kortlægningseksempel – Mapfield



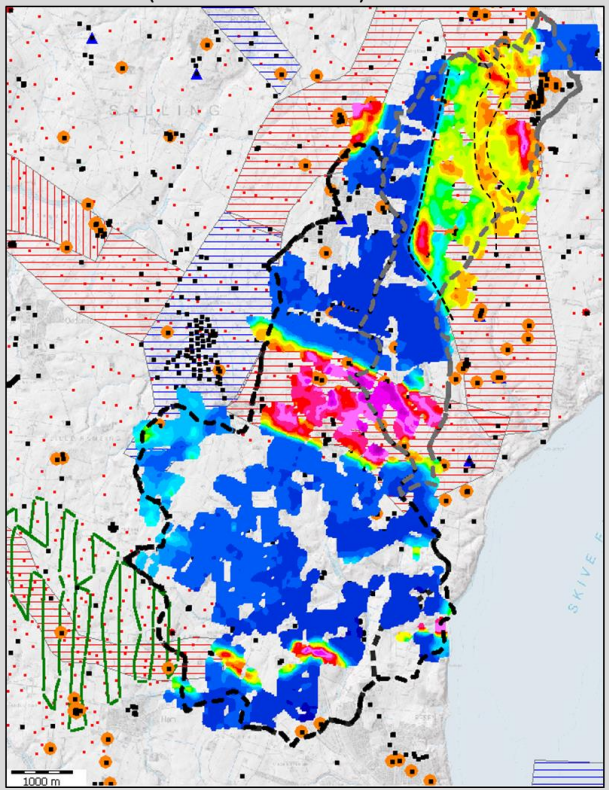
Demosite - Skive

- 4200 hektar stort område
- 25-75 m linje afstand
- Kortlægningen tog 23 dage (Corona)

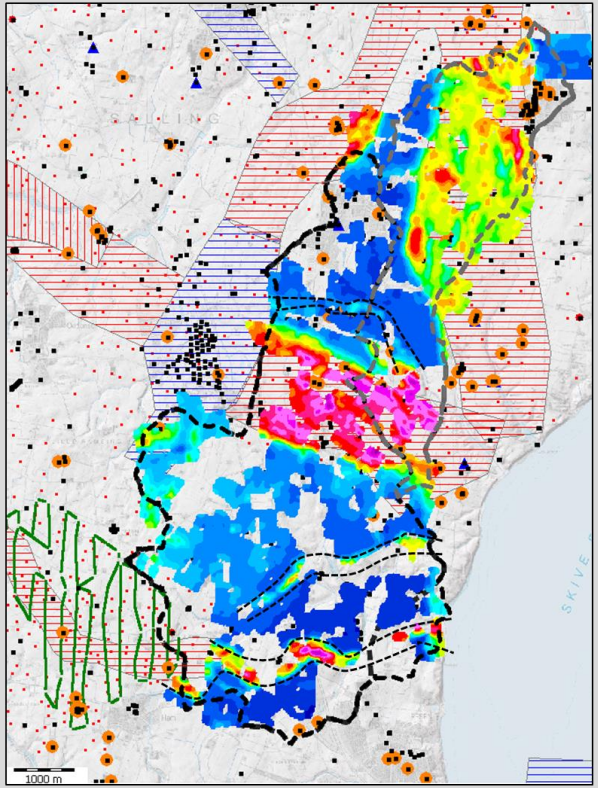
HydroGeophysics Group
AARHUS UNIVERSITY

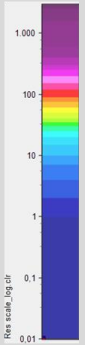
Kortlægningseksempel – Mapfield

Kote -20 m (tTEM 30L smooth)



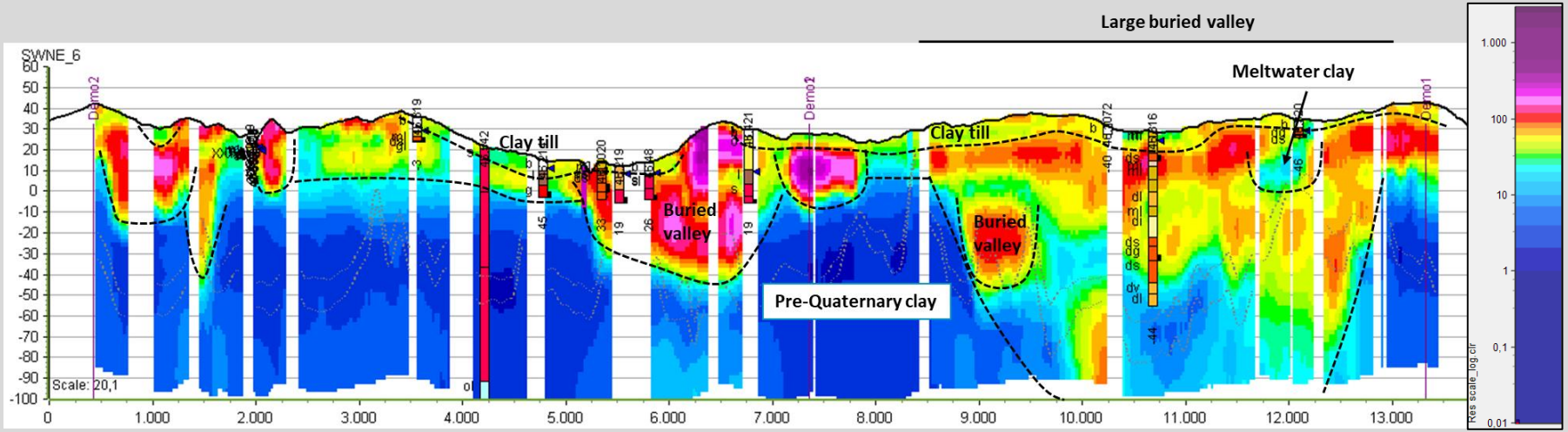
Kote -10 m (tTEM 30L smooth)





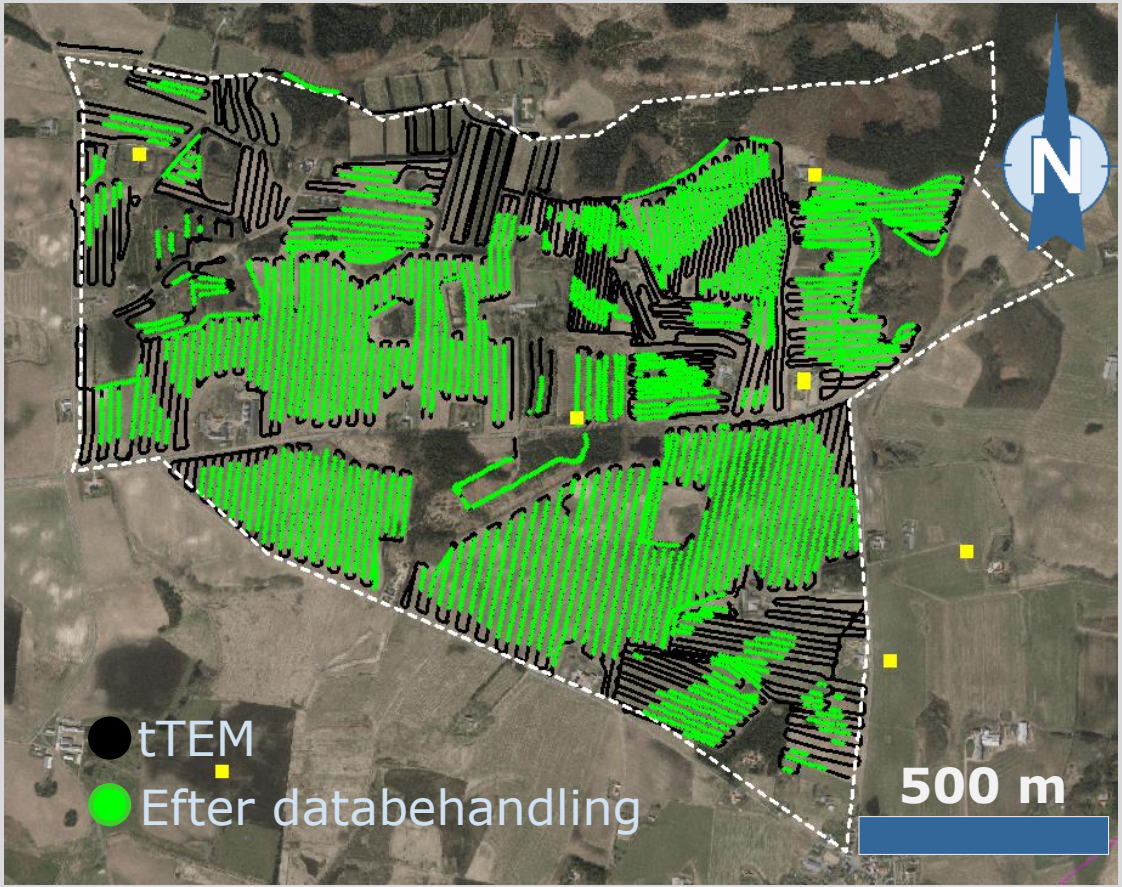
Tak til Anders Kallesøe, GEUS

Kortlægningseksempel – Mapfield



Tak til Anders Kallesøe, GEUS

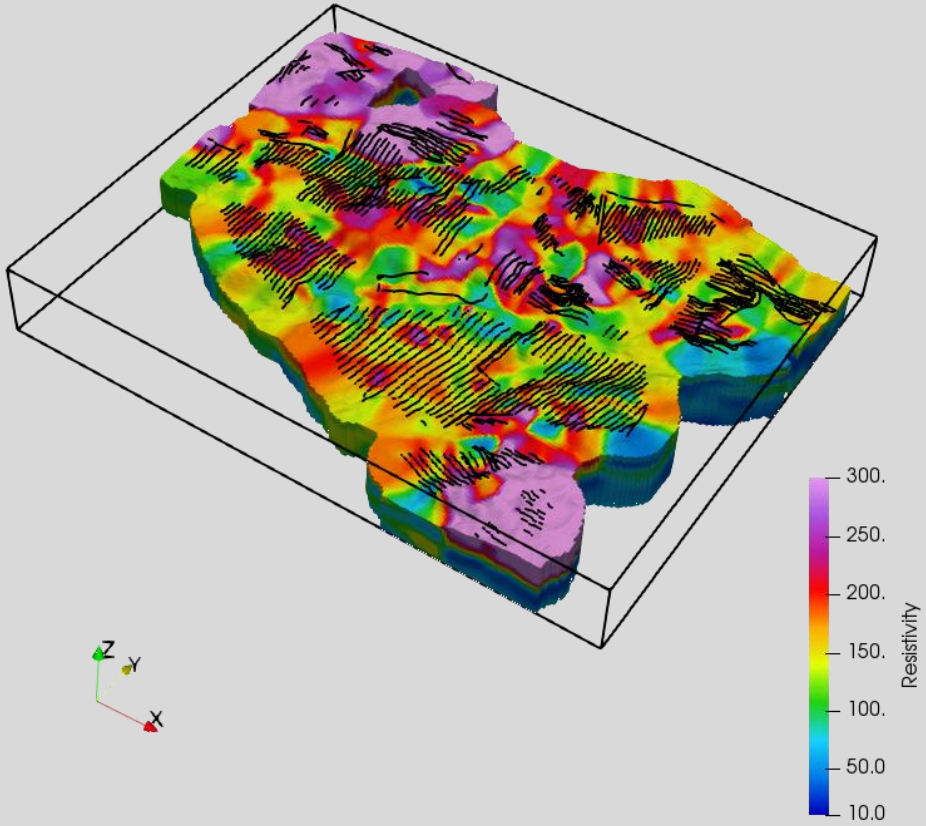
Kortlægningseksempel – råstofkortlægning



Vendsyssel

- Kortlægning af sand og grus forekomster
- 350 hektar Stendal Mark
- 25 m linje afstand
- Kortlægning tog 3 dage
- Projekt med Orbicon og Region Nordjylland

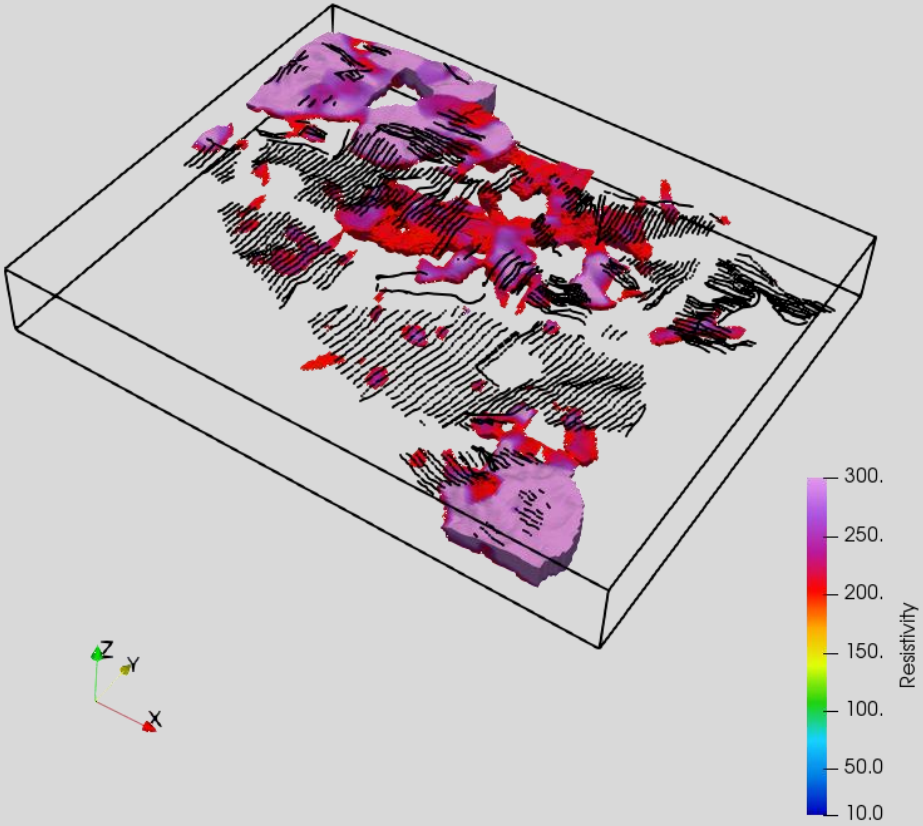
Kortlægningseksempel – råstofkortlægning



Vendsyssel

- Kortlægning af sand og grus forekomster
- 350 hektar Stendal Mark
- 25 m linje afstand
- Kortlægning tog 3 dage
- Projekt med Orbicon og Region Nordjylland

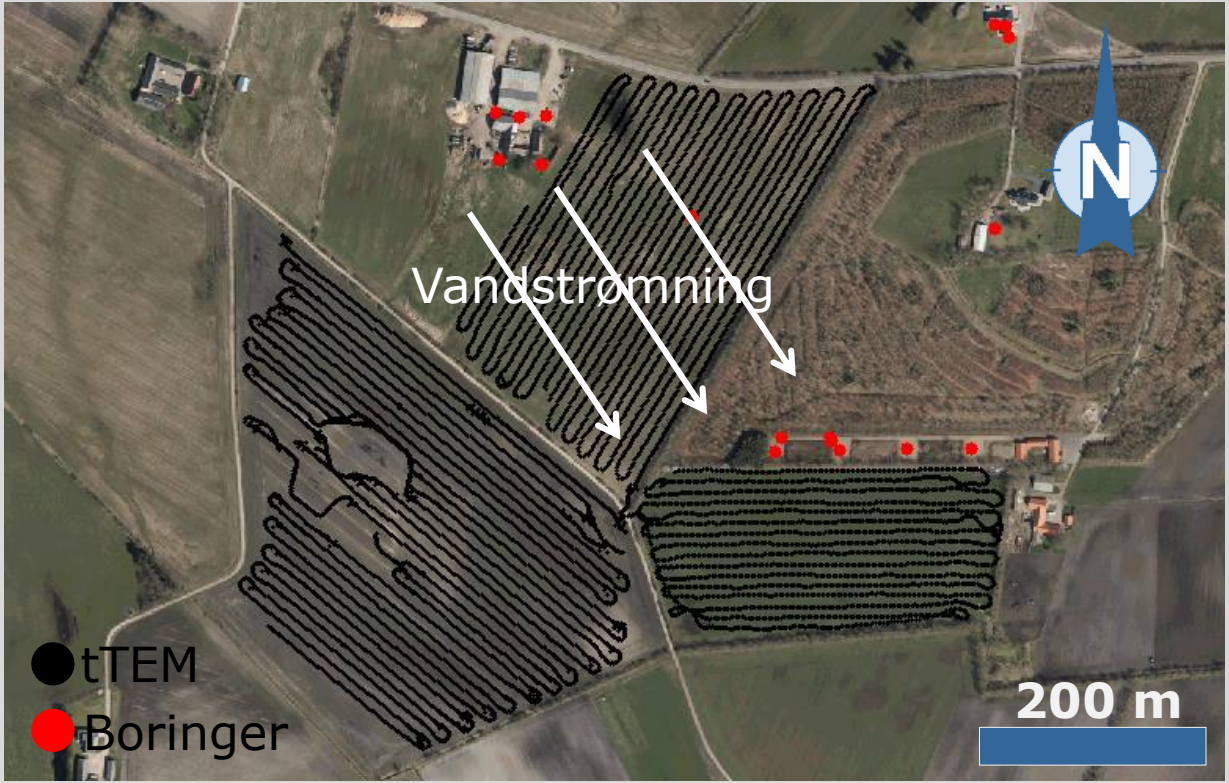
Kortlægningseksempel – råstofkortlægning



Vendsyssel

- Kortlægning af sand og grus forekomster
- 350 hektar Stendal Mark
- 25 m linje afstand
- Kortlægning tog 3 dage
- Projekt med Orbicon og Region Nordjylland

Forureningskortlægning ved Vildbjerg



Vildbjerg

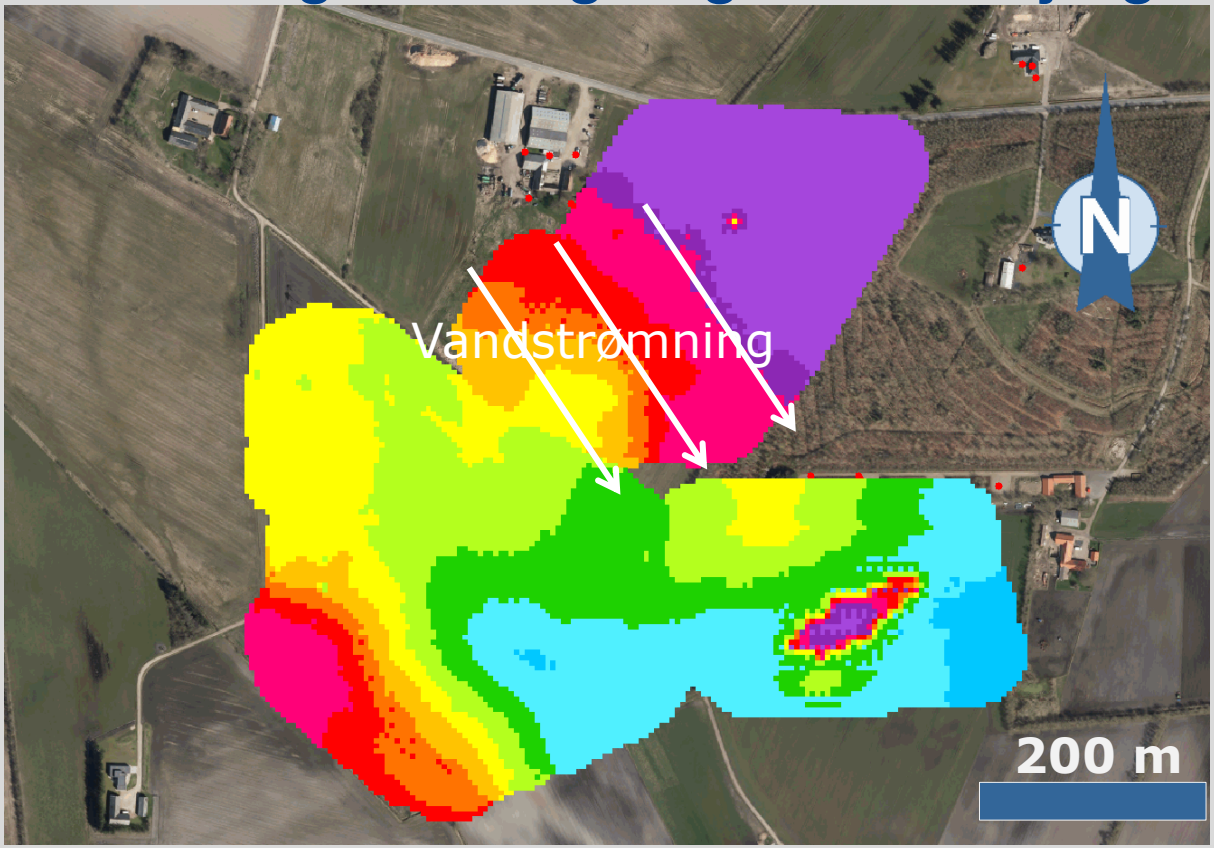
- Pesticid forurening, undersøge tykkelse af overfladenært lerlag
- 24,1 km data -> 2410 modeller
- 10 m linje afstand
- Kortlægningen tog 2 timer
- 12 boringer

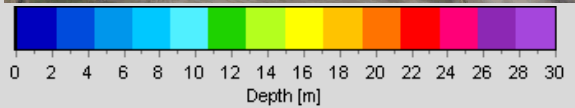
midt Central Denmark Region

TOP SOIL Interreg North Sea Region European Regional Development Fund EUROPEAN UNION

HydroGeophysics Group
AARHUS UNIVERSITY

Forureningskortlægning ved Vildbjerg





Vildbjerg

- Pesticid forurening, undersøge tykkelse af overfladenært lerlag
- 24,1 km data -> 2410 modeller
- 10 m linje afstand
- Kortlægningen tog 2 timer
- 12 boringer

- Tykkelse glimmerler-moræneler (30 ohm-m grænse)

HydroGeophysics Group
AARHUS UNIVERSITY

Udlandet – Sydafrika, Tanzania, Kenya, Zimbabwe..

- Kortlægning af grundvand ved de glemte flygtningelejre.
- Projekt med Poul Due Jensen fonden og NGO Water Mission

Udlandet – og mange flere!

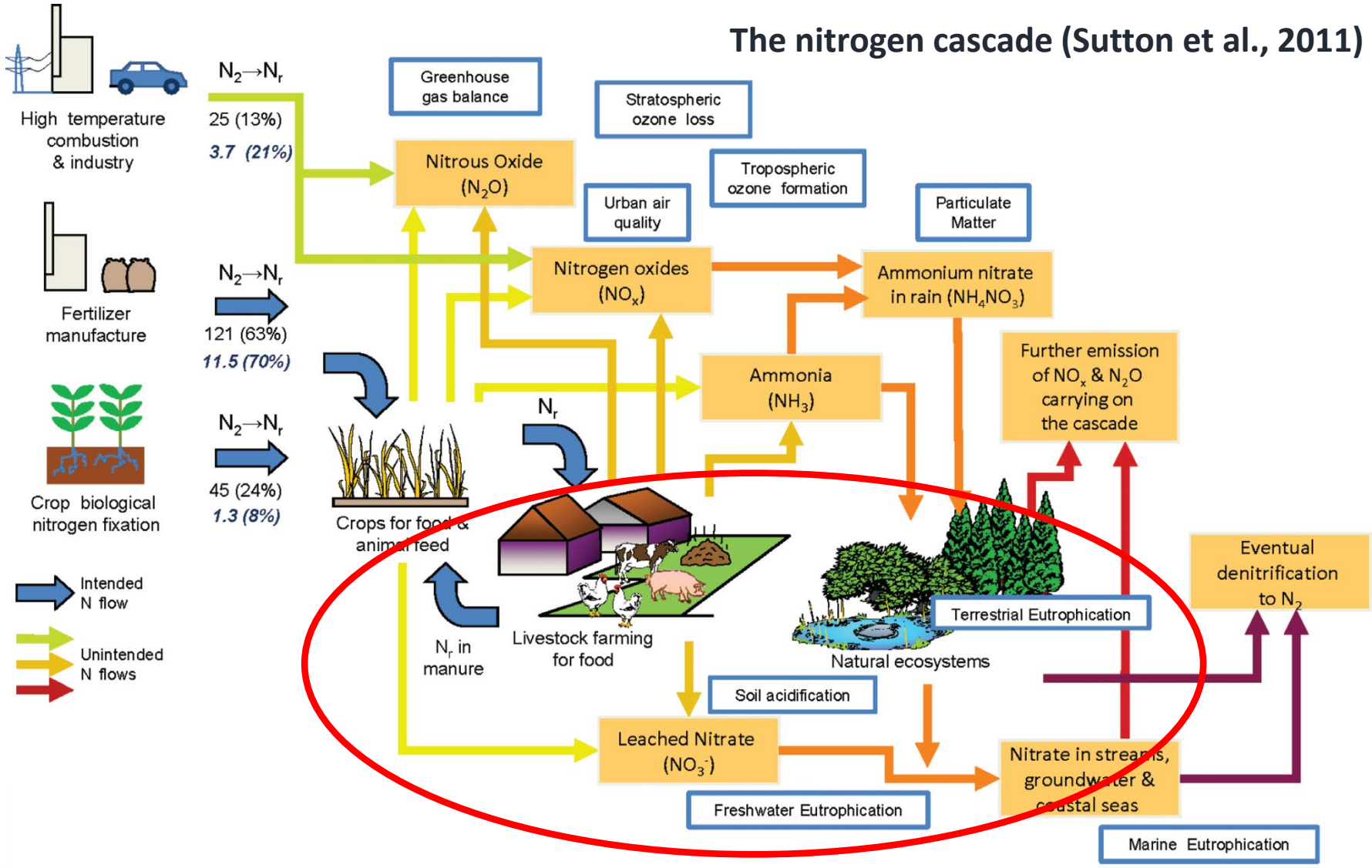
- **Californien**
  - Kunstig infiltration af overfladevand
- **Mississippi floden**
  - Vandbalance, risikovurdering ift. oversvømmelse (FloaTEM)
- **Sverige**
  - Kunstig infiltration af overfladevand, kortlægning af kvik-ler (jordskred)
- **Belgien**
  - Saltvandsindtrængning
- **Holland**
  - Kortlægning af den hydrologiske vigtige enhed potklei
- **Schweiz**
  - Geologisk kortlægning ift. vand og geotermiske energiressourcer
- **Grønland**
  - Permafrost og fund af tabt Airbus flymotordel
- **England**
  - Kortlægning af grundvand i opsprækket kalk
- **New Zealand**
  - Nitrat forurening
- **Tyskland**
  - Nitrat forurening

Tak for opmærksomheden!
MapField
Innovationsfonden

KVÆLSTOF

Gødning og miljøproblem

The nitrogen cascade (Sutton et al., 2011)



MapField

Innovationsfonden

Kvælstofregulering i landbruget

1985 -
- Samme regulering overalt

MapField

Innovationsfonden

Kvælstofregulering i landbruget

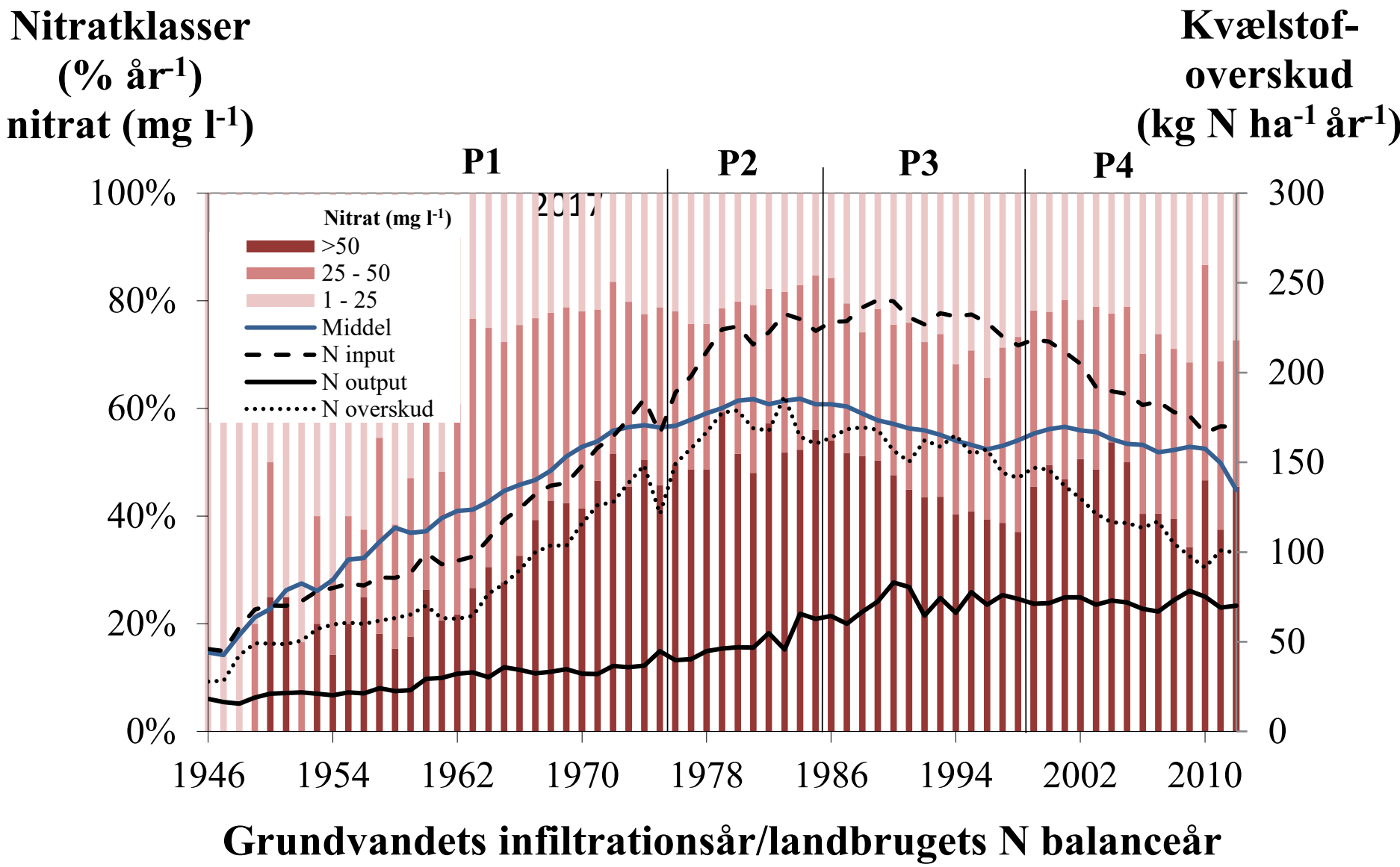
1985 -	Samme regulering overalt
2013	Målrettet regulering foreslået af Natur-og Landbrugskommissionen
2019	Implementering of målrettet regulering på ID15 skala (15 km^2)
2021	Nyt landbrugsudspil med mere målrettet regulering?

MapField

Innovationsfonden

Nitrattrends i iltet grundvand

Der er brug for en mindre miljøpåvirkning



MapField

Innovationsfonden

Vores vision

At udvikle et nyt koncept til målrettet regulering af kvælstofanvendelse i landbruget

MapField

Innovationsfonden

Vores fokus

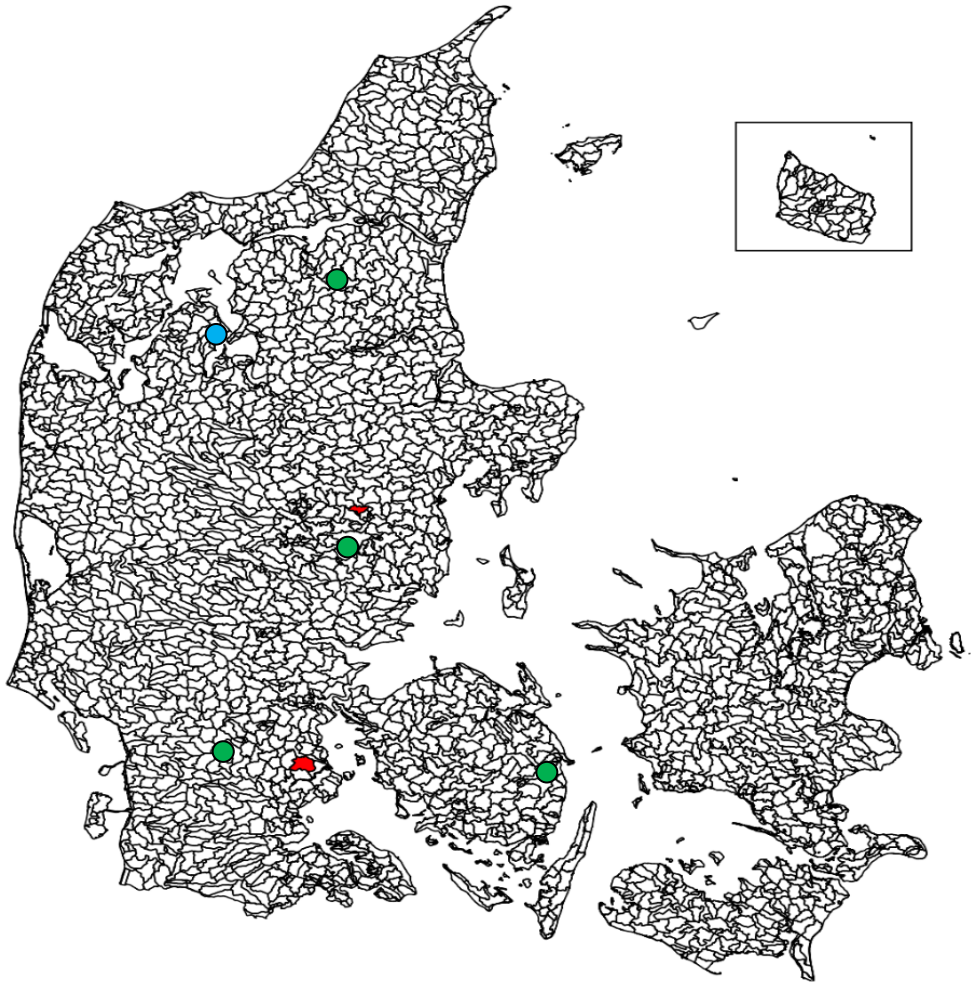
- Højbundsjorde
- Grundvandszonen

MapField

Innovationsfonden

Udvikling af koncept foretages i ID15 oplande

Pilot-områder
Validerings-områder (LOOP)
DEMO-områder



MapField

Innovationsfonden

N retentionskort for marker i et ID15 opland

Kvælstofretention: Andel af nitrat, som udvaskes fra marken, og som ikke når frem til vandløbet på grund af naturlig omsætning i undergrunden og afgasning til atmosfæren.

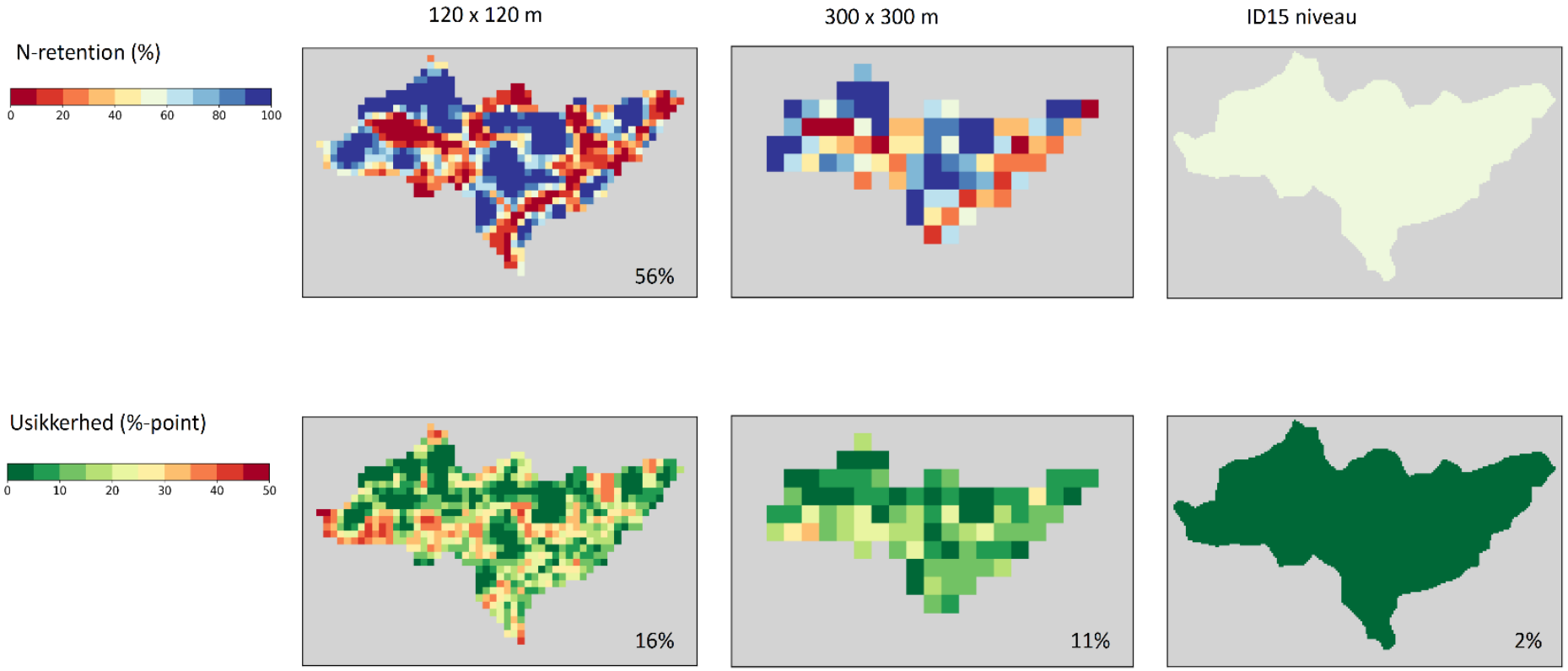
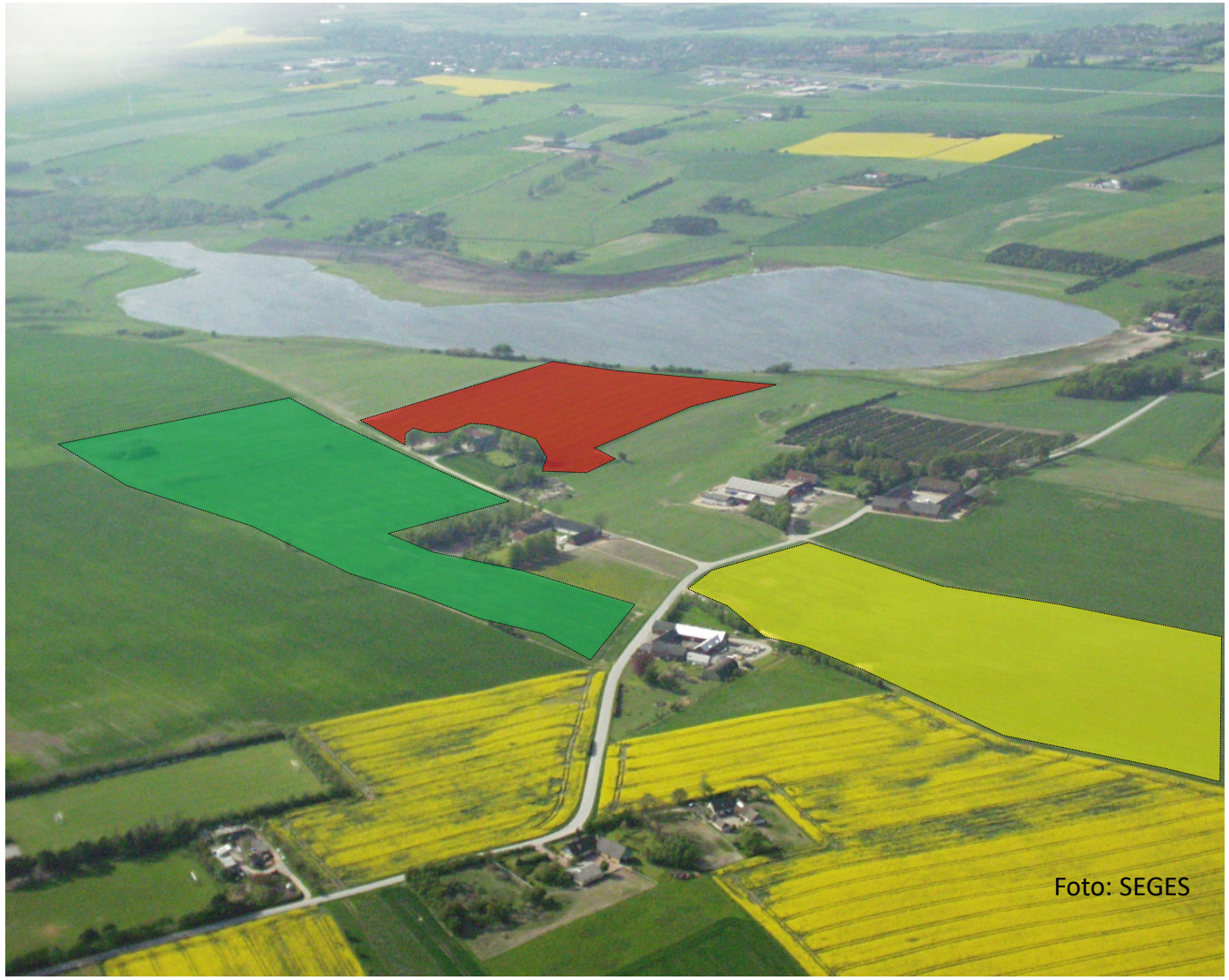


Foto: SEGES

Innovationsfonden

Optimal placering af virkemidler



MapField

Innovationsfonden

Beskyttelse af grundvand

MapField

Innovationsfonden

Konceptets 5 trin

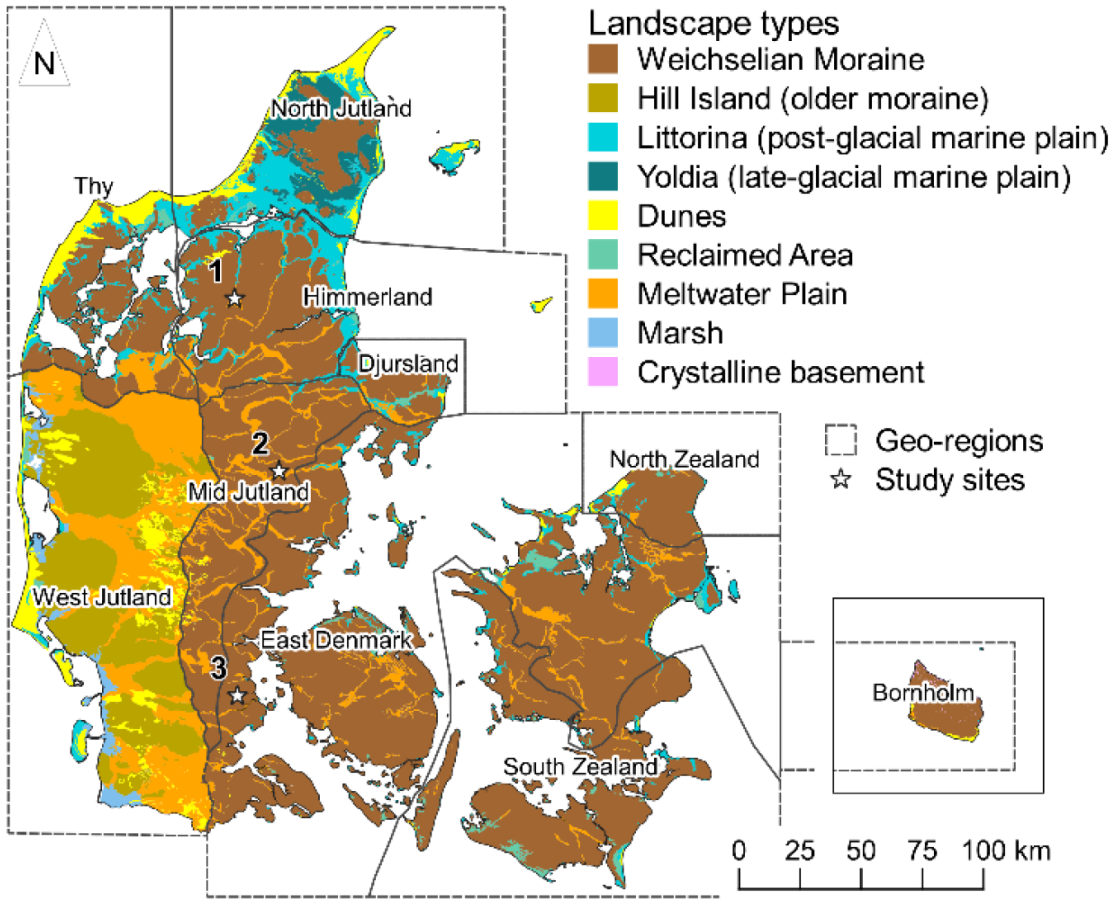
1. Eksisterende viden bliver gennemgået
2. Undergrunden bliver scannet
3. Centrale steder bliver undersøgt nærmere
4. Kort over kvælstofretention bliver fremstillet
5. Valg af virkemidler bliver analyseret

MapField

Innovationsfonden

Eksisterende viden bliver gennemgået

1
2
3
4
5



MapField

Innovationsfonden

Undergrunden bliver scannet

1
2
3
4
5

MapField

Innovationsfonden

Centrale steder bliver undersøgt nærmere

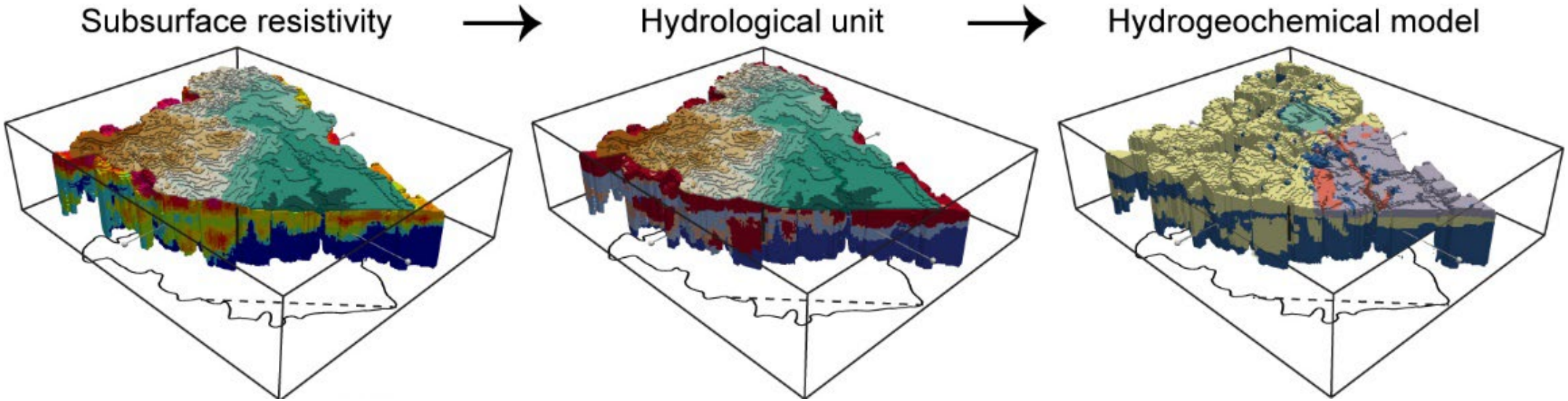
1
2
3
4
5

MapField

onsfonden

Kort over kvælstofretention bliver fremstillet

1
2
3
4
5



MapField

Innovationsfonden

Valg af virkemidler bliver analyseret

1.
2.
3.
4.
5.

MapField

Innovationsfonden

Fokus i dag

1. Eksisterende viden bliver gennemgået
2. Undergrunden bliver scannet
3. Centrale steder bliver undersøgt nærmere
4. Kort over kvælstofretention bliver fremstillet
5. Valg af virkemidler bliver analyseret

MapField

Innovationsfonden

Hvor giver konceptet mest mening?

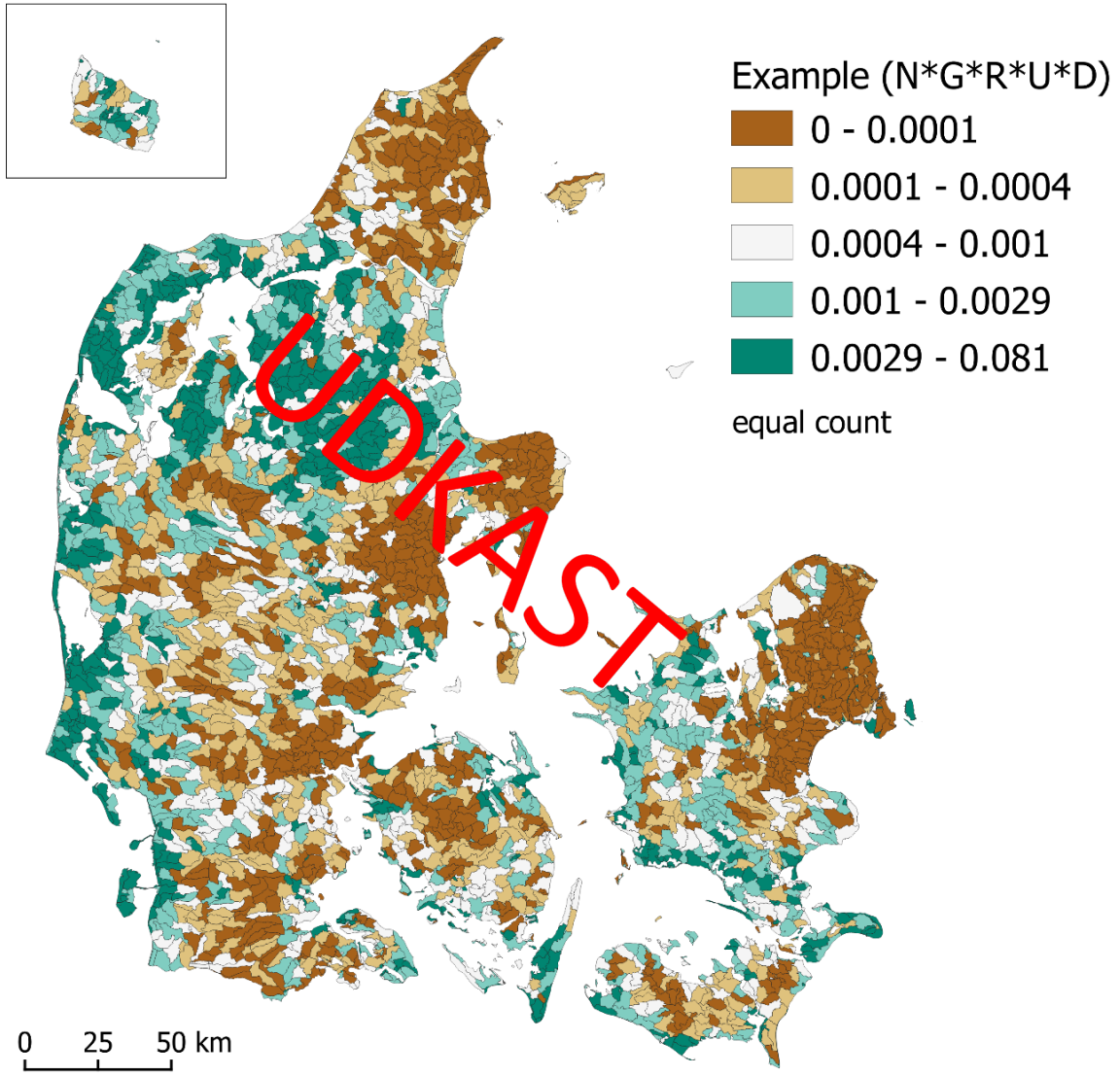
Krav til reduktion af N-udledning

Redox kompleksitet

Geologisk kompleksitet

Usikkerhed på eksisterende grundlag

Jo højere score
jo højere prioritet



Hjemmesiden

www.mapfield.dk

MapField

MapField Contact News Danish

Welcome to MapField – Field-scale mapping for targeted N-regulation and management

In the research project MapField, scientists, companies, authorities and the agriculture sector will collaborate to develop innovative environmental technologies that will help protect Danish groundwater, streams and fjords against nitrogen pollution while at the same time creating better production conditions for agriculture.

MapField will create knowledge about the nature of the subsurface with a few metres accuracy, which is crucial for precise predictions of the water and nitrogen pathways and turnover from the individual field to groundwater and streams in specific hydrological catchments.

GEUS is the leading part of the project and the Innovation Fund Denmark supports the project with 18,9 millions.

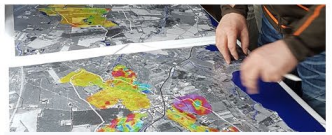
NEWS ABOUT MAPFIELD

New synthesis report from MapField ›
09-06-2020

Video: How to map the soil resistivity with tTEM ›
12-12-2019

See all news

The Project ›



Partners ›

Field sites ›

Publications ›

Mapfield

Project duration: 3 years and 3 months

Project budget: 29.7 million danish crowns

The investment of Innovation Fund Denmark:
18,9 million danish crowns

Contact

Birgitte Hansen
Project leader, Senior scientist
Groundwater and Quaternary Geological Mapping
Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS)

Mail: bgh@geus.dk
Phone: +45 20555245

About the Website

Privacy Policy of GEUS (DK)

Cookie Policy of GEUS (DK)

GEUS

MapField

Tak fordi I lyttede med!

Birgitte Hansen
bgh@geus.dk

3D geologisk tolkning i Mapfield

ATV Vintermødet 2021

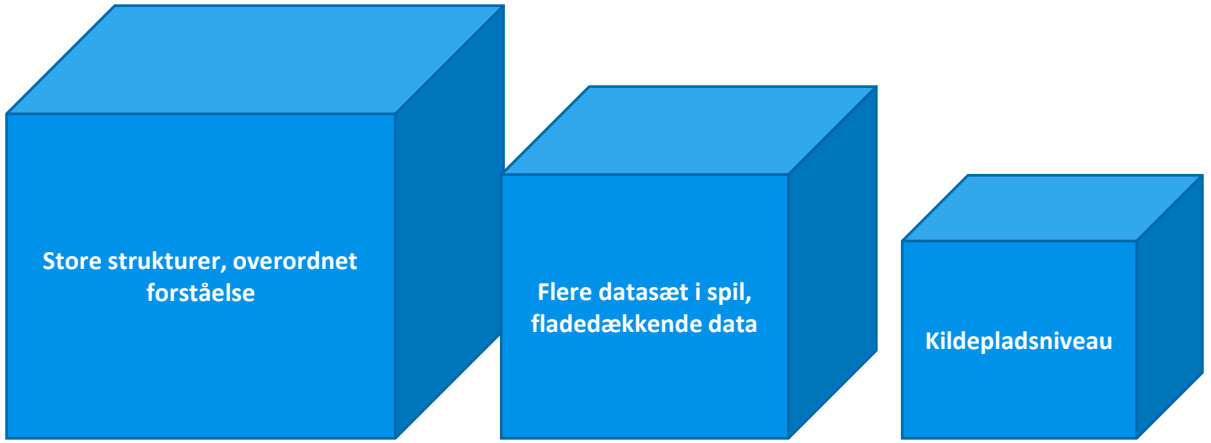
Anders Juhl Kallesøe & Peter Sandersen

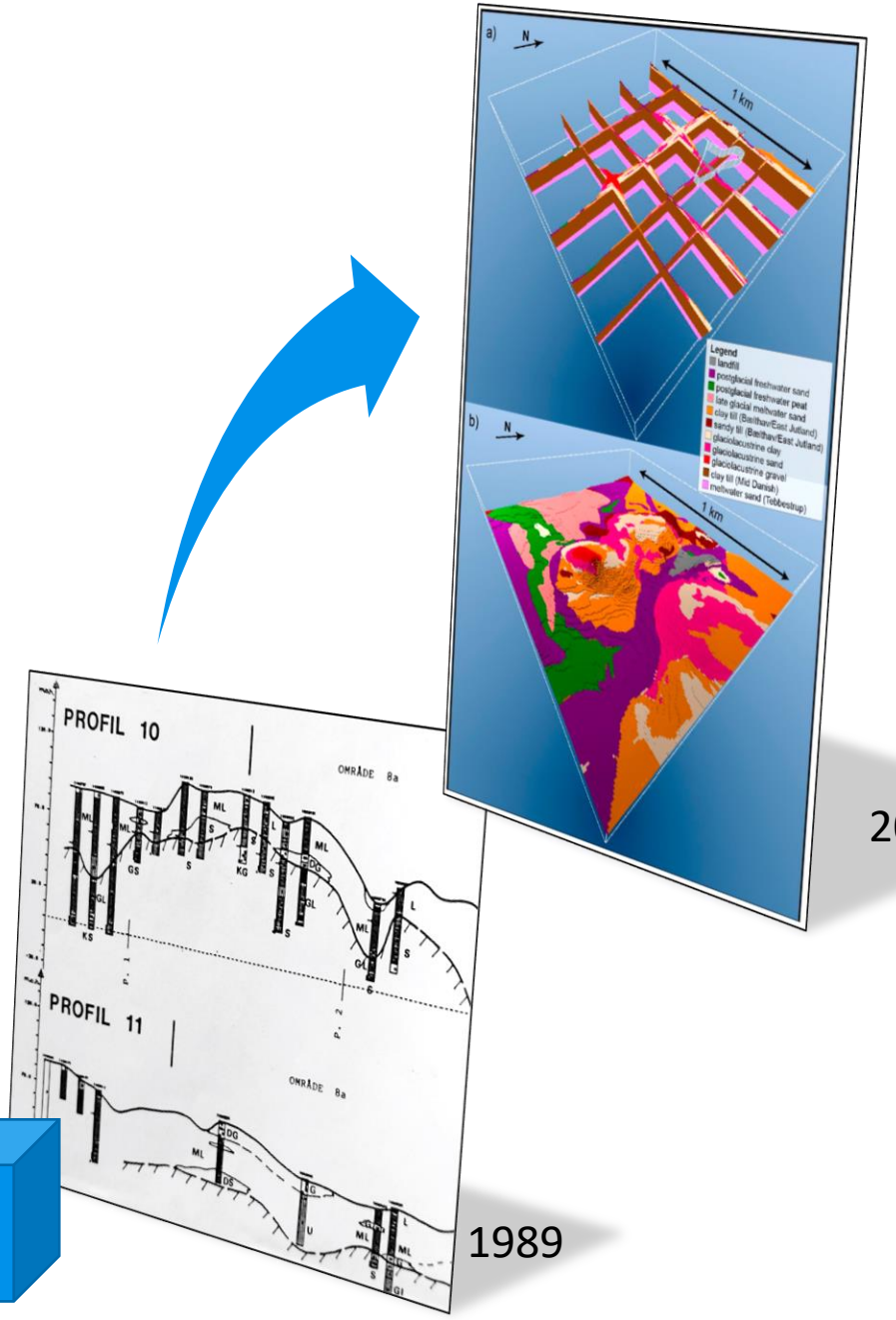
GEUS

MapField

Et behov for detaljeret kortlægning

- ✓ Udvikling i kortlægningsmetoder og modelleringsmetoder
- ✓ Mere detalje i data og tolkninger
- ✓ Modeller skal og kan rumme større anvendelighed
- ✓ Fra overordnede vurderinger til specialiserede, lokale vurderinger - helt ned på matrikelniveau





Geologiens rolle i Mapfield

Geofysisk kortlægning og geologisk kortlægning er centrale dele af Mapfield konceptet

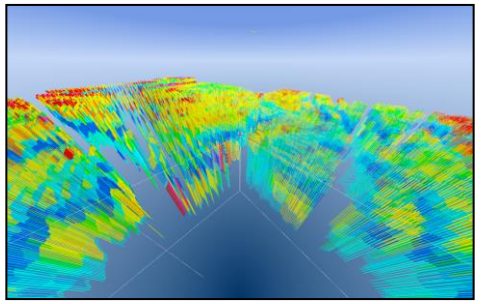
Vi afsøger forskellige spor med inddragelse af større eller mindre grad af geologisk viden

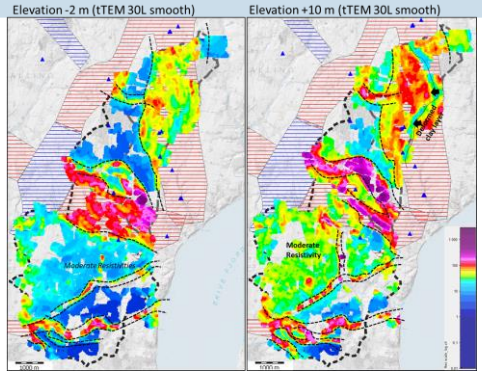
tTEM kortlægning

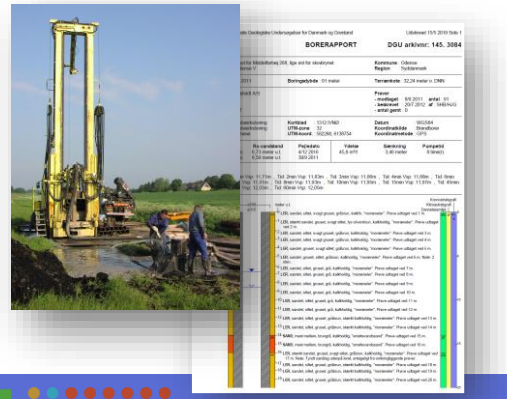
Foreløbige geologiske tolkninger

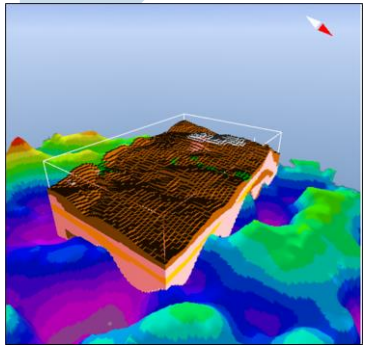
Boringer og prøvetagning (redox og nitrat)

Videre modellering (Geokemisk, geologisk, hydrologisk)









Geologisk modellering i Mapfield

Input til modellering

- Lagudbredelser og sammenhænge
- Grundvandsmagasiner og mellemliggende lag
- Grundvandets strømning og undergrundens redoxforhold

Valg af model-type

- Automatisk/manuel
- Håndtering af geologiske detaljer

Målrettet modelarbejde

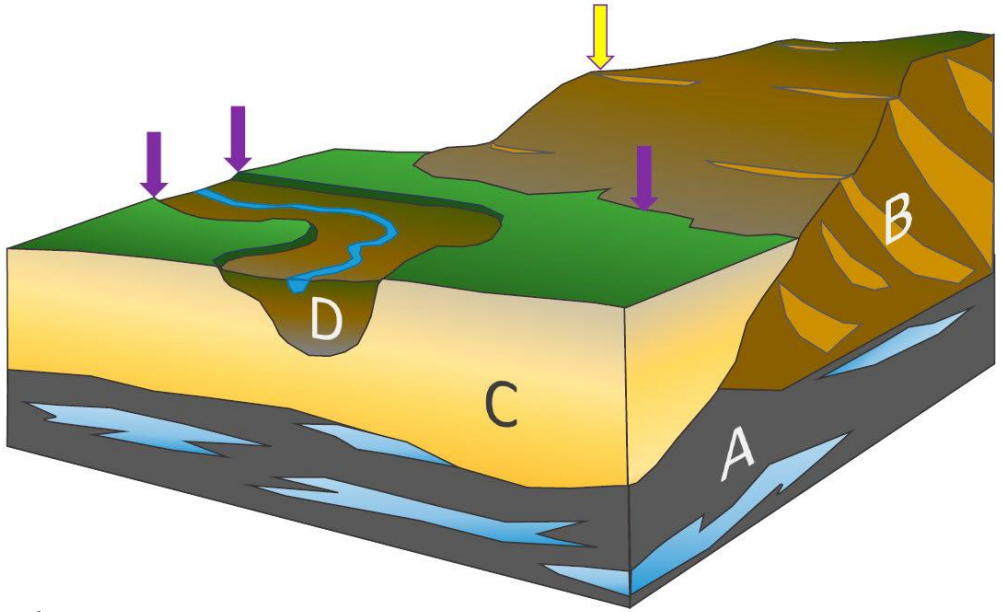
- De stillede spørgsmål skal kunne besvares
- Ikke mere modellering end højst nødvendigt!

Geostatistisk tilgang inden for fastlagte geologiske elementer…

Modellering af geologiske elementer

- ✓ Modellering af et begrænset antal 'geologiske elementer' (grænseflader i 3D)
- ✓ Geologiske lagpakker, som kan adskilles fra hinanden dannelsesmæssigt og tidsmæssigt
- ✓ Udbredelse og afgrænsning
- ✓ Jordlagene indenfor hvert element beskrives

- Eksisterende geologisk viden og data
- tTEM kortlægning
- Digitale højmodeller
- Tolkningssoftware (GS3D)
- …



Videreførelse af tidligere arbejde i GEUS → de større datamængder/tæthed gør det relevant bygge på videre på

Eksempler på tolkninger og geologiske elementer i projektområderne

- ✓ LOOP områder bevidst placeret i områder med forskelligartet geologi
- ✓ Nøglegeologi / geologiske events som ”referenceflader” i projektområderne

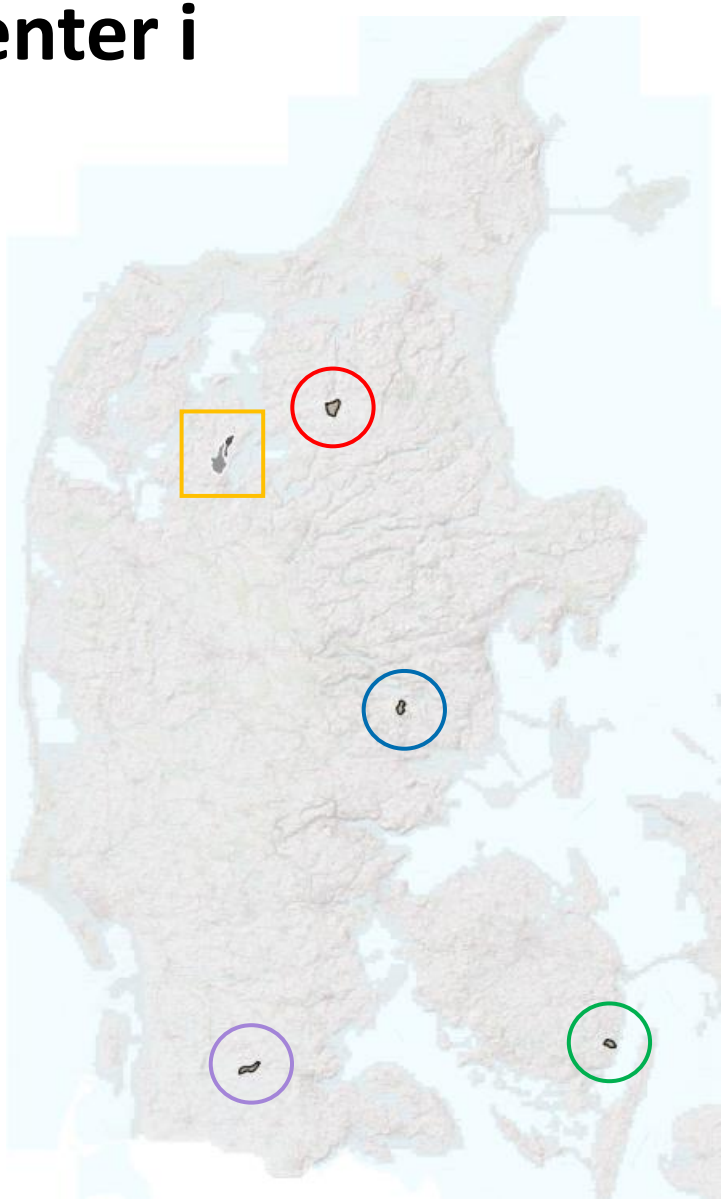
LOOP 2: Kvartær erosion og deformation

LOOP 3: Glacialtektonik og dalfyld

LOOP 4: Grabenstruktur og hvidt sand

LOOP 6: Hedeslette og bakkeøer

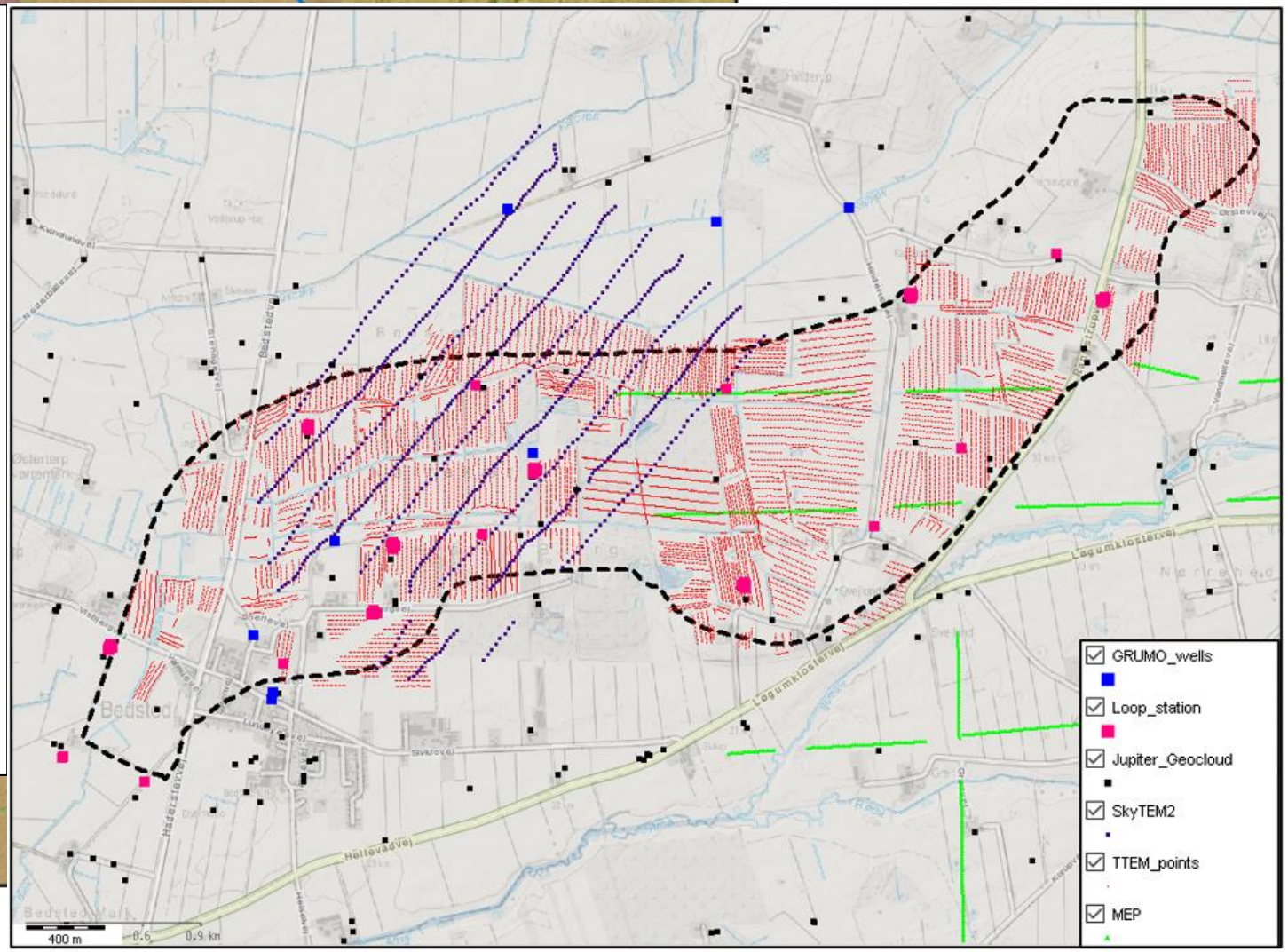
Demo sites: Begravede dale og deformation



Eksempel – LOOP 6, Bolbro i Sdr. Jylland

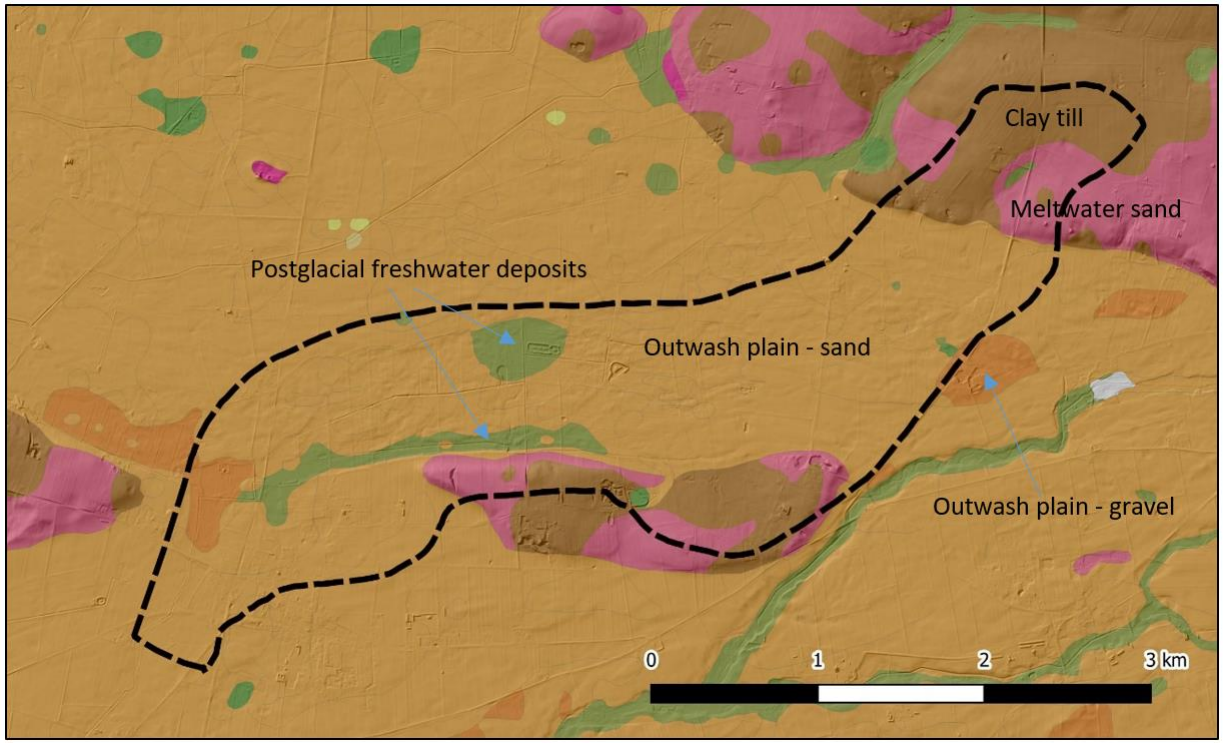
- tTEM (røde linjer)
- ERT/MEP (grønne linjer)
- SkyTEM (lilla linjer)
- Boringer (farvede prikker)

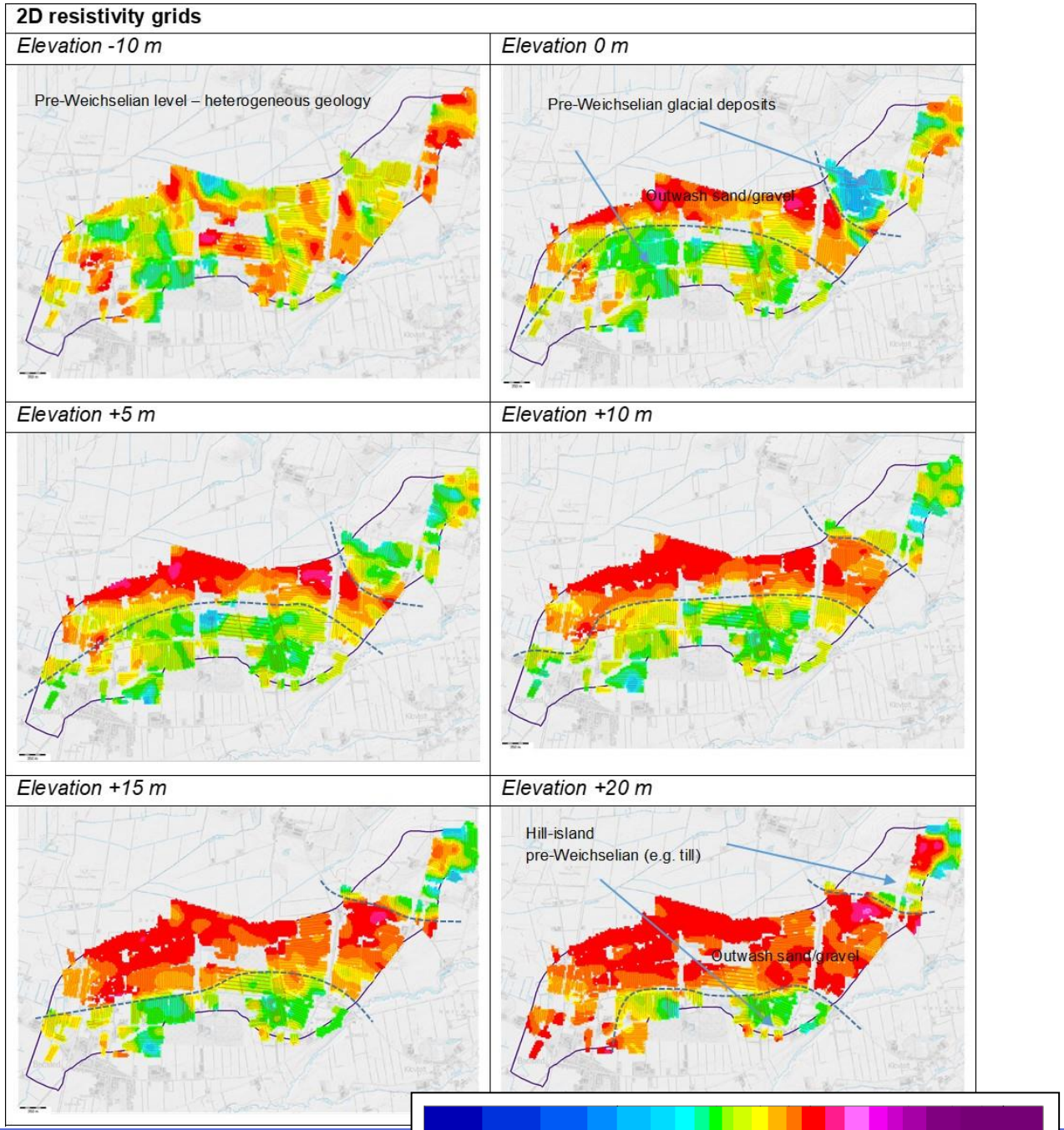
- God dækning med geofysiske data
- Få dybe boringer



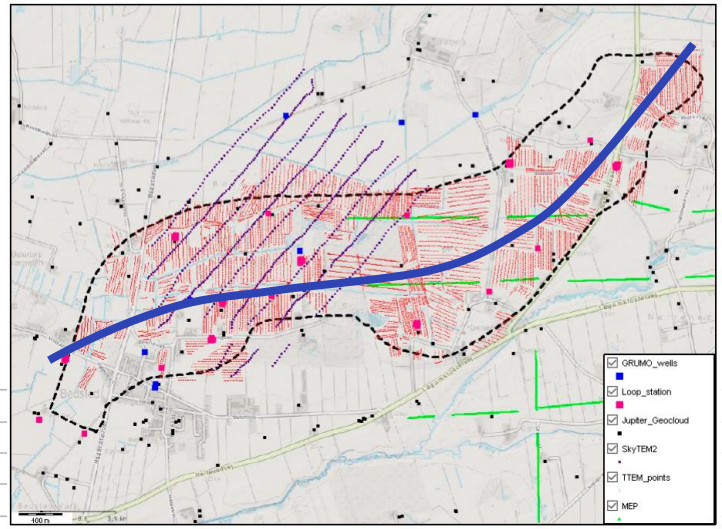
tTEM middelmodstandskort

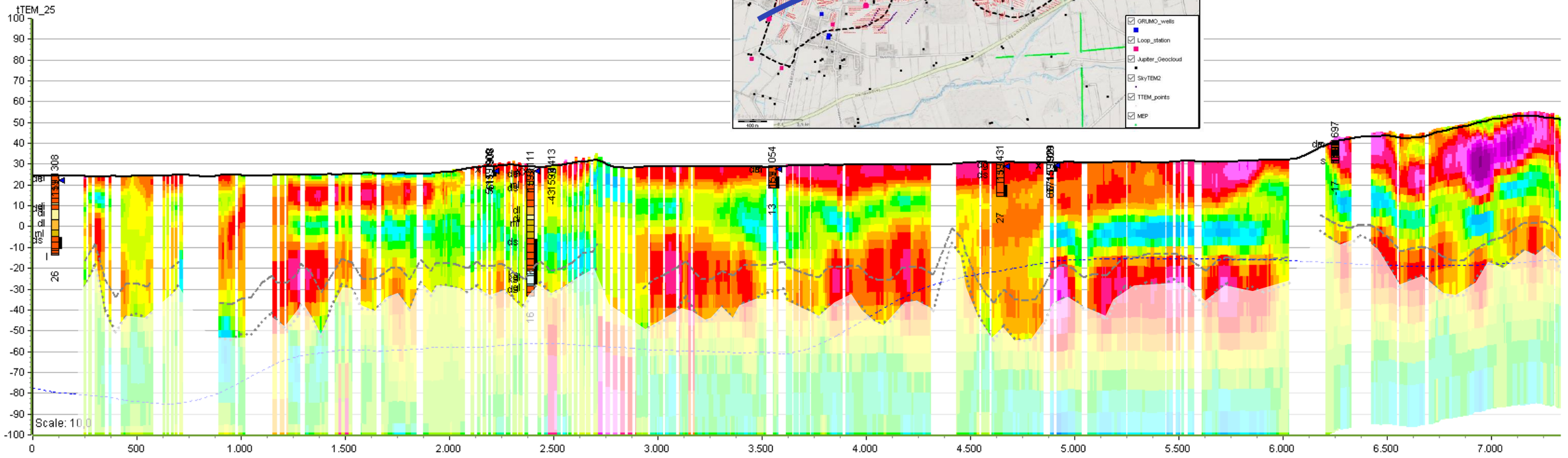
- Tydelige afgrænsninger mellem høje og lave modstande
- Komplekse modstandsvariationer i dybden i hele området

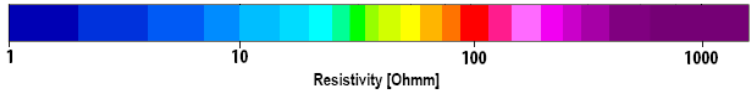




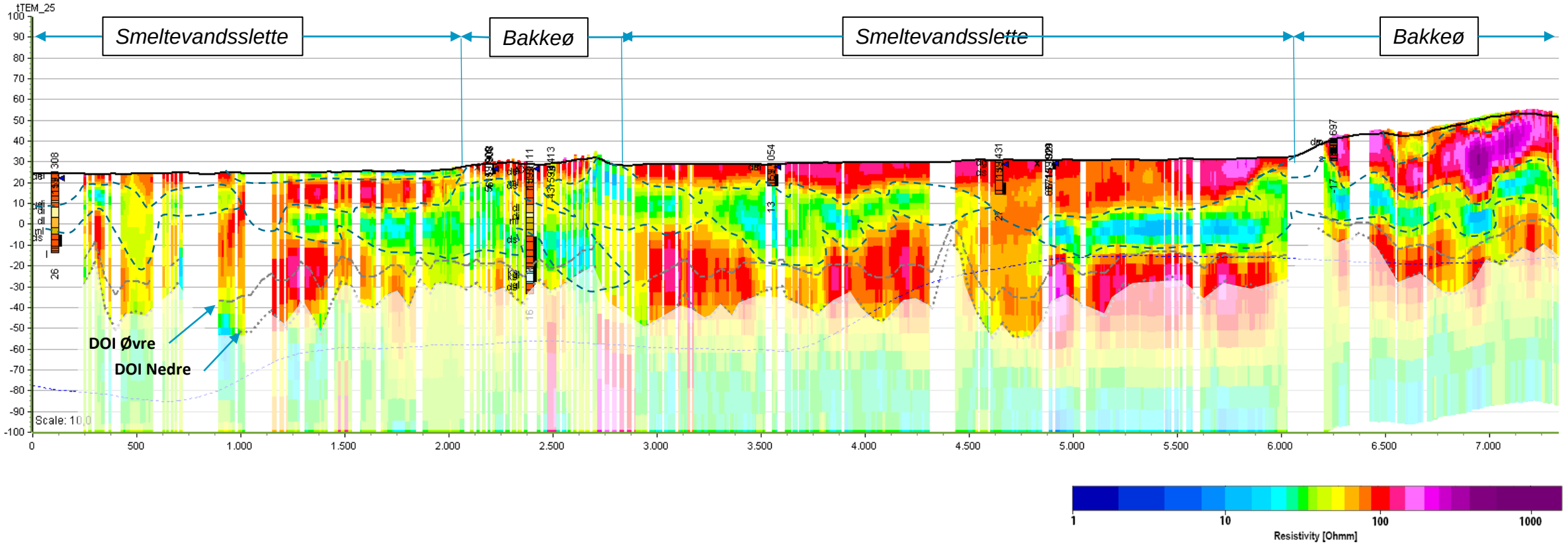
LOOP 6 - profil

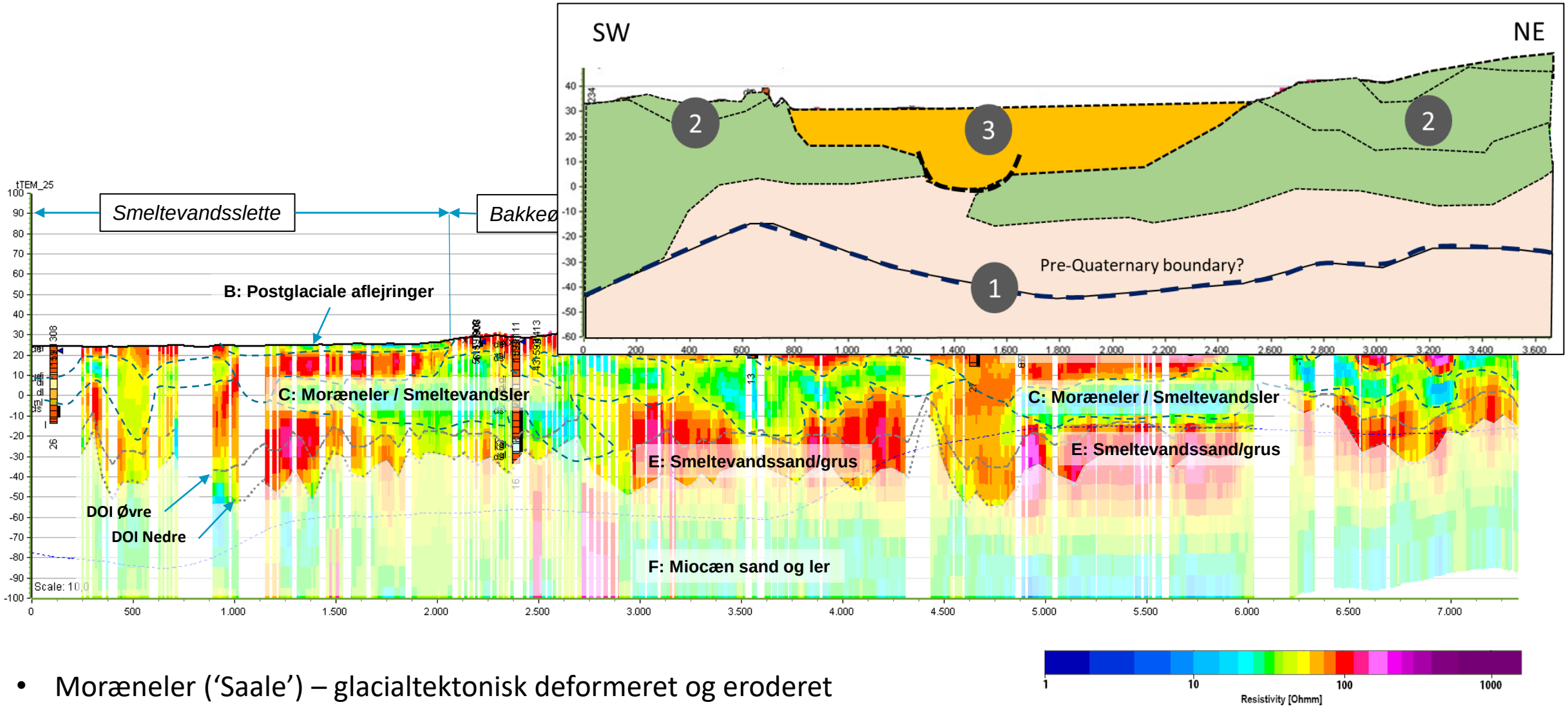






- Gode kontraster i den øvre lagserie; mindre gode i den nedre
- Dybe dele kan ikke opløses; overvejende høje elektriske modstande

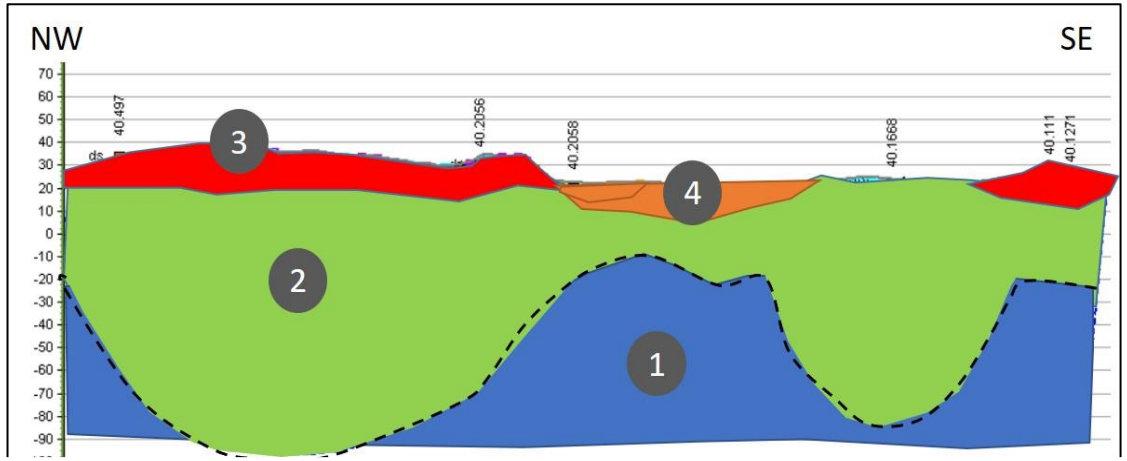

tTEM_25
Smeltevandsslette
Bakkeø
Smeltevandsslette
Bakkeø
DOI Øvre
DOI Nedre
Scale: 10.0
1
10
100
1000
Resistivity [Ohmm]



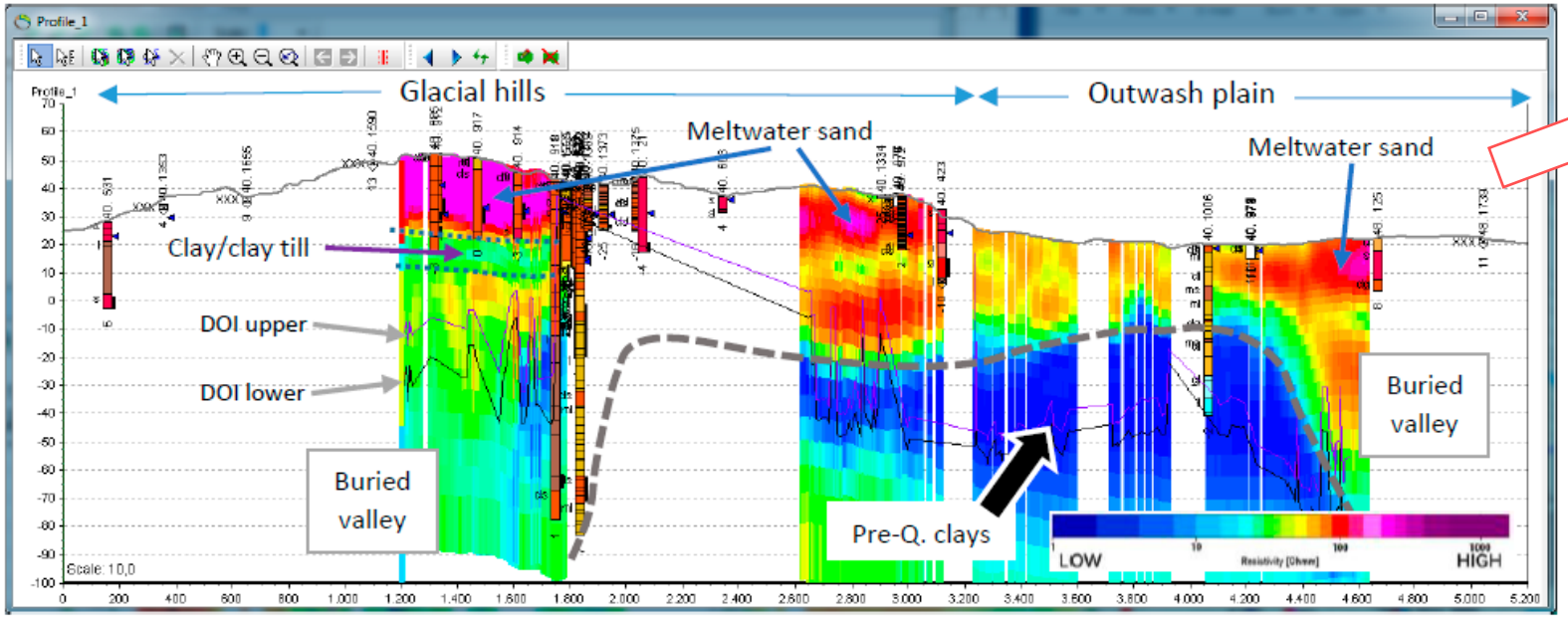
- Moræneler ('Saale') – glacialtektonisk deformeret og eroderet
- Erosion af leret i Saale/Eem
- Herover sandet og gruset smeltevandsslette og postglaciale aflejringer med organisk materiale

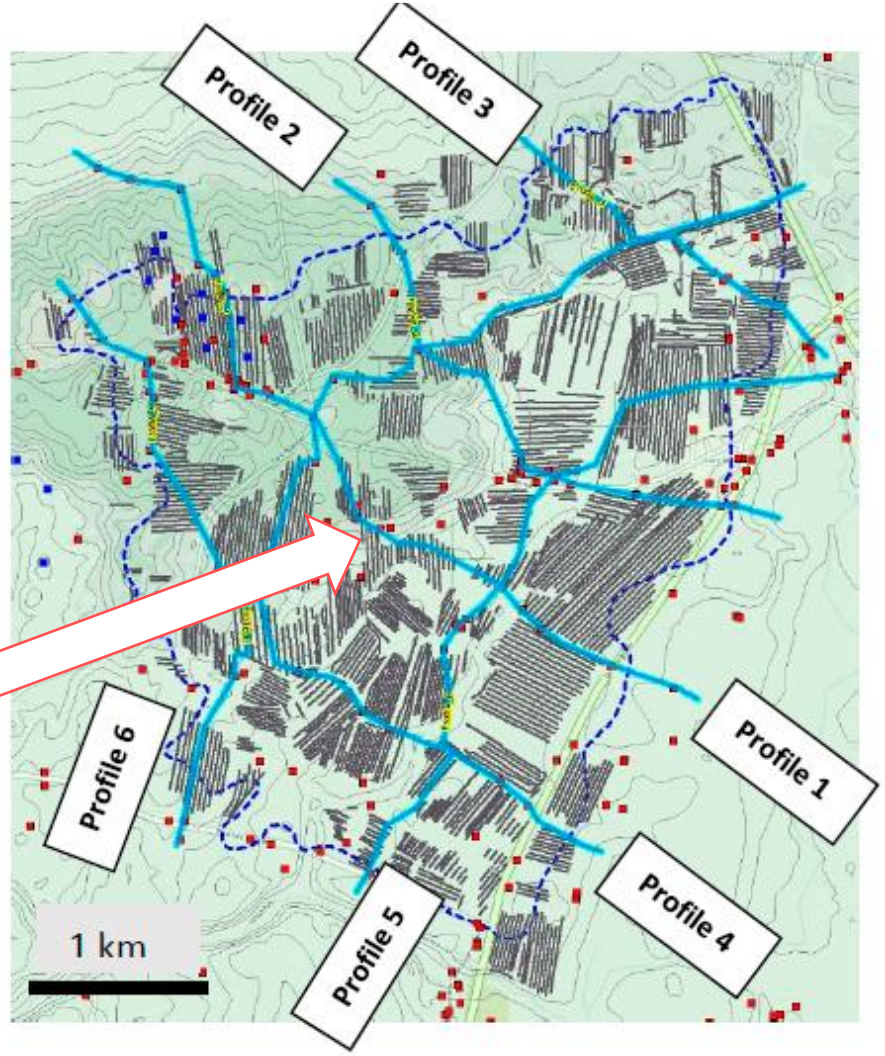
Identificerede geologiske elementer i øvrige LOOP områder

LOOP 2



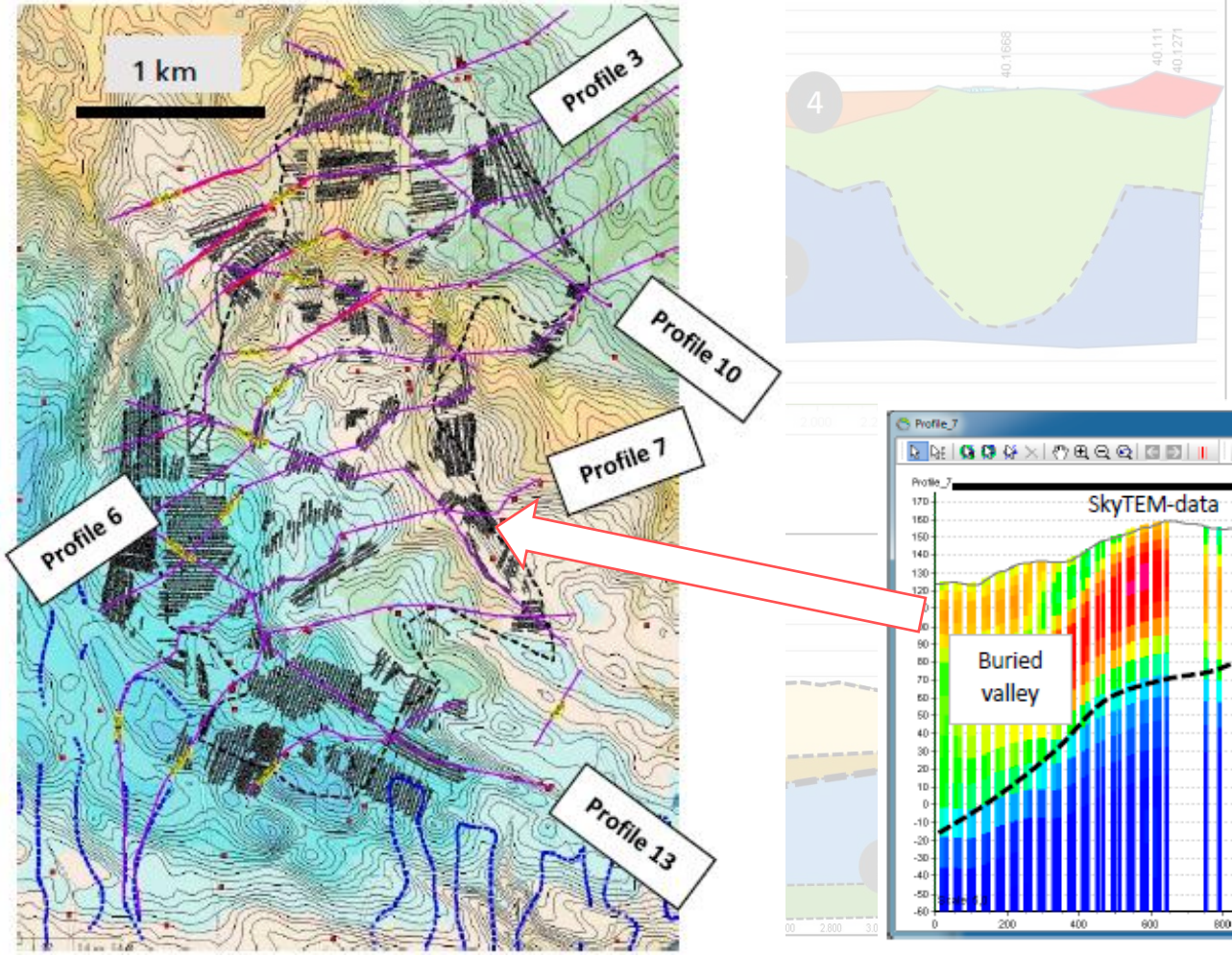
LOOP 3



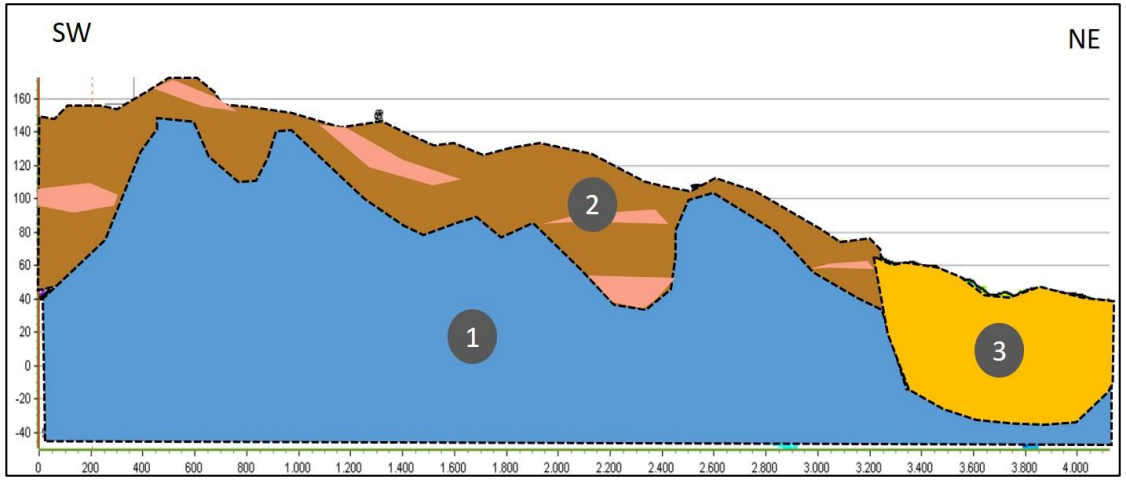


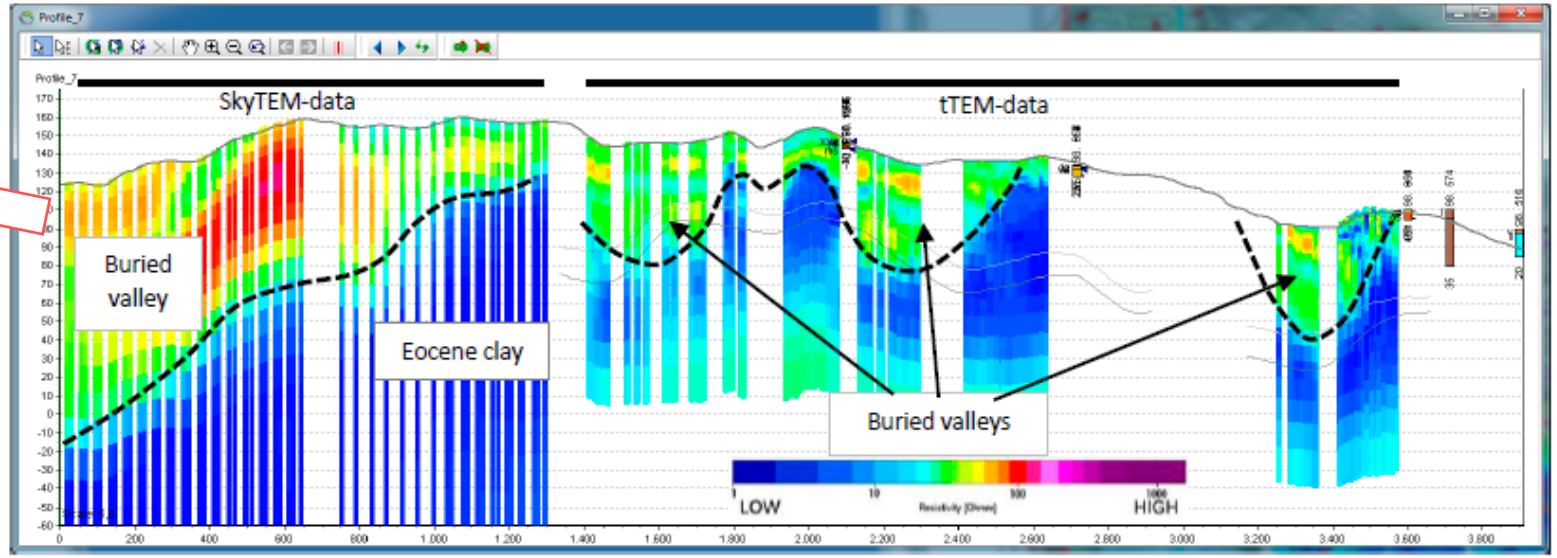
Identificerede geologiske elementer i øvrige LOOP områder

LOOP 2



LOOP 3

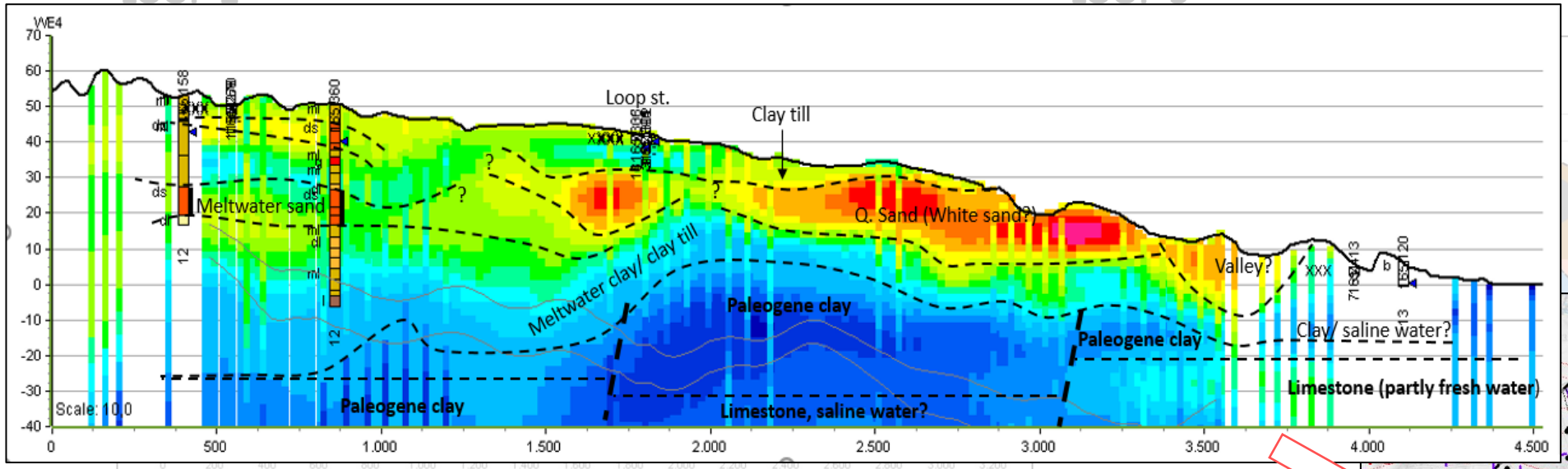


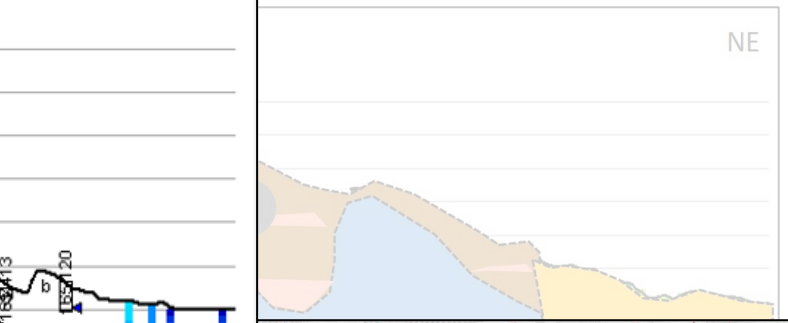


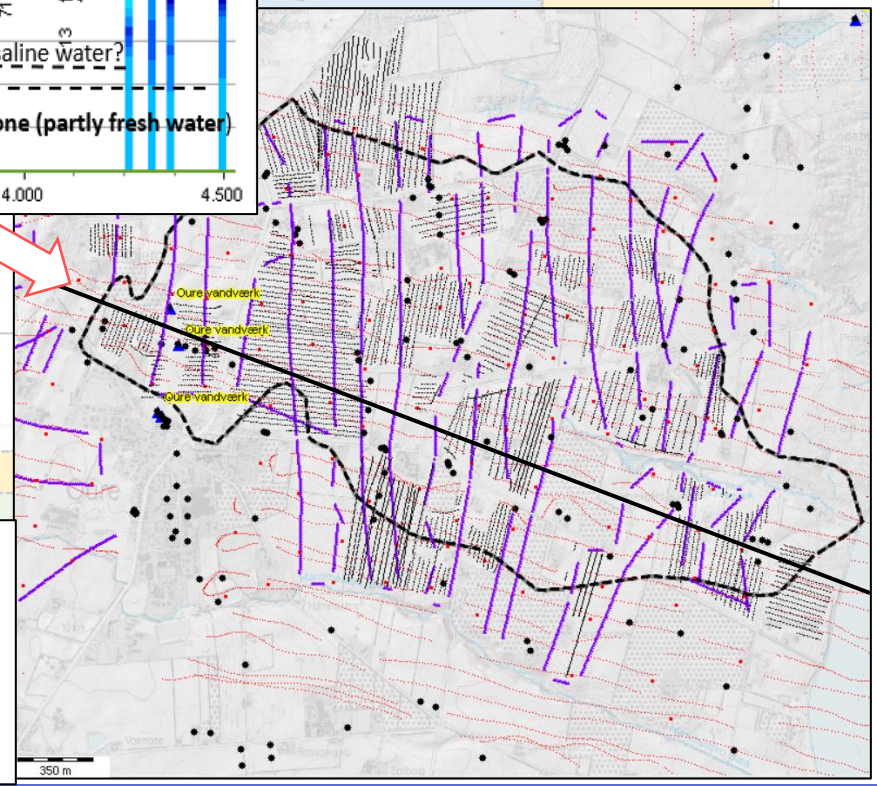
Identificerede geologiske elementer i øvrige LOOP områder

LOOP 2

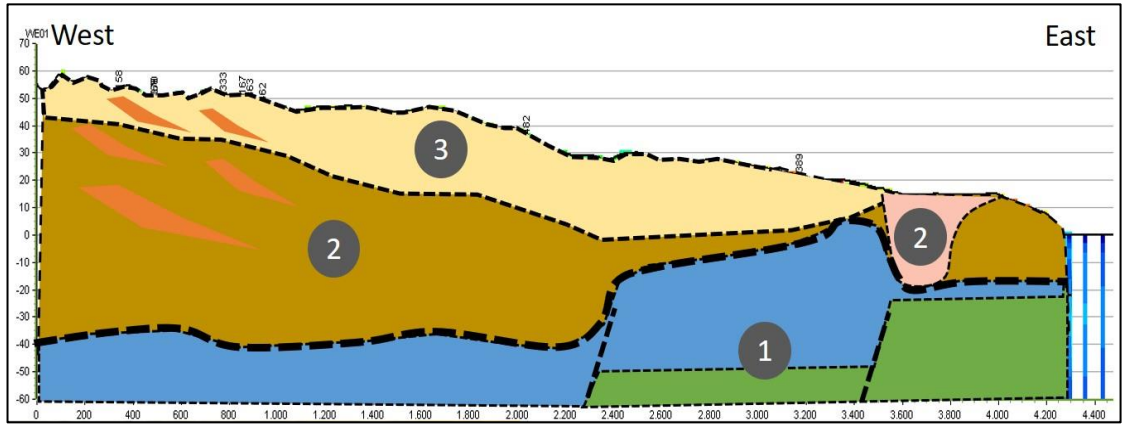
LOOP 3



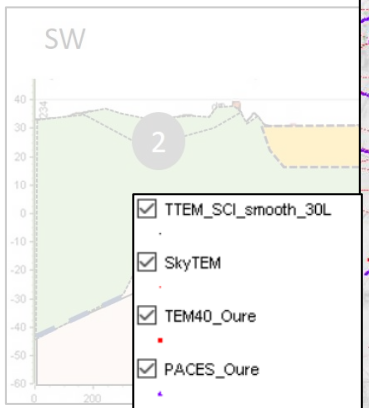




LOOP 4



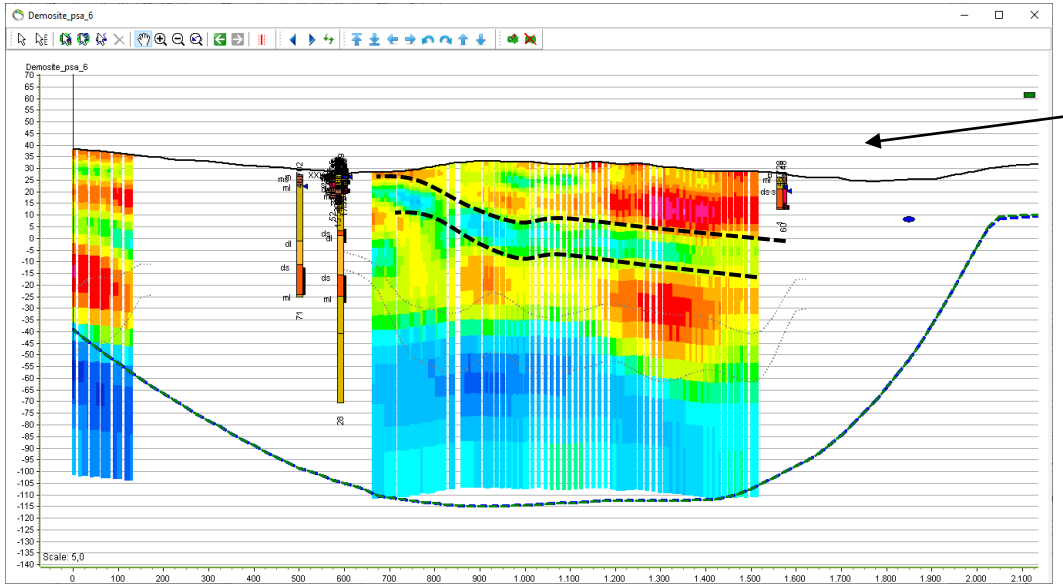
LOOP 6

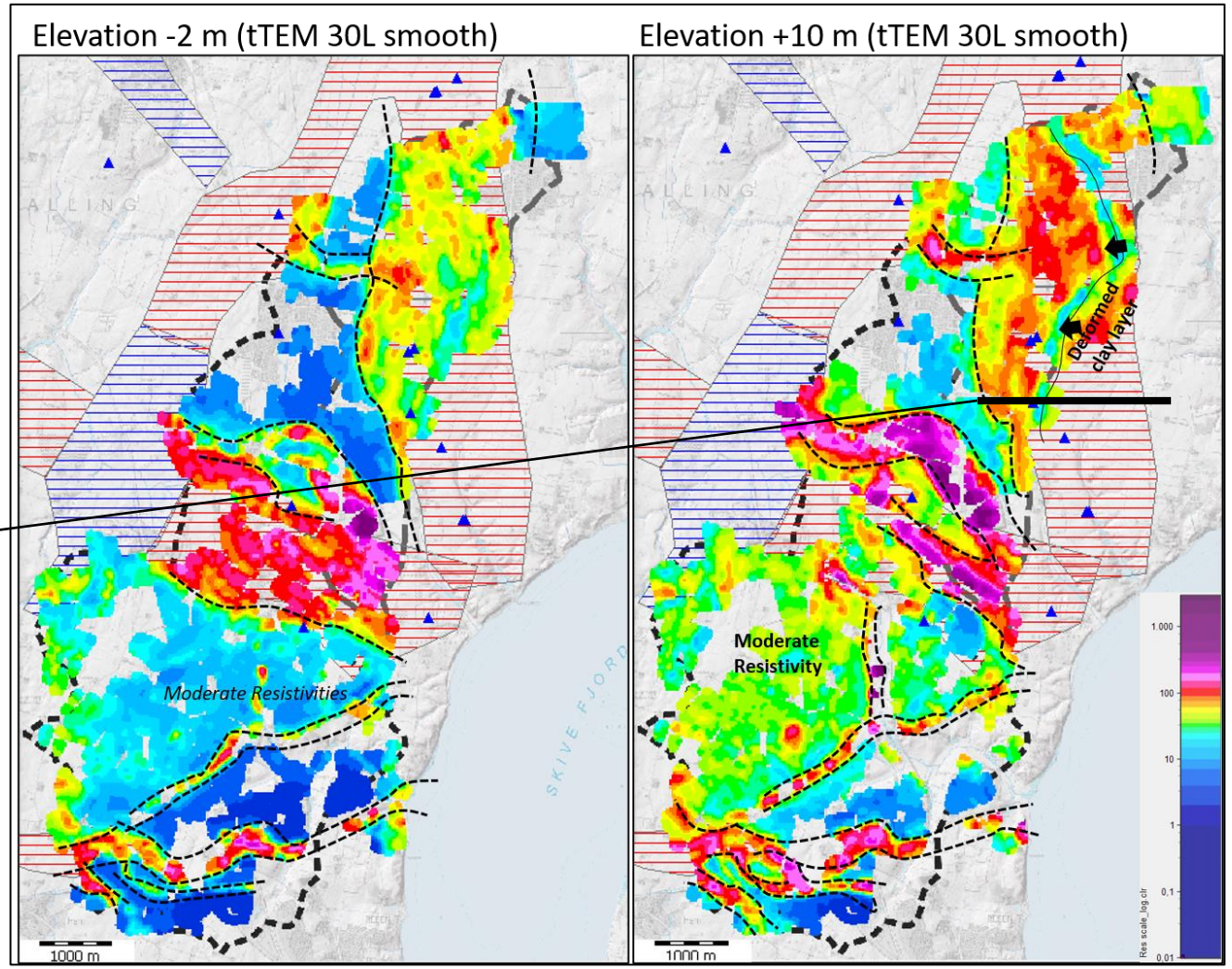


Demo sites – geologiske elementer

- den sydøstlige del af Salling

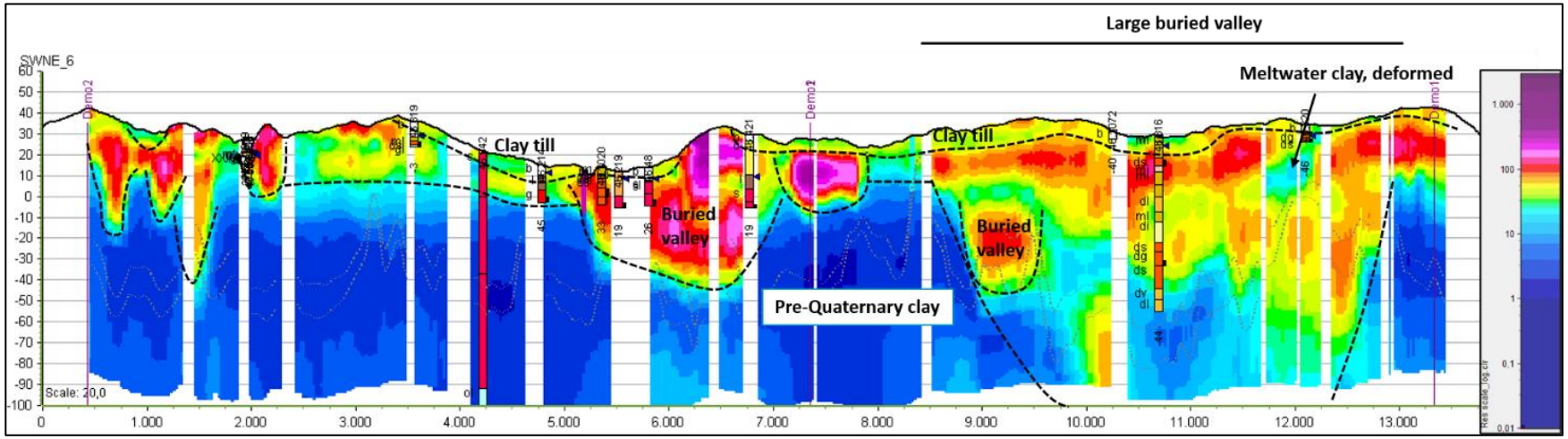
- Test i stort område (4200 ha)
- Opsplitning elementer ved modellering med tolkningspunkter interpolation af lagflader
- Beskrivelse af forventet geologi indenfor elementer – mulighed for at udbygge detalje
- Sen Elster smeltevandsler som referencelag

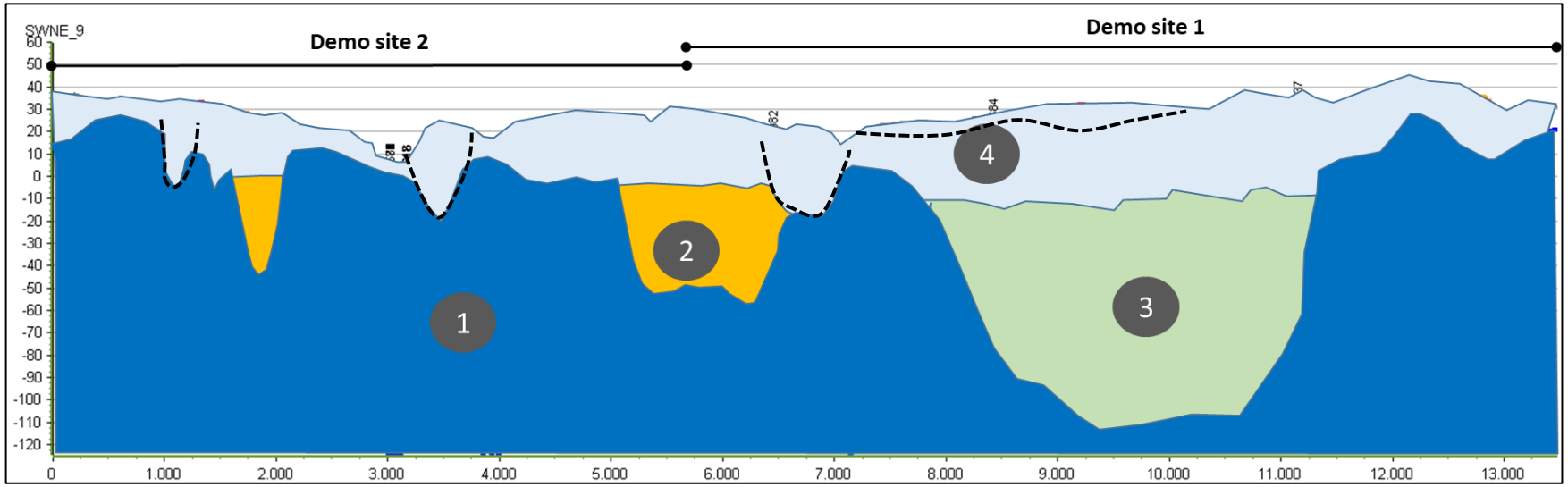


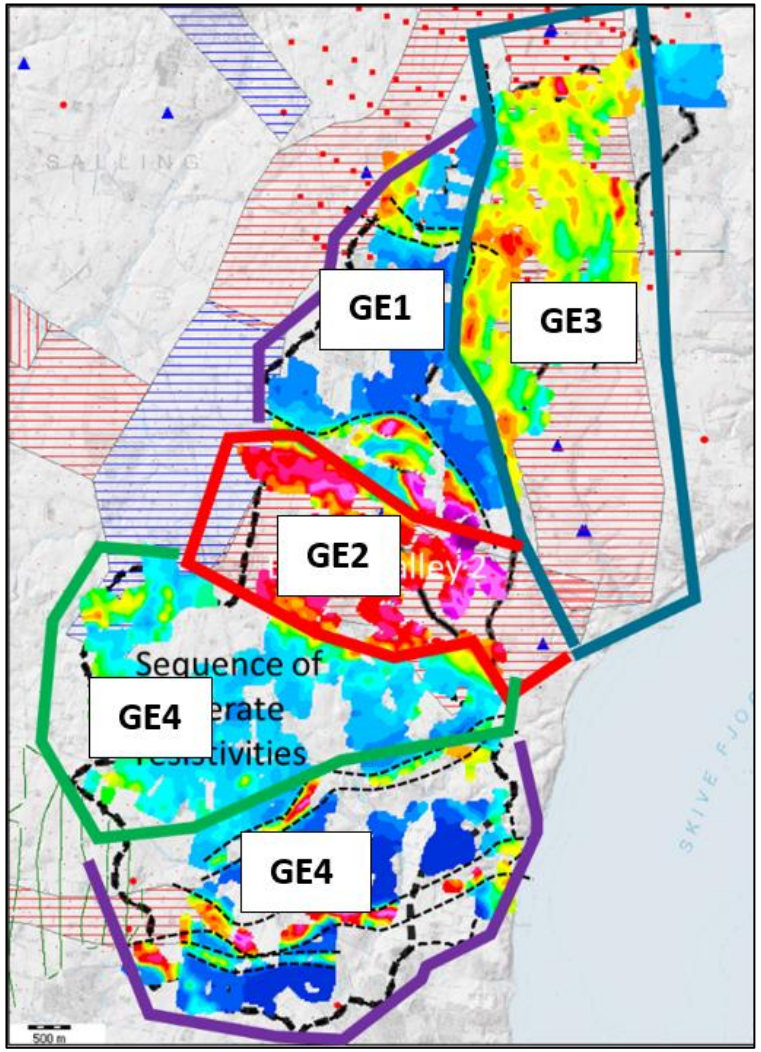


Demo sites – geologiske elementer

- den sydøstlige del af Salling



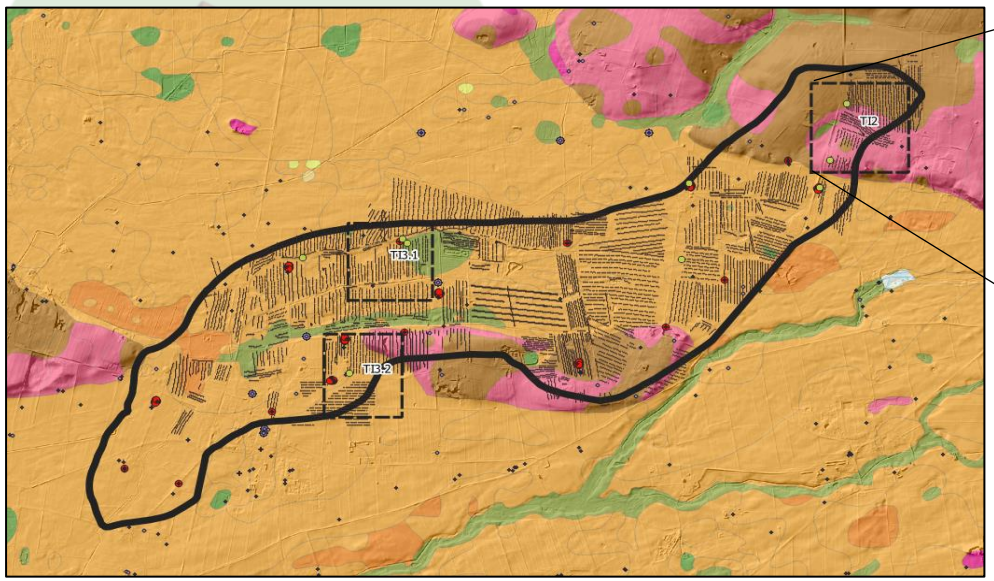


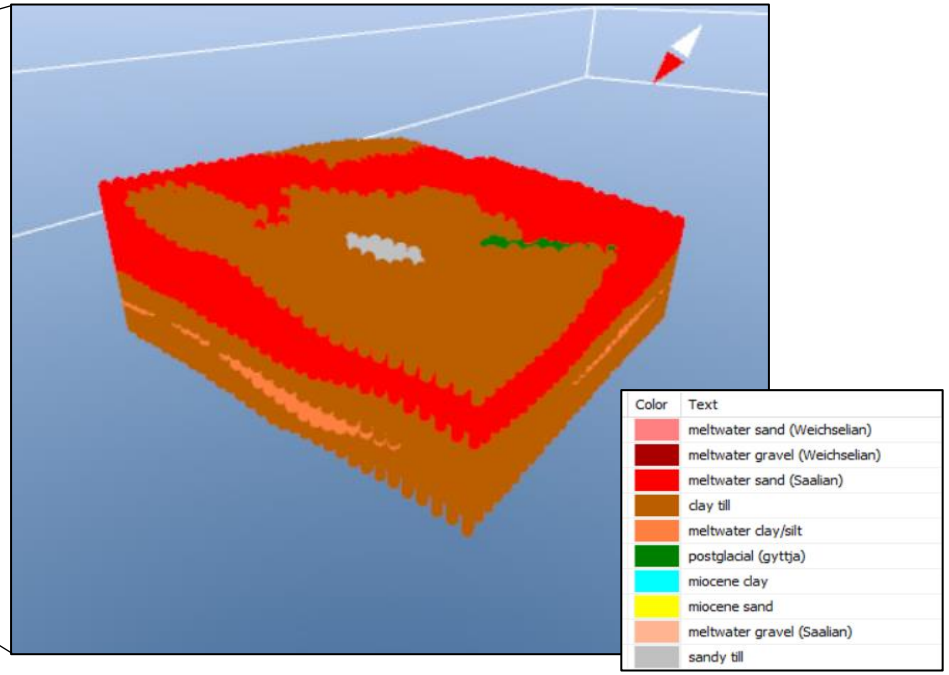


Geologien inden for de enkelte elementer

- *Geologiske `træningsbilleder` (TI)*

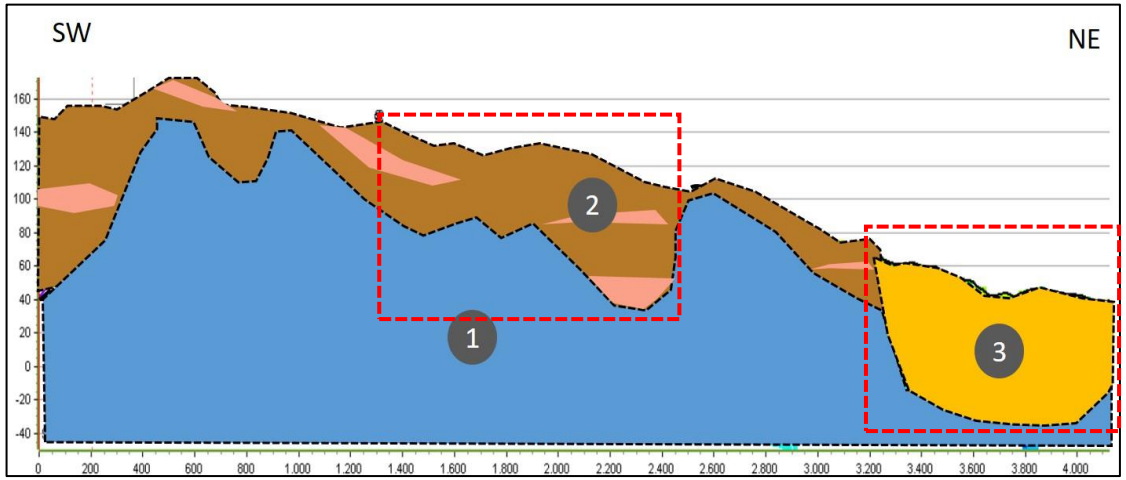
- ✓ Frit og arbitrært modelleringsmiljø
- ✓ Forventet geologi og trends modelleres i valgt område
- ✓ Området skal være tilstrækkeligt stort til at repræsentere geologien, men ikke større end nødvendigt…
- ✓ God tilstedeværelse af data
- ✓ Opbygning af erfaringer – hvad fungerer bedst?
- ✓ Nedbringe manuel tolkningstid

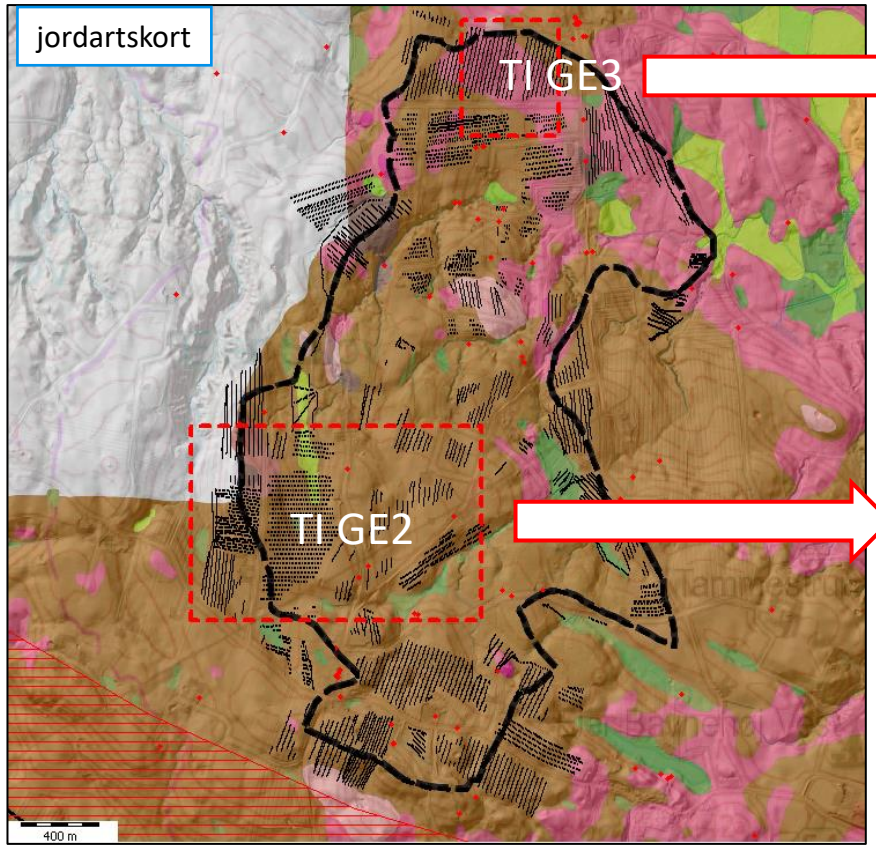


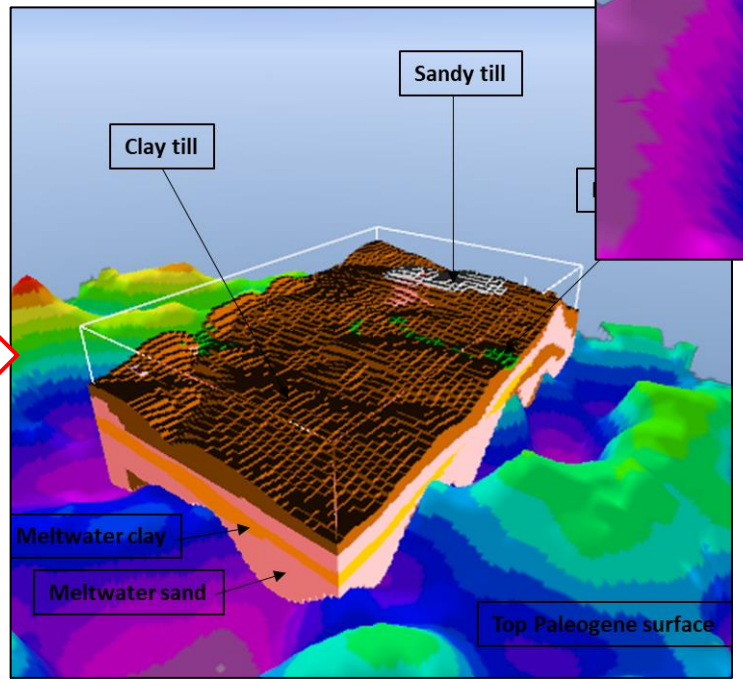


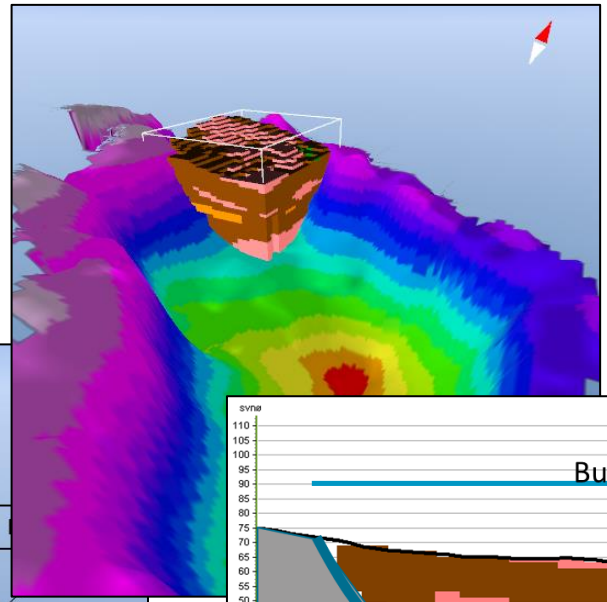
Geologiske ‘træningsbilleder’

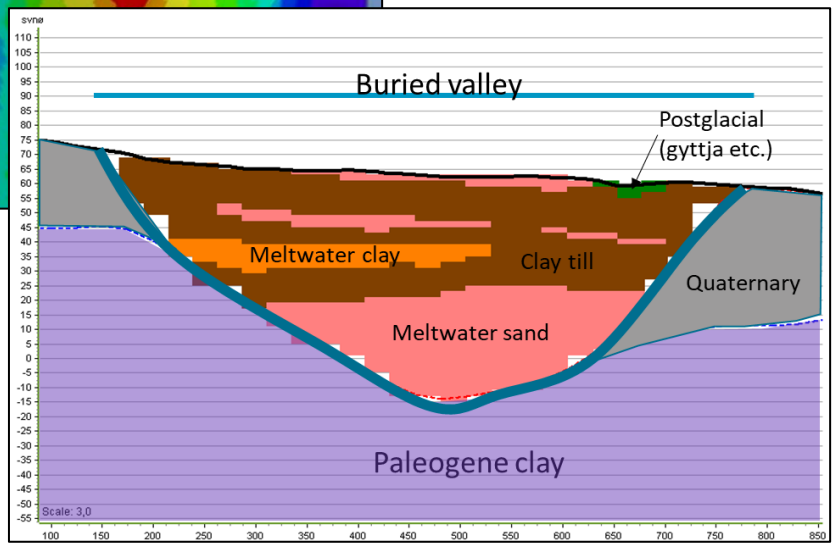
- *Eksempel fra LOOP 3, Ejer Bavnehøj*





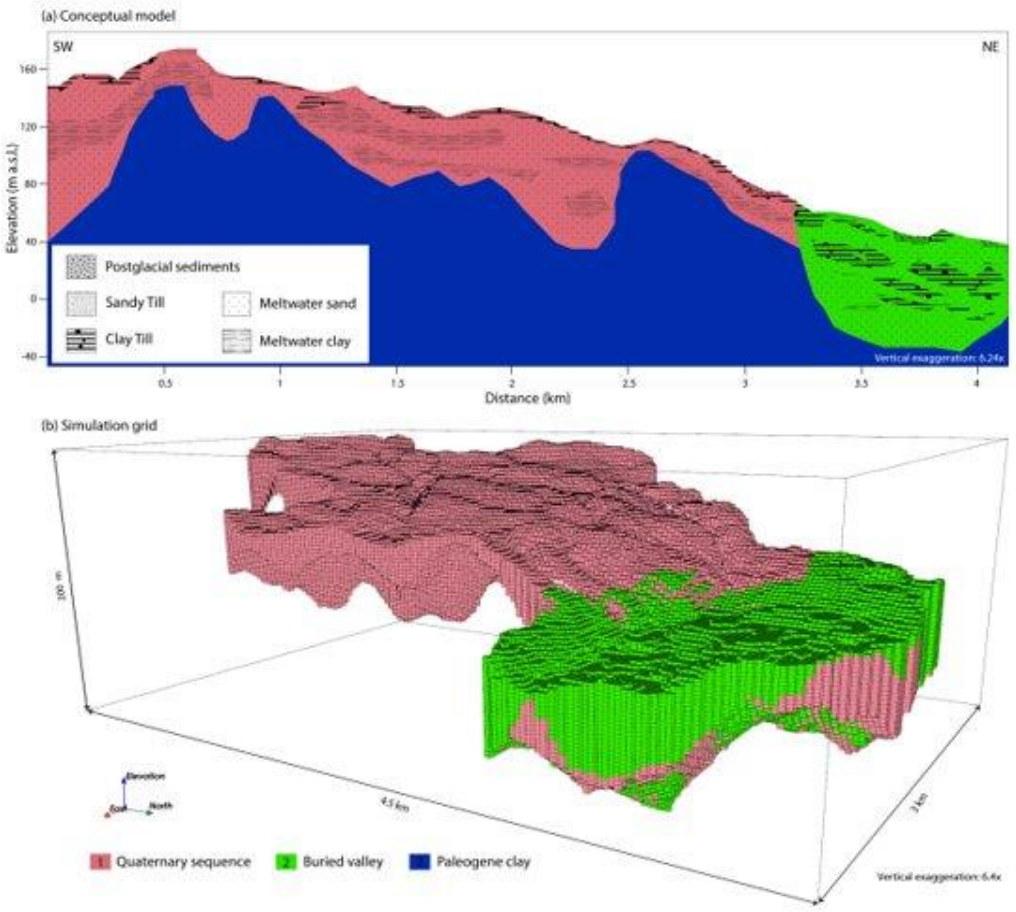


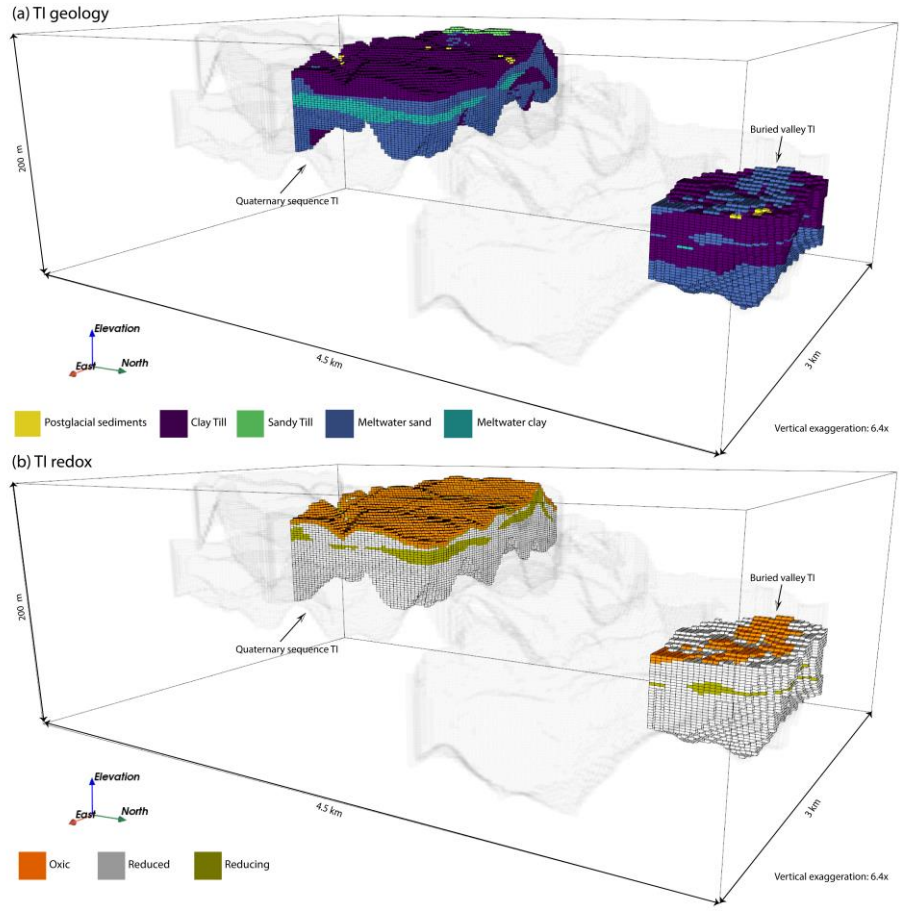




Elementer og træningsbilleder (TI) som input videre…

- Tolkningen i elementer og tilhørende TI bidrager til den geokemiske tolkning
- Input til geostatistisk modellering





Delkonklusioner og perspektiver

Workflow, geologisk modellering til brug i geokemisk og geostatistisk modellering er afprøvet og justeret i de fire LOOP-områder

tTEM bidrager med mange vigtige detaljer i lagseriens øvre del

+ Bedre geologisk forståelse af såvel de øvre lag som de dybere!

Der er fundet nøgle-markører i lokalgeologierne, som med en overskuelig indsats løfter forståelsen af tTEM data, og bidrager til Mapfield konceptet

Projektet har understøttet ambitioner om at opbygge katalog med typegeologier, som kan justeres efter de lokale forhold, til gavn for 3D geologisk modellering

Bedre udredning af den geologiske hændelseshistore lokalt kan/vil på sigt give positiv spin off ved tolkning af naboområder /mere regionale tolkninger

Tak for opmærksomheden!

Redox interpretation and important groundwater chemical results

G E U S

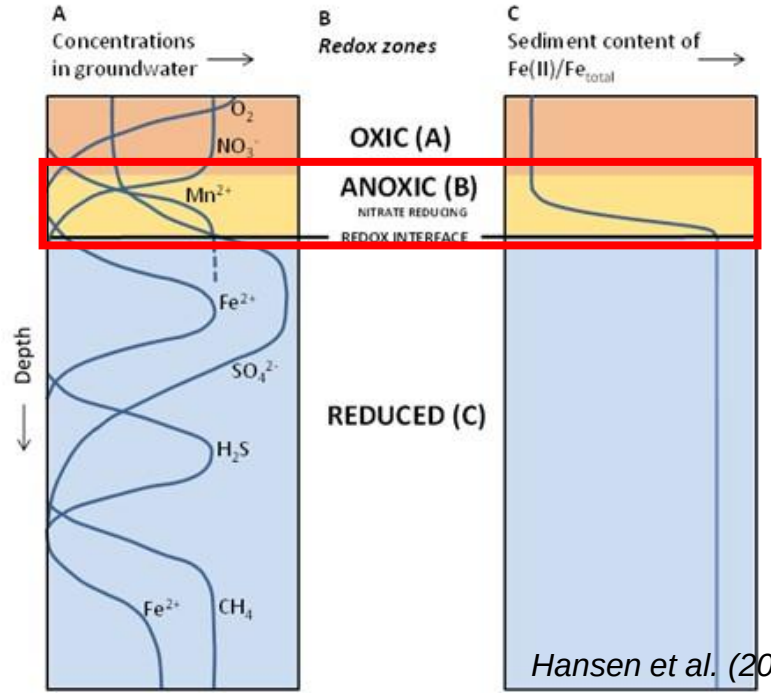
Hyojin Kim

Rasmus Jakobsen, Jens Aamand, Birgitte Hansen

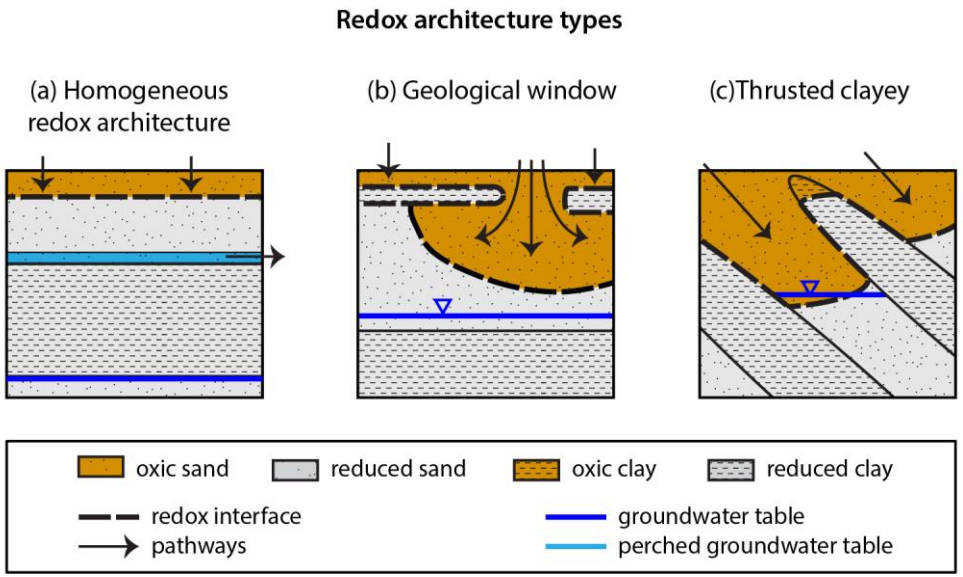
ATV Winter meeting (9.3.2021)

Redox architecture and N fate

- Redox conditions control the fate of N in water
  - No reduction in oxic conditions
  - N reduction in N-reducing conditions
  - Complete N reduction in reduced conditions
- Input data for N retention simulations
  - **Subsurface redox architecture**
  - **N reduction rates**
- Complexity of the redox architecture and challenges
  - Upscaling of field measurements
  - Parameterization of N reduction rates



Hansen et al. (2021)

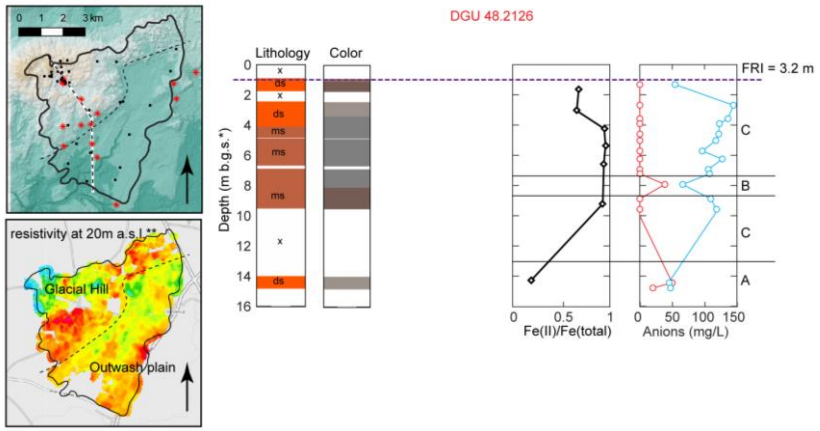


Kim et al. (2019)

Challenges I: Upscaling

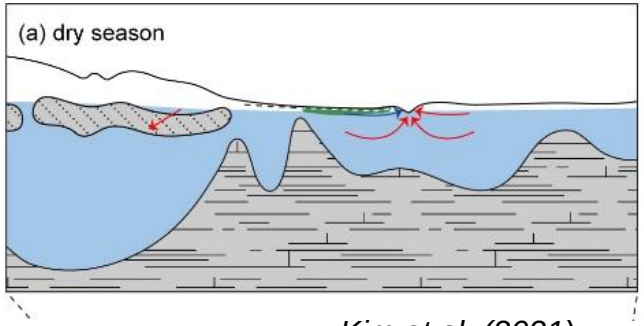
- Upscaling of point measurements to 3D scale

1D scale → 2D scale → 3D scale



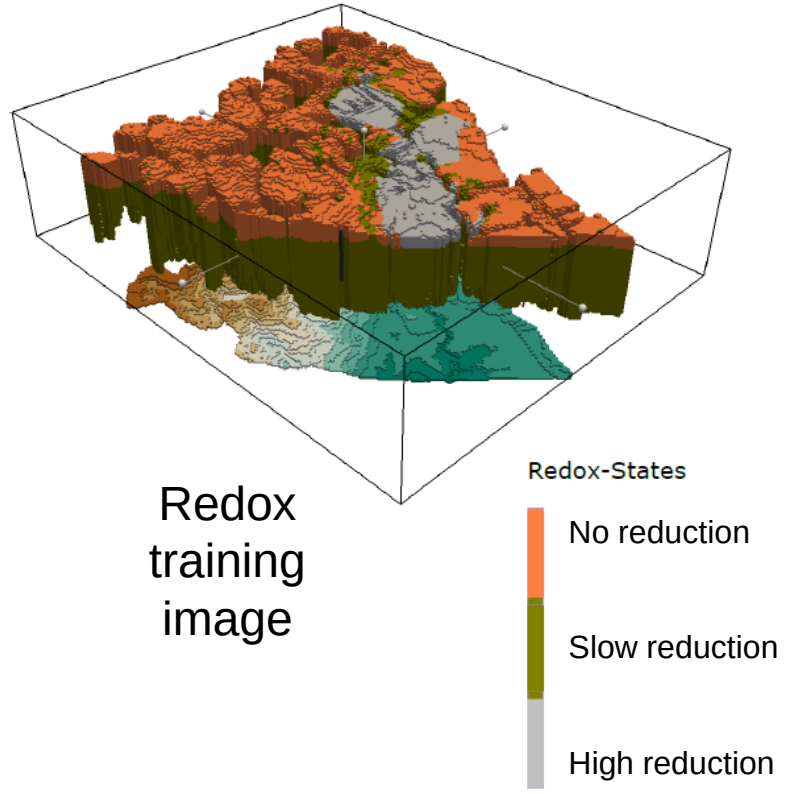
Hansen et al. (2021)

Hydrogeochemical data



Kim et al. (2021)

Conceptual model of water and nitrate transport



Redox training image

Challenges II: Parameterization

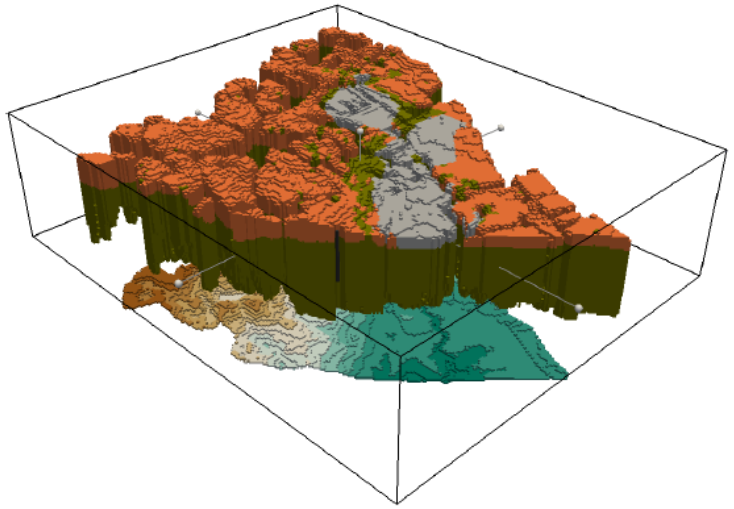
- **Parameterization of N reduction rates**

- N retention map:

$$N_{reduction} = \sum_{i=1}^{n} \left[\tau_i \frac{\partial C}{\partial t_i} \right]$$

τ_i transit time in redox zone *i*

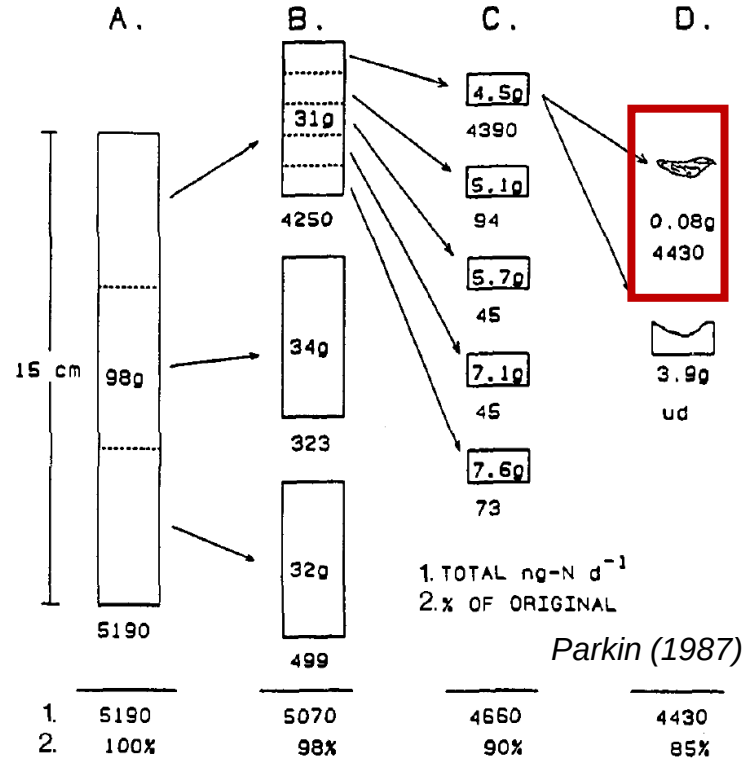
$\frac{\partial C}{\partial t_i}$ N reduction rate of redox zone *i*



- How to get a representative $\frac{\partial C}{\partial t_i}$ for each redox zone ?

  = Extremely heterogenous N reduction rates at various scales

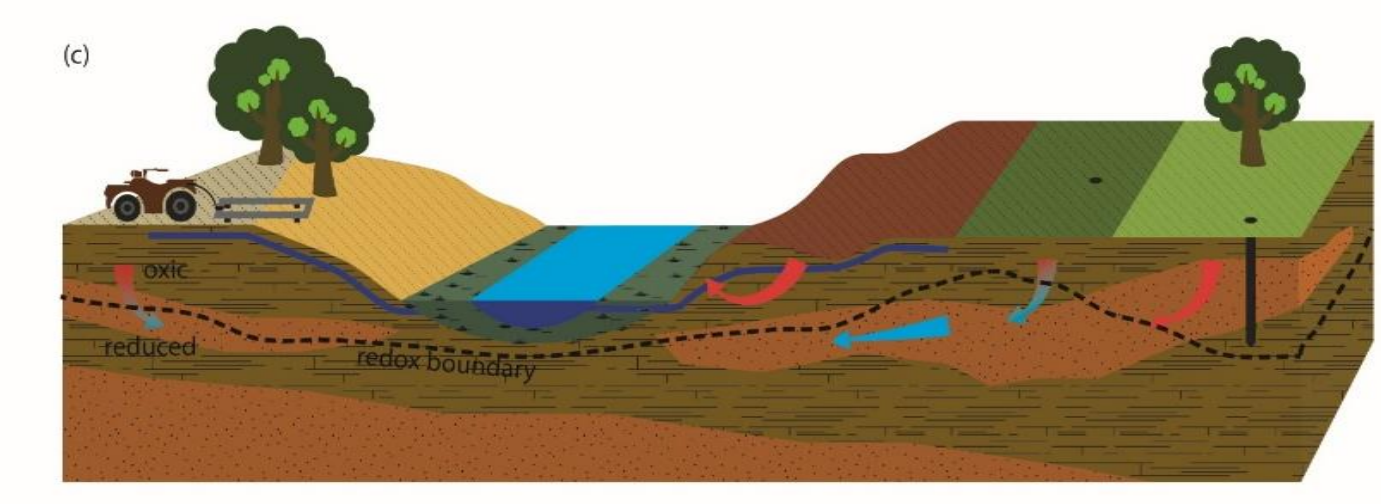
  = e.g., <0.1 % of mass of soil responsible for 85% of N reduction capacity (Parkin, 1987)



Parkin (1987)

Redox architecture in glacial landscapes

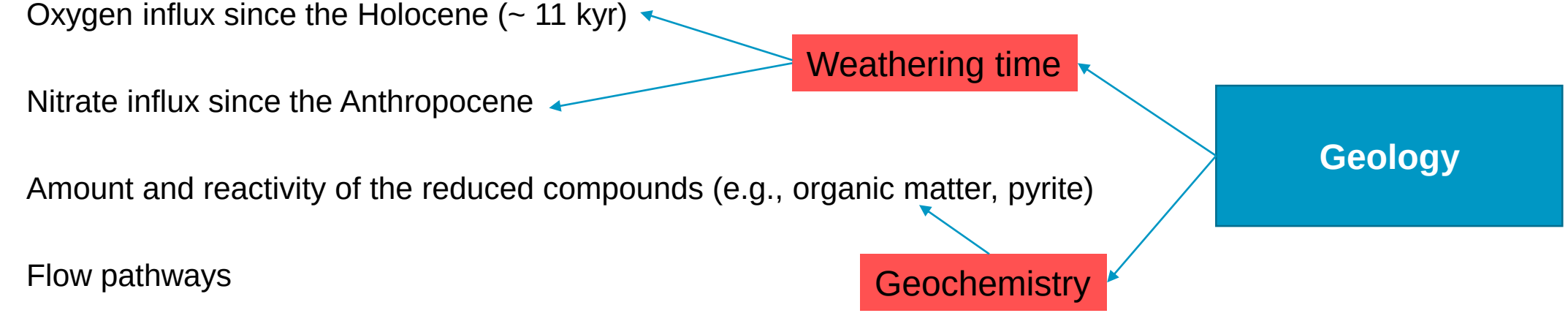
- **Primary controls on the redox architecture development**
  - Oxygen influx since the Holocene (~ 11 kyr)
  - Nitrate influx since the Anthropocene
  - Amount and reactivity of the reduced compounds (e.g., organic matter, pyrite)
  - Flow pathways

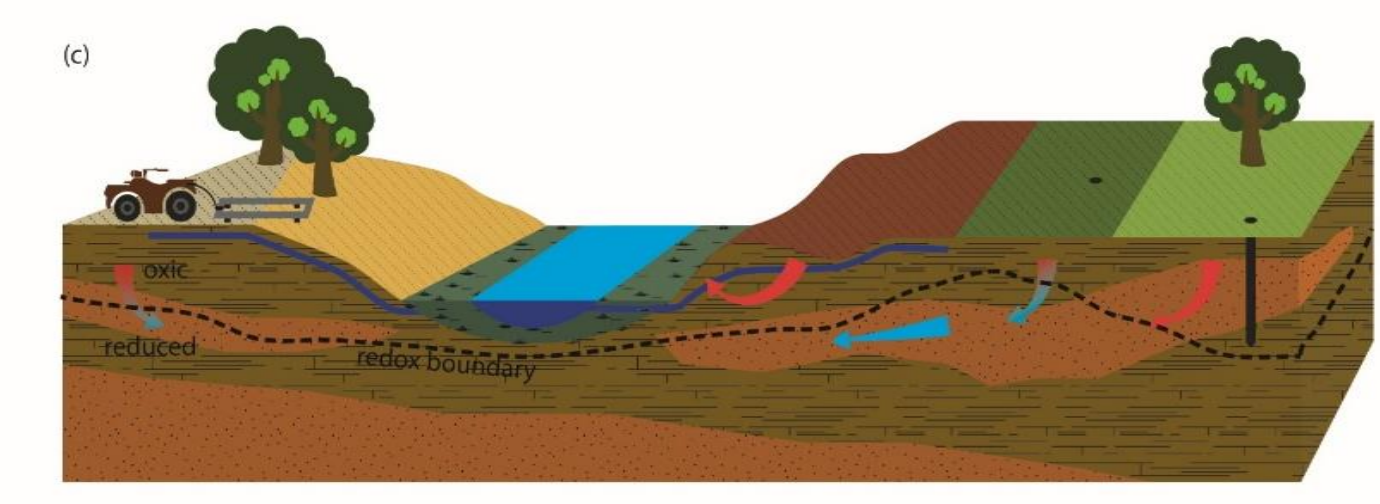


GEUS

Challenge I: Upscaling

- **Primary controls on the redox architecture development**
  - Oxygen influx since the Holocene (~ 11 kyr)
  - Nitrate influx since the Anthropocene
  - Amount and reactivity of the reduced compounds (e.g., organic matter, pyrite)
  - Flow pathways



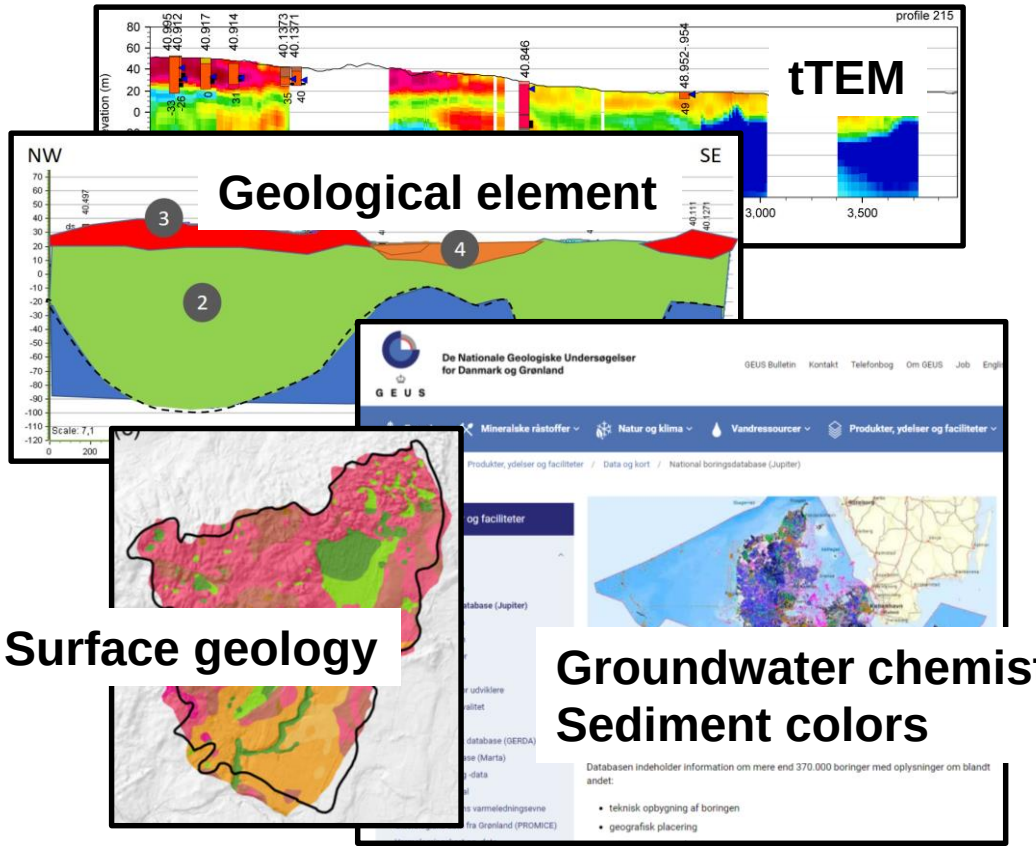


GEUS

Challenge I: Upscaling

- Starts from planning…

Selecting **representative** sampling point

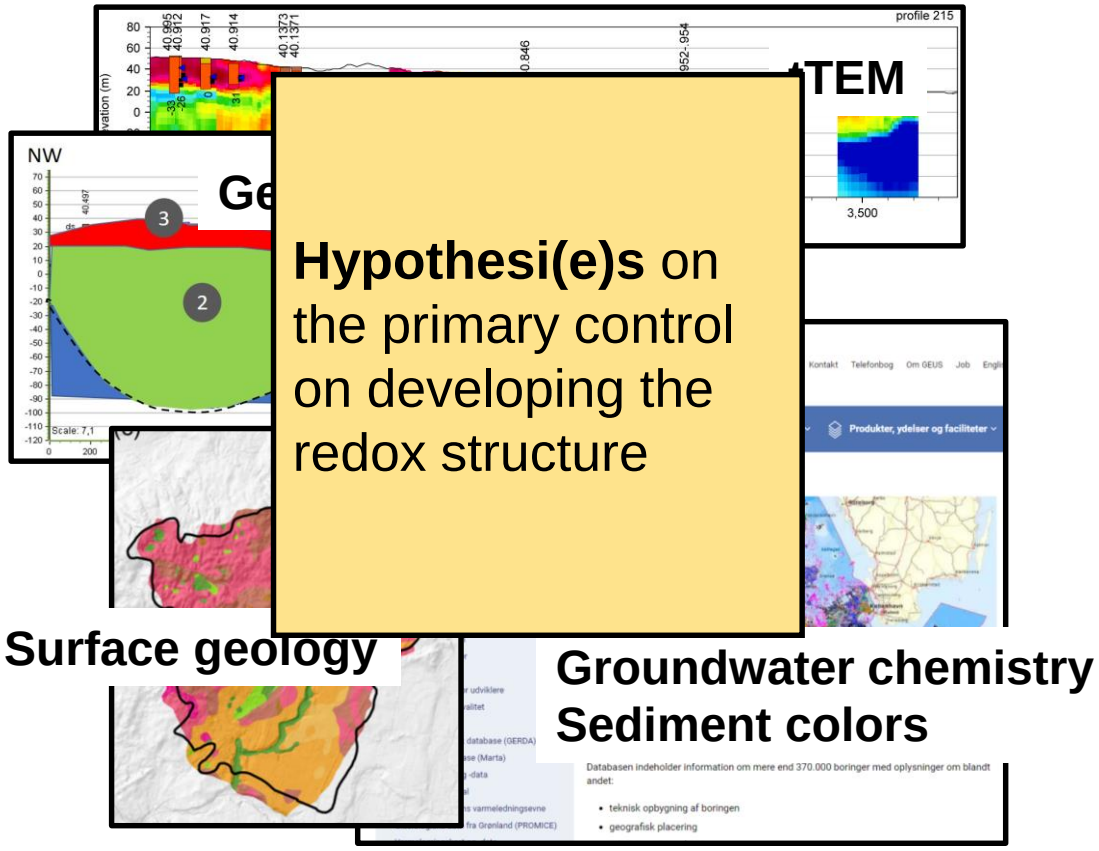


G E U S

Challenge I: Upscaling

- Starts from planning…

Selecting **representative** sampling point



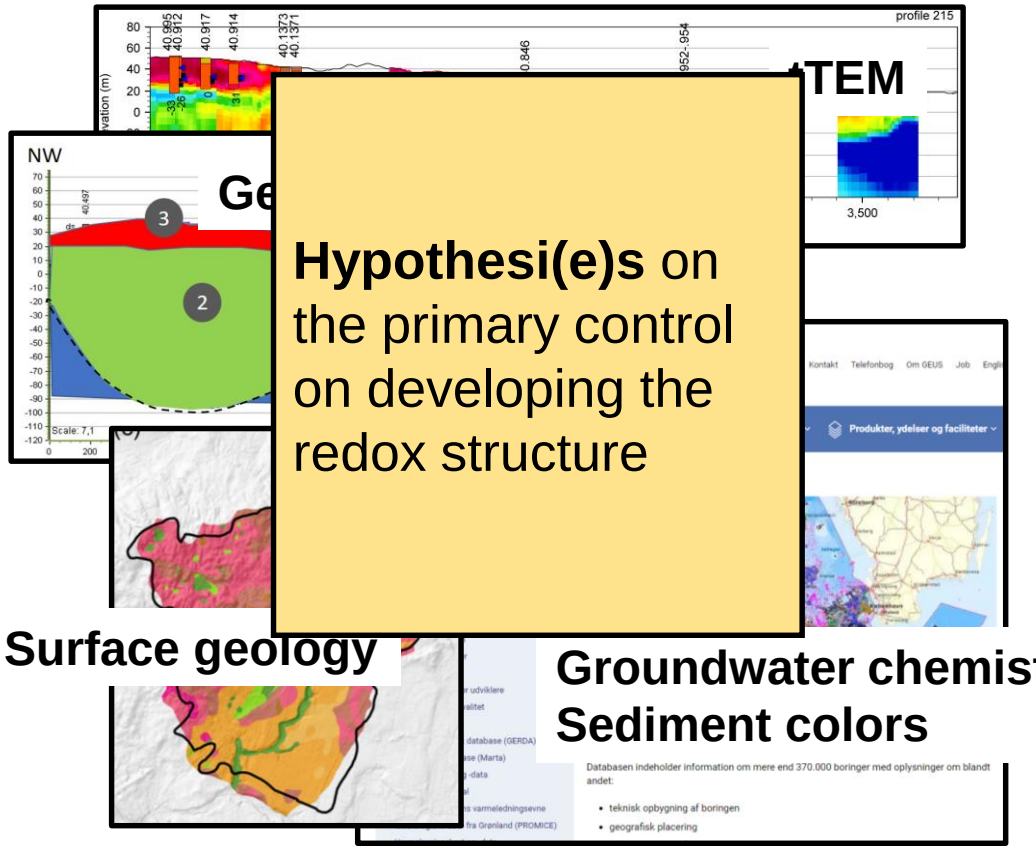
Hypothesi(e)s on the primary control on developing the redox structure

GEUS

Challenge I: Upscaling

- Starts from planning…

Selecting **representative** sampling point → Field sampling → Laboratory analysis

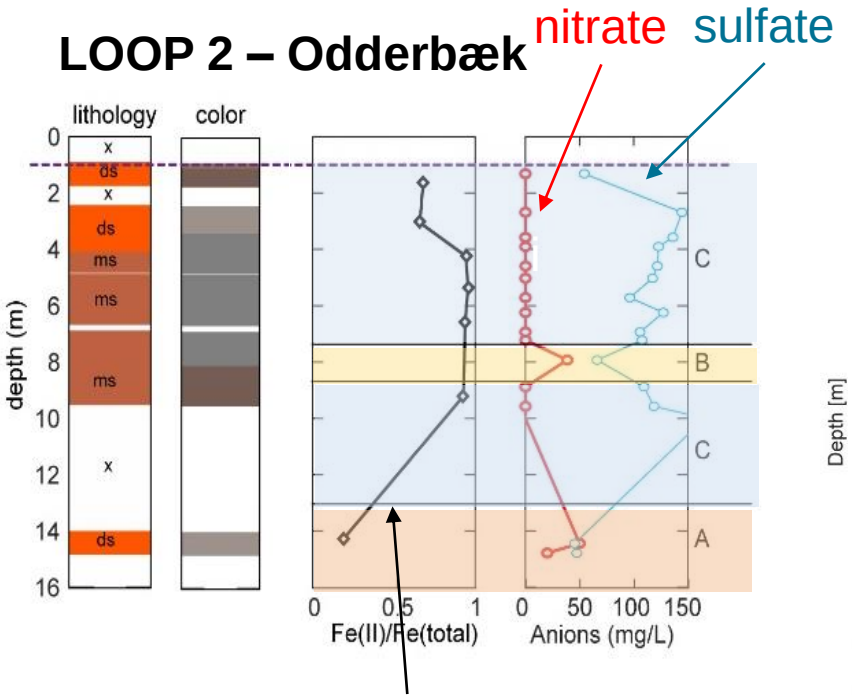


Hypothesi(e)s on the primary control on developing the redox structure

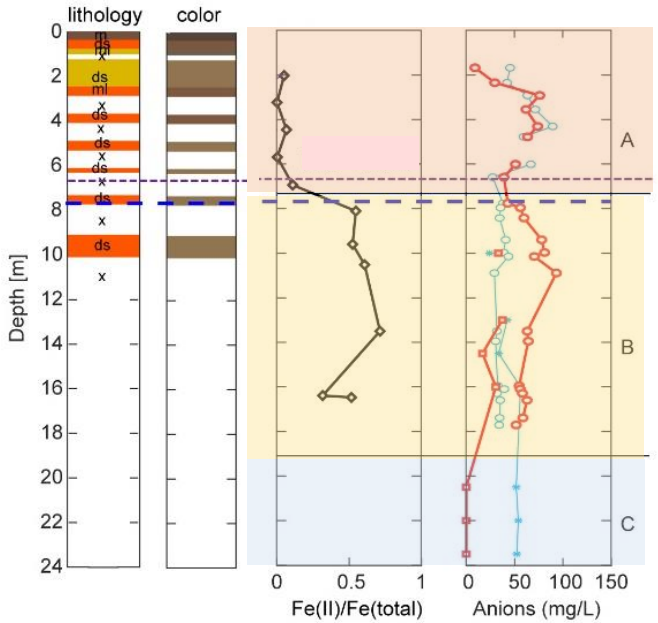
Challenge I: Upscaling

- Redox interpretations
  - Multiple redox conditions shifts in many cases

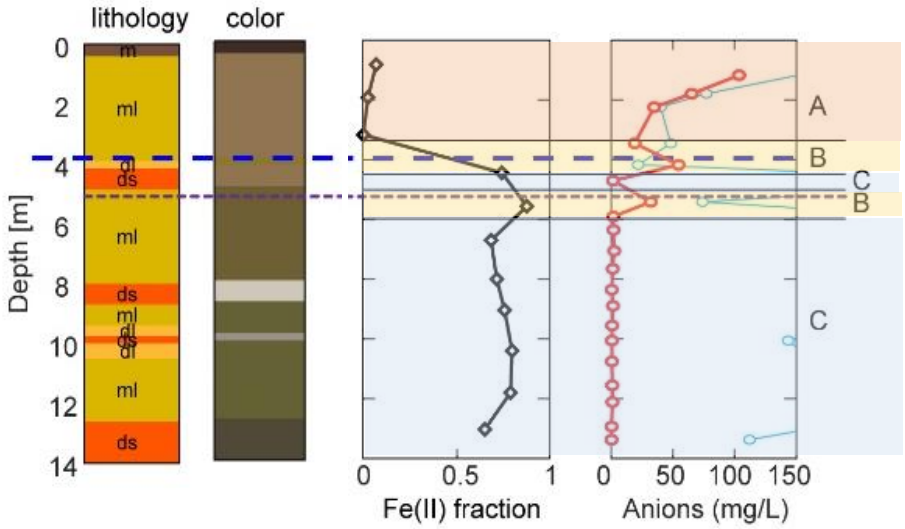
LOOP 2 – Odderbæk



Javngyde



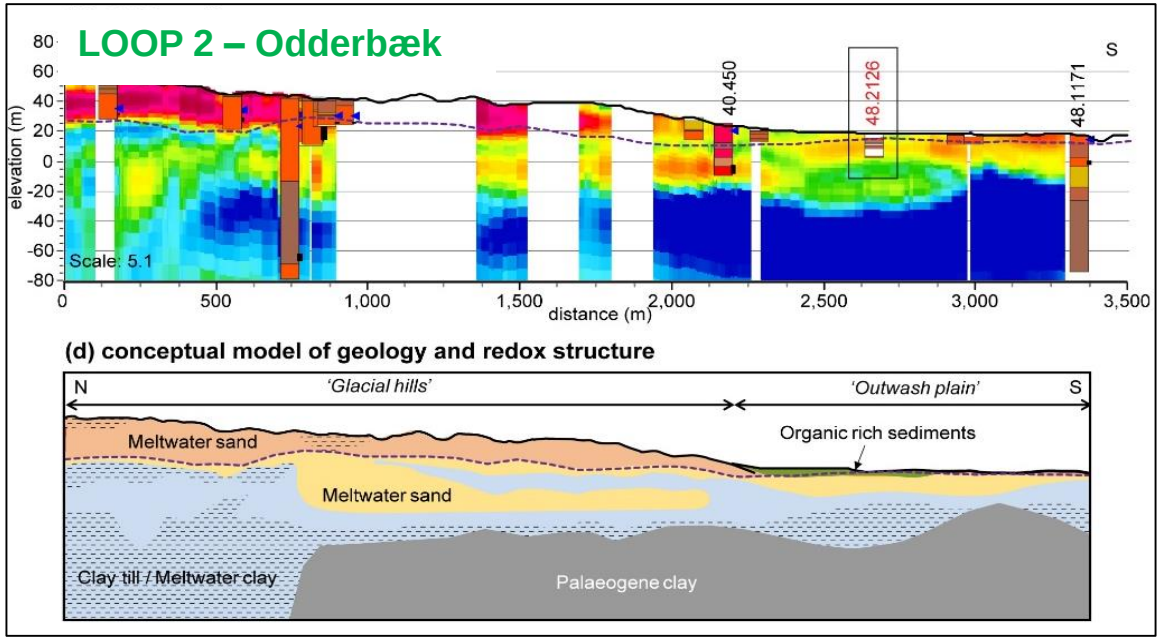
Sillerup

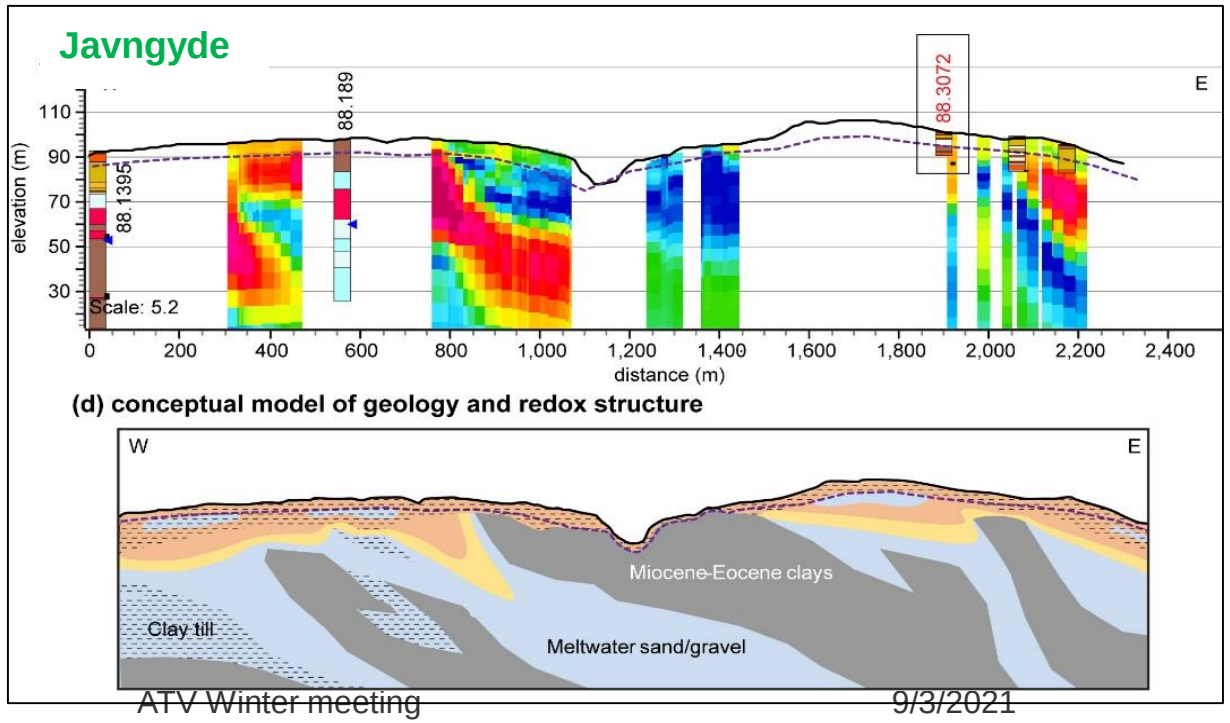


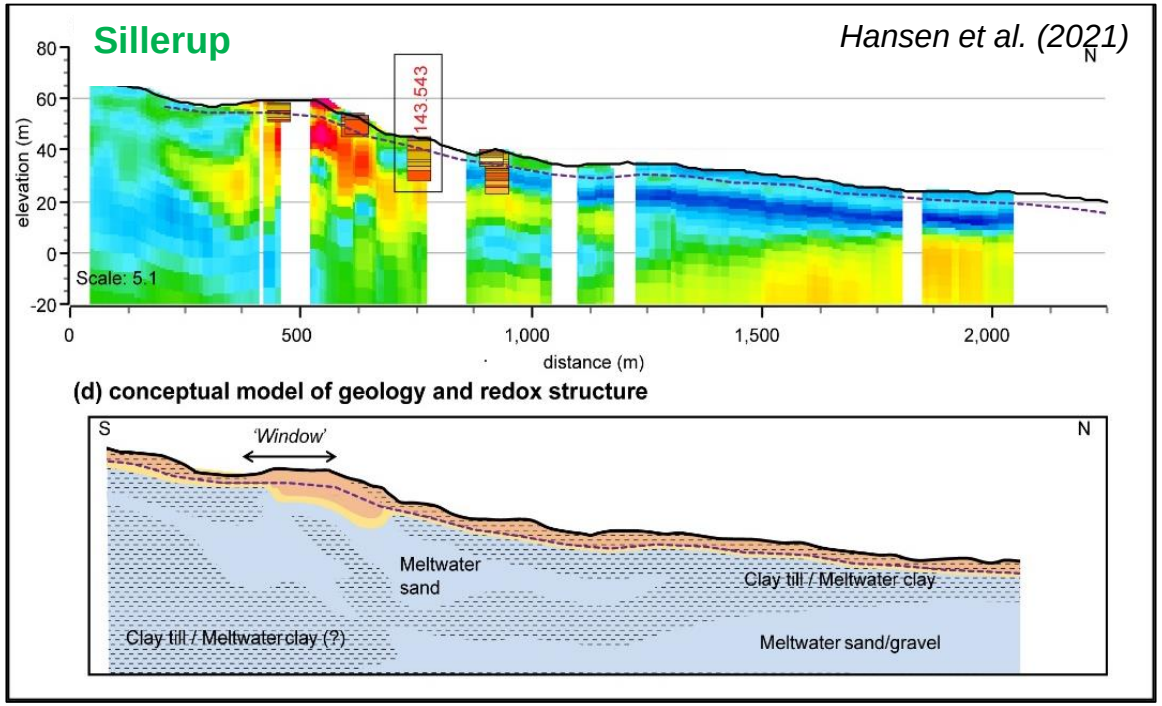
Hansen et al. (2021)

Challenge I: Upscaling

- Redox interpretations and upscaling
  - Conceptual interpretation of the redox architecture

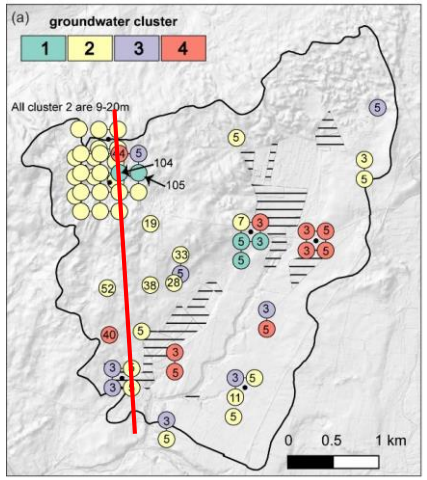


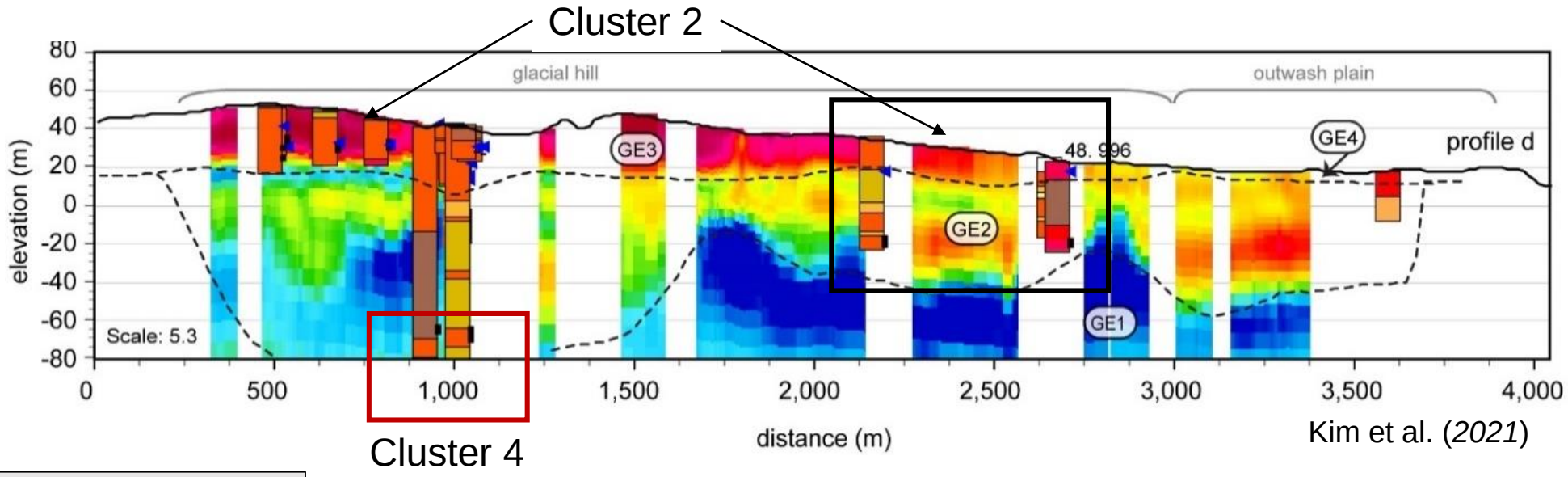




Challenge I: Upscaling

- Redox interpretation and upscaling
  - Statistical analysis of the groundwater heterogeneity





Cluster 4

Kim et al. (*2021*)

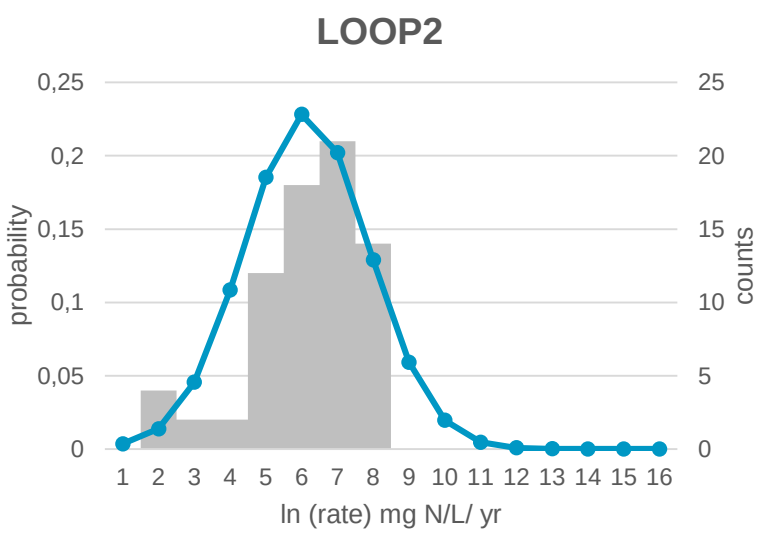
Cluster 1 = **(N reduction)** organic carbon oxidation – nitrate reduction
Cluster 2 = **(Oxic)** weathering with CO_2 or nitric acid
Cluster 3 = **(Oxic)** weathering with nitric acid
Cluster 4 = **(N reduction)** pyrite oxidation –nitrate reduction

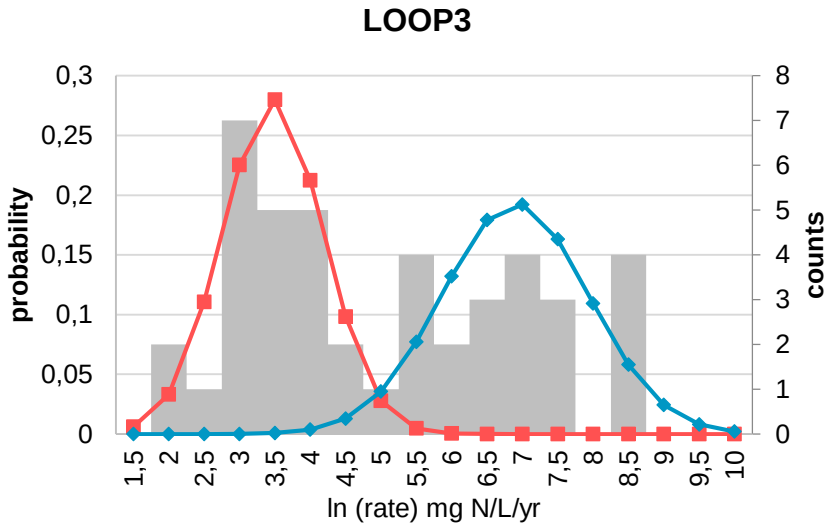
GE1: Paleogene Clay
GE2: Quaternary Sequence of clay and sand
GE3: Glacial Hill
GE4: Outwash plain

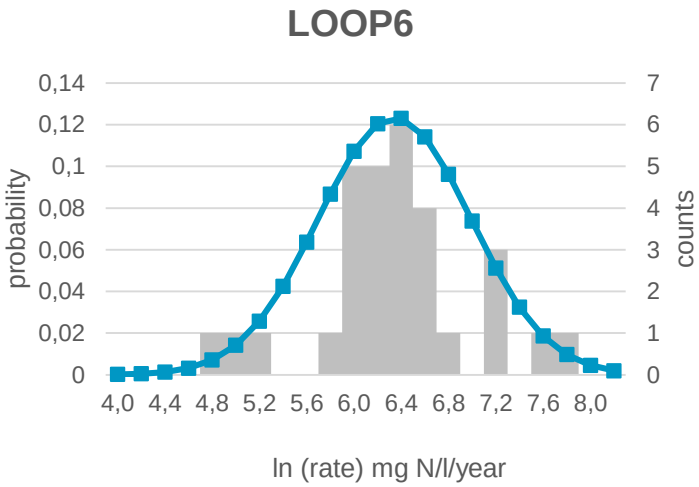
G E U S

Challenge II: Parameterization

- **Representative N reduction rates?**







- sampling sites were carefully selected based on the structural information but the N reduction rates vary over a few orders of magnitude.

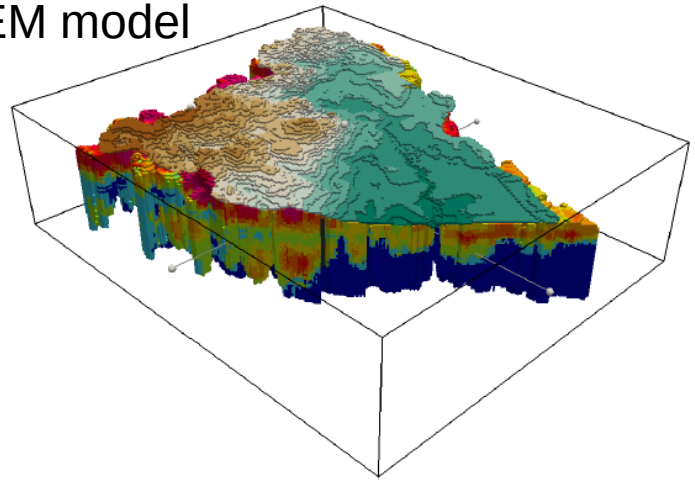
- In general, N reduction rate measurements of each site show a log-normal distribution.

  = multiplicative effects may show a log normal distribution

  = **reduced compounds x microbial density x oxygen free condition**

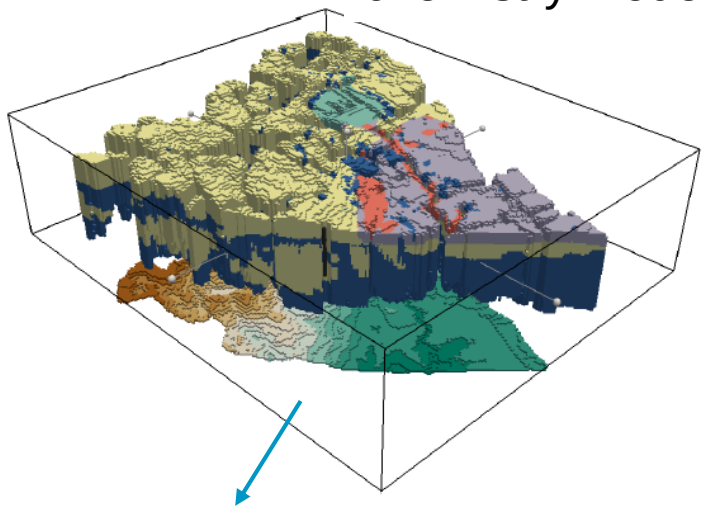
Summary: upscaling and parameterization

tTEM model



Geological structure
Hydrogeological information

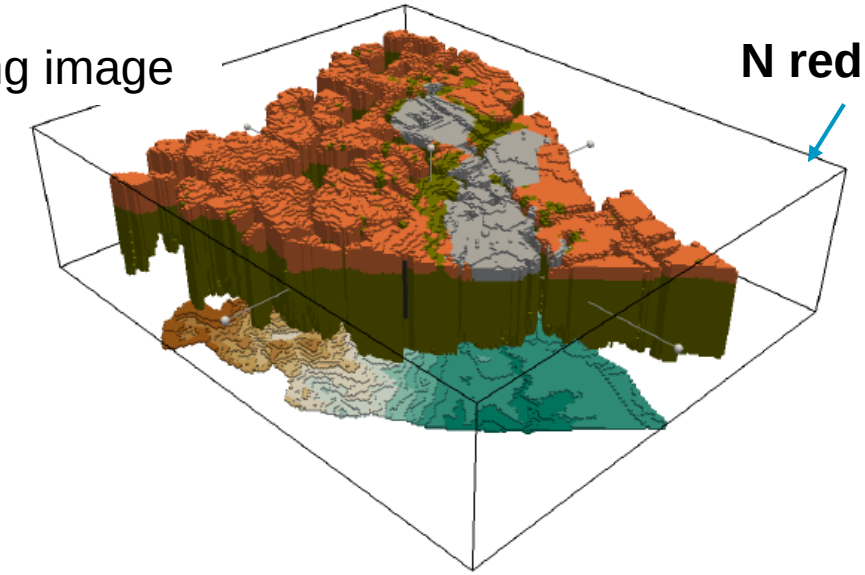
Groundwater chemistry model



Field campaign planning

N reduction rate determination

Redox training image



G E U S

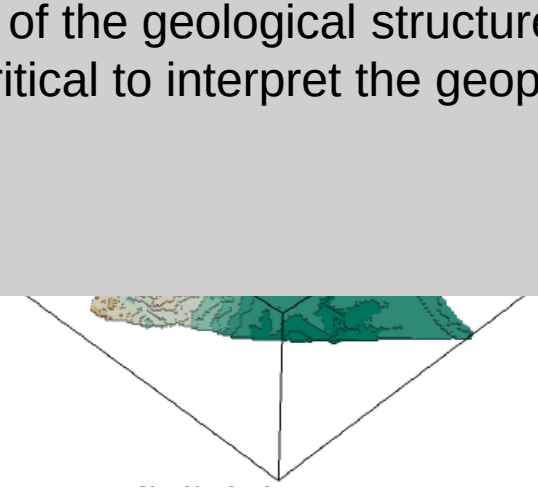
Summary: upscaling and parameterization

Groundwater chemistry model

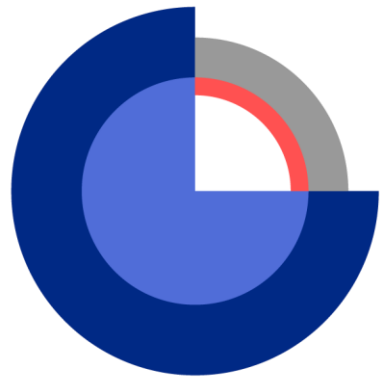
tTEM

Lessons learned…

- Geological structure plays a primary role in shaping the redox structure.
- Field measurements are required to locate the denitrifying zones.
- A reduced condition does not necessarily indicate a high N reduction capacity (or rate).
- Denitrification rates vary significantly site to site. Underlying controls on this variability requires further research.
- Solid understandings of the geological structure and the hydrogeochemical dynamics of the catchment is critical to interpret the geophysical information into the redox information.



GEUS



GEUS

Geostatistisk modellering med geologiske elementer

af Rasmus Bødker Madsen, forsker

GEUS

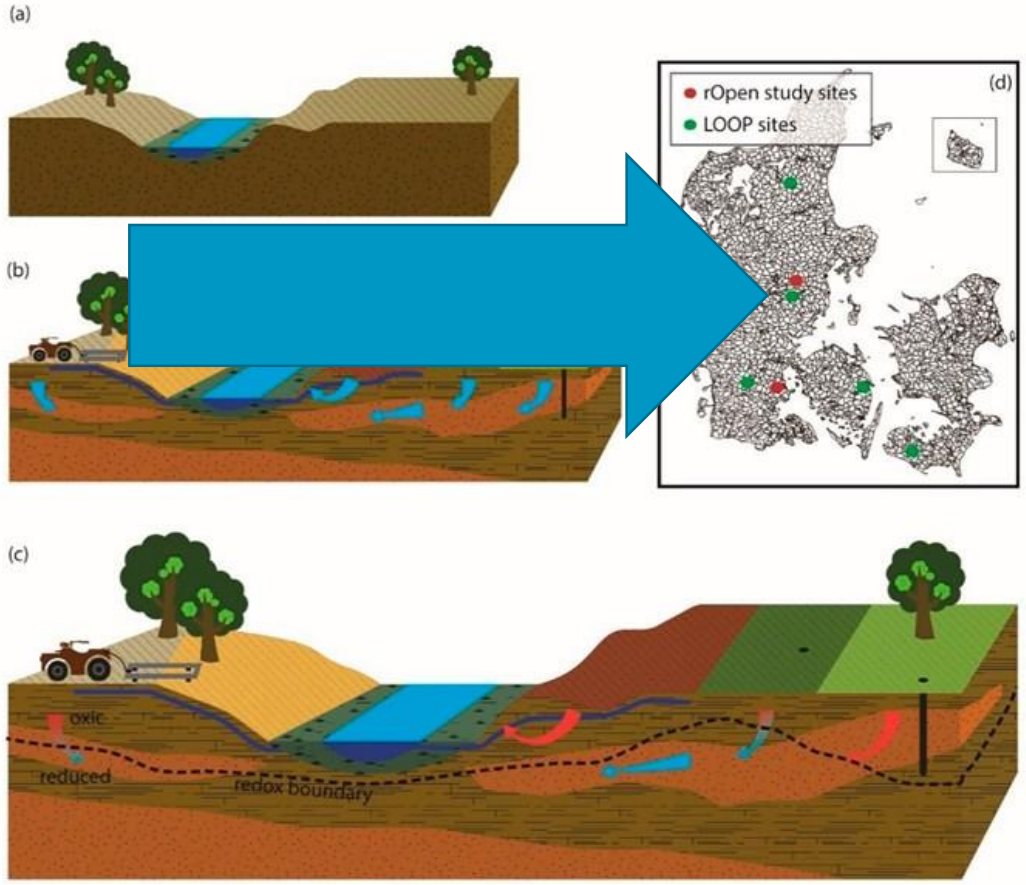
Motivation

- Forskning udført i Innovation Fund Denmark projektet "Mapfield"
  - Hovedmål er at udvikle teknikker og koncepter til målrettet N-regulering i dansk landbrug til beskyttelse af grundvands- og overfladevandresourcer.

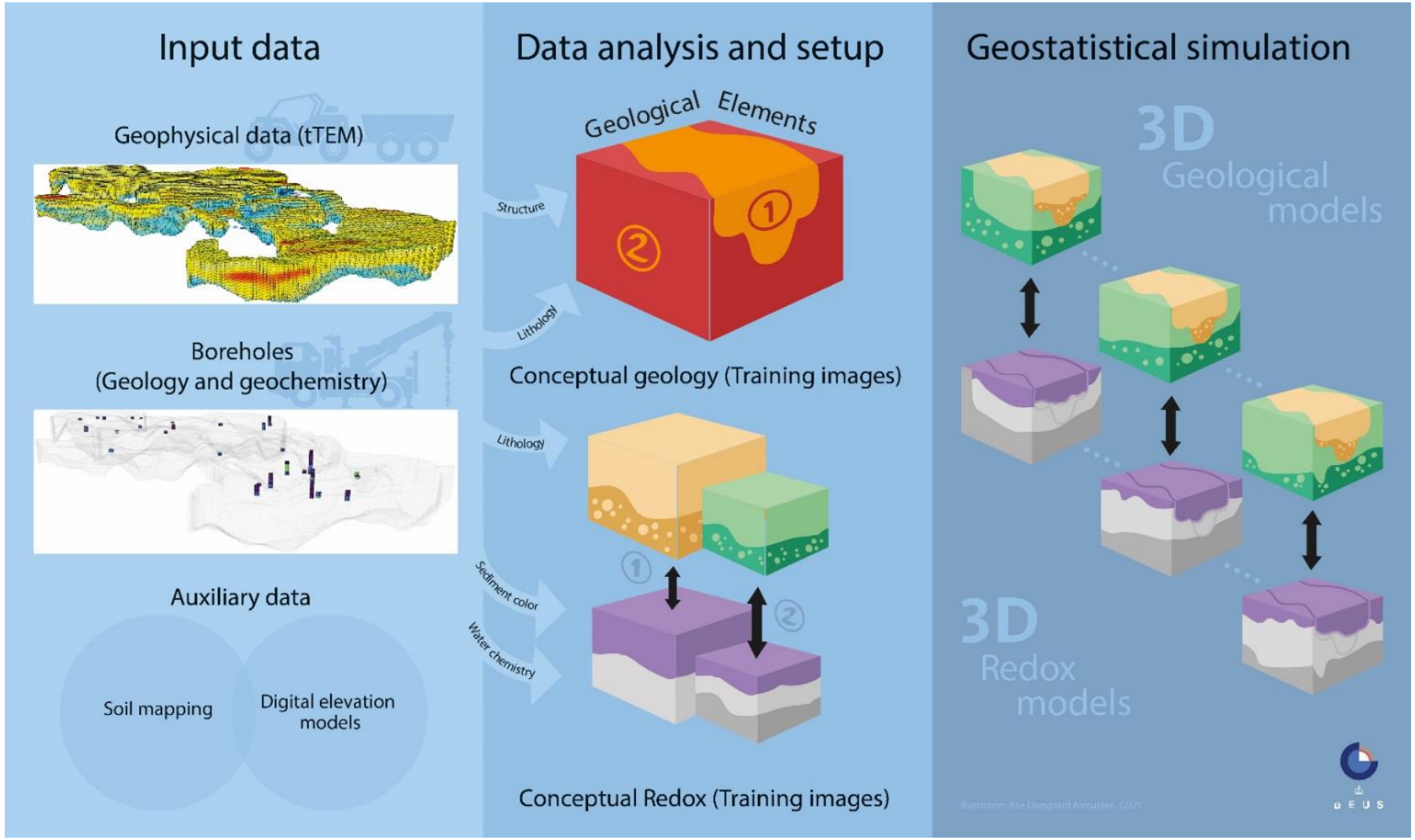
- Problem? Nitrat kontaminerer gennem udvaskning fra overfladen.

- Hvad skal vi kende?
  - Redoxforhold: Bestemmer faser og koncentrationer af nitrat
  - Geologiske arkitektur: Styrer strømninger og transport af nitrat i undergrunden

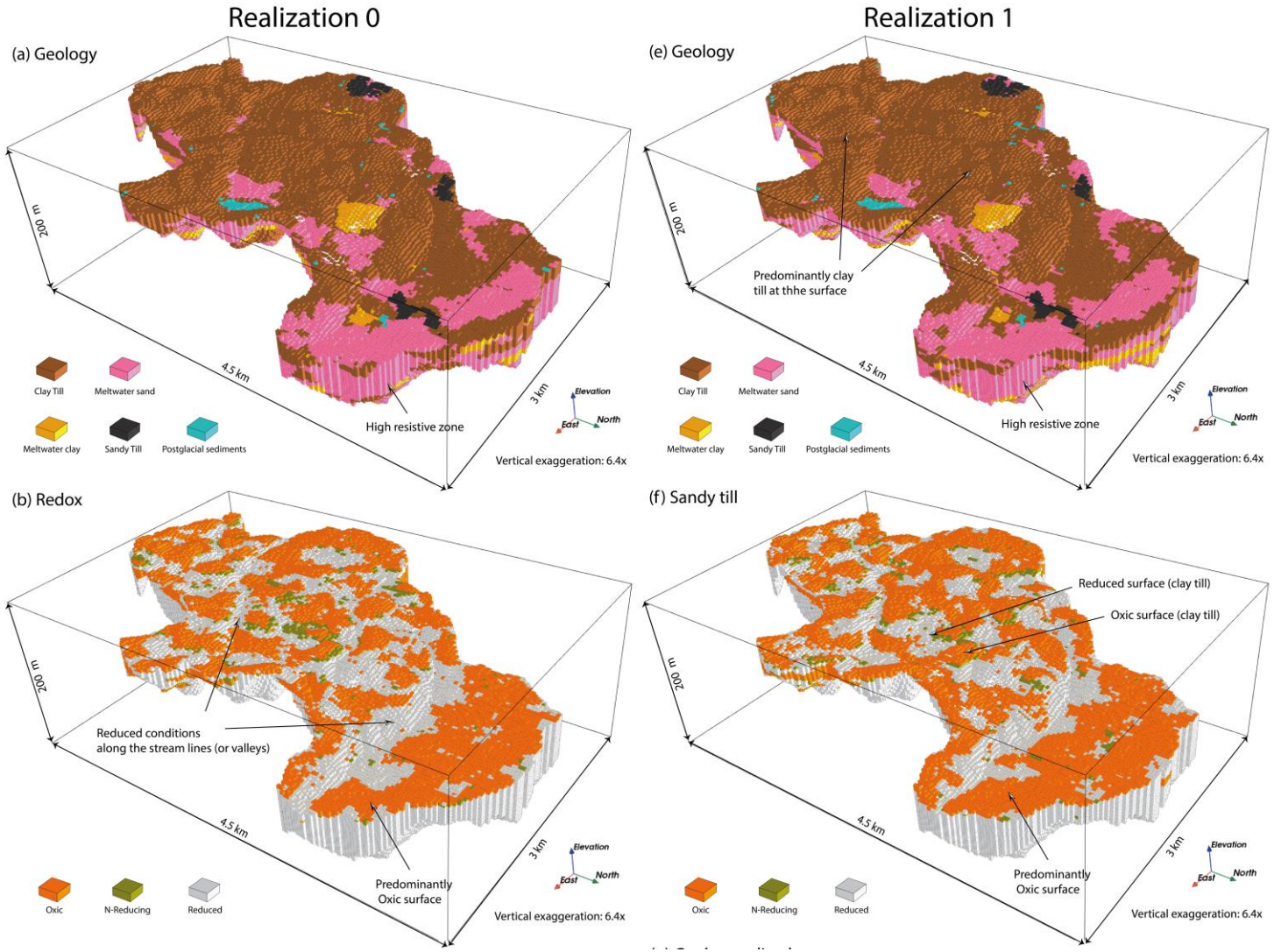
- Løsning: Detaljeret kortlægning af redox og geologi i 3D
  - Tage hånd om rumlige usikkerheder i kortlægning gennem ensemble af mulige løsninger ved geostatistisk simulering
- Mål: Muliggøre målrettet N-regulering



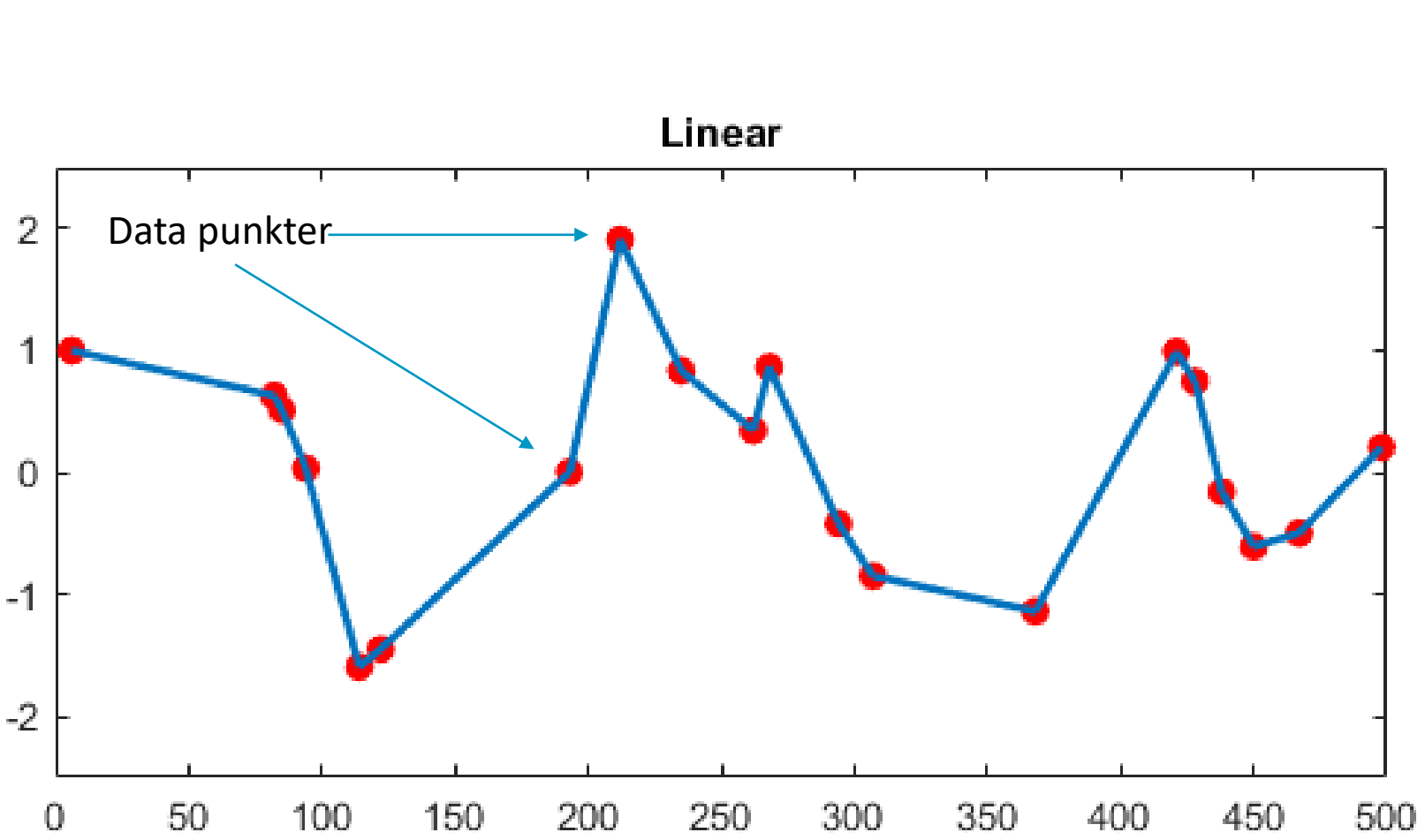
Geologisk/geofysisk/geokemisk modellering

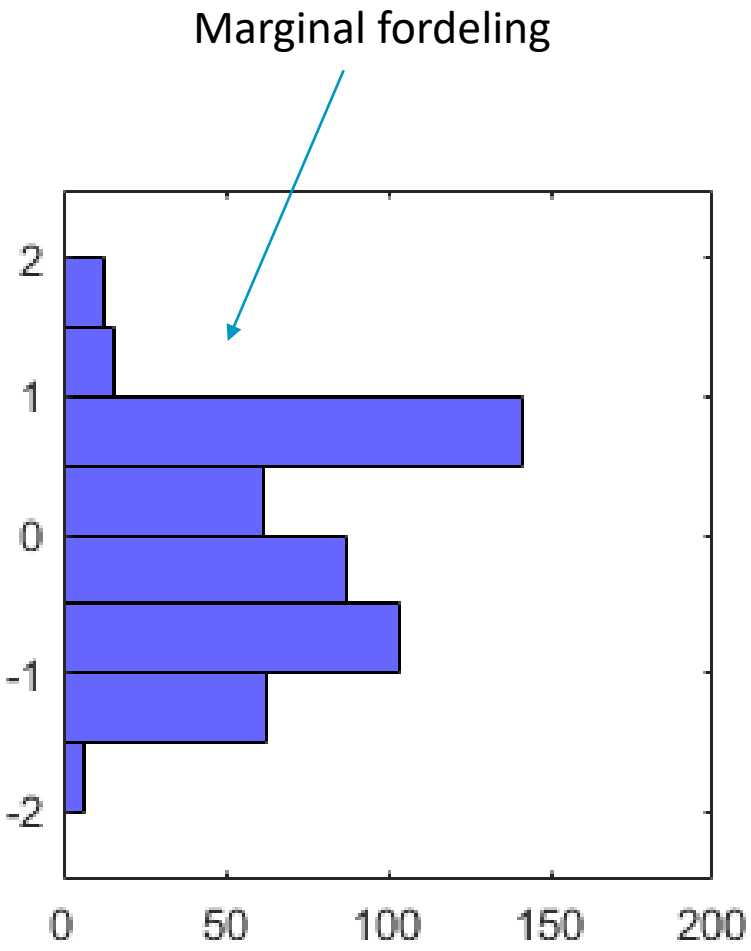


Løsninger fra geostatistisk MPS simulering

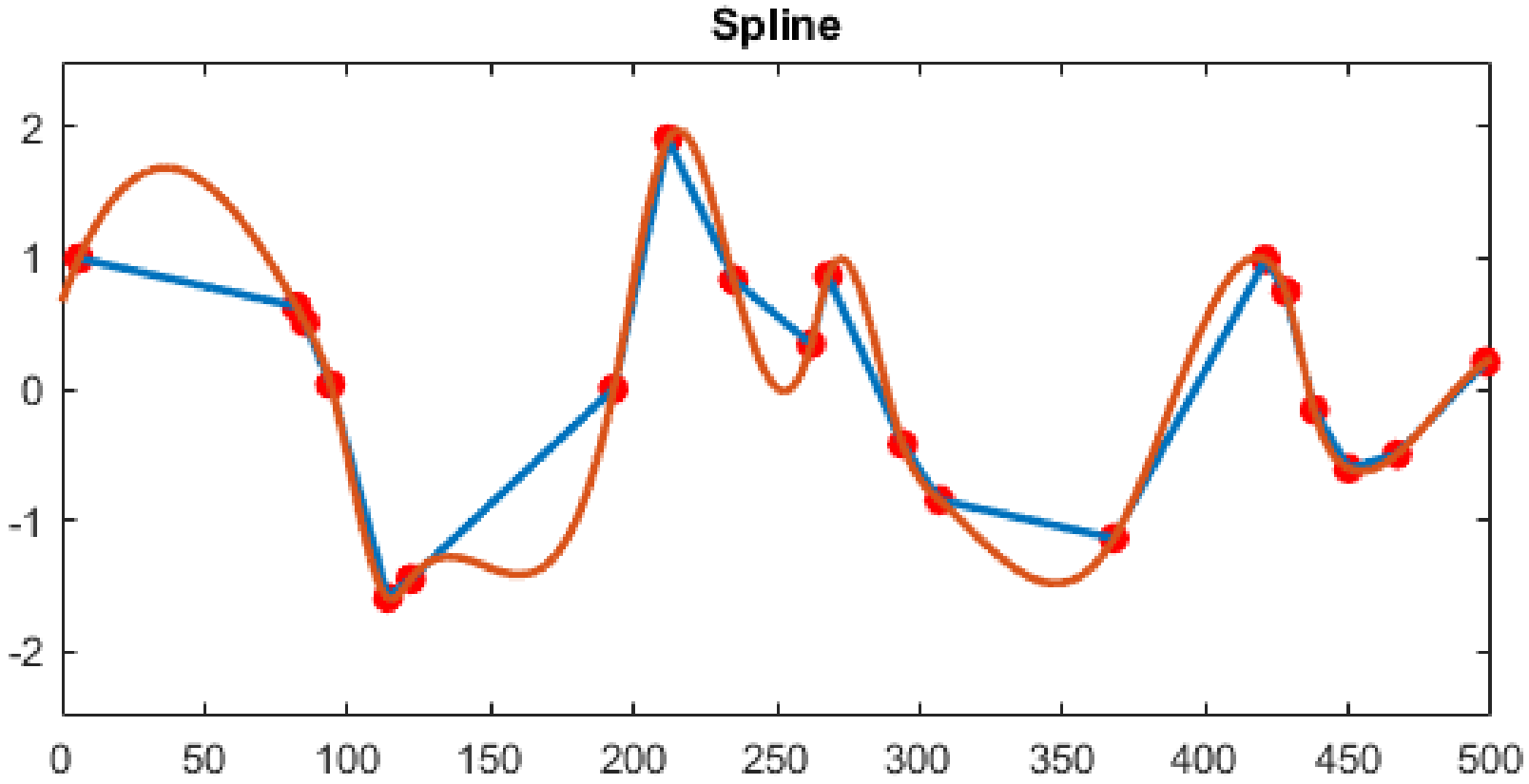


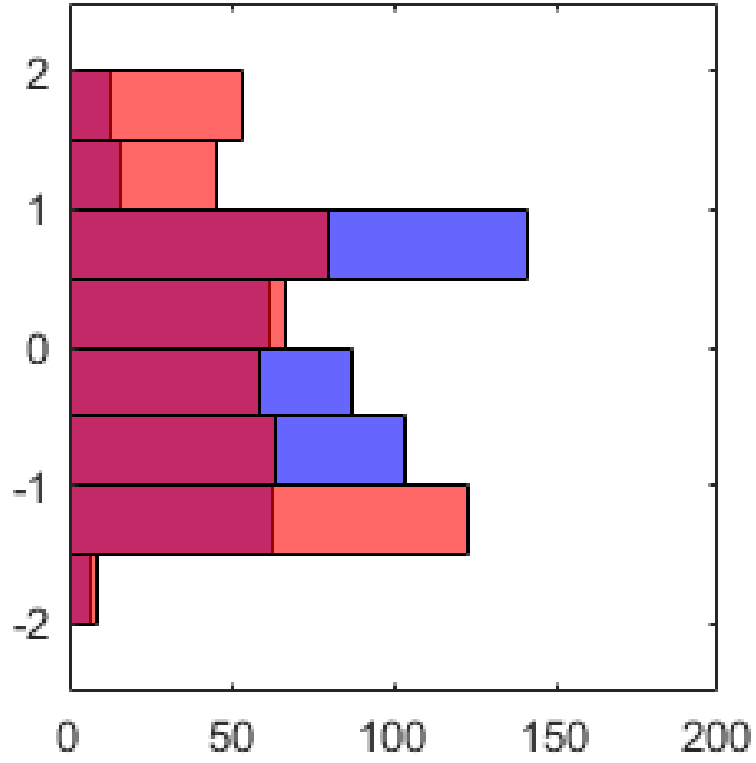
Et fælles ståsted – interpolation i 1D



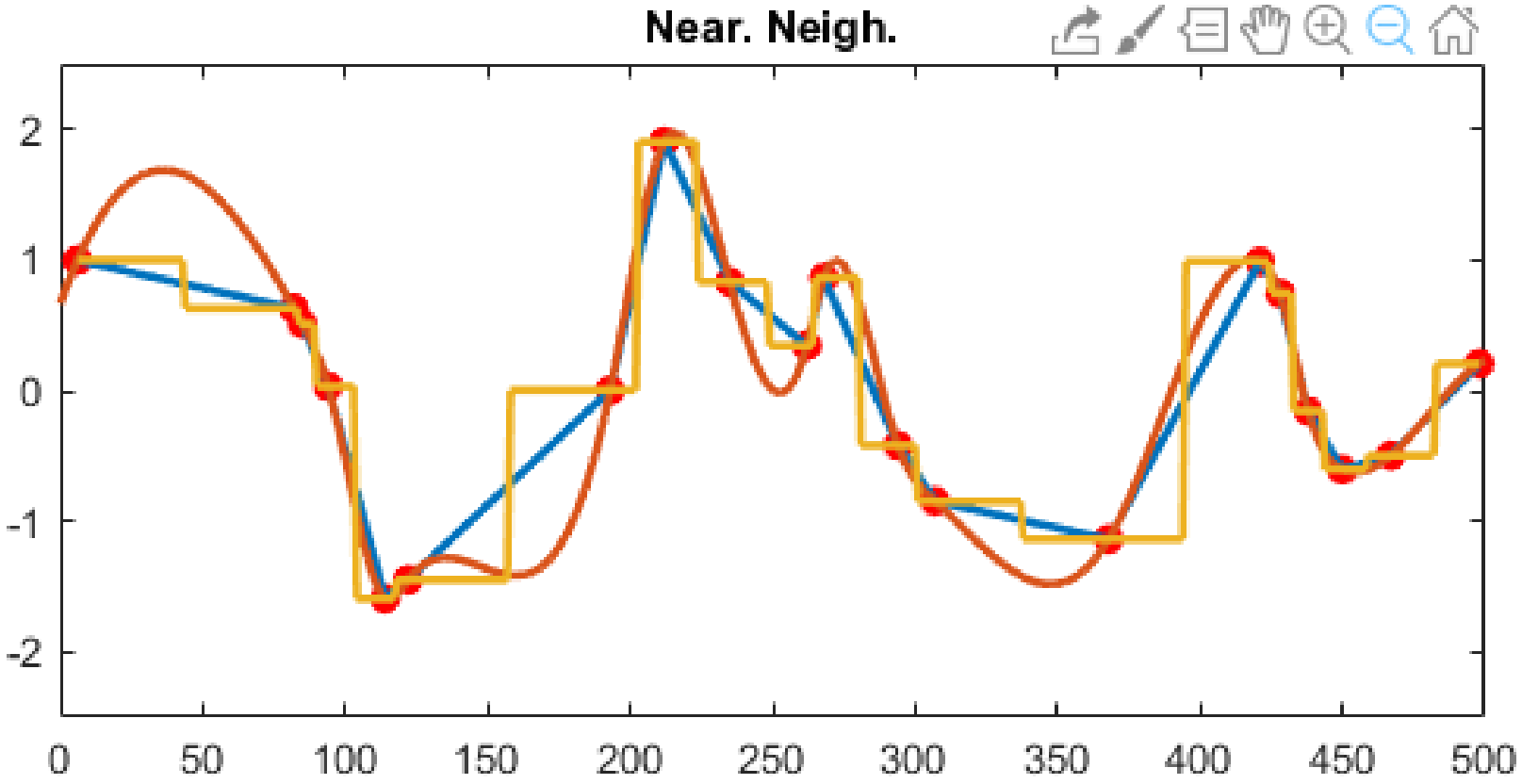


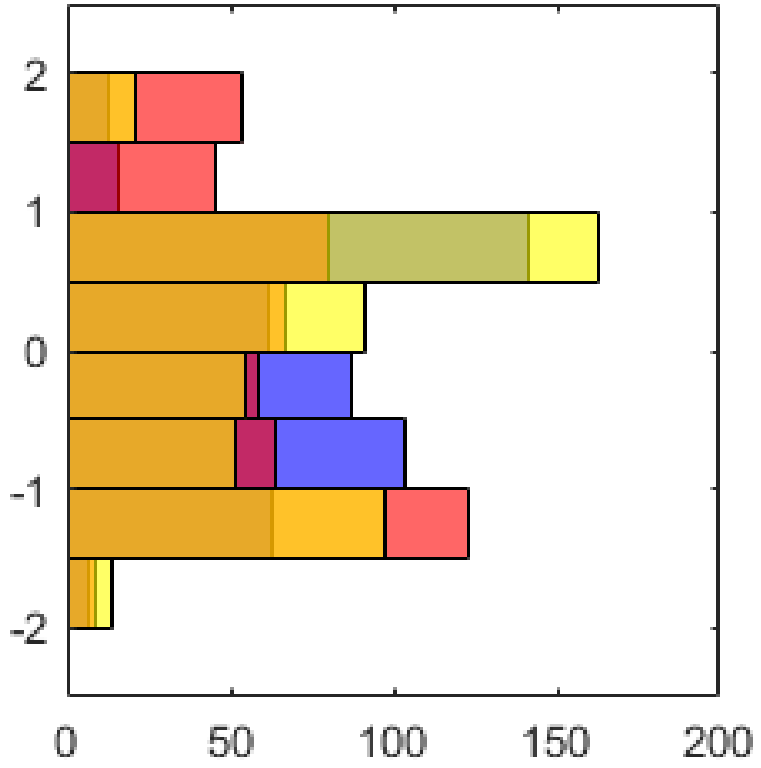
Et fælles ståsted – interpolation i 1D



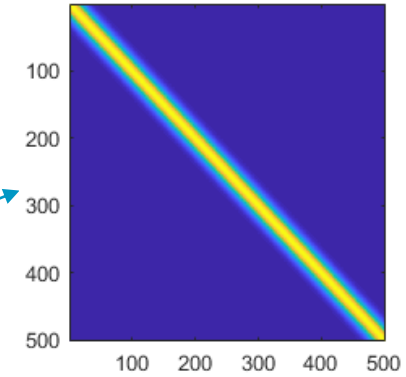


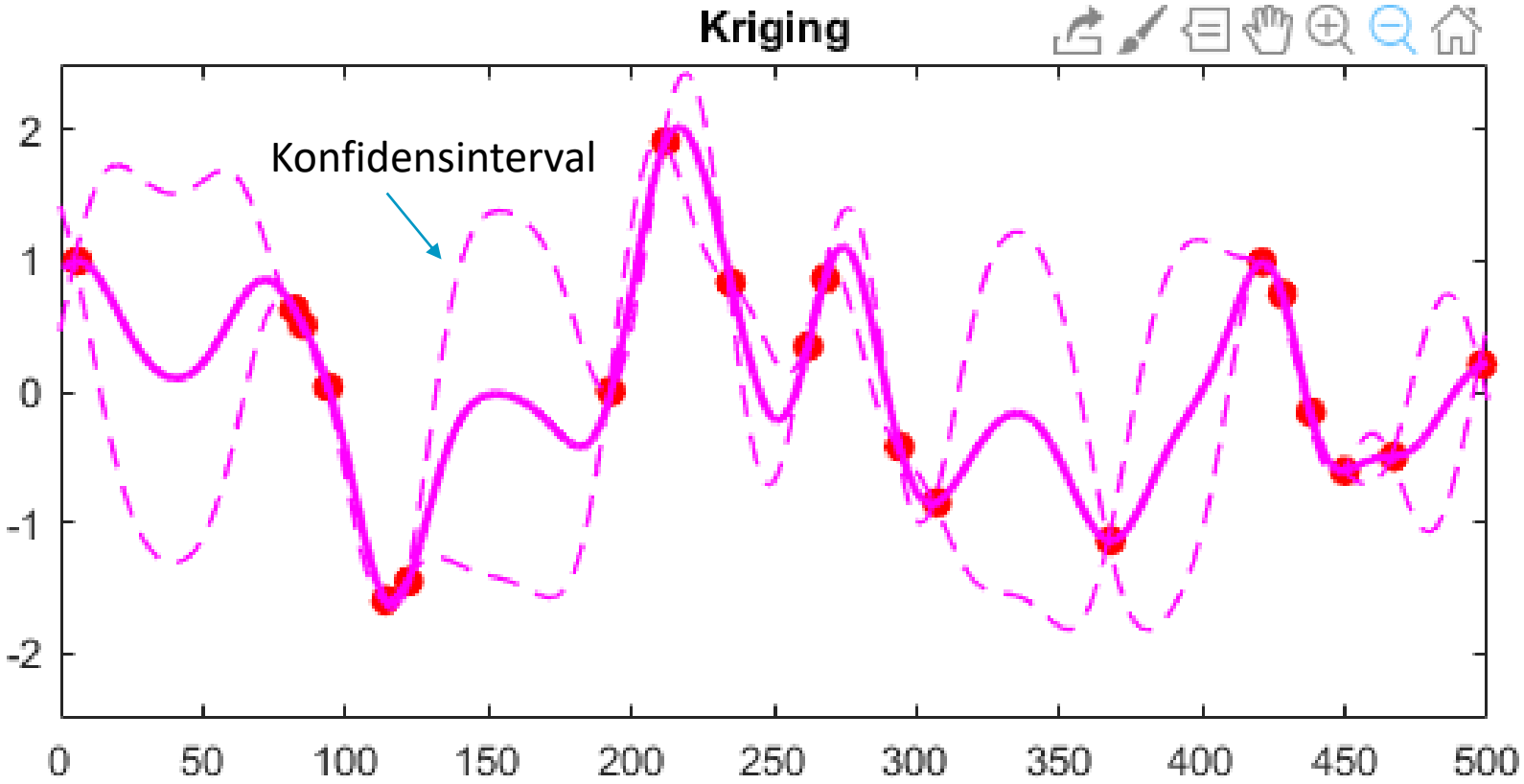
Et fælles ståsted – interpolation i 1D

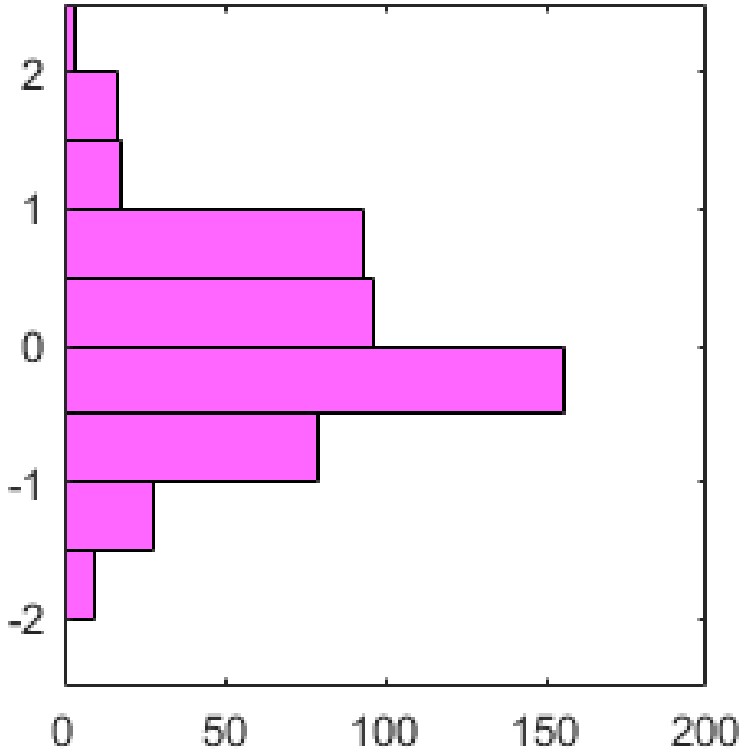




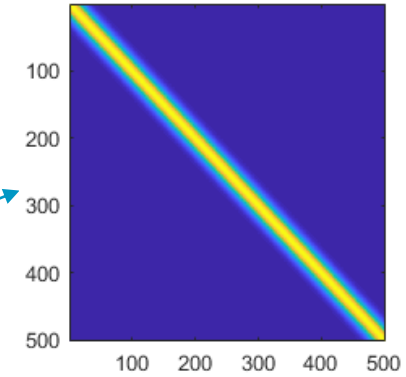
Et fælles ståsted – kriging i 1D



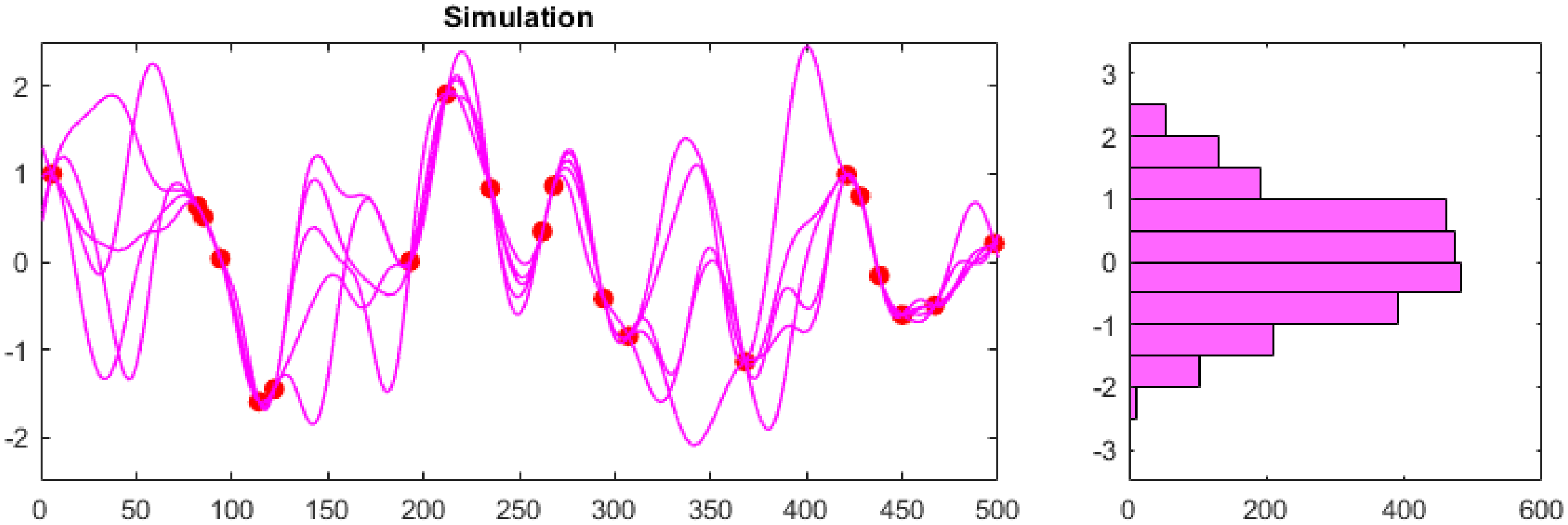




Et fælles ståsted– simulation i 1D

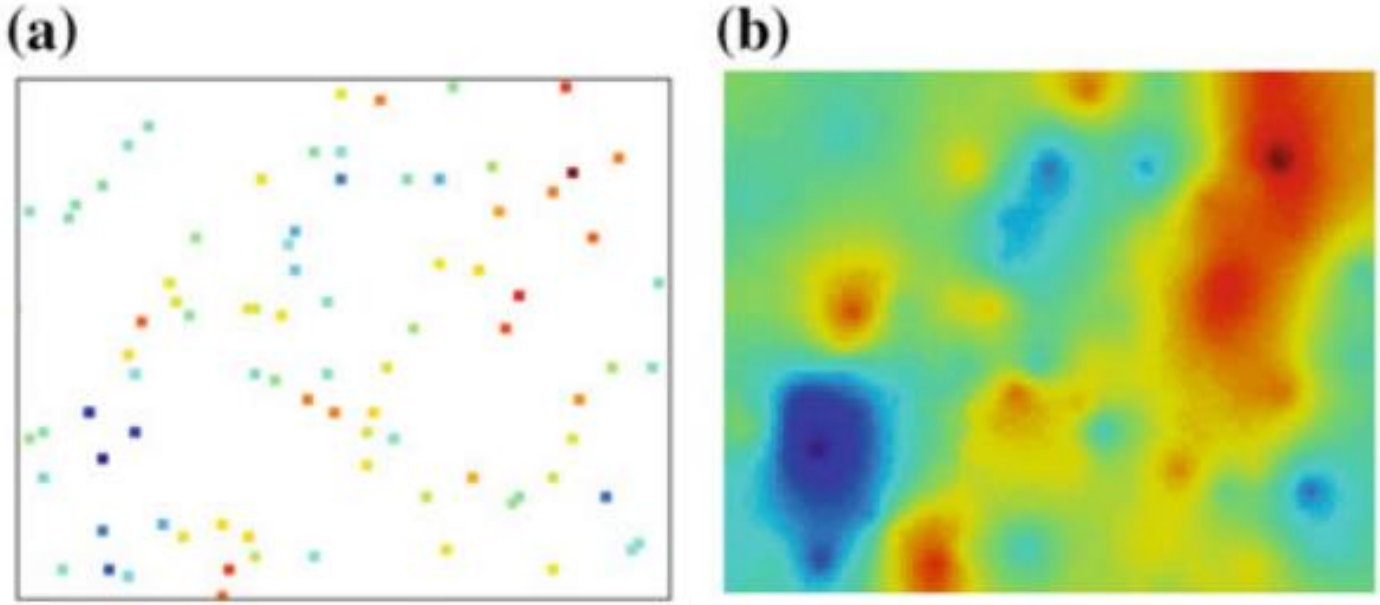


Kovariansmatrice:
Beskriver rumlig variabilitet

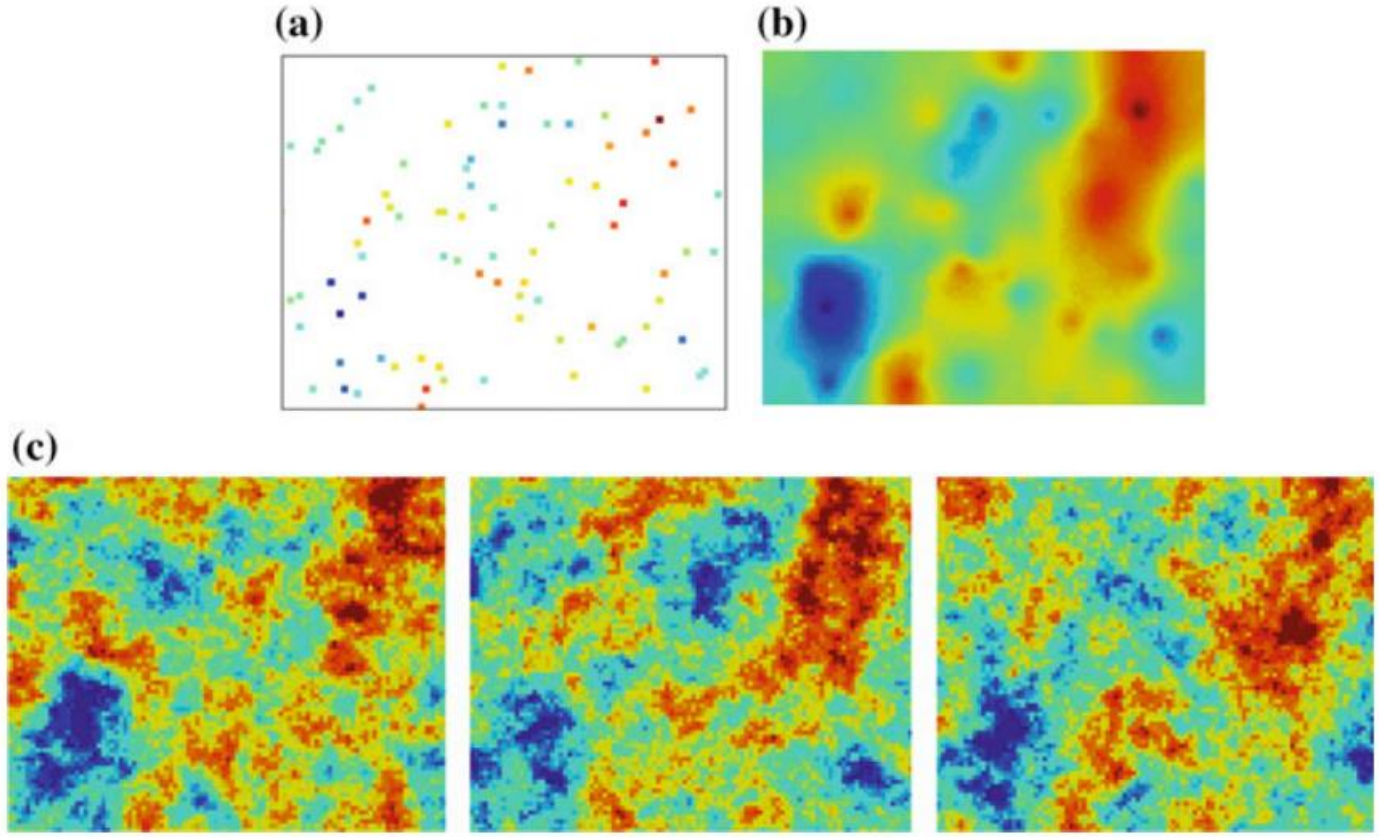


Et fælles ståsted - kriging

2D kriging

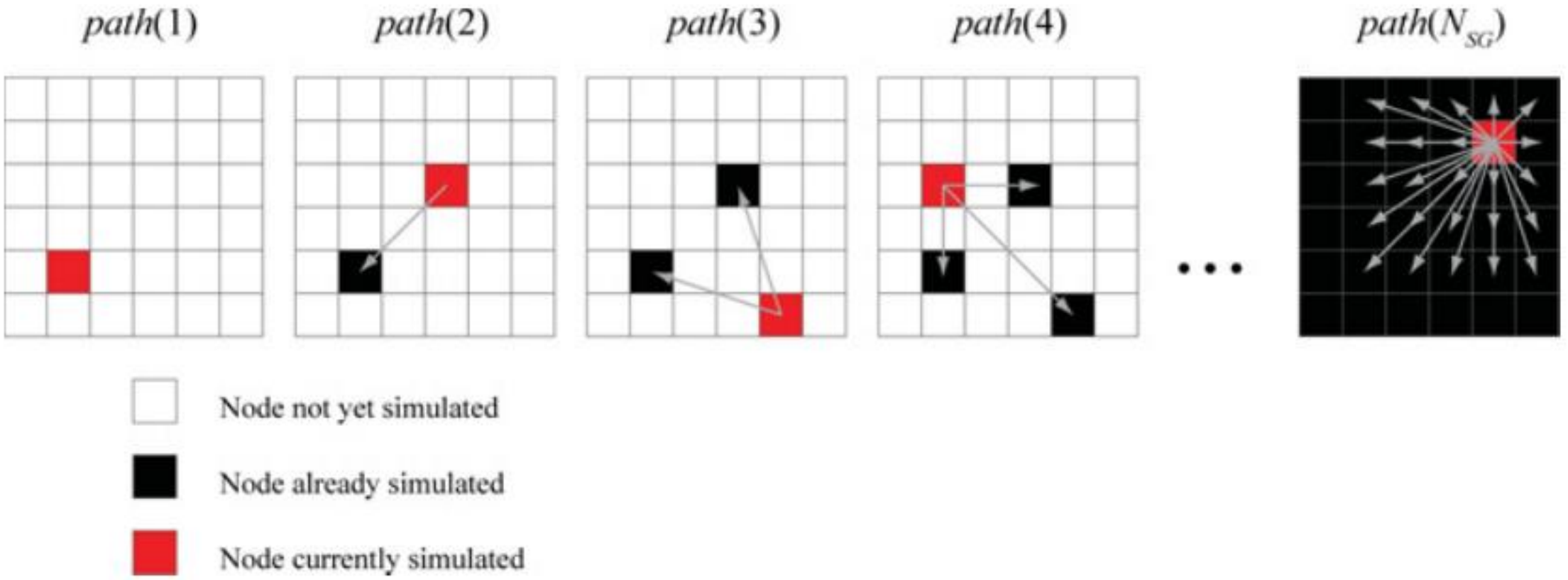


Geostatistisk simulering

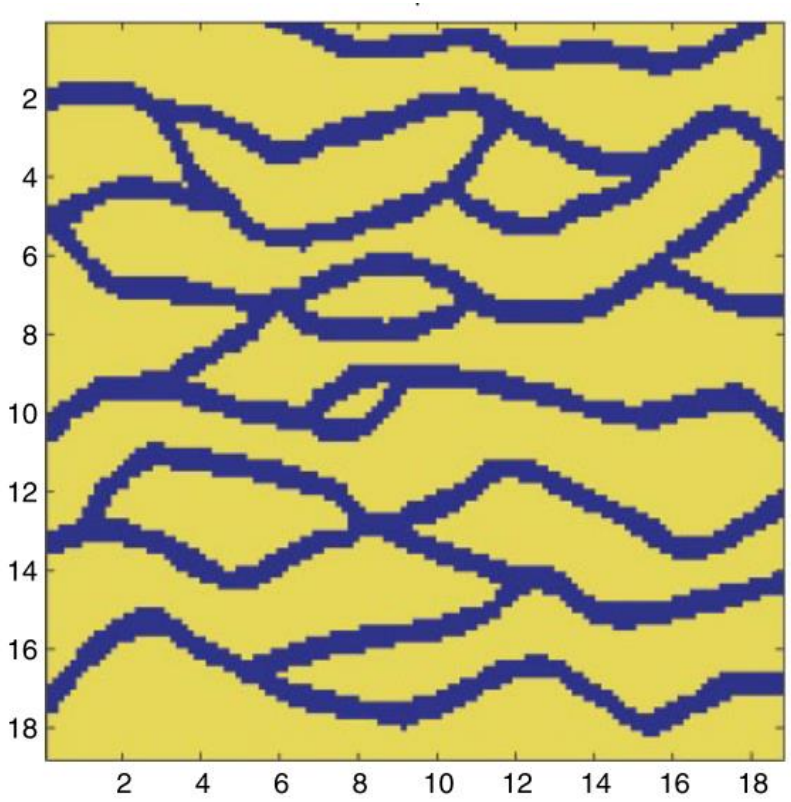


Realisationer fra simulering:
Udtryk for den rumlige variabilitet

Geostatistisk simulering: Sekventiel simulering

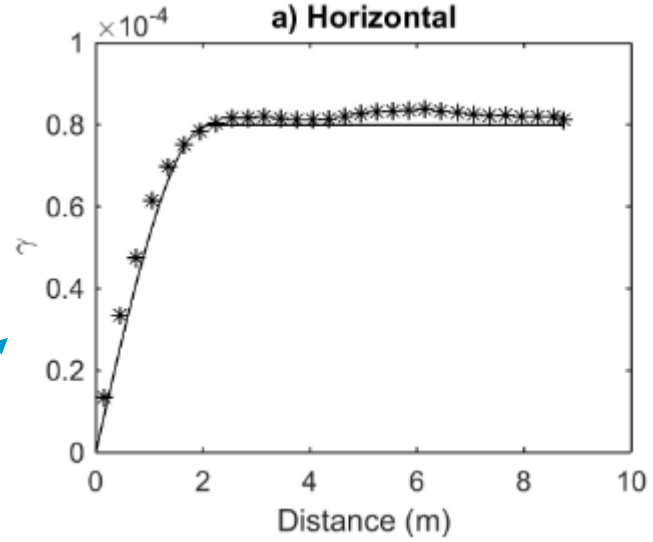


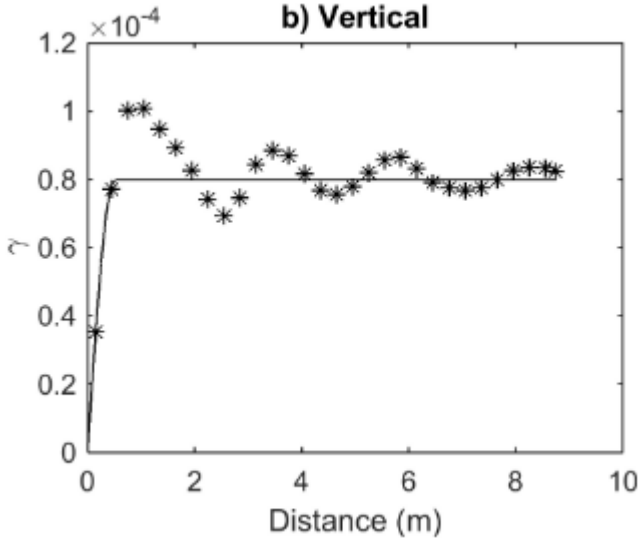
Geostatistisk simulering:



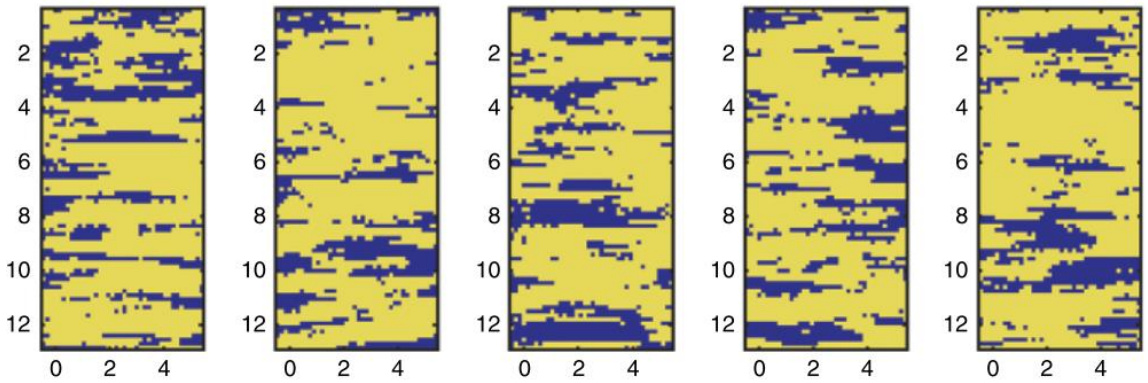
Rumlig variabilitet:

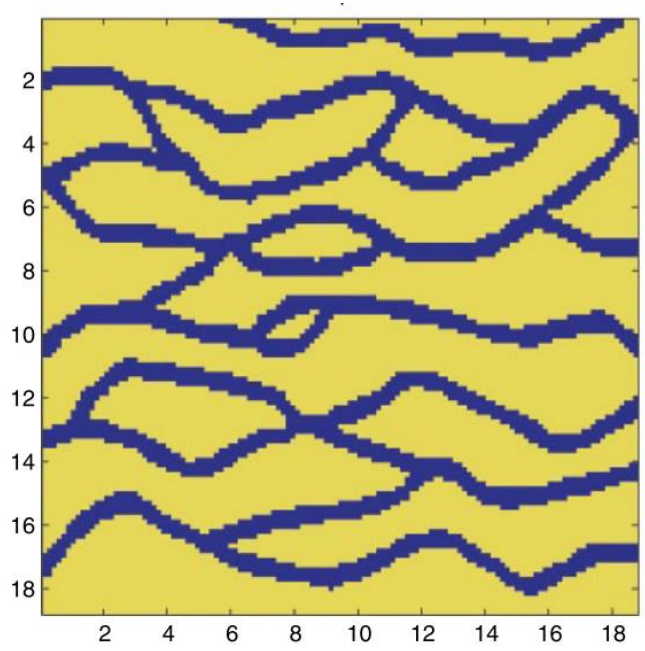
Variogrammer (Kovarians)
Topunkts-statistik.



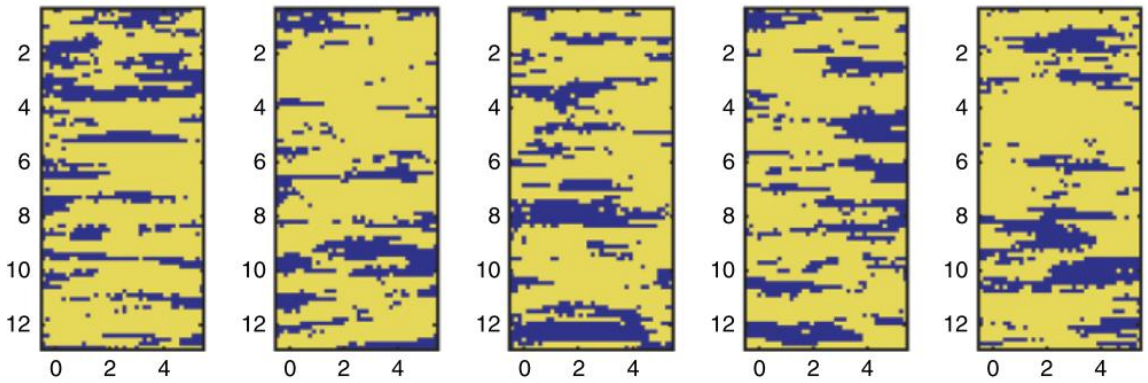


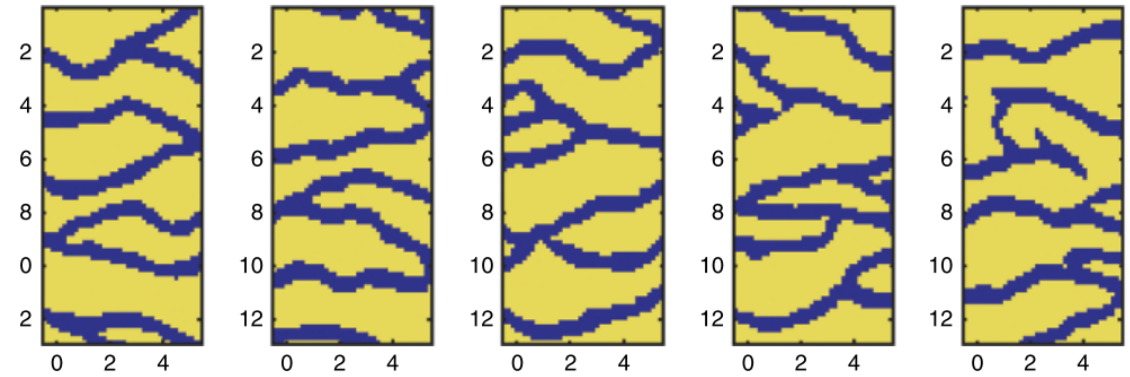
Geostatistisk simulering:
- Gaussisk (kriging)



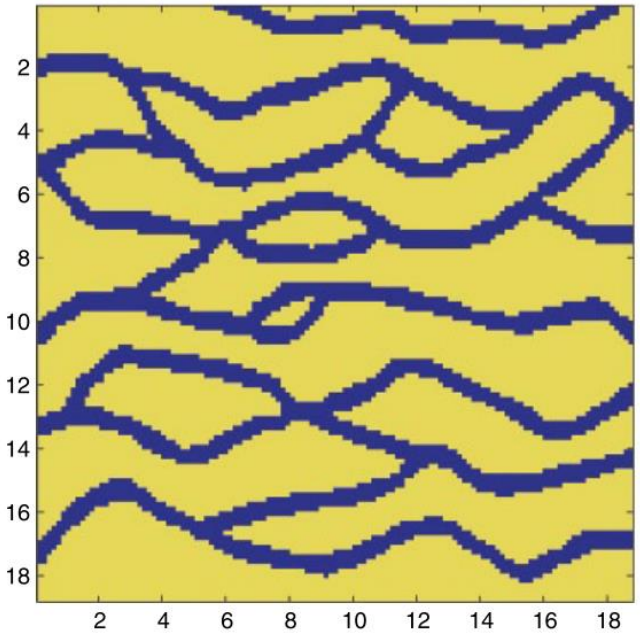


Geostatistisk simulering:
- Flerpunkts-statistik (MPS)

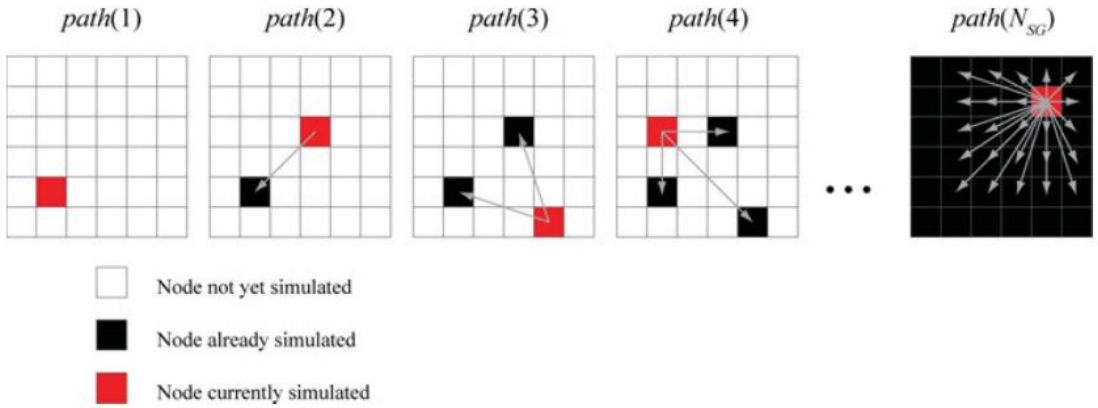




Bedre reproduktion af komplekse rumlige mønstre og sammenhængende klasser



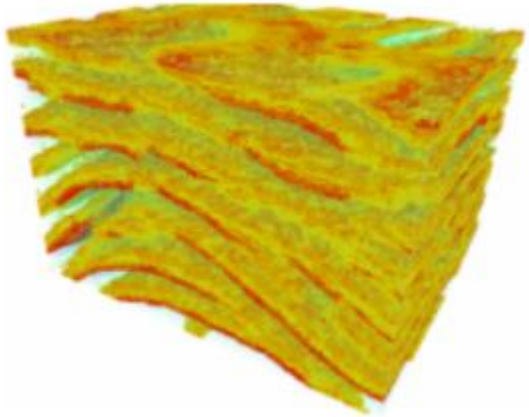
Træningsbillede

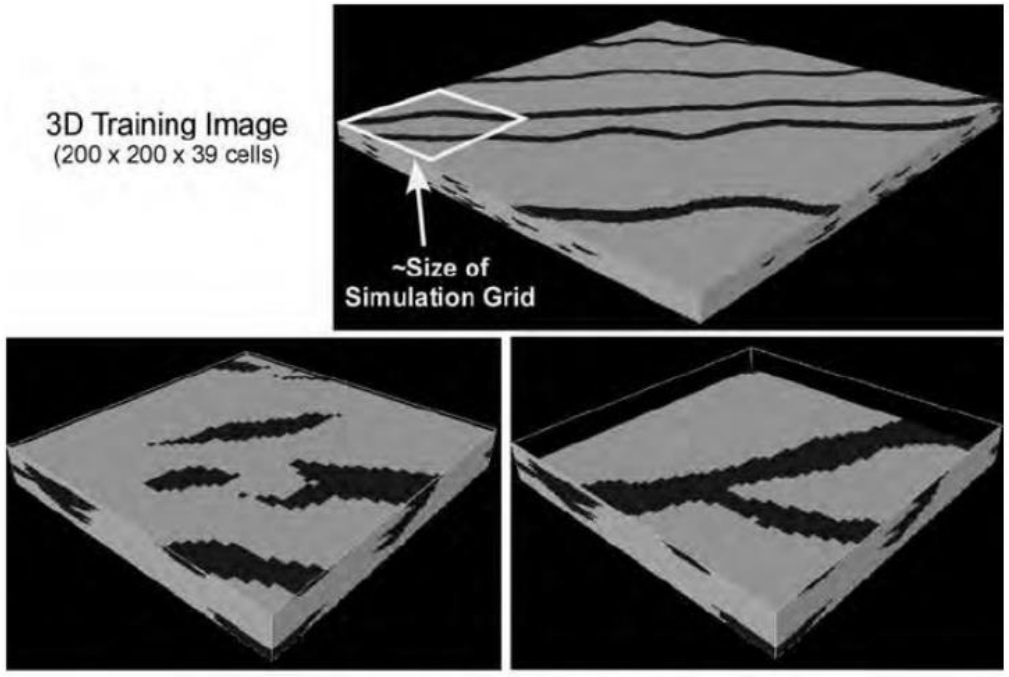


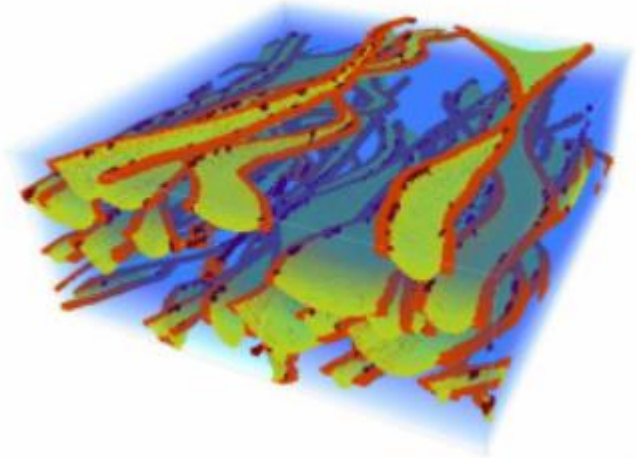
MPS

- Træningsbilleder: Beskriver den rumlige variation

- MPS algoritme: Simulere realisationer gennem en sandsynlighedstæthedsfunktion fra træningsbilledet

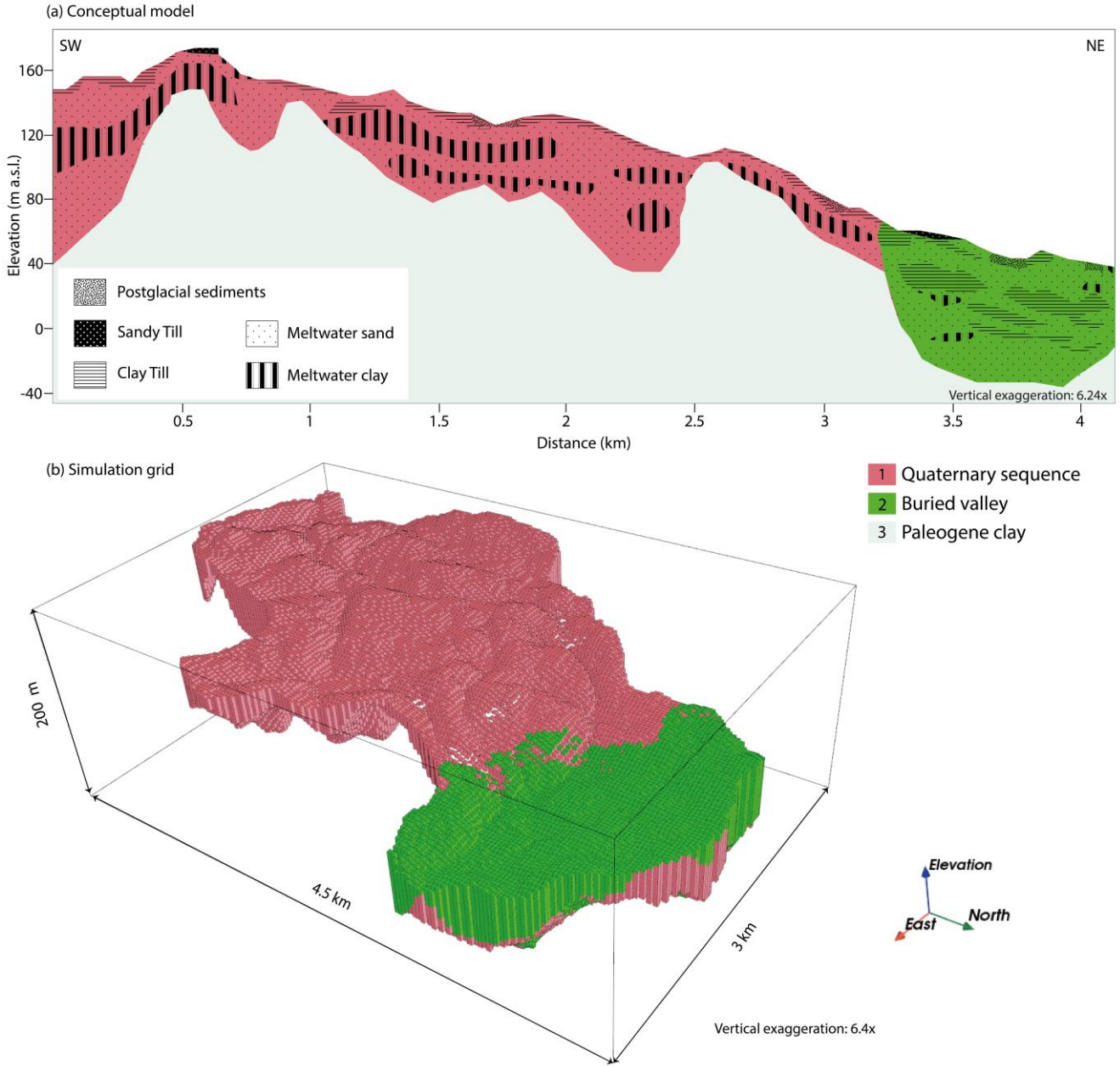




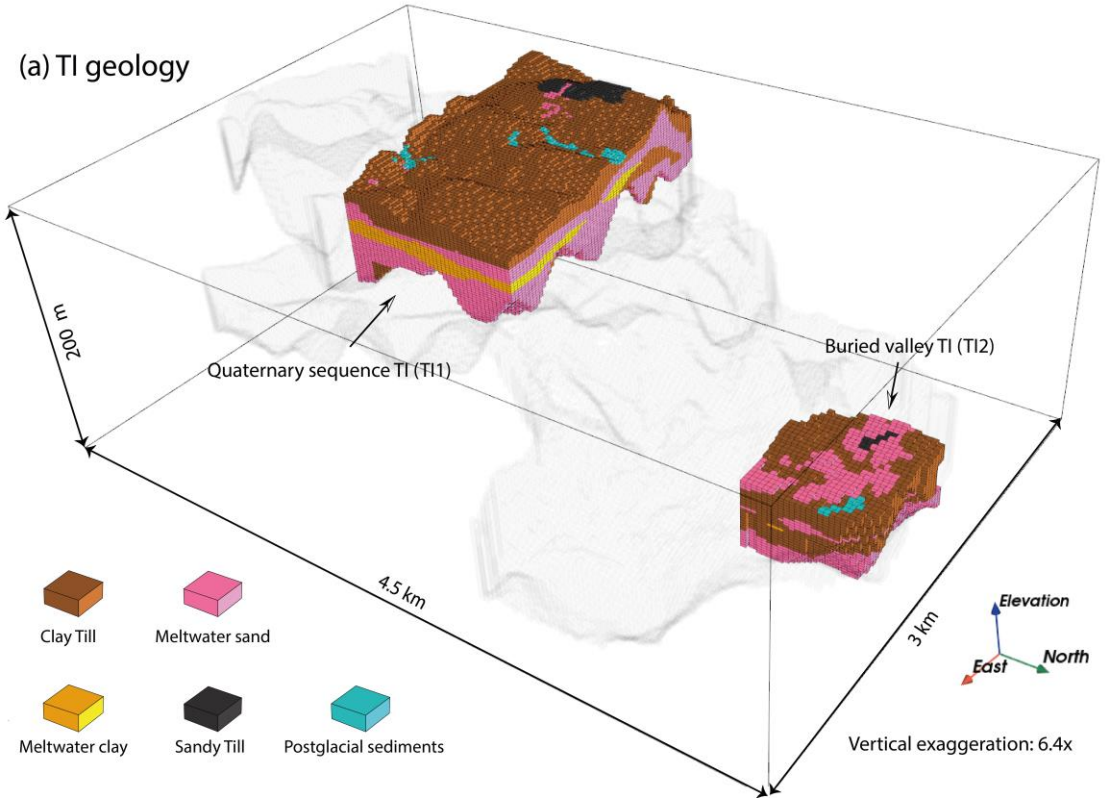


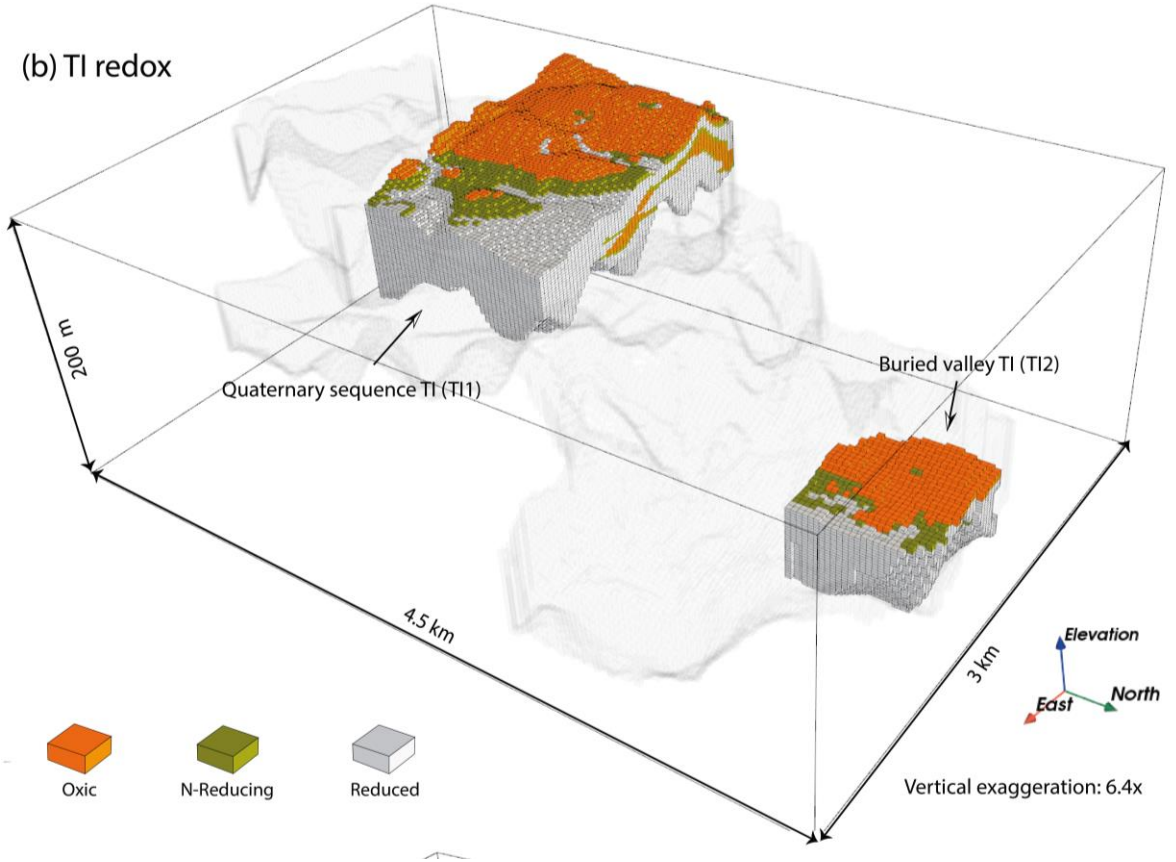
Simuleringsgrid

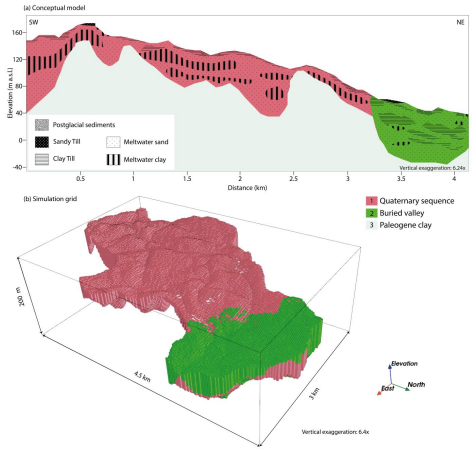
Geologiske elementer



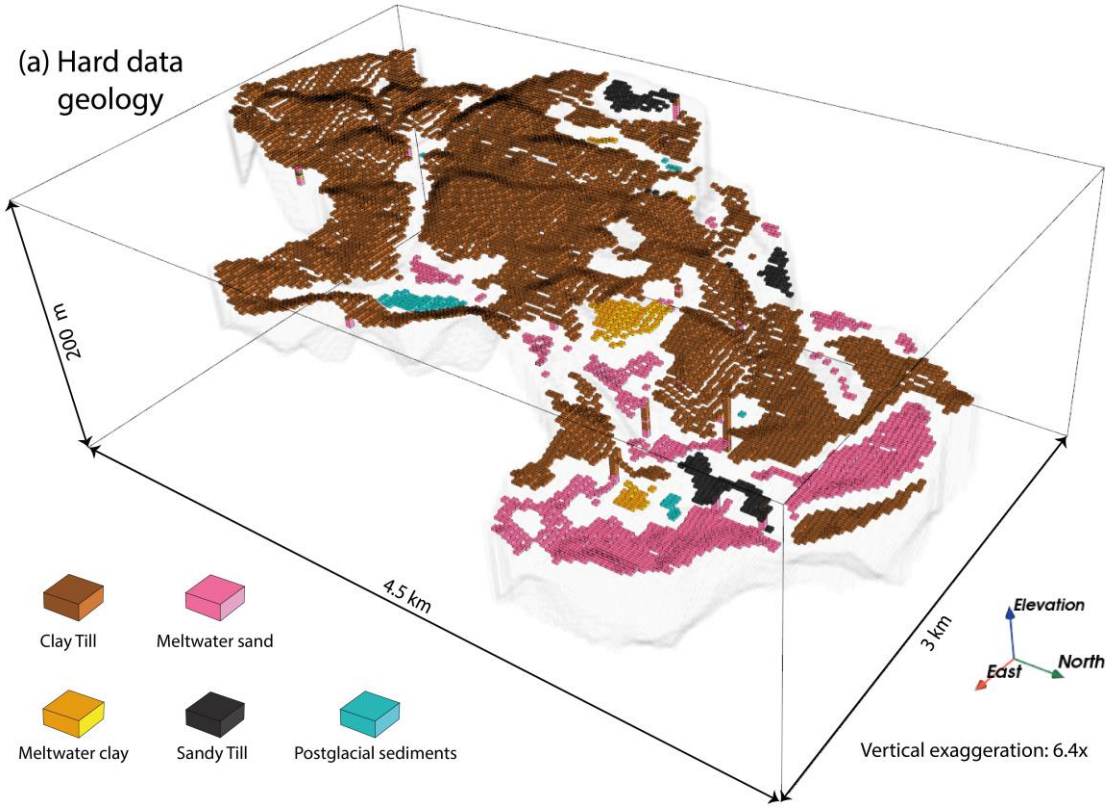
Træningsbilleder

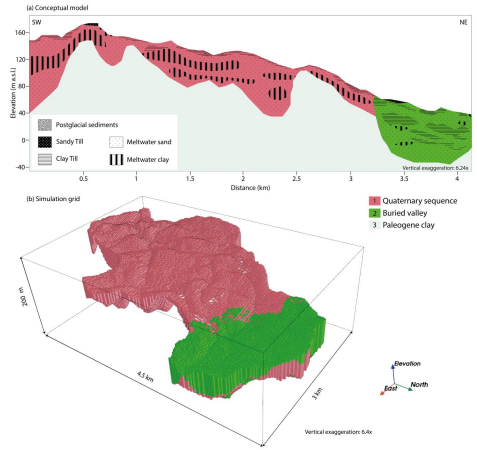


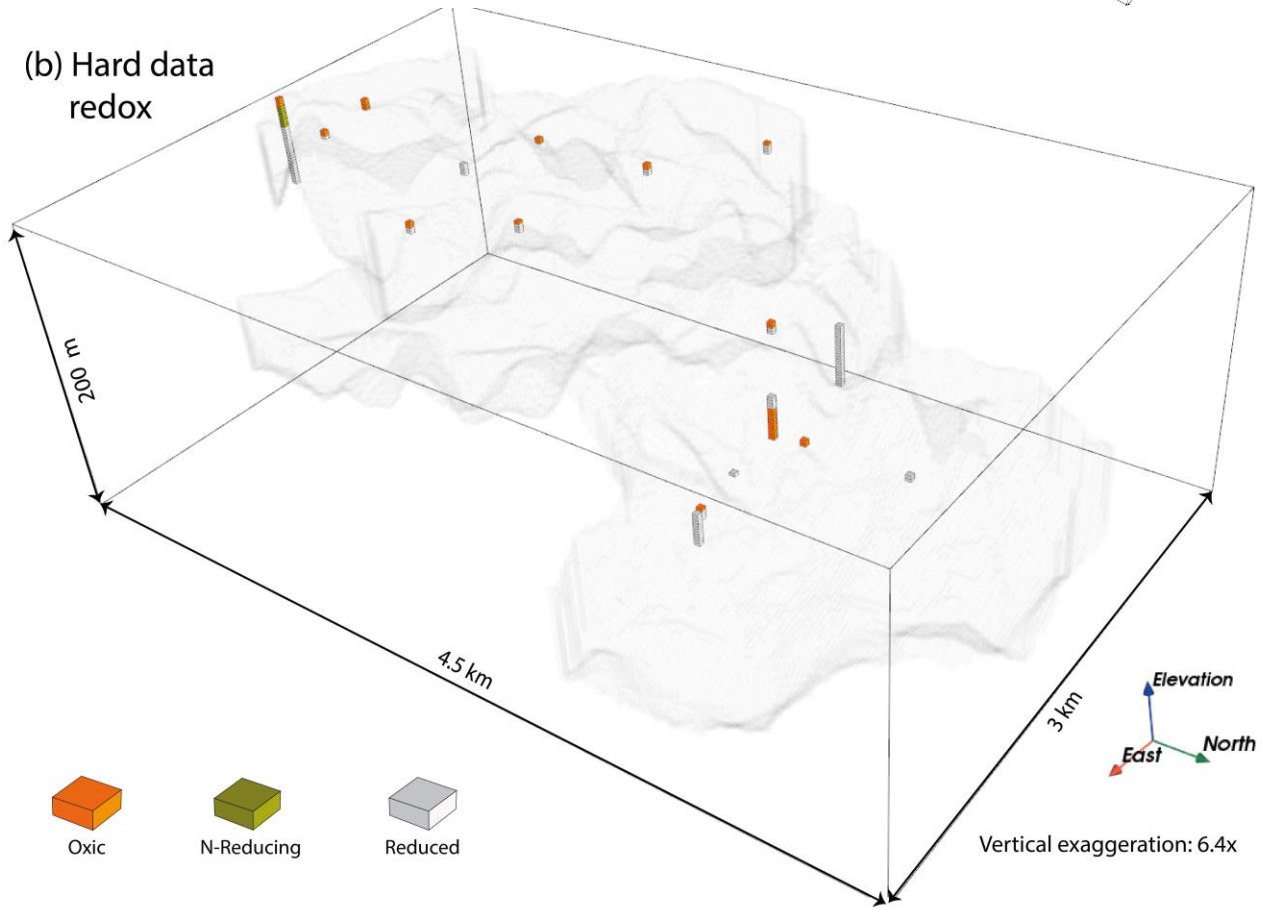




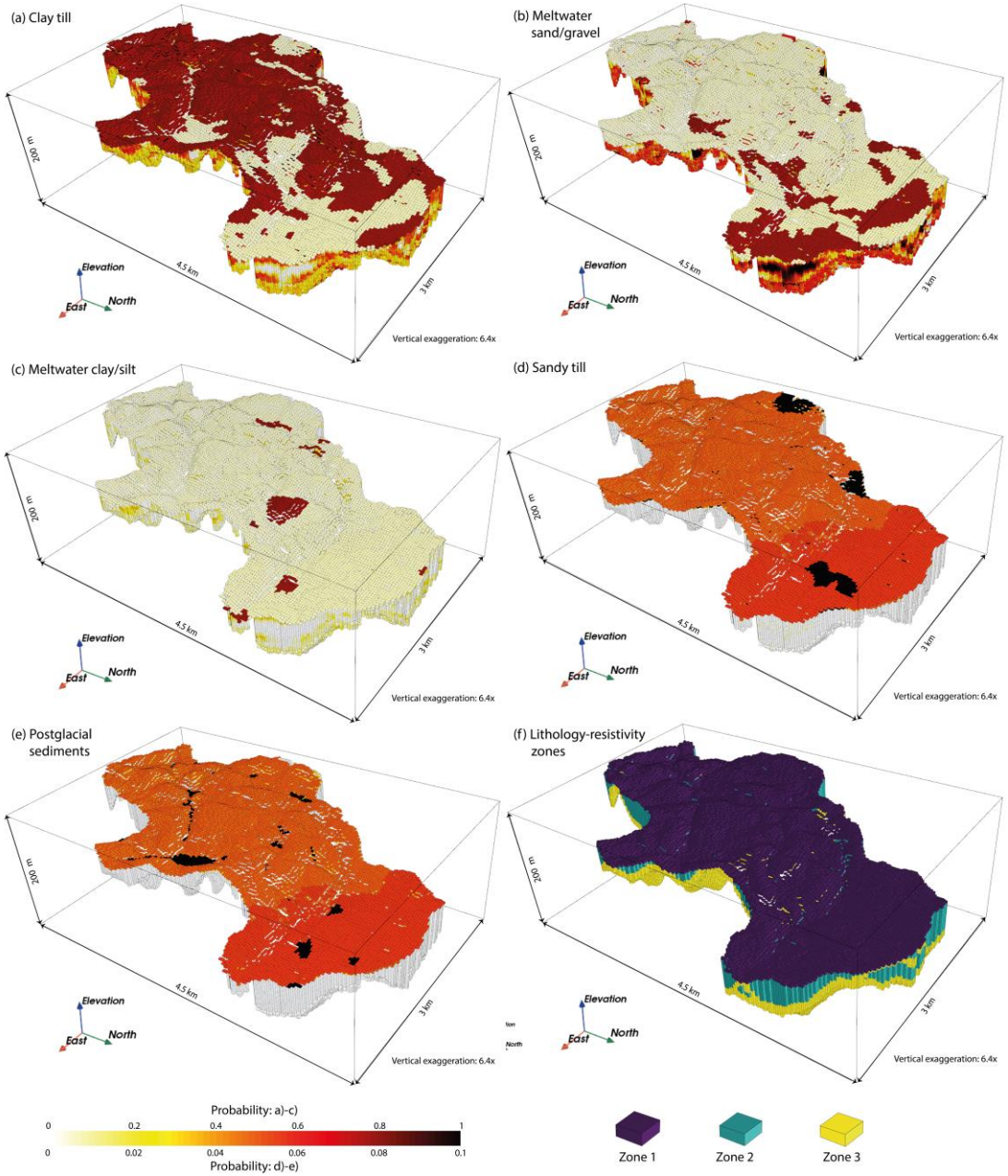
Hård data

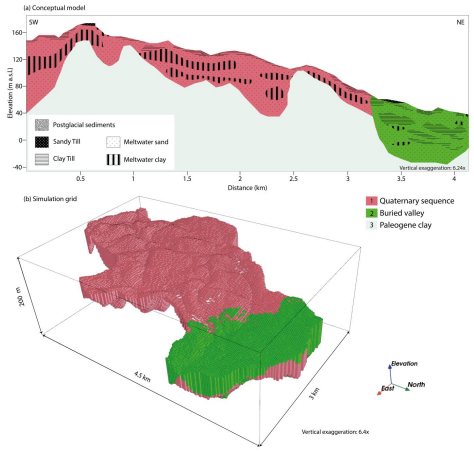

(a) Hard data geology
200 m
4.5 km
3 km
Elevation
East
North
Clay Till
Meltwater sand
Meltwater clay
Sandy Till
Postglacial sediments
Vertical exaggeration: 6.4x


(a) Conceptual model
SW
NE
Postglacial sediments
Sandy Till
Clay Till
Meltwater sand
Meltwater clay
Distance (km)
(b) Simulation grid
Quaternary sequence
Buried valley
Paleogene clay
Elevation
East
North

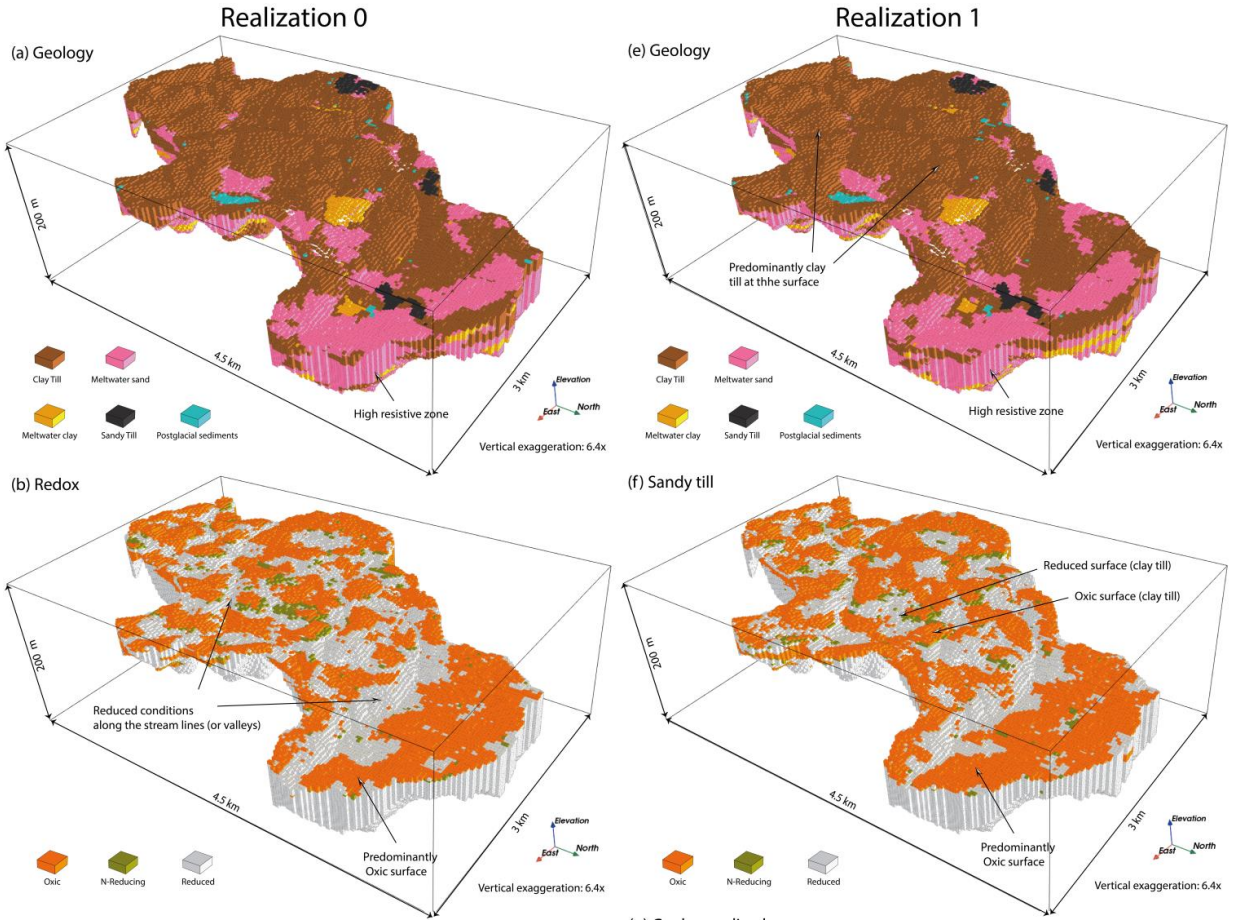

(b) Hard data redox
200 m
4.5 km
3 km
Elevation
East
North
Oxic
N-Reducing
Reduced
Vertical exaggeration: 6.4x

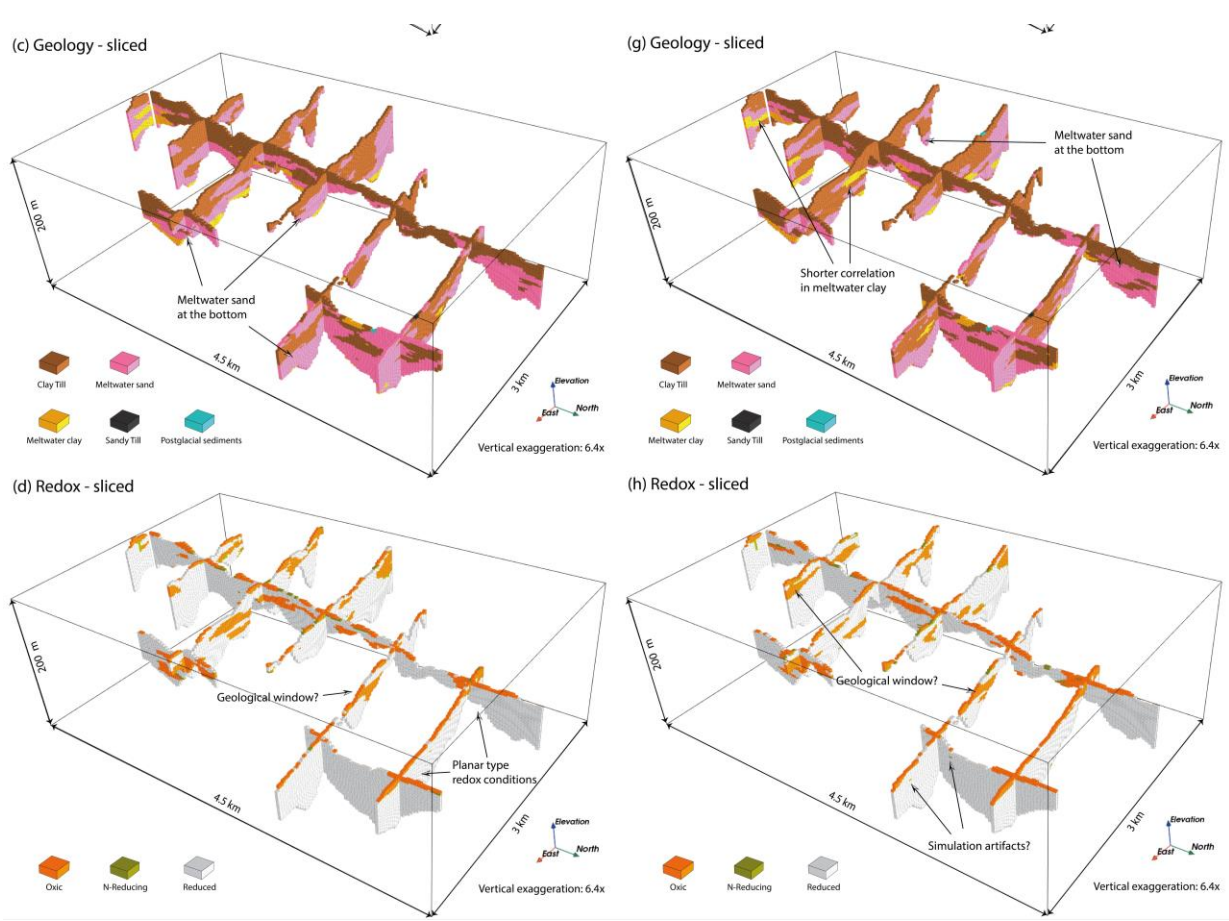
Blød data


(a) Clay till
(b) Meltwater sand/gravel
(c) Meltwater clay/silt
(d) Sandy till
(e) Postglacial sediments
(f) Lithology-resistivity zones
200 m
4.5 km
3 km
Elevation
East
North
Vertical exaggeration: 6.4x
Probability: a)-c)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
Probability: d)-e)
0
0.02
0.04
0.06
0.08
0.1
Zone 1
Zone 2
Zone 3

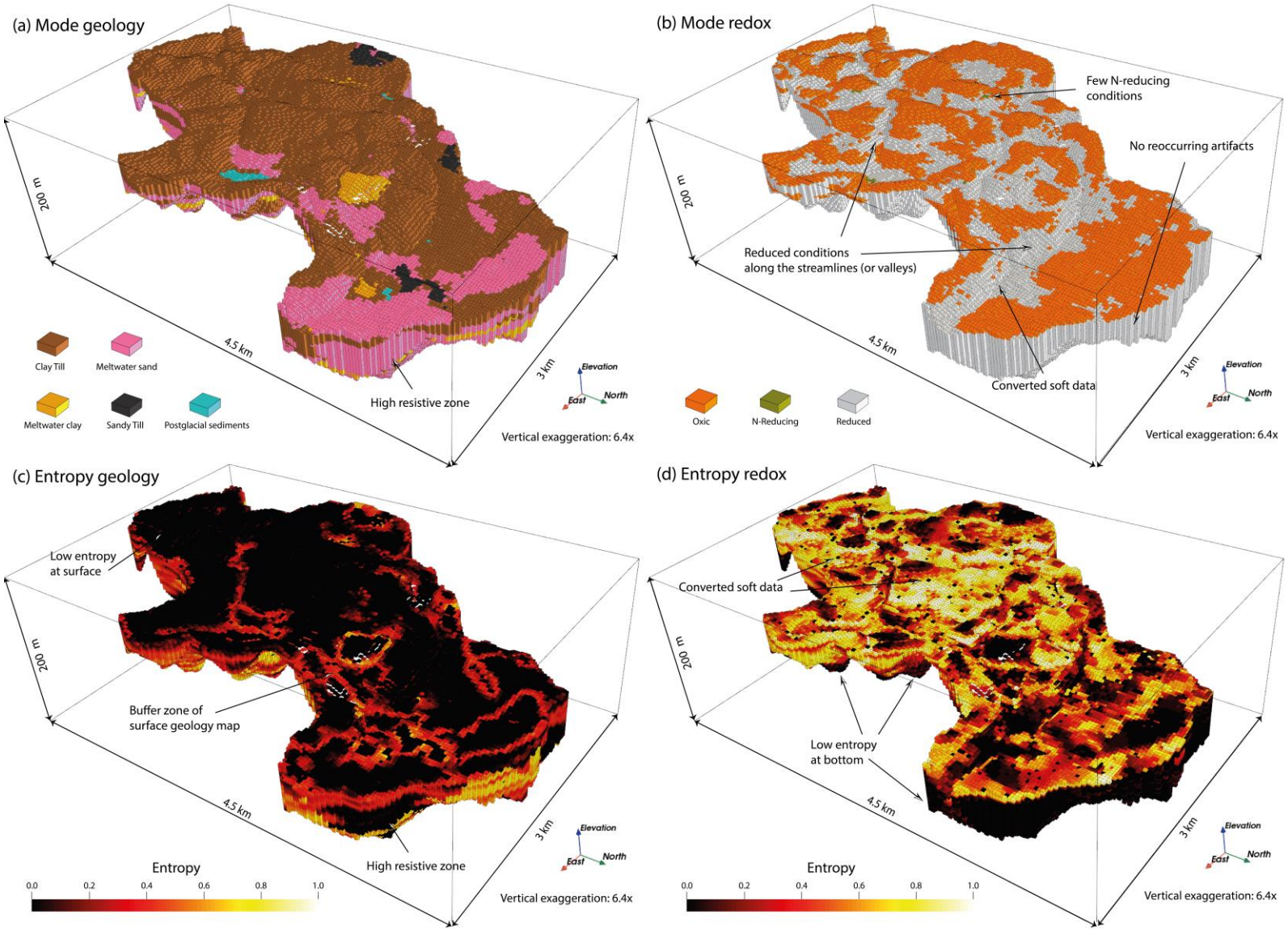

(a) Conceptual model
SW
NE
Postglacial sediments
Sandy Till
Clay Till
Meltwater sand
Meltwater clay
Distance (km)
(b) Simulation grid
1 Quaternary sequence
2 Buried valley
3 Paleogene clay
200 m
4.5 km
3 km
Elevation
East
North
Vertical exaggeration: 6.4x

Simuleringer





Opsummerende statistik



Spørgsmål

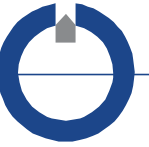
Data-driven hydrostratigraphic modeling

Niels Claes*, Rasmus R. Frederiksen*, Nikolaj Foged*, Hyojin Kim+, Troels N. Vilhemsen* & Anders V. Christiansen*

*AU Geoscience

+GEUS

HydroGeophysics Group
AARHUS UNIVERSITY

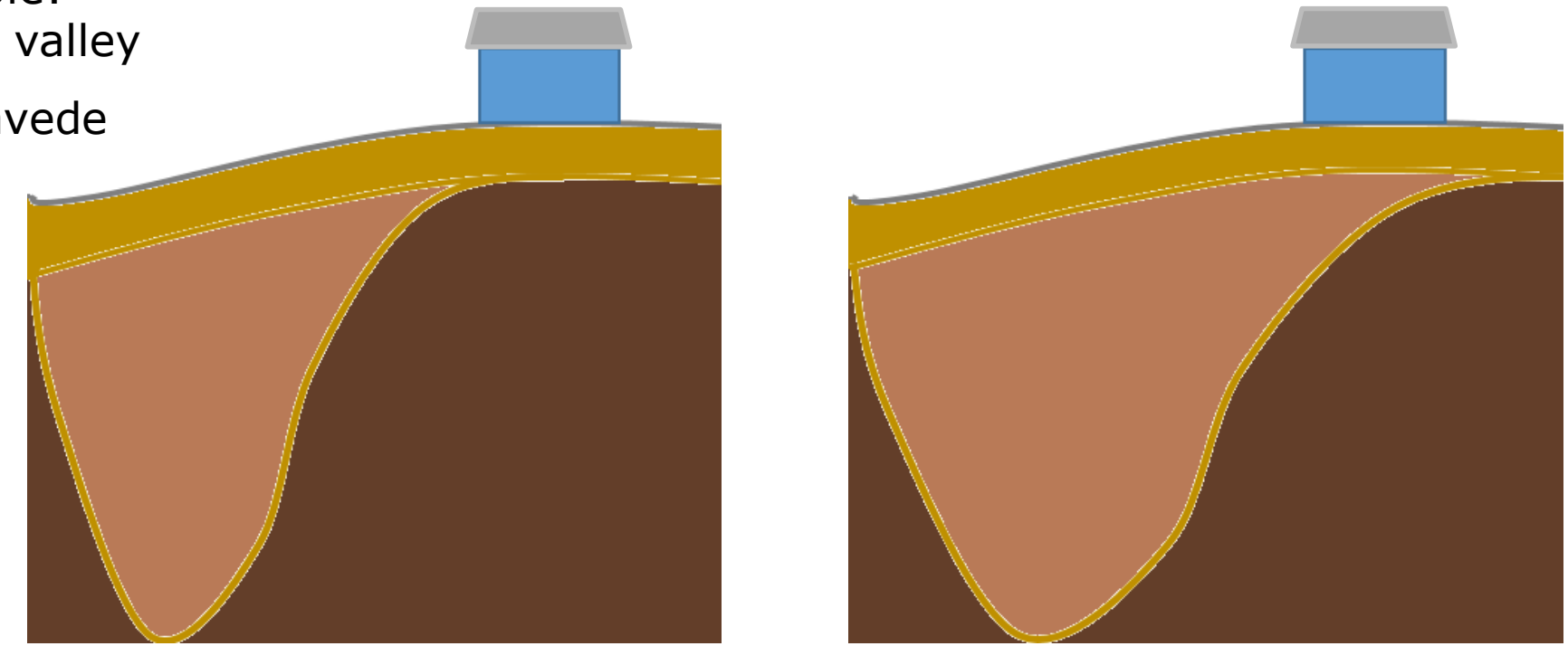


Motivation

- Incorporation of **structural uncertainty** in groundwater models and transport
  - Structural uncertainty can have a high impact on subsurface transport model results
  - Traditional groundwater models can have difficulties in reflecting this uncertainty

Example:
Buried valley

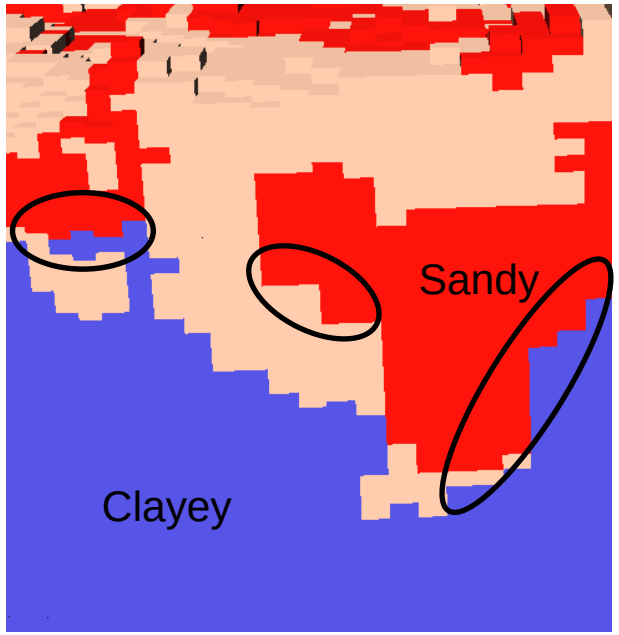
(Begravede dale)

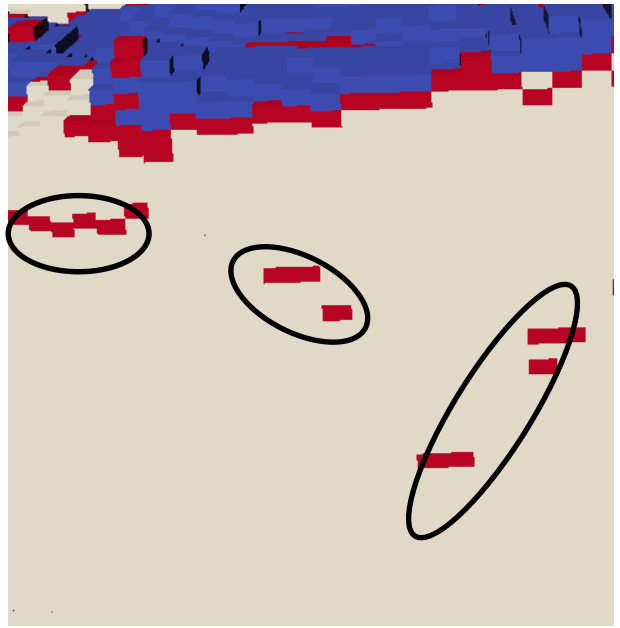


Motivation

- Incorporation of **structural uncertainty** in groundwater models and transport
  - Structural uncertainty can have a high impact on subsurface transport model results
  - Traditional groundwater models can have difficulties in reflecting this uncertainty

- **Redox conditions** in the subsurface can be **highly heterogeneous** and spatial variable
  - Redox conditions can have a **complex structure**, related to the hydrogeological structure
  - Complex structures result in **uncertainty** in 3D representation of redox conditions in the subsurface





Oxidized

Low reduction rates

High reduction rates

Motivation

- Incorporation of **structural uncertainty** in groundwater models and transport
  - Structural uncertainty can have a high impact on subsurface transport model results
  - Traditional groundwater models can have difficulties in reflecting this uncertainty

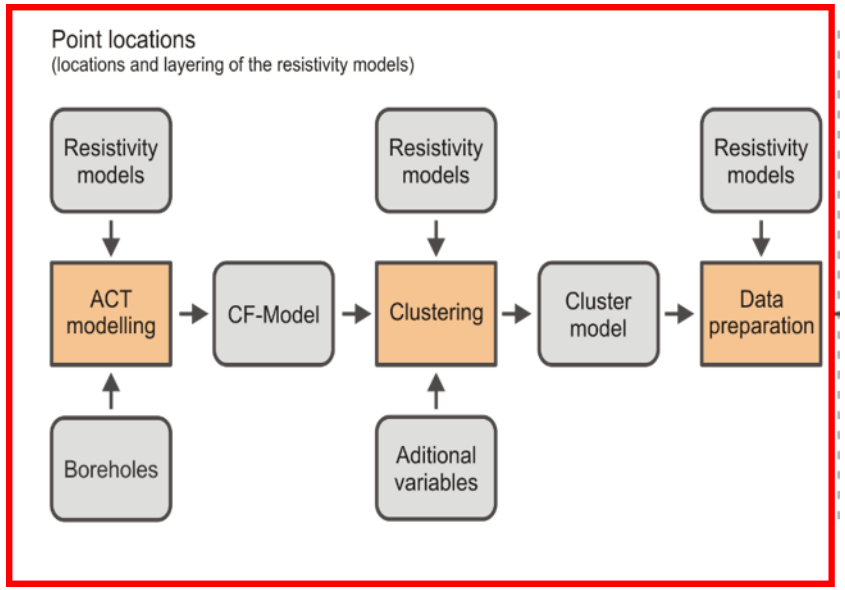
- **Redox conditions** in the subsurface can be **highly heterogeneous** and spatial variable
  - Redox conditions can have a **complex structure**, related to the hydrogeological structure
  - Complex structures result in **uncertainty** in 3D representation of redox conditions in the subsurface

The goal is to **include** these **complex structures** and associated **uncertainties** in groundwater model structural input

Contents

- From data to model
  - ACT modeling
  - Clustering
  - Data preparation

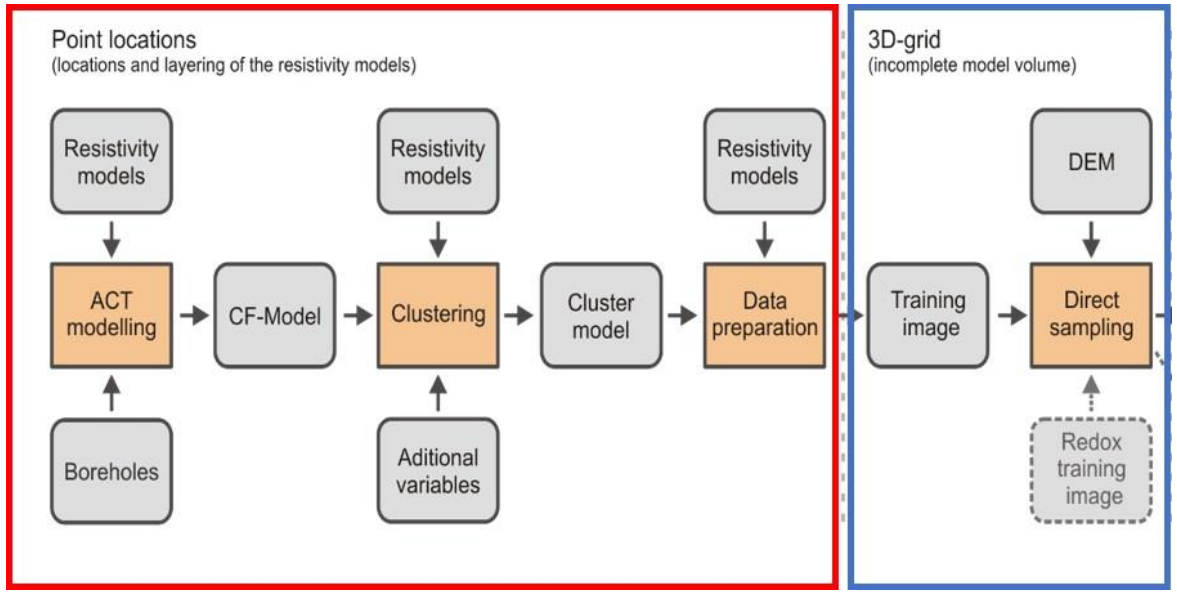
Combining **geophysical, geological** and **geochemical** data through multipoint statistics



Contents

- From data to model
  - Act modeling
  - Clustering
  - Datapreparation
- Geostatistical simulation
  - Background
  - Application

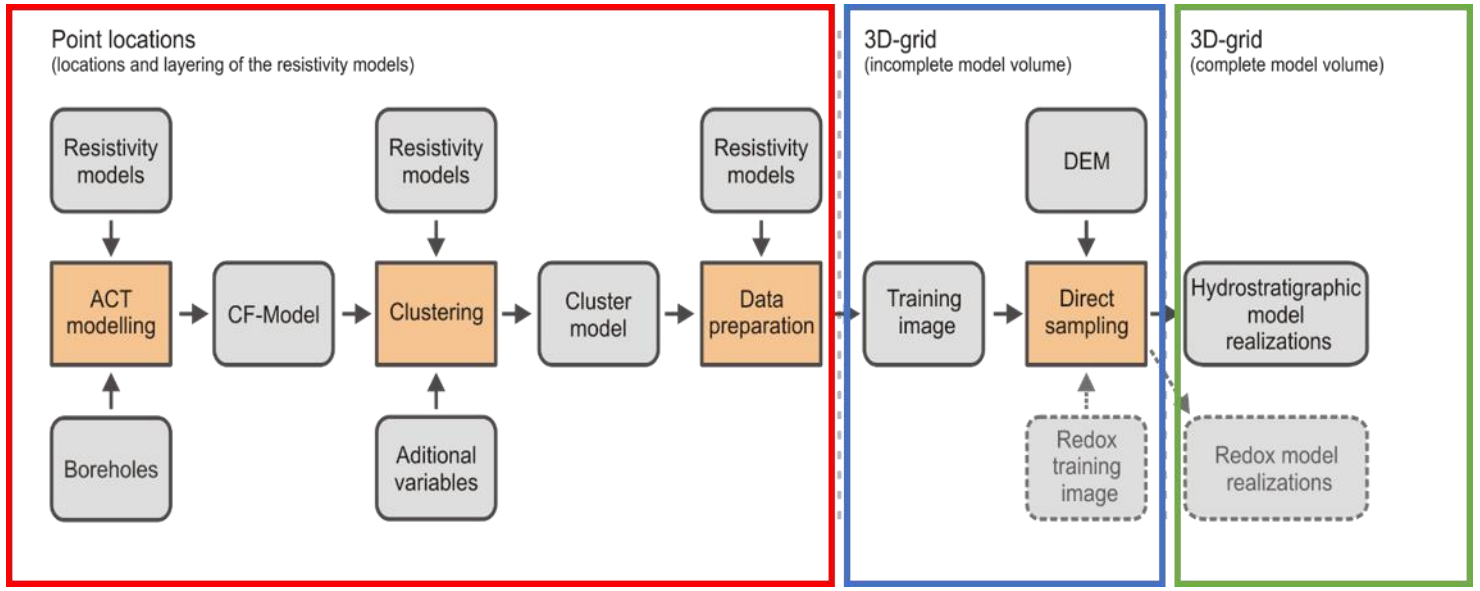
Combining **geophysical, geological** and **geochemical** data through multipoint statistics

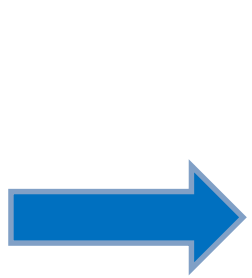


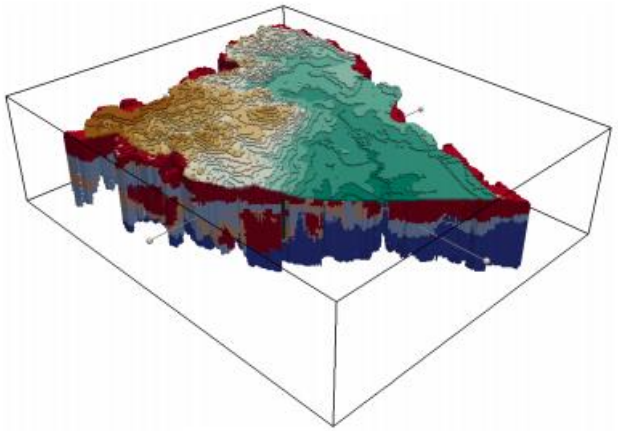
Contents

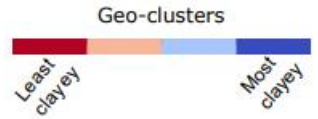
- From data to model
  - Act modeling
  - Clustering
  - Data preparation
- Geostatistical simulation
  - Background
  - Application
- Model realizations
  - Uncertainty description

Combining **geophysical, geological** and **geochemical** data through multipoint statistics





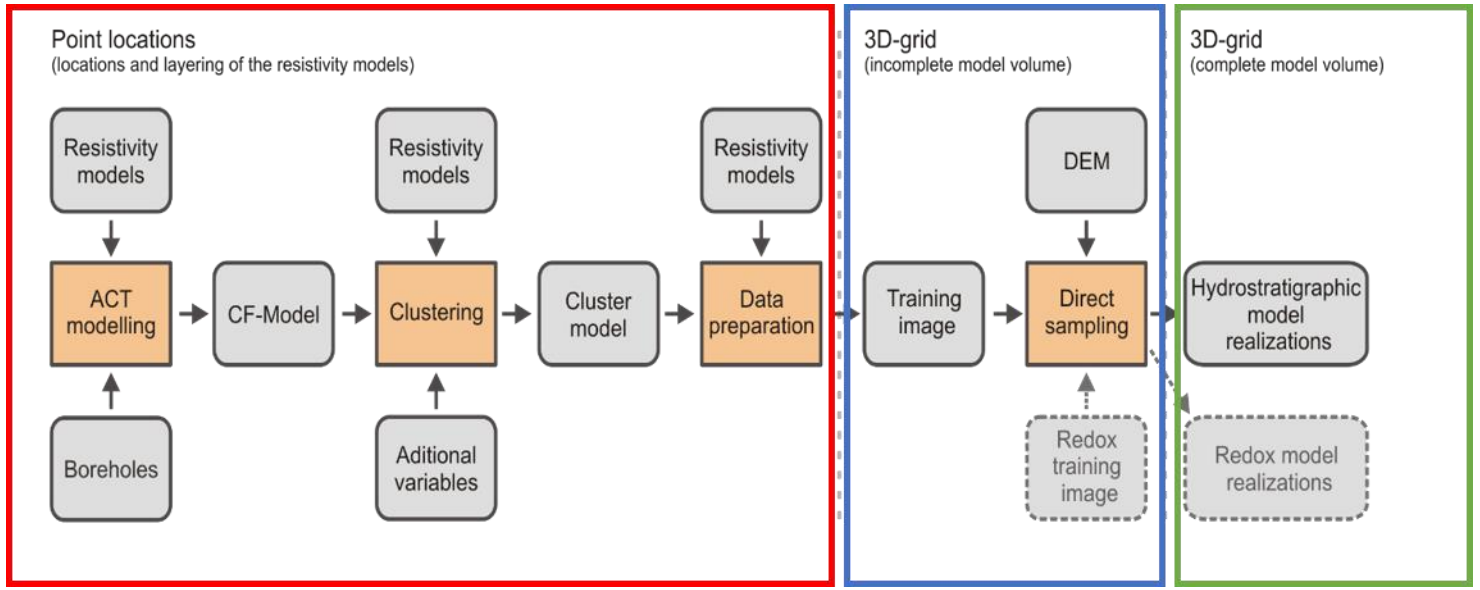




Contents

- From data to model
  - Act modeling
  - Clustering
  - Data preparation
- Geostatistical simulation
  - Background
  - Application
- Model realizations
  - Uncertainty description
- Outlook and Conclusion

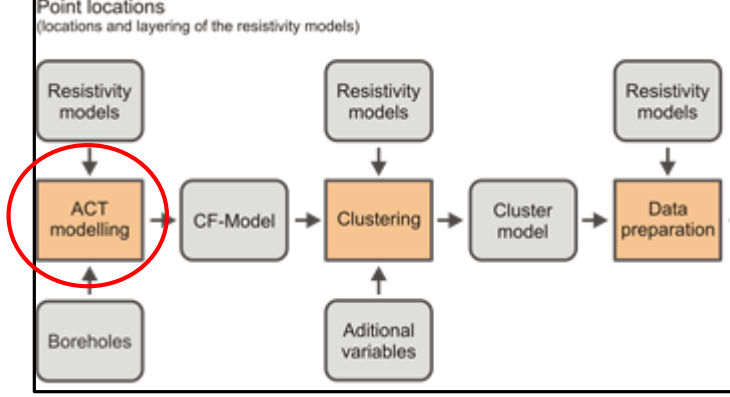
Combining **geophysical, geological** and **geochemical** data through multipoint statistics

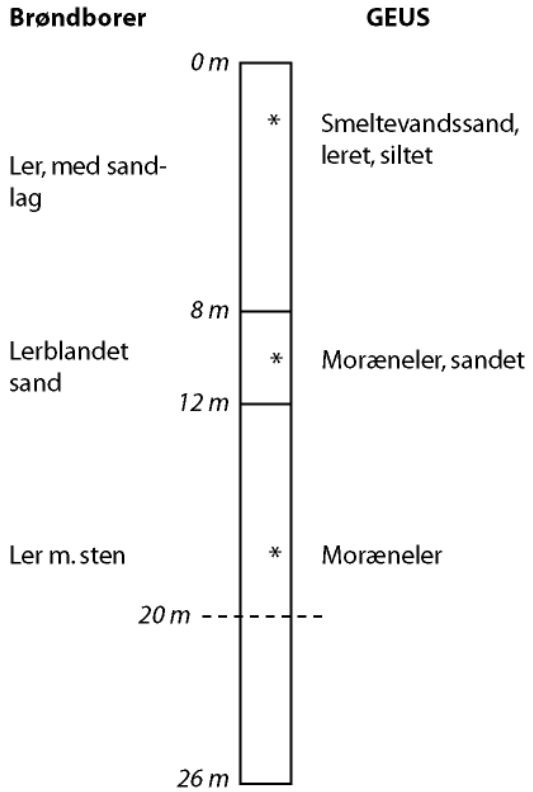


The **result** is an **ensemble** of **hydrostratigraphic** and **redox models**

From data to model

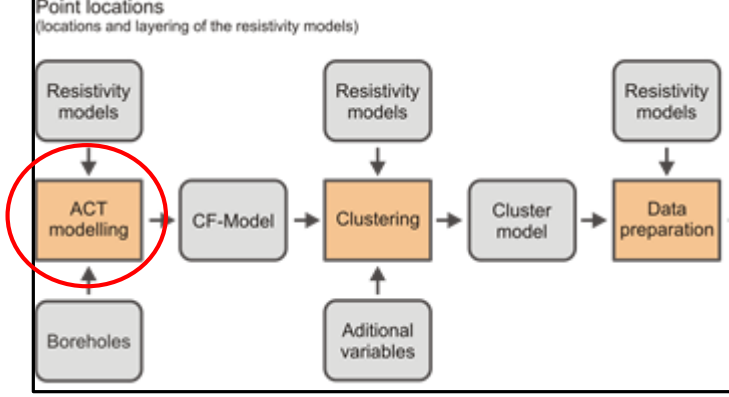
- Borehole
  - + Primary source of **lithological information**
  - + Vertical resolution: Good, ~uniform
  - - Spatial coverage: Poor
  - - Quality: varying and often unknown

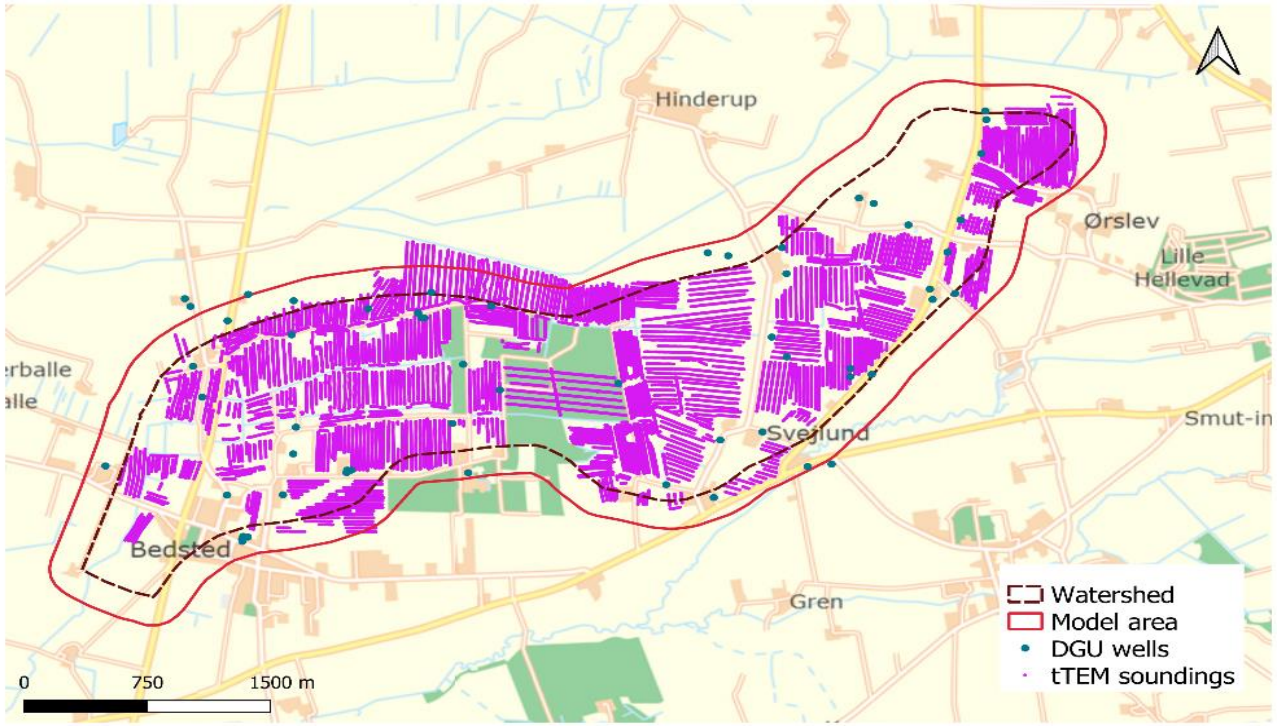




From data to model

- Borehole
  - + Primary source of **lithological information**
  - + Vertical resolution: Good, ~uniform
  - - Spatial coverage: Poor
  - - Quality: varying and often unknown
- Geophysics
  - + **Spatial coverage**: Good
  - + Quality: Well-known and often good
  - - Indirect lithological information
  - - Vertical resolution decreasing with depth





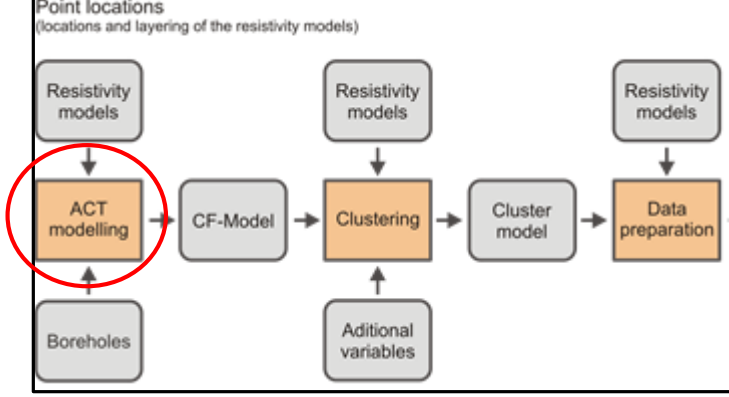
From data to model

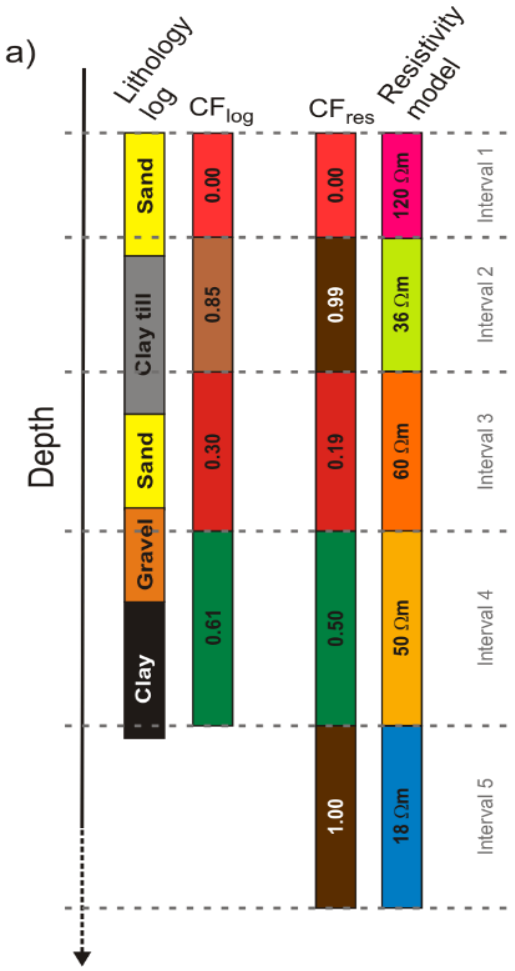
ACT modeling

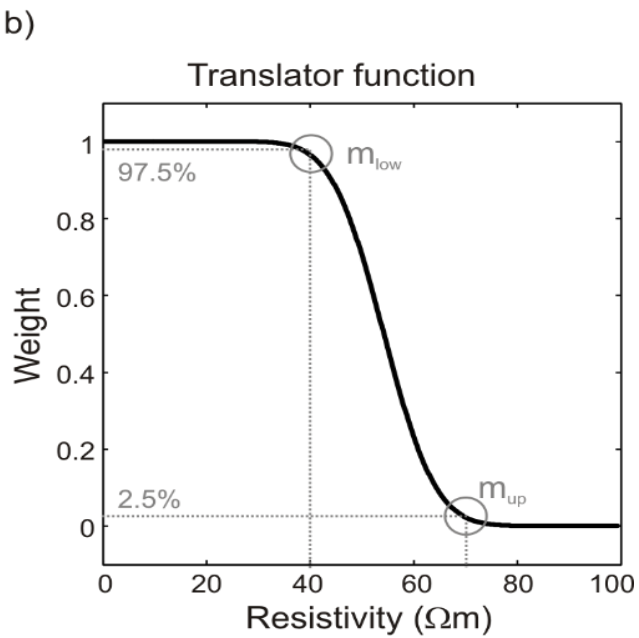
Accumulated Clay Thickness:

Resistivity values to Clay Fraction:

- Based on **Borehole lithology** and **Resistivity**
- **Spatially varying**







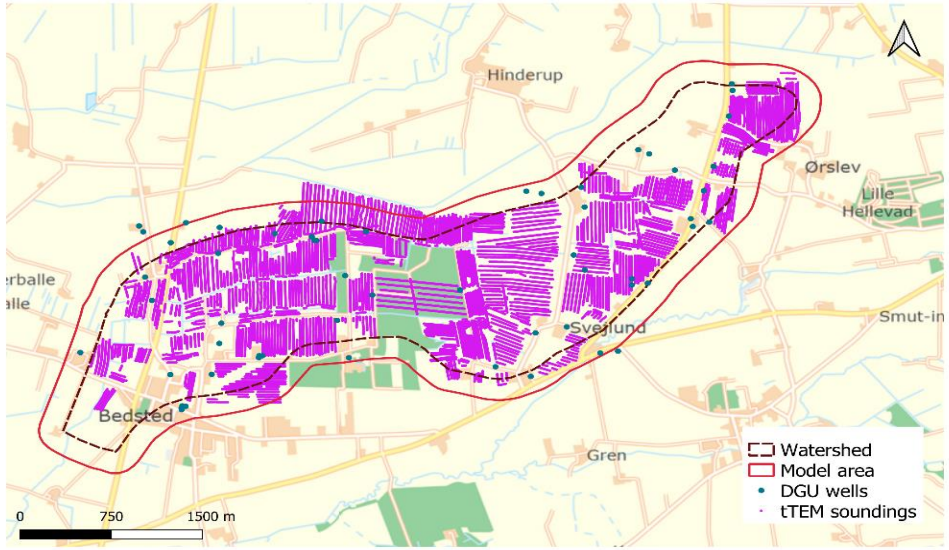
From data to model

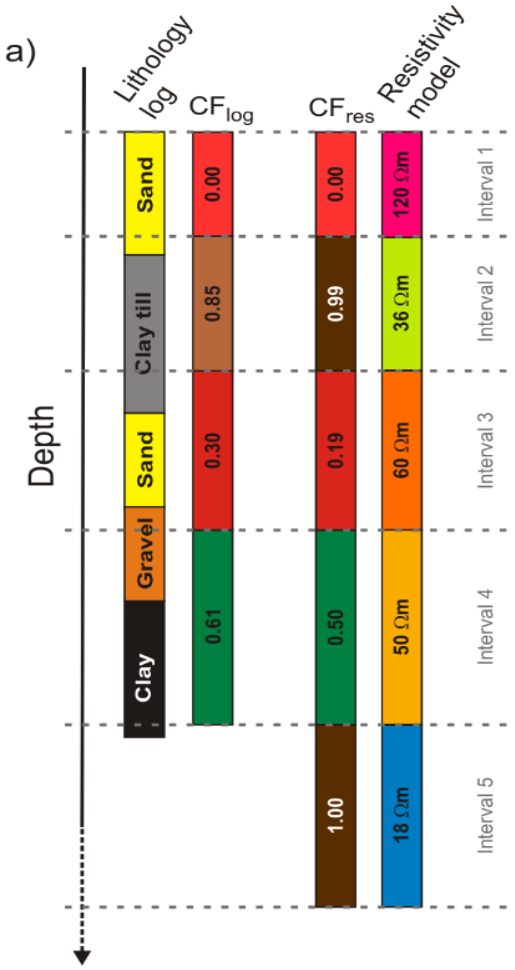
ACT modeling

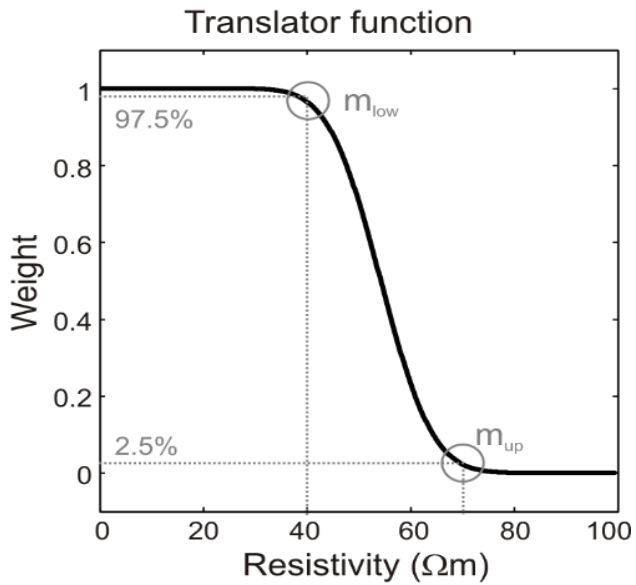
Accumulated Clay Thickness:

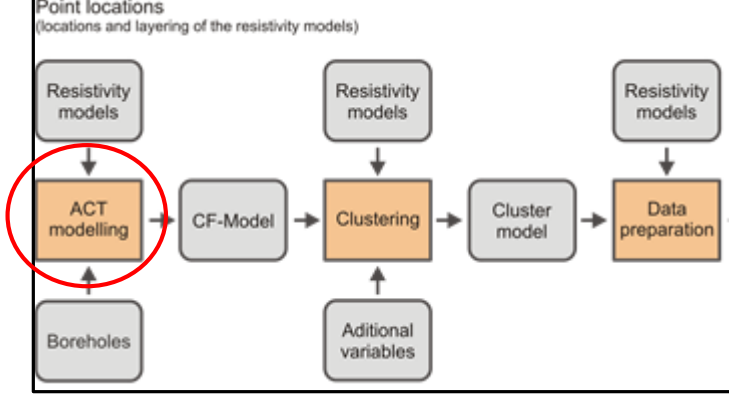
Resistivity values to Clay Fraction:

- Based on **Borehole lithology** and **Resistivity**
- **Spatially varying**



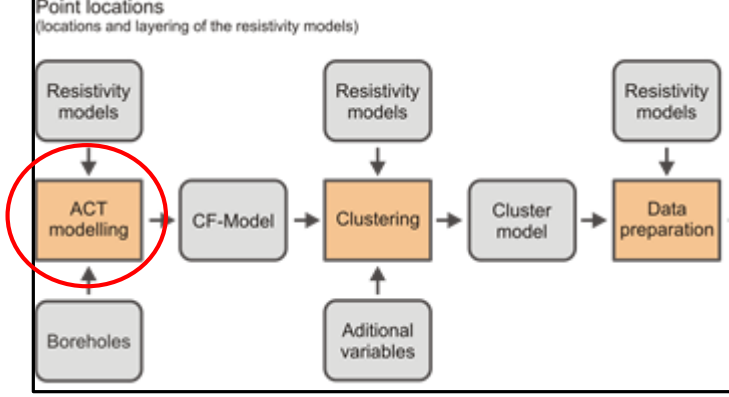




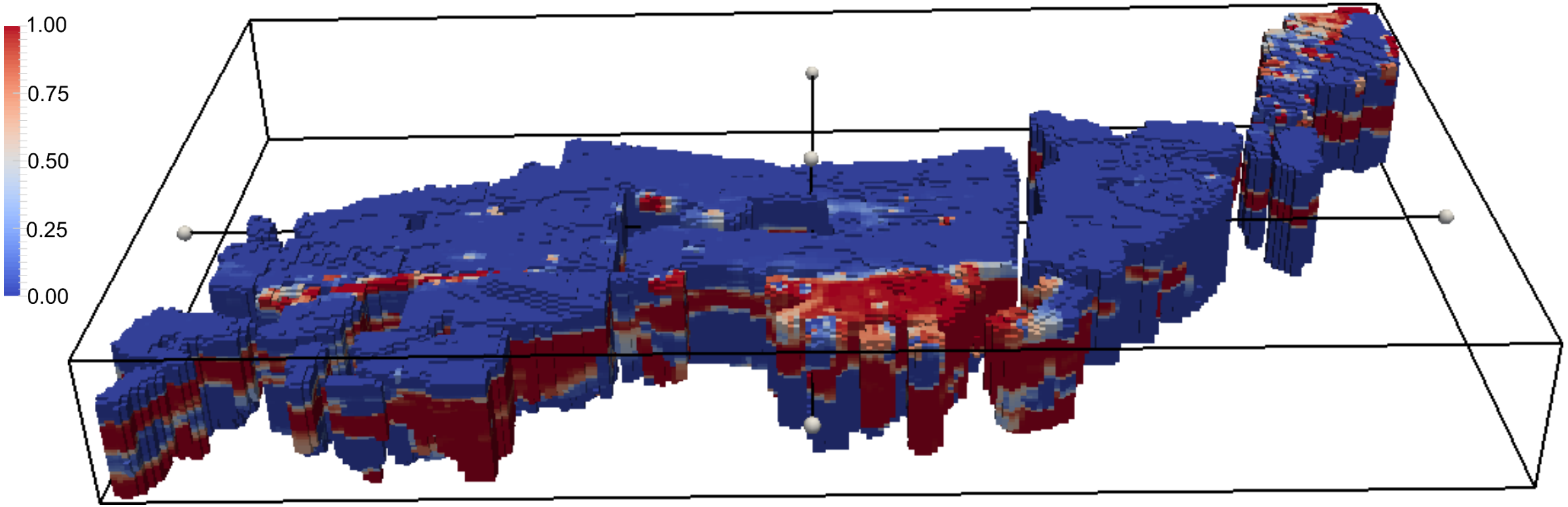


From data to model

ACT modeling

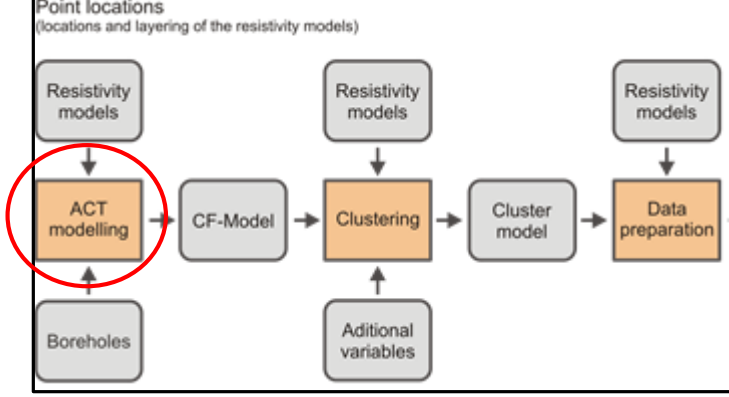


Clay Fraction [-]:

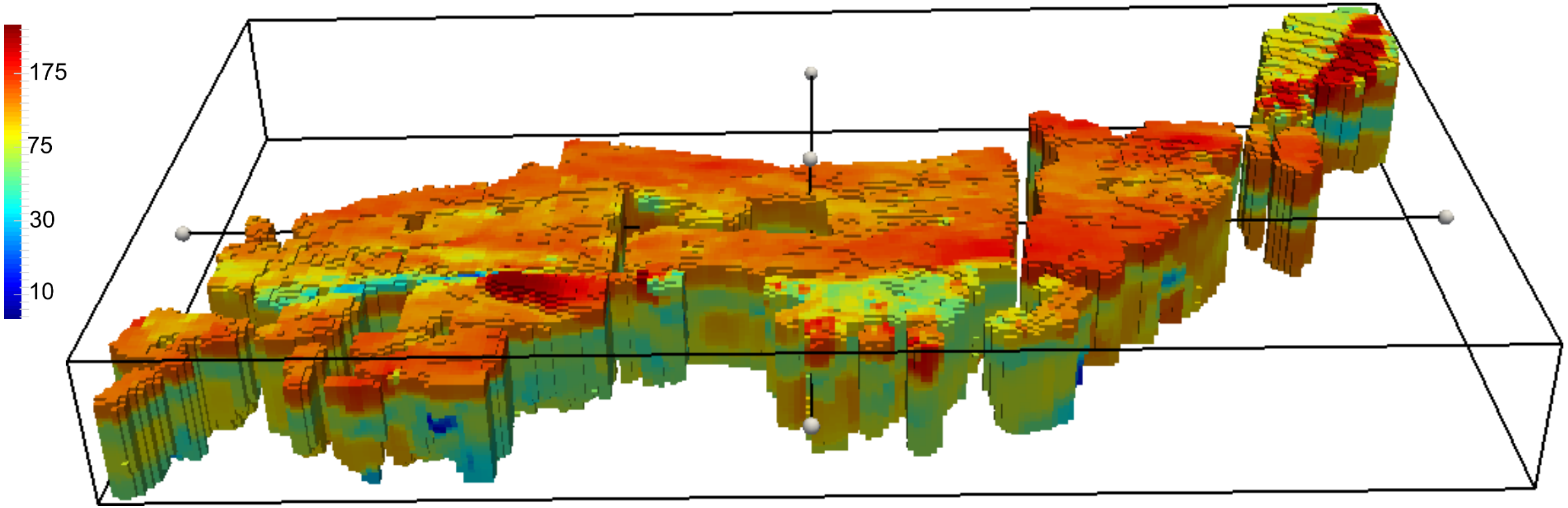


From data to model

ACT modeling

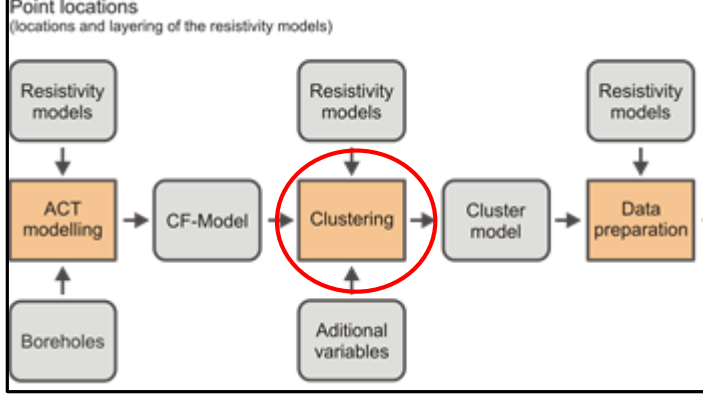


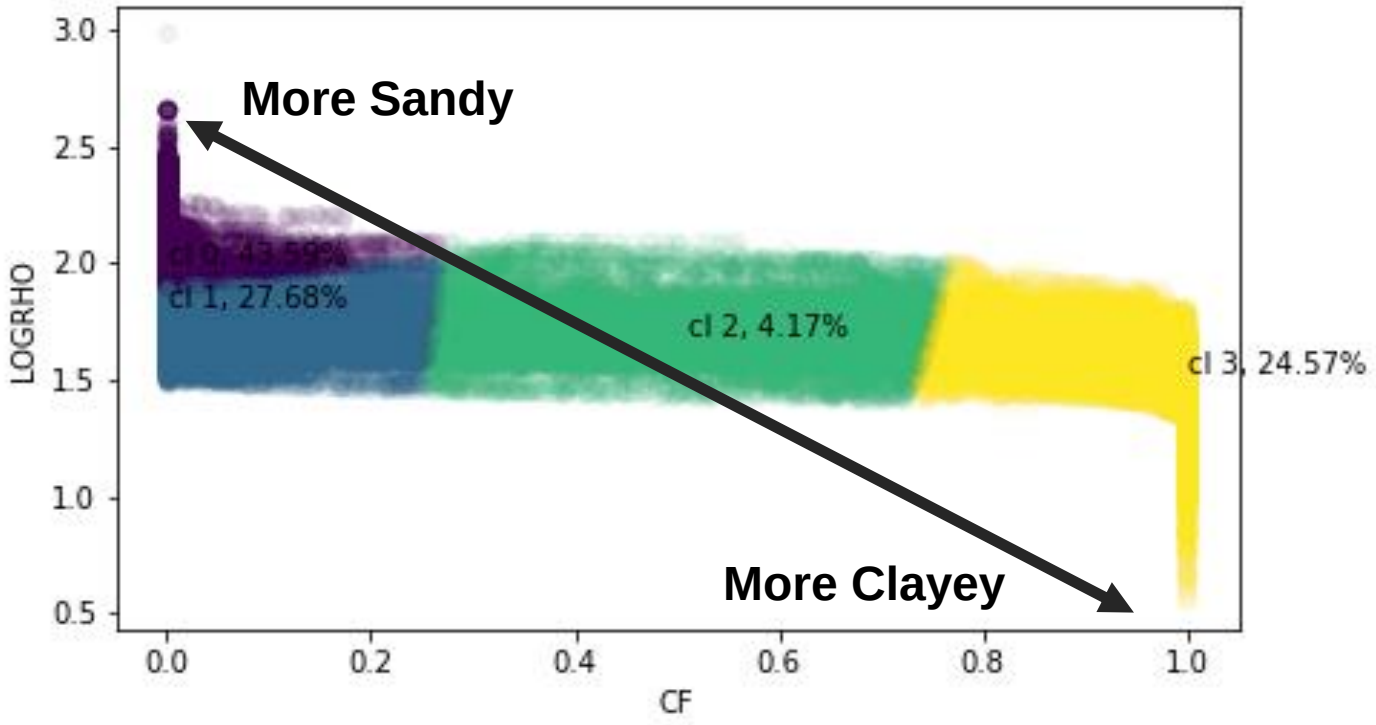
Resistivity [Ohm.m]:



From data to model

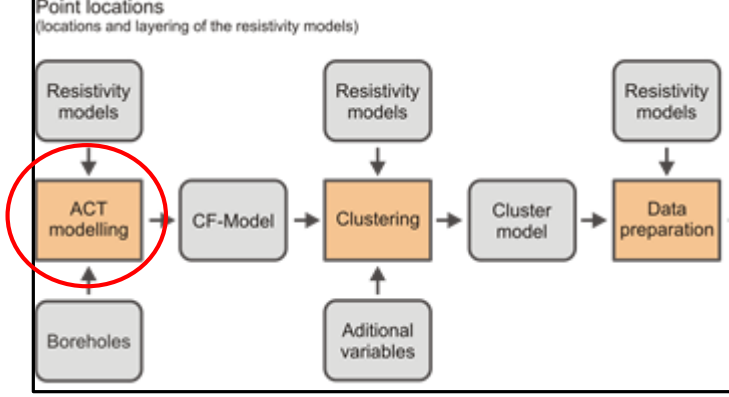
Clustering: From Resistivity – Clay Fraction to Hydrostratigraphic Unit



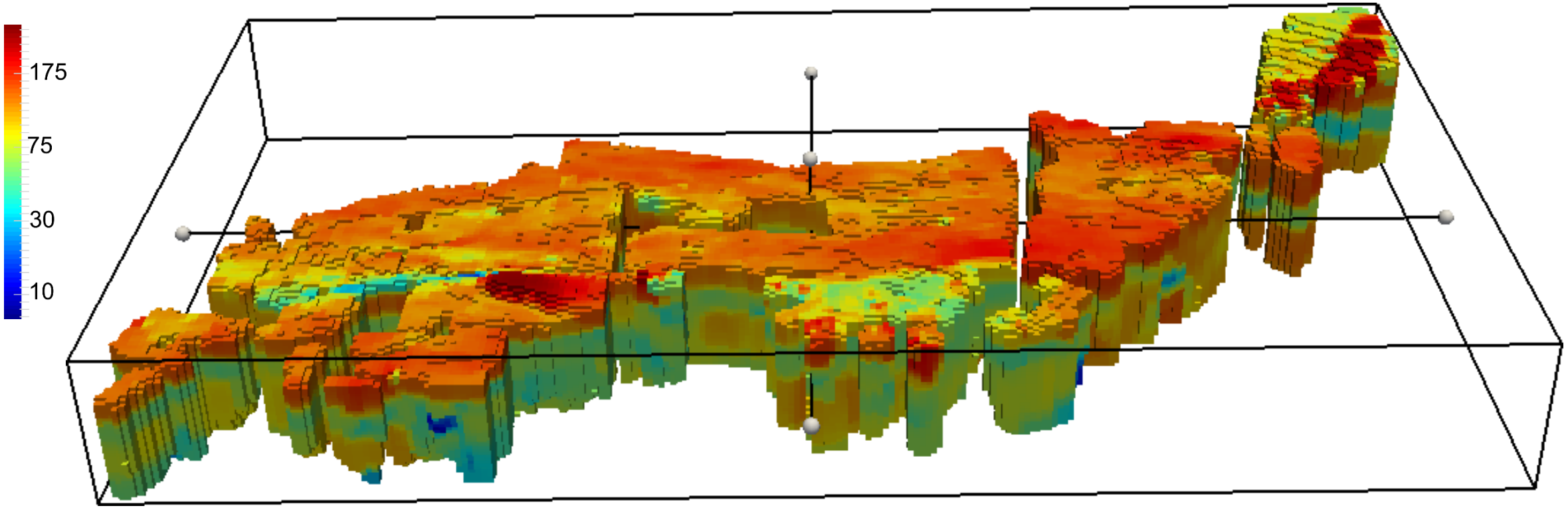


From data to model

ACT modeling

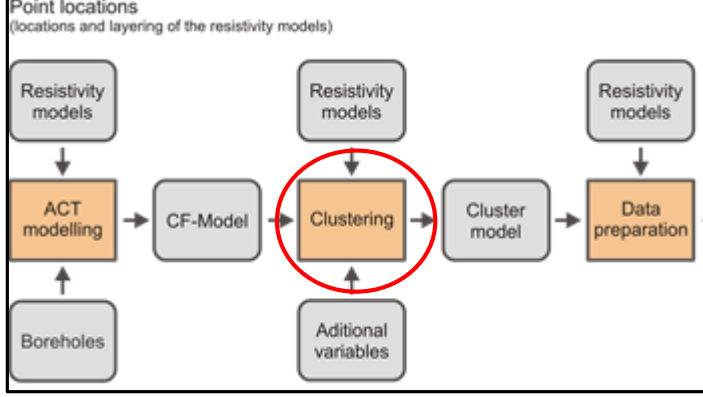


Resistivity [Ohm.m]:

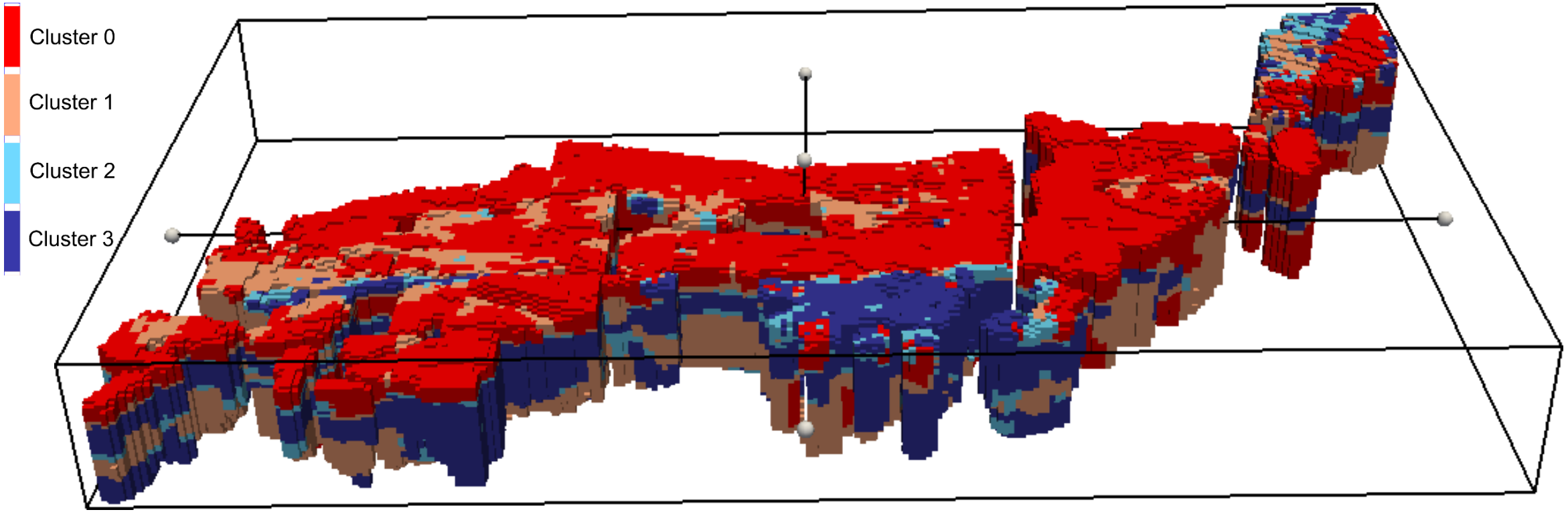


From data to model

ACT modeling



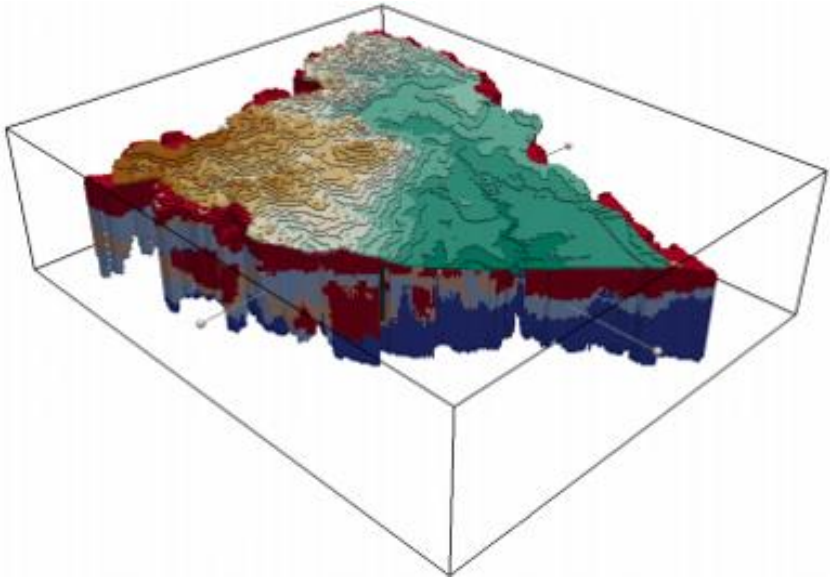
Clusters [-]:

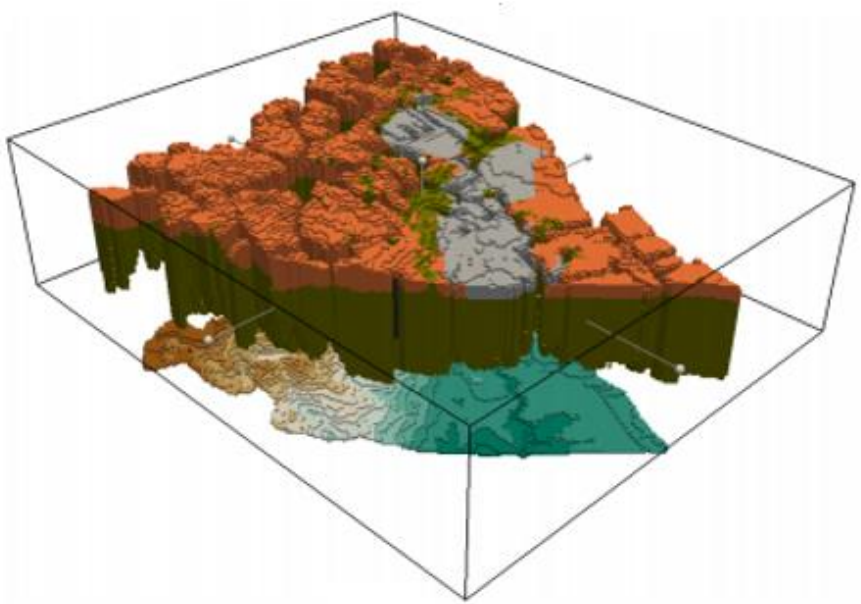


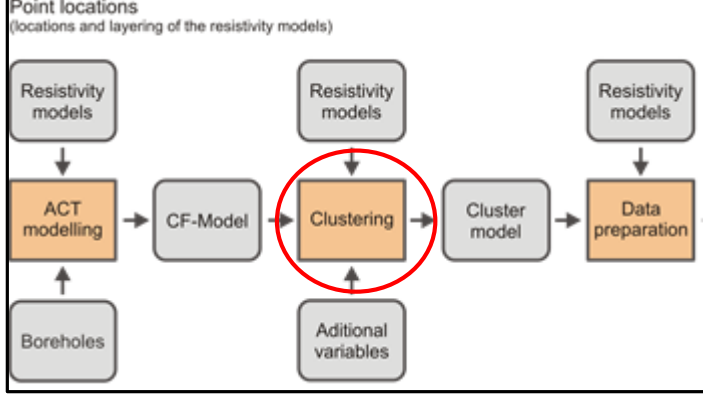
From data to model

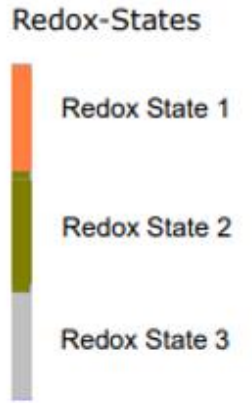
Data preparation

- Addition of Redox Training Image



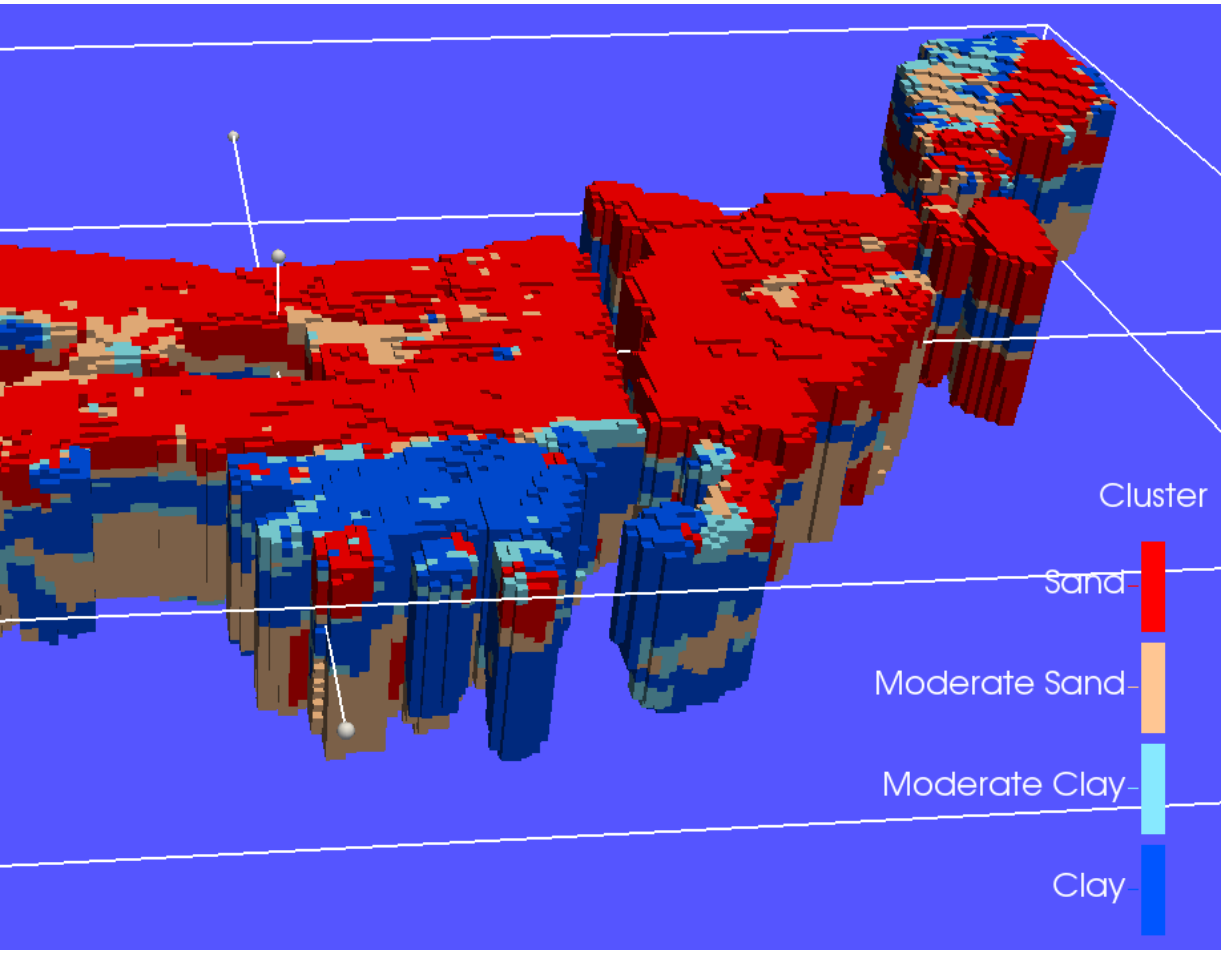


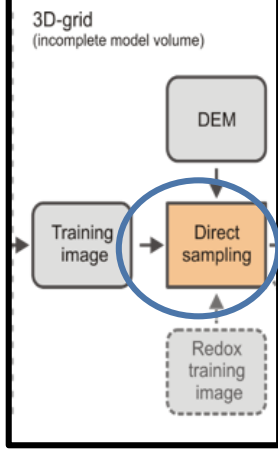




Geostatistical simulation

Direct Sampling:





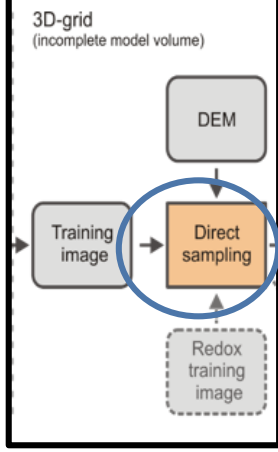
-Traditional Methods have difficulties to replicate **3D structural complexity**

-Even more complex if correlated **Redox** conditions need to be simulated

Direct Sampling

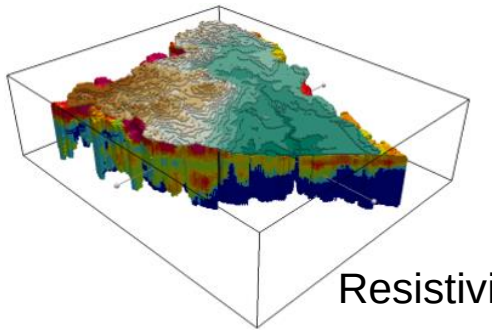
Simulation with the same geostatistical complexity as the Training Image

Geostatistical simulation

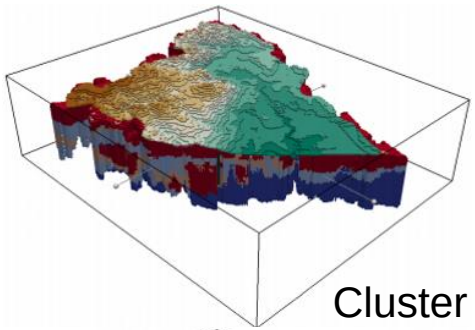


Direct Sampling:

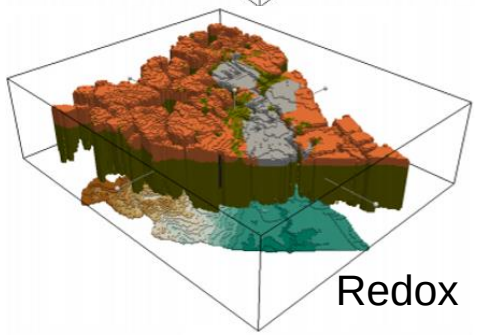
Training Image: All our measurements



Resistivity



Cluster

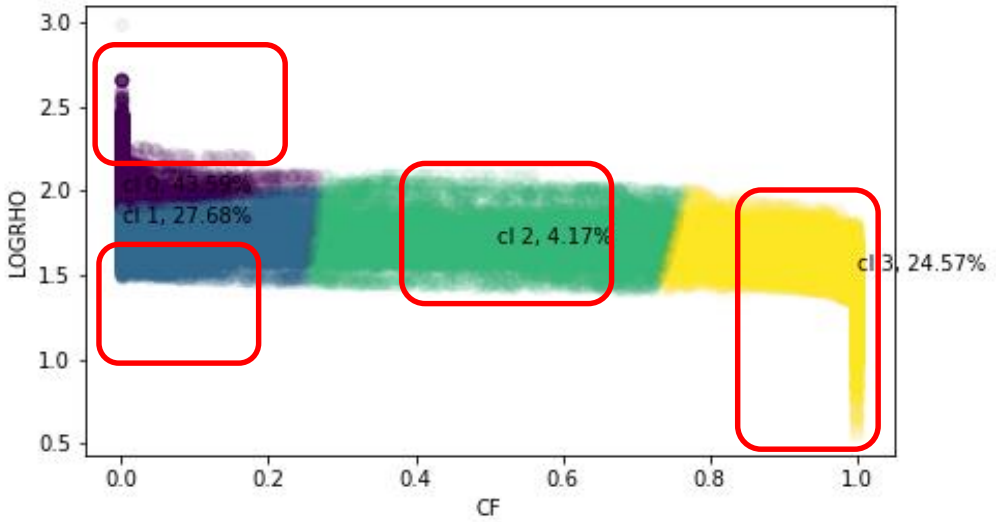


Redox

Minimizing risk of uncertainty underestimation

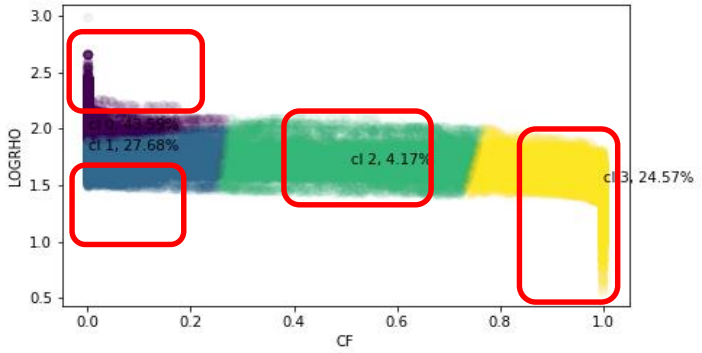
Filter out ‘least certain’ observations/measurements

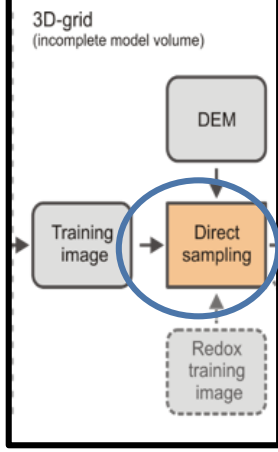
Hard Data: data we place in the grid before the simulations, because of high probability



Geostatistical simulation

Direct Sampling:





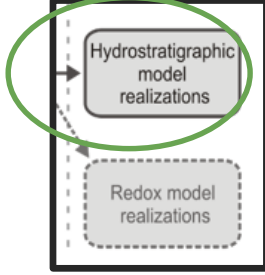
Training Image: All our measurements/data

Hard Data: data we place in the grid before the simulations, because we are confident in them

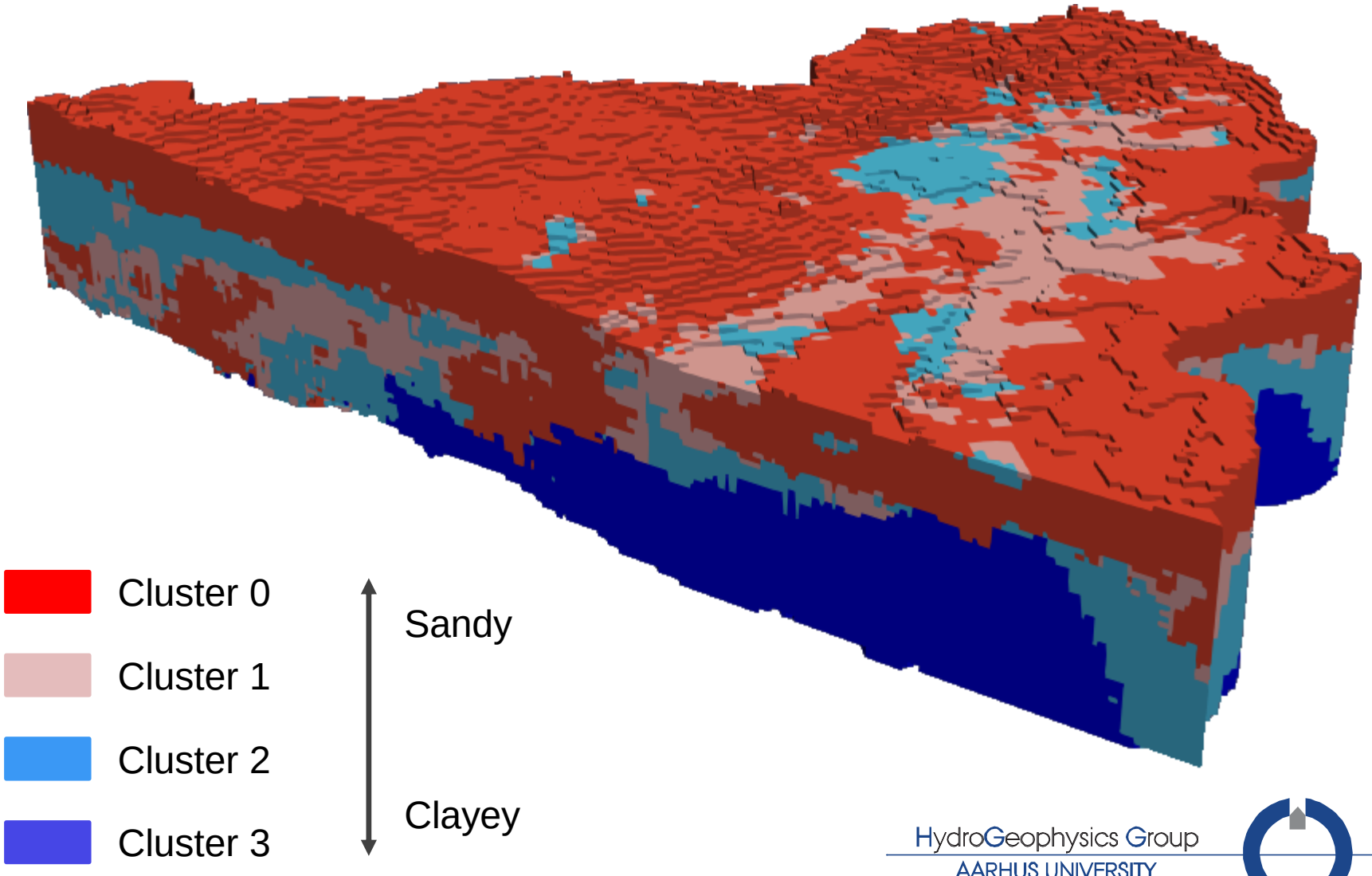
Minimizing risk of uncertainty underestimation

Filter out ‘least certain data’

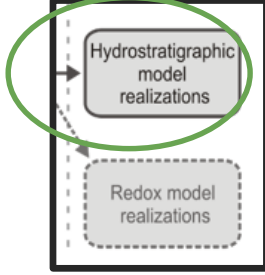
Model Realizations



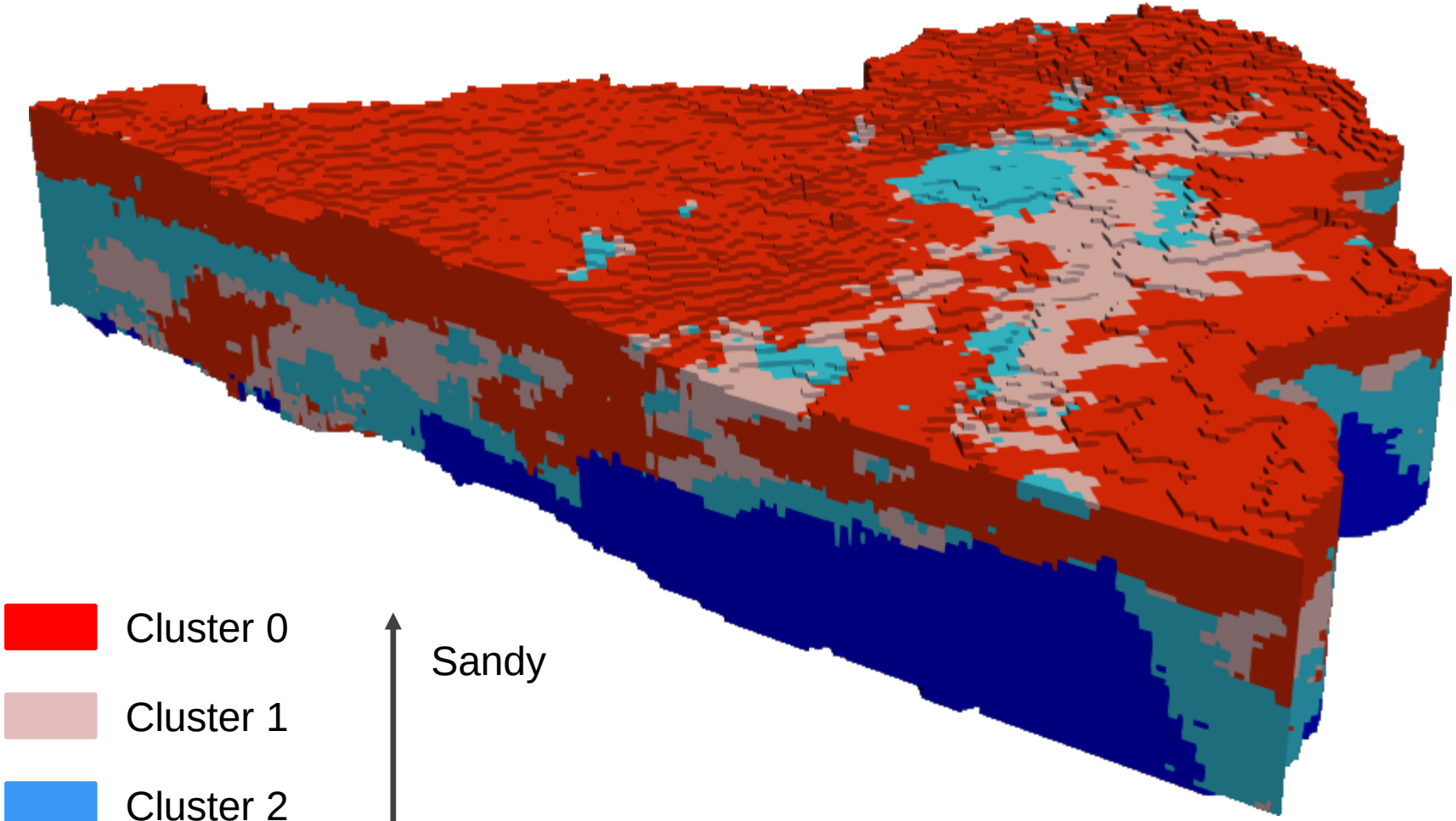
Example:



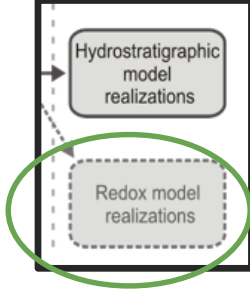
Model Realizations



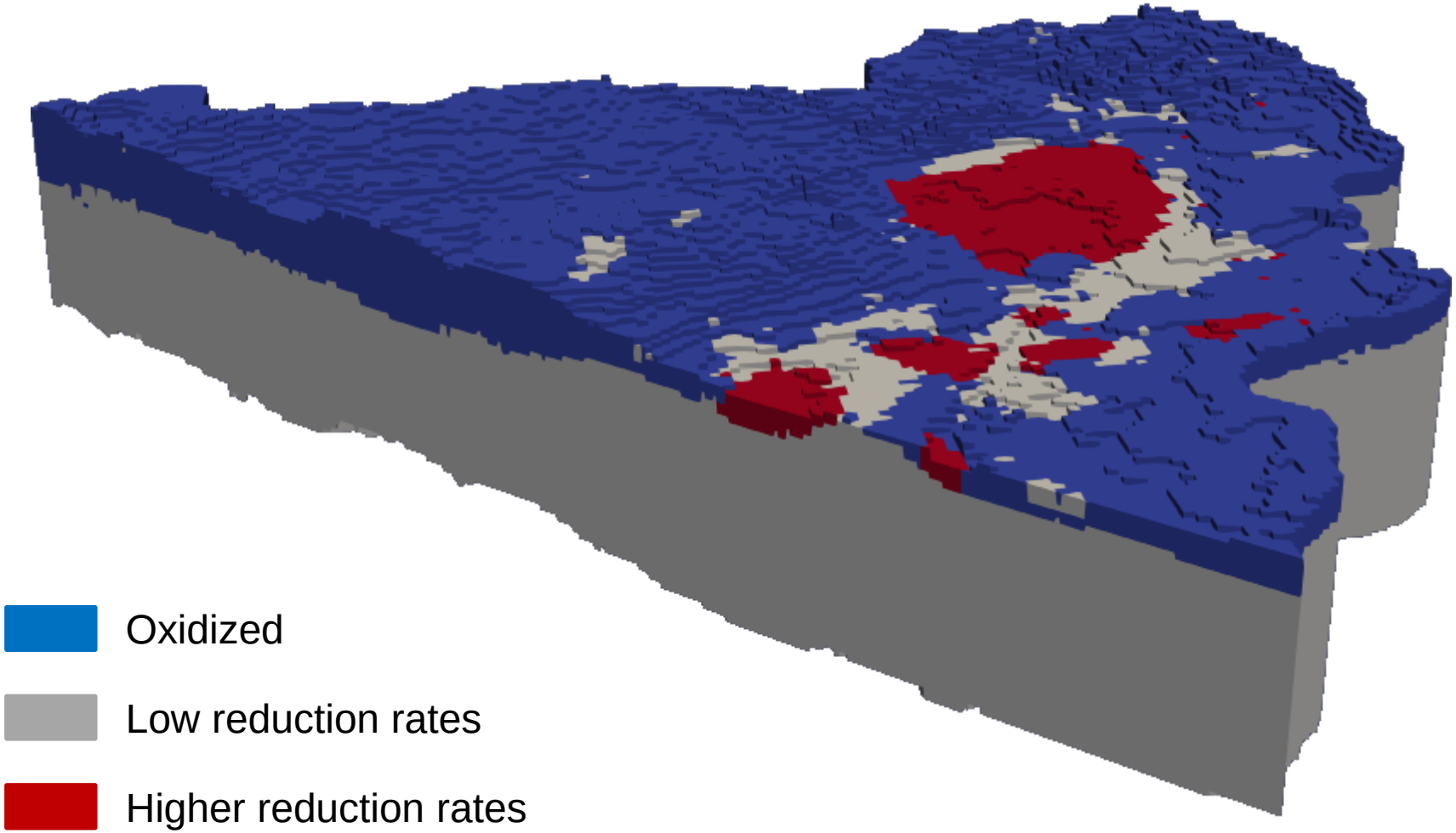
Example:



Model Realizations



Example:

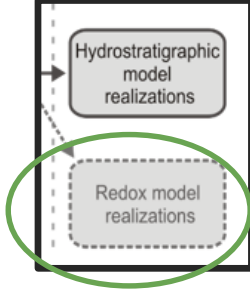


Oxidized

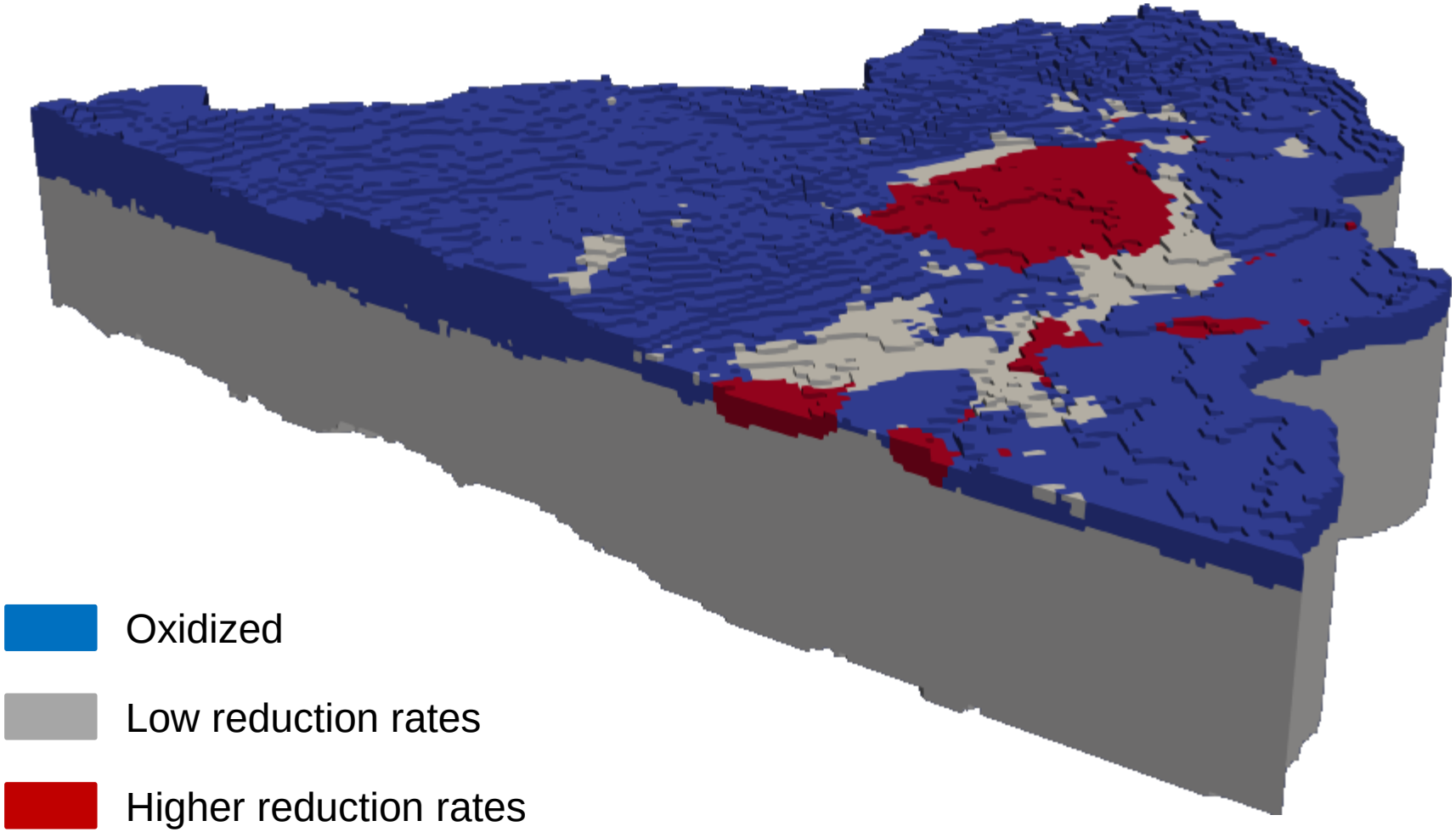
Low reduction rates

Higher reduction rates

Model Realizations



Example:

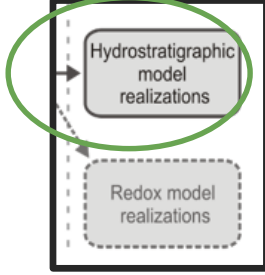


Oxidized

Low reduction rates

Higher reduction rates

Model Realizations

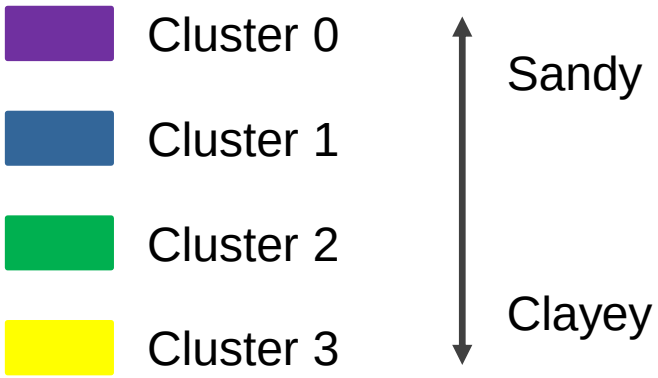


Uncertainty description

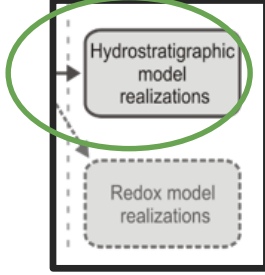
Cluster Hard Data

Hydrostratygraphy: Realization 1

Hydrostratygraphy: Realization 2



Model Realizations



Uncertainty description

Cluster Hard Data

Hydrostratygraphy: Realization 1

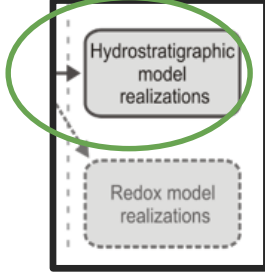
Entropy: 'variability indicator'

Value between 0 and 1:

- 0: **no variability** between each realization
- 1: each different type **equally represented** among the realizations

Hydrostratygraphy: Realization 2

Model Realizations



Uncertainty description

Cluster Hard Data

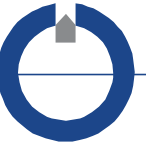
Hydrostratygraphy: Realization 1

Entropy: 0 1

Hydrostratygraphy: Realization 2

Conclusion

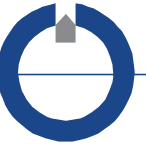
- **Uncertainty** and **complexity** included in groundwater model:
  - We can estimate the uncertainty on the subsurface hydro-geological structures based on collected geophysical and well data



Conclusion

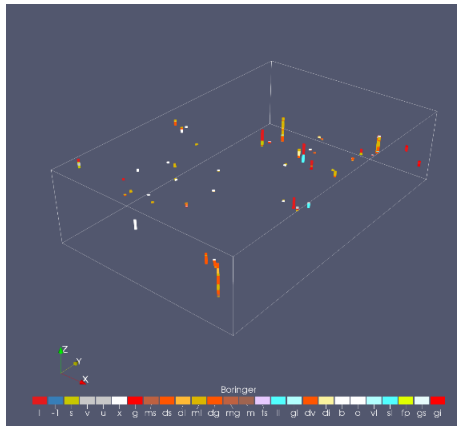
- **Uncertainty** and **complexity** included in groundwater model:
  - We can estimate the uncertainty on the subsurface hydro-geological structures based on collected geophysical and well data

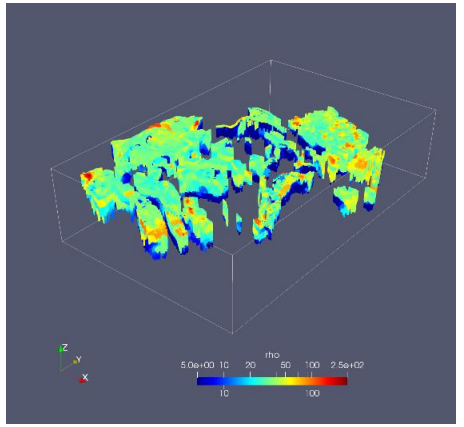
- **3D simulation redox** conditions, correlated to hydrogeological structure
  - We developed a method that simulates the subsurface redox conditions that is in agreement with the subsurface hydrogeological structures



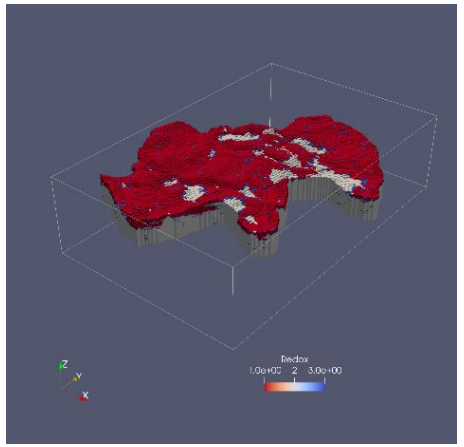
Conclusion

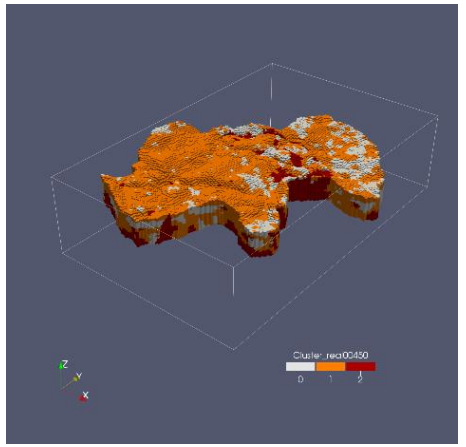
- **Uncertainty** and **complexity** included in groundwater model:
  - We can estimate the uncertainty on the subsurface hydro-geological structures based on collected geophysical and well data





- **3D simulation redox** conditions, correlated to hydrogeological structure
  - We developed a method that simulates the subsurface redox conditions that is in agreement with the subsurface hydrogeological structures





- **Transparent link** between wells and geophysical data:
  - The workflow from data collection to groundwater model input allows us to track the data through the process

Hydrologisk modellering med N-transport

… og kvælstofretention

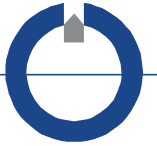
Rasmus Rumph Frederiksen

Postdoc

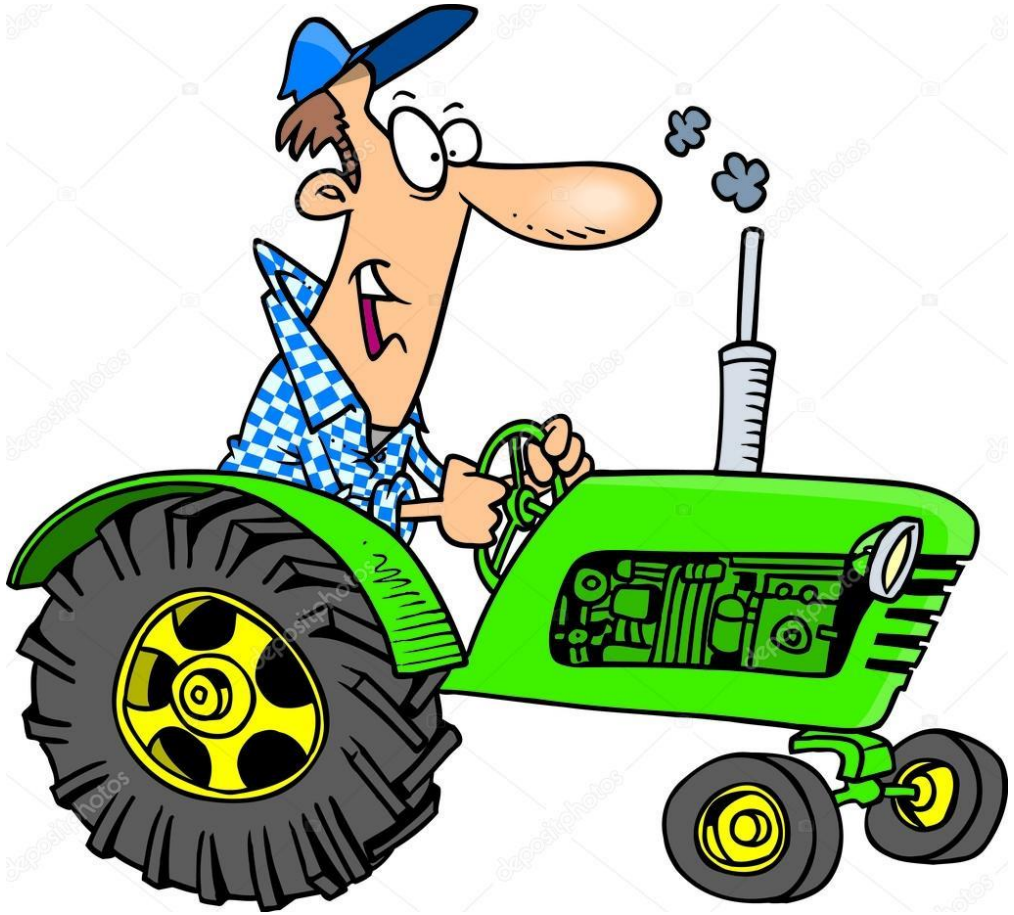
HydroGeofysikGruppen (HGG)

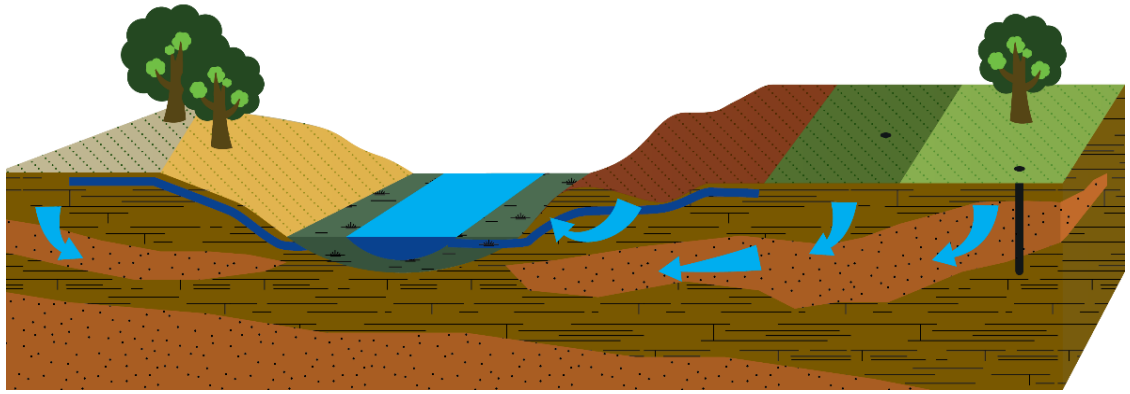
Institut for Geoscience, Aarhus Universitet, Aarhus, Danmark

HydroGeophysics Group
AARHUS UNIVERSITY



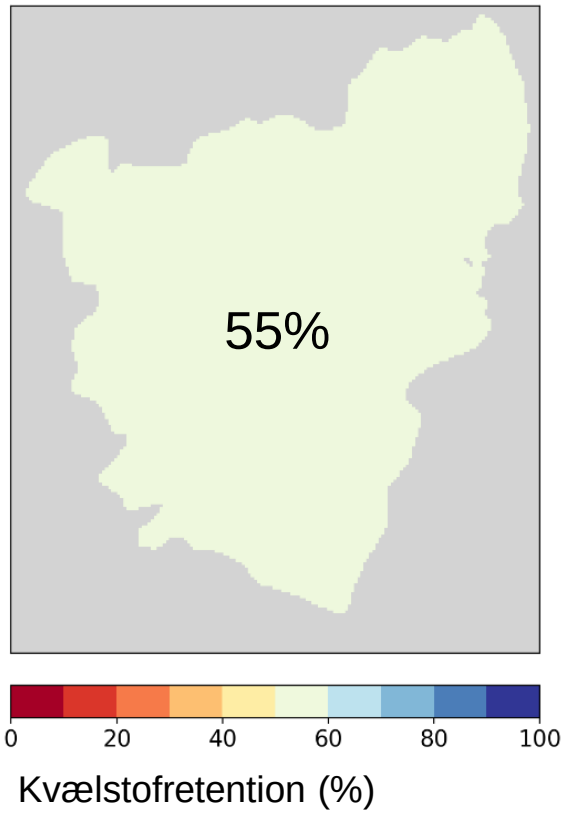
Baggrund og motivation





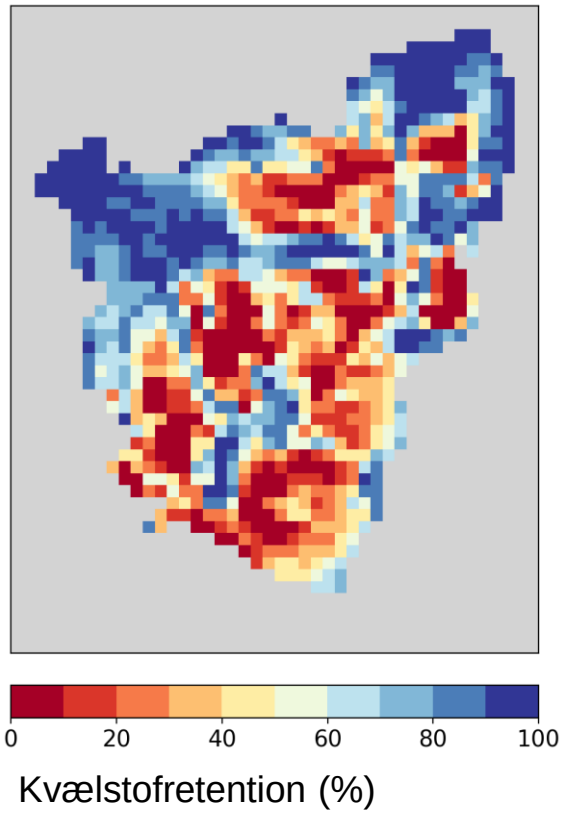
Målrettet regulering kræver, at vi går fra oplandskort til mere detaljerede kort over kvælstofretentionen

Oplandskort



MapField ☺

Detaljeret kort



MapFields fem trin til et detaljeret retentionskort

1. Sammenfatning af eksisterende viden
2. Skanning af undergrunden
3. Vand- og jordprøvetagning
4. Opsætning af hydrogeologiske og hydrogeokemiske modeller
5. Beregning af retentionskort

Sammenfatning af eksisterende viden

1

2

3

4

5

Skanning af undergrunden

1
2
3
4
5

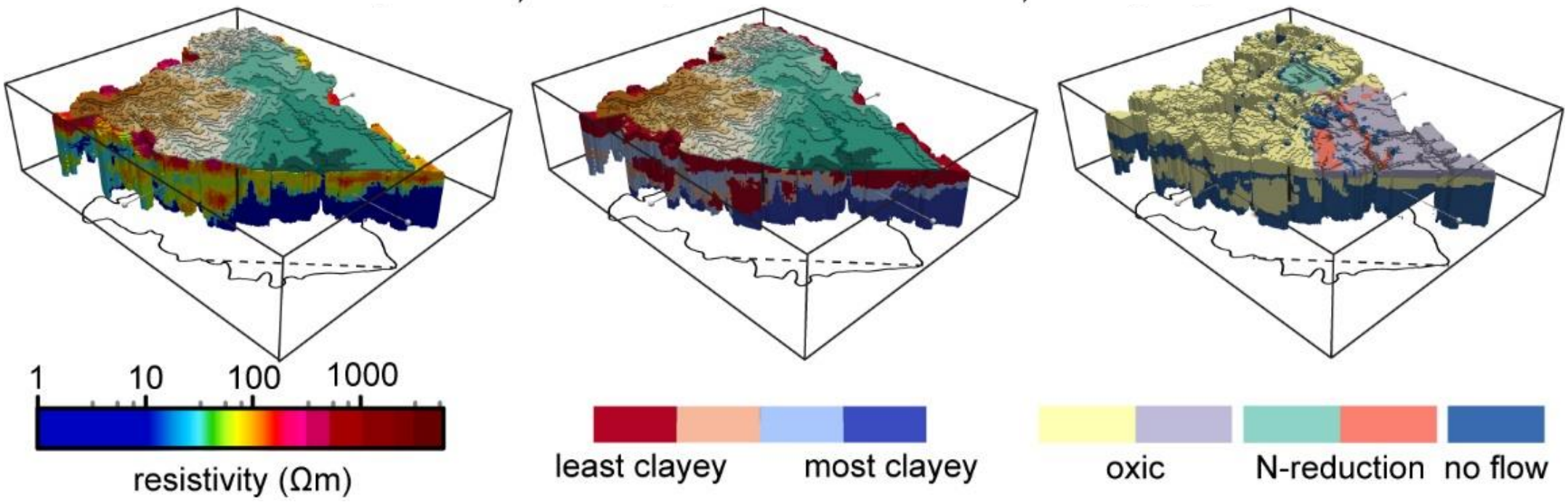
Vand- og jordprøvetagning

1
2
3
4
5

Opsætning af hydrogeologiske og hydrogeokemiske modeller

1
2
3
4
5

Scanningsbillede → Hydrogeologisk model → Hydrogeokemisk model



Kim et al. (under review at Stoten)

Beregning af retentionskort

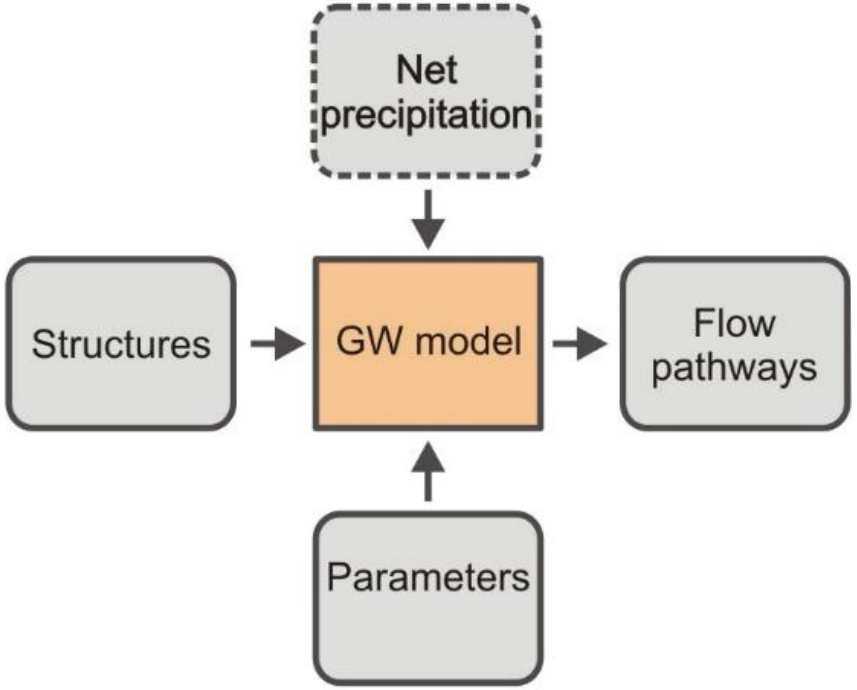
1: Beregning af nettonedbør

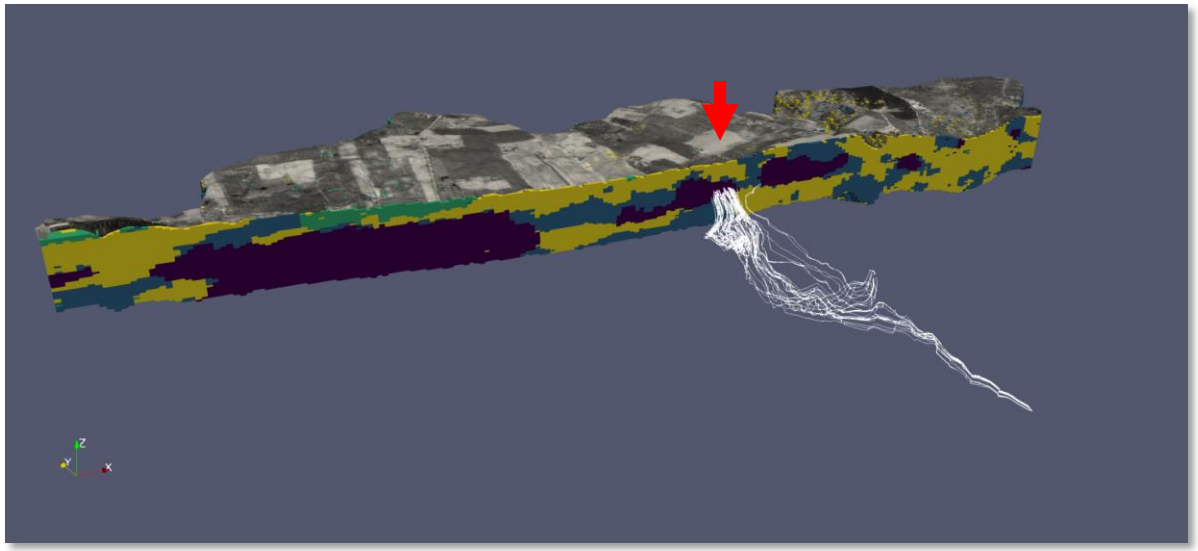
1
2
3
4
5

Beregning af retentionskort

2: Grundvandsmodel

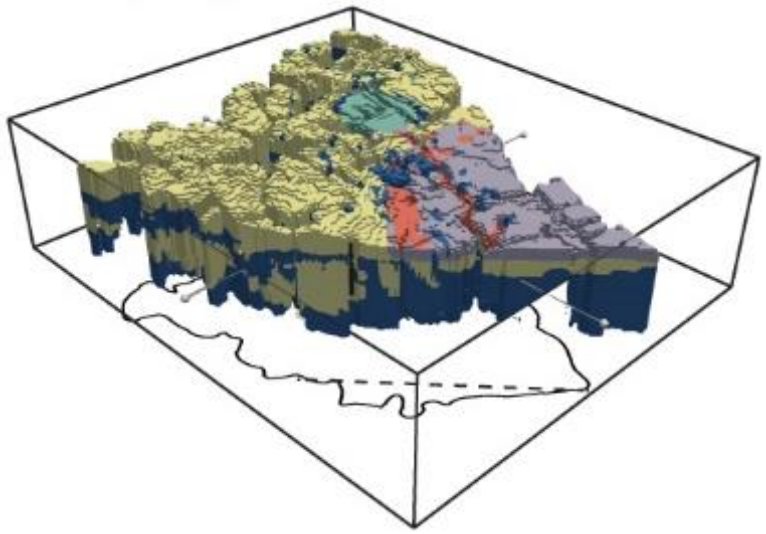
1
2
3
4
5



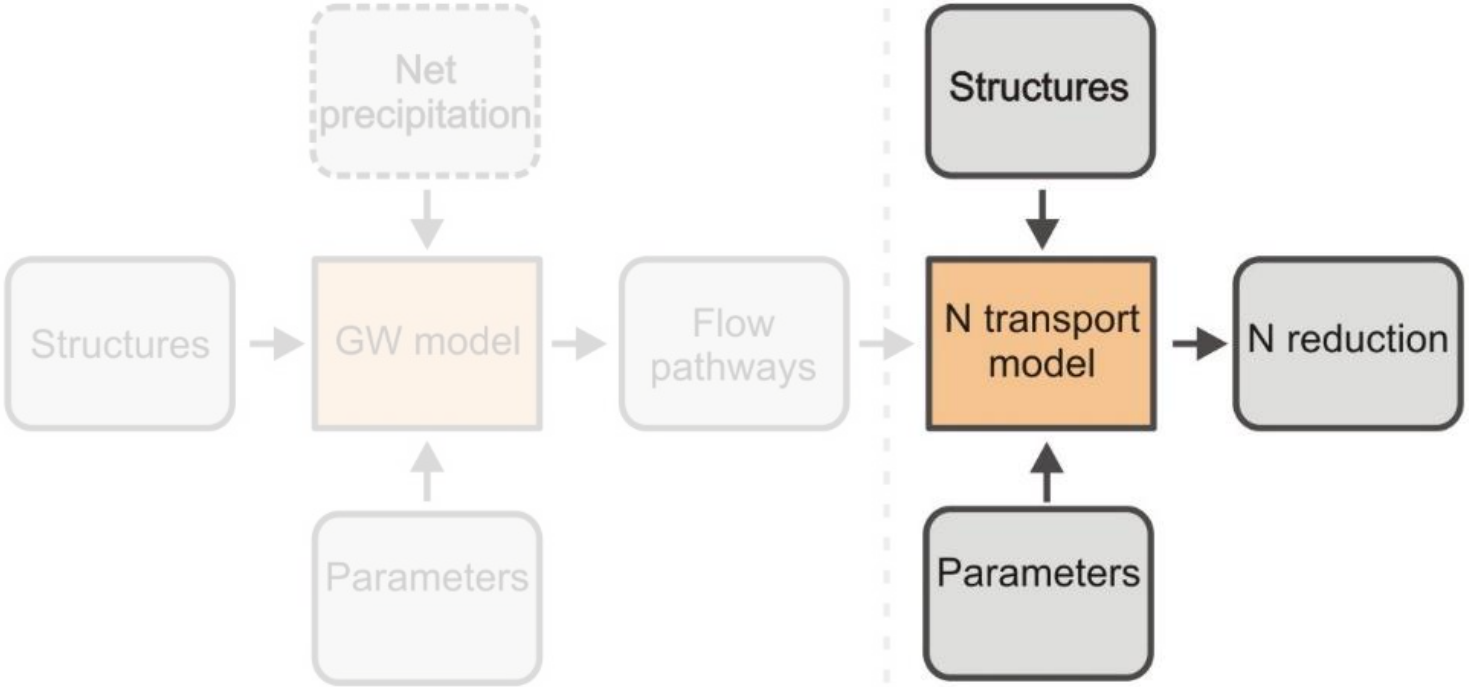


Beregning af retentionskort

3: Kvælstofomsætning



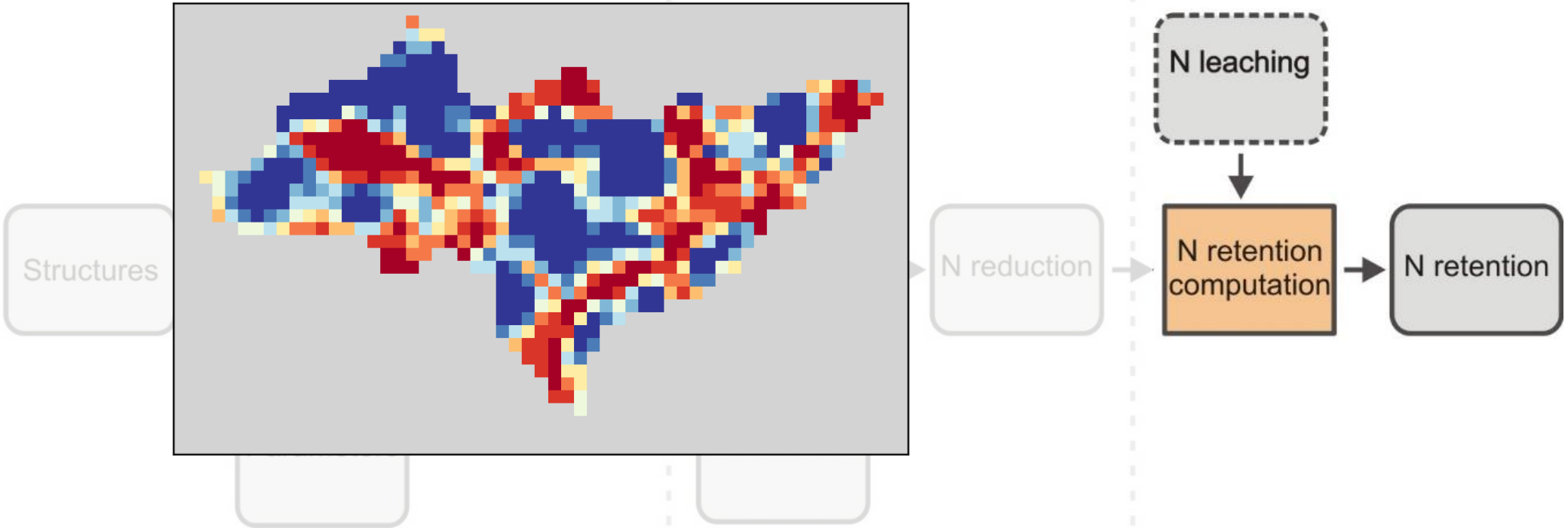
1
2
3
4
5



Beregning af retentionskort

4: Beregning af kvælstofretention

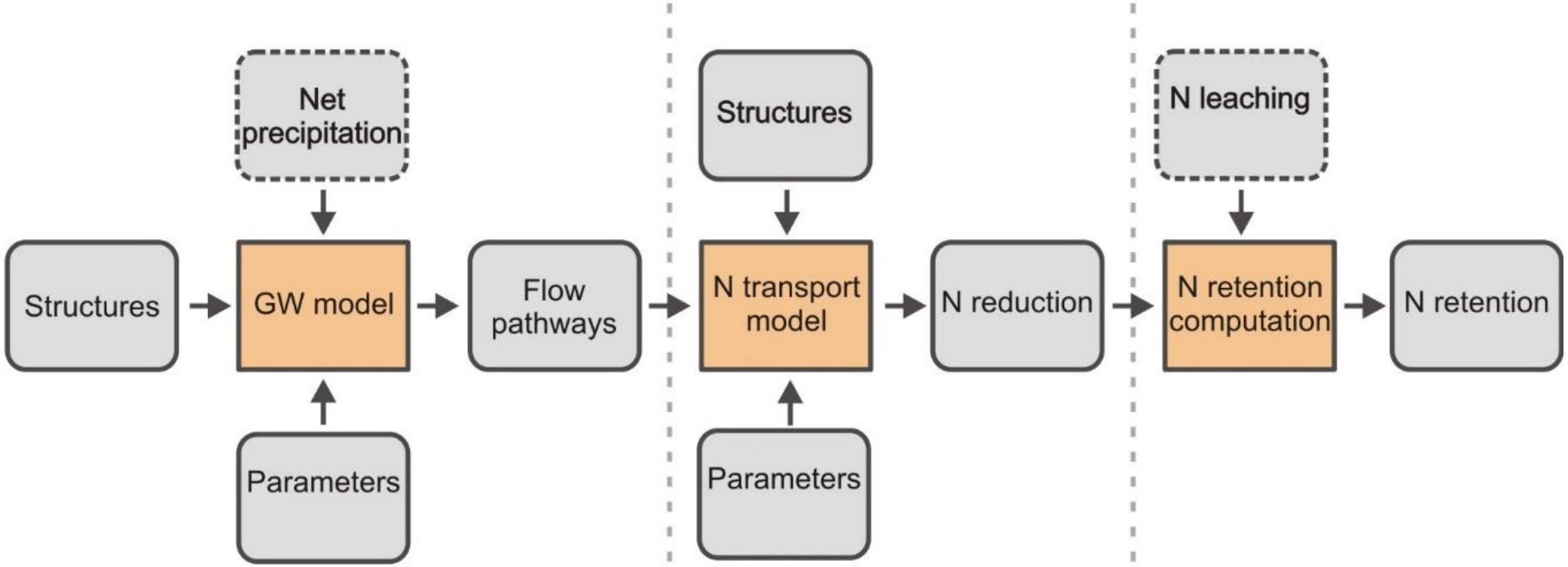
1
2
3
4
5



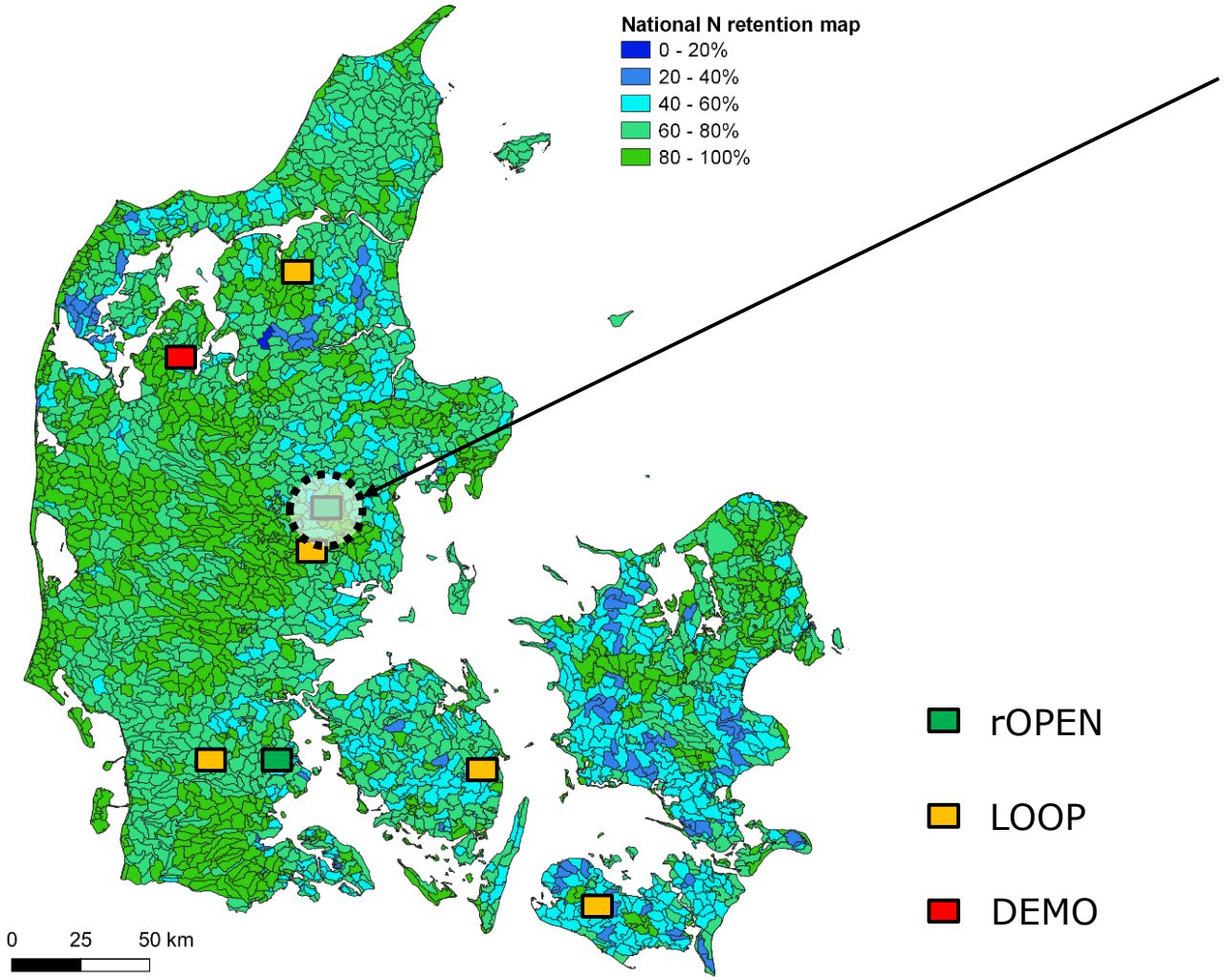
Beregning af retentionskort

5: Håndtering af usikkerhed

1
2
3
4
5



Kortlagte ID15 oplande

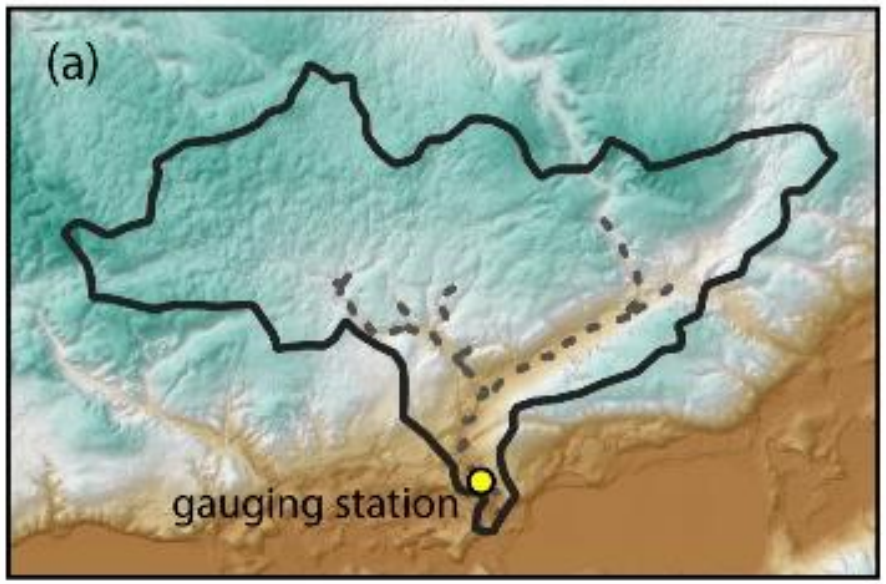


rOPEN

LOOP

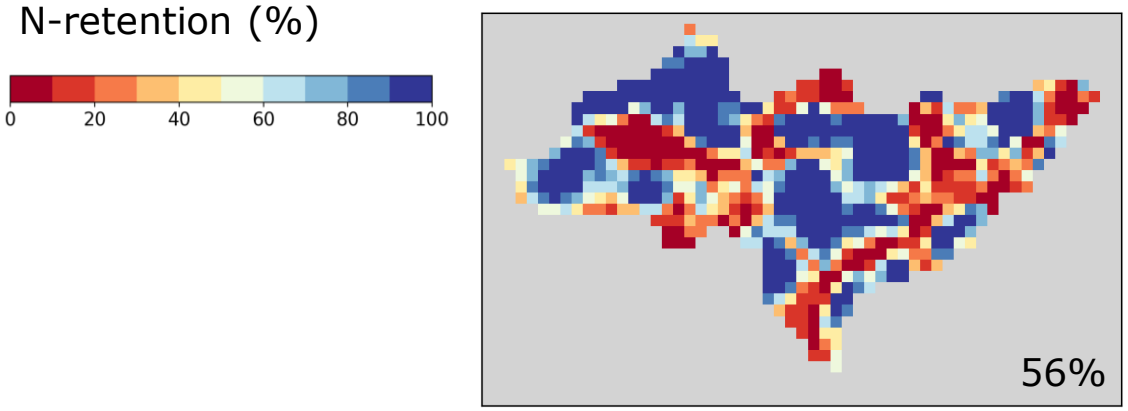
DEMO

Javngyde



N-retention og usikkerhed for Javngyde

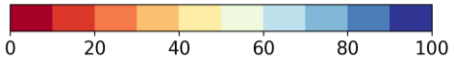
120 x 120 m

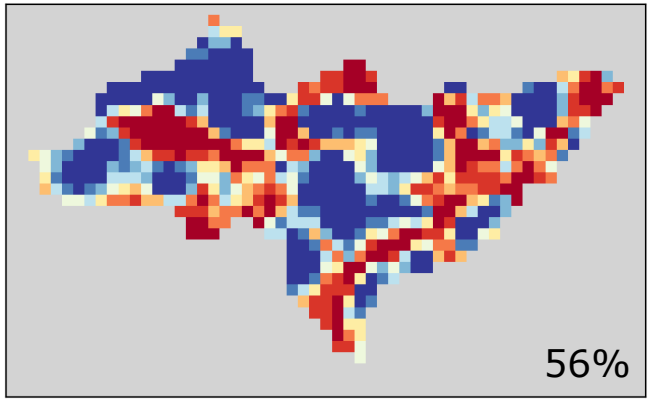


N-retention og usikkerhed for Javngyde

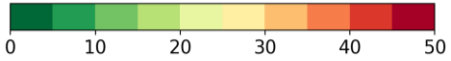
120 x 120 m

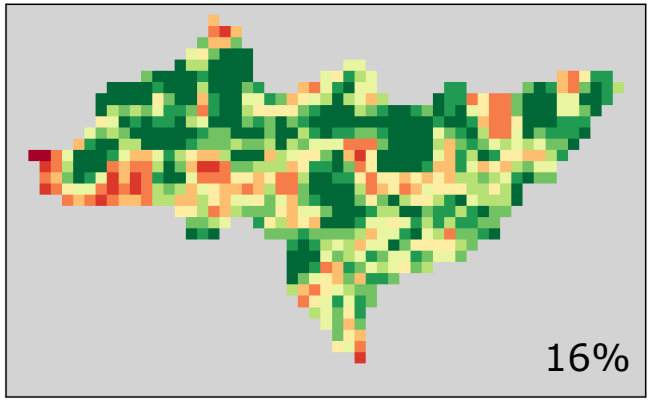
N-retention (%)





Usikkerhed (%-point)

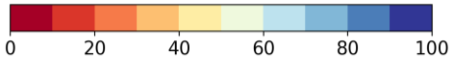


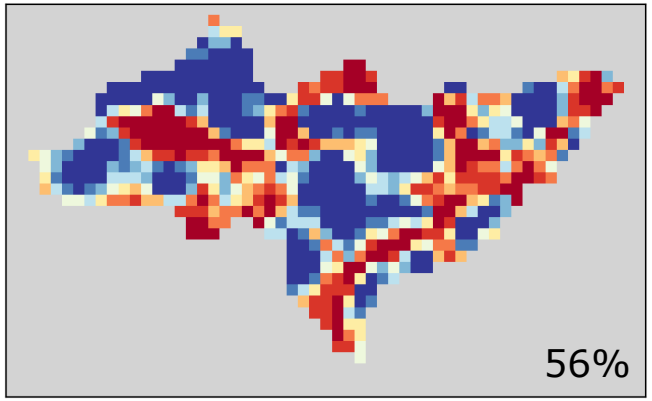


N-retention og usikkerhed for Javngyde

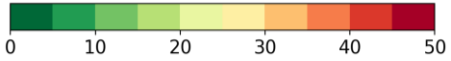
120 x 120 m

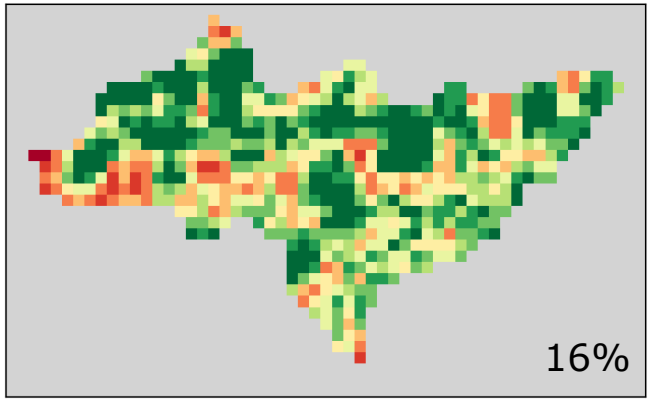
N-retention (%)



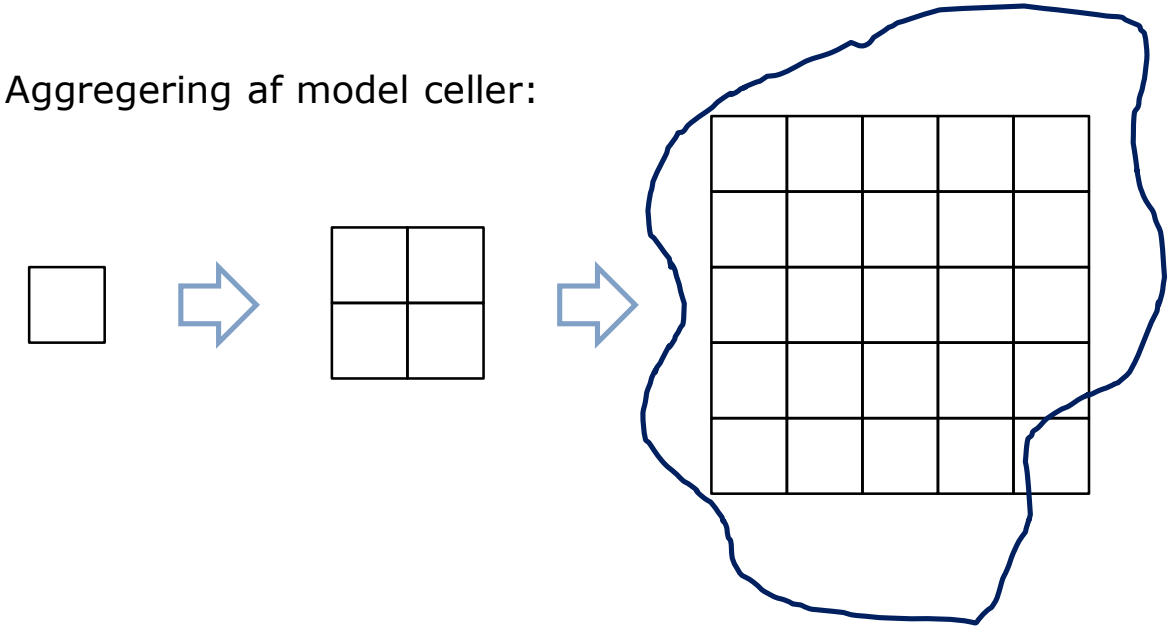


Usikkerhed (%-point)





Aggregering af model celler:



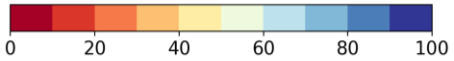
N-retention og usikkerhed for Javngyde

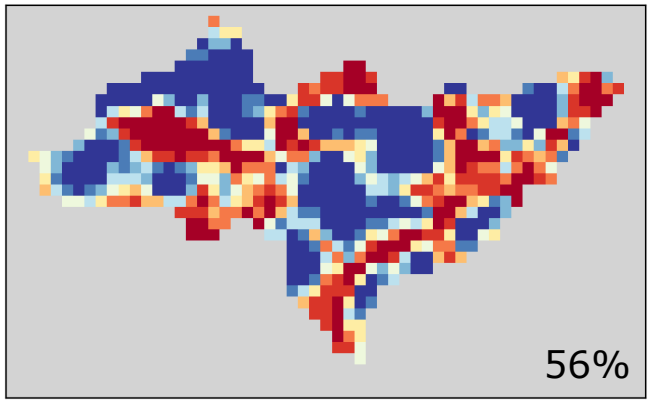
120 x 120 m

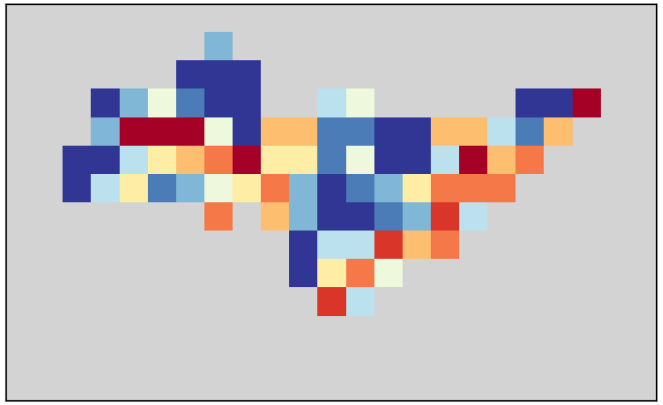
300 x 300 m

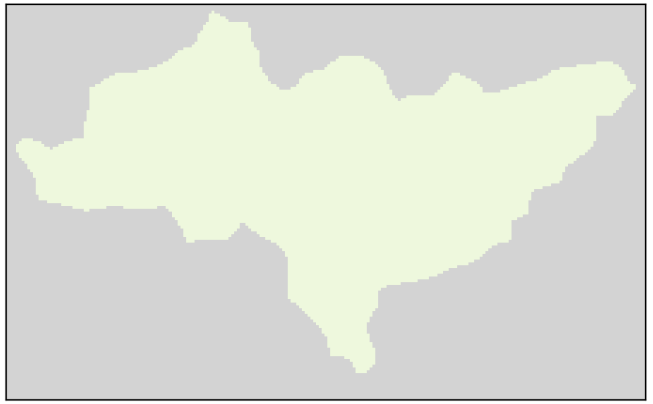
oplandskort

N-retention (%)

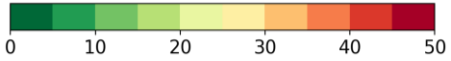


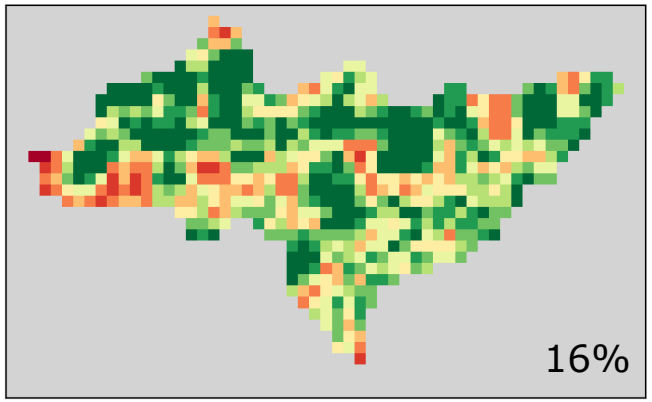


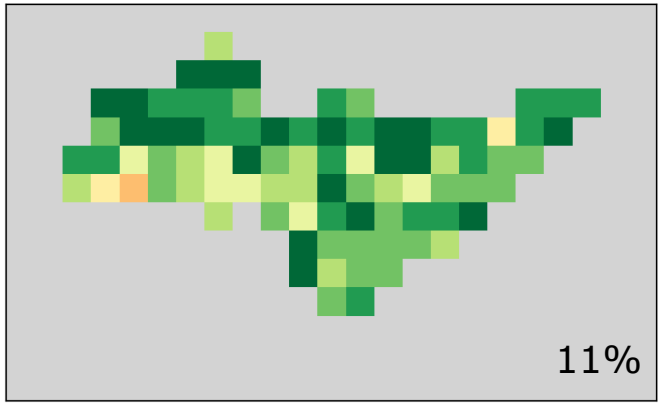


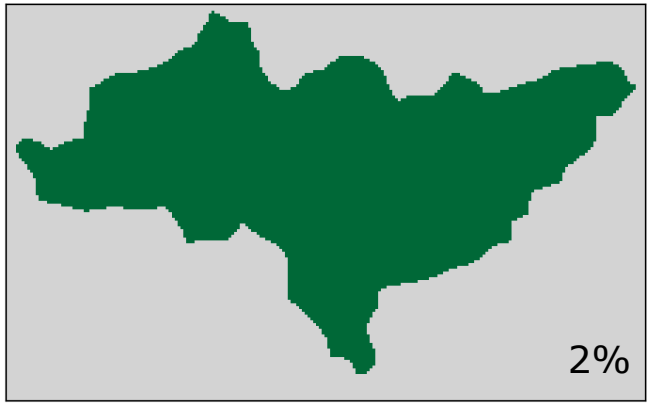


Usikkerhed (%-point)

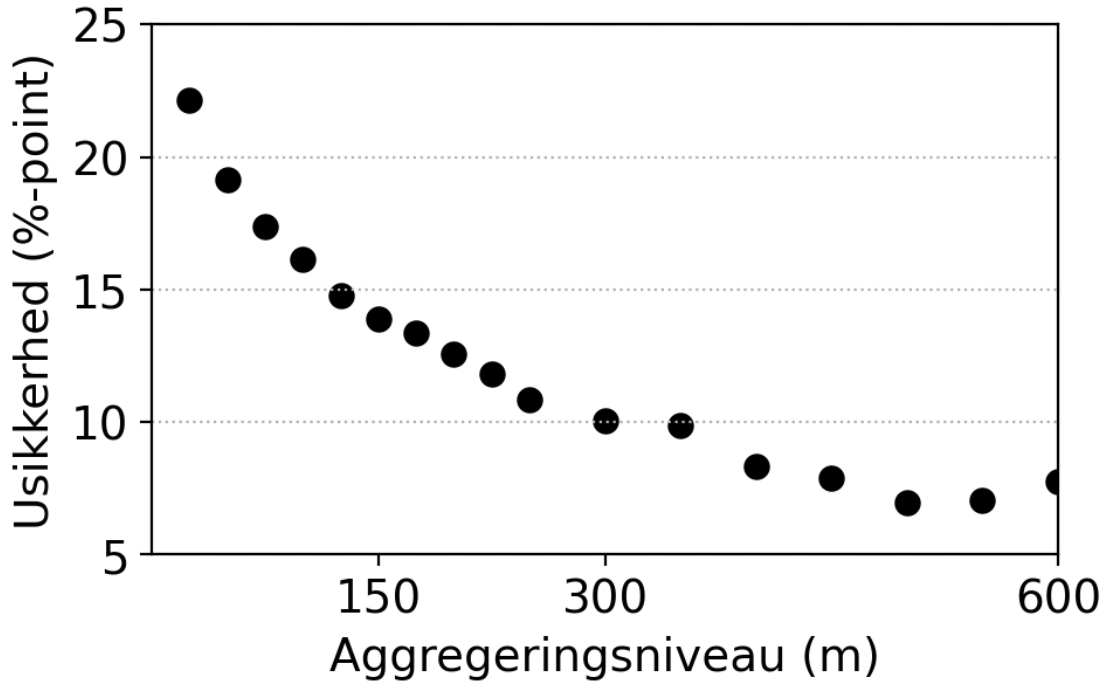




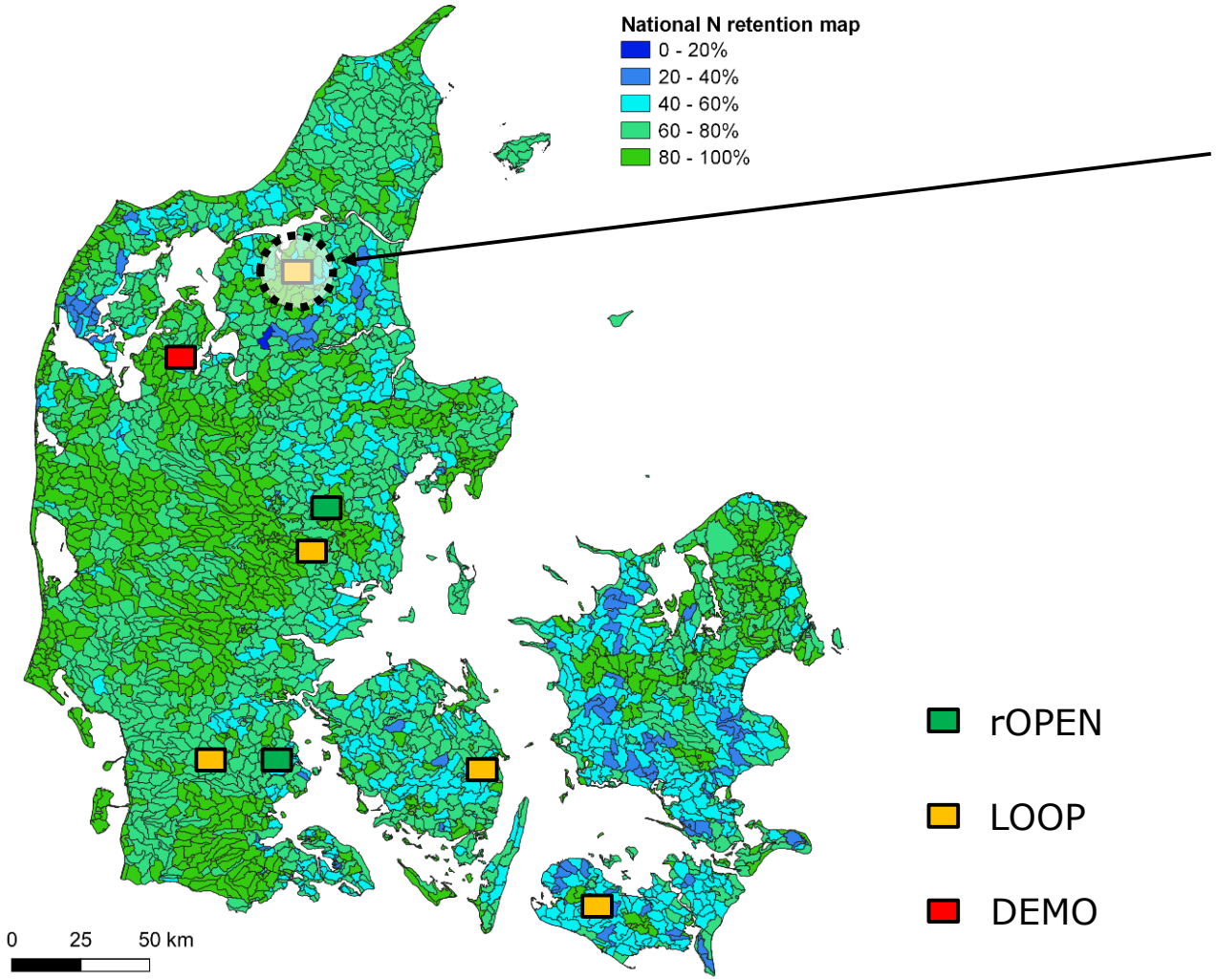




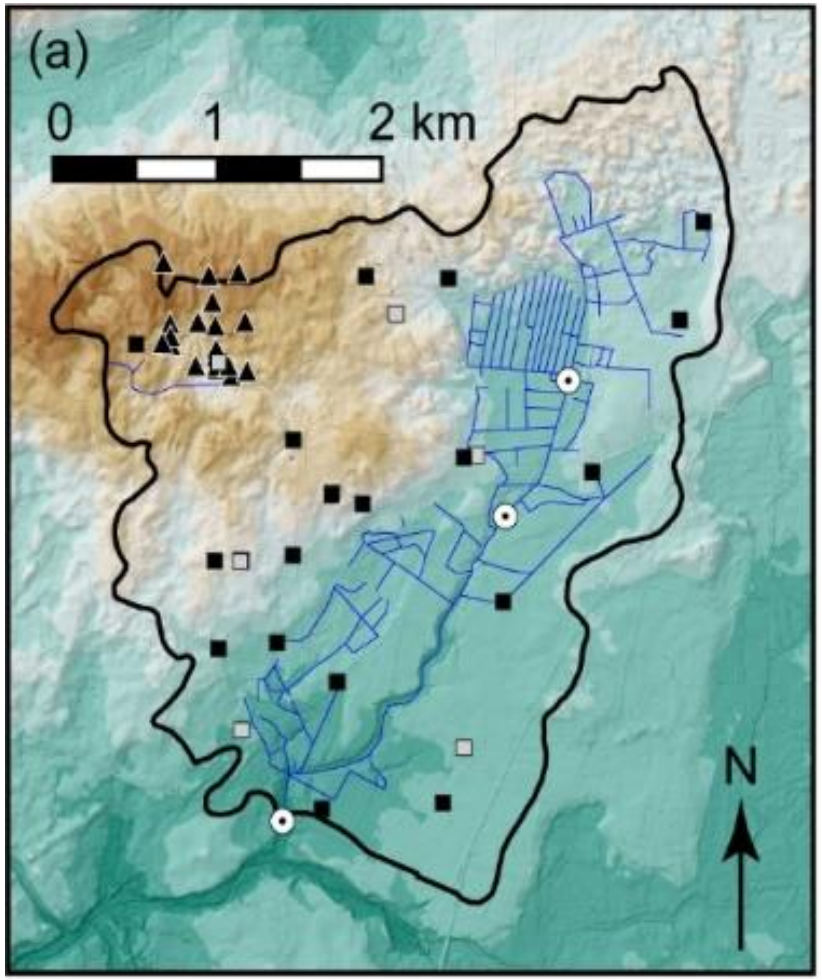
N-retention og usikkerhed for Javngyde



Kortlagte ID15 oplande



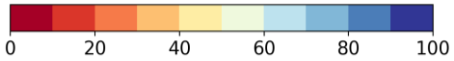
LOOP2/Oddersbæk

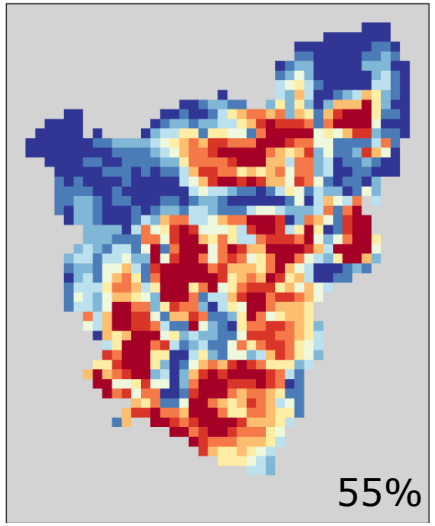


N-retention og usikkerhed for LOOP2

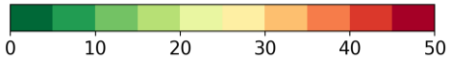
100 x 100 m

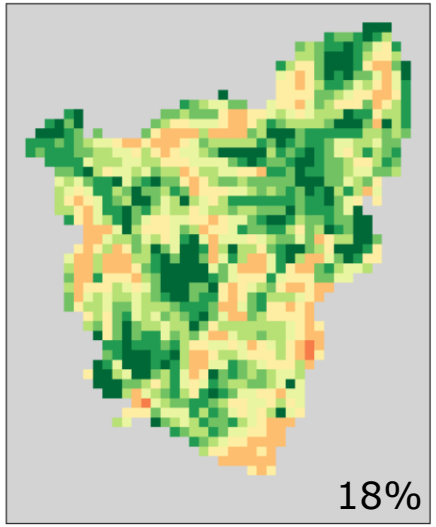
N-retention (%)



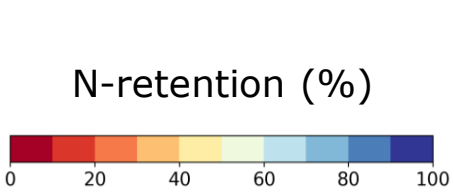


Usikkerhed (%-point)



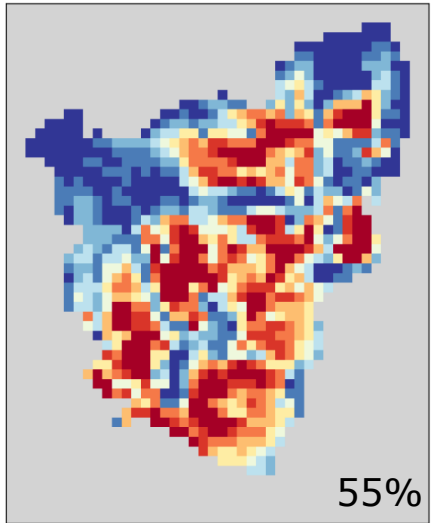


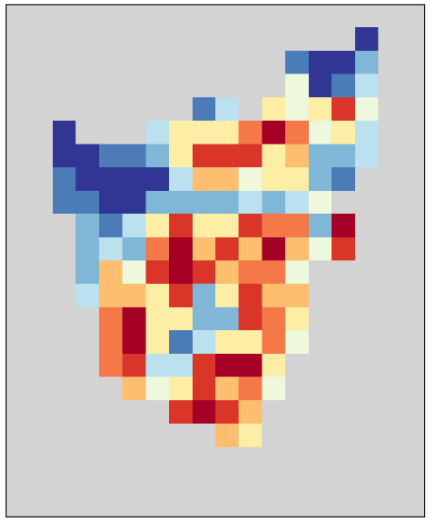
N-retention og usikkerhed for LOOP2

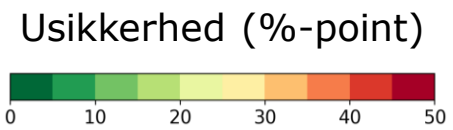


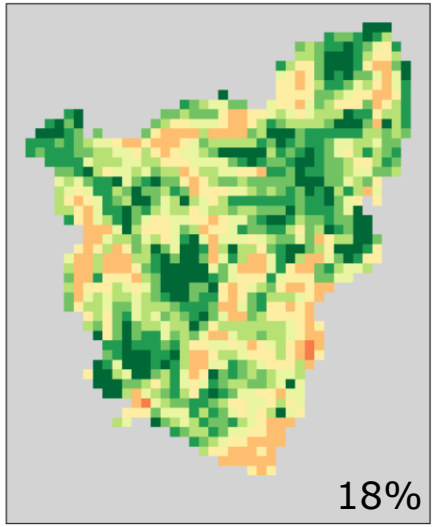
100 x 100 m

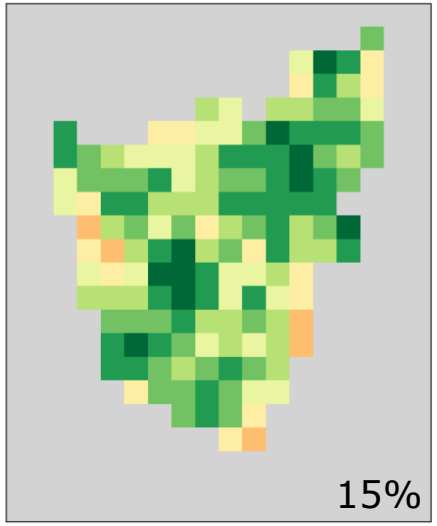
250 x 250 m



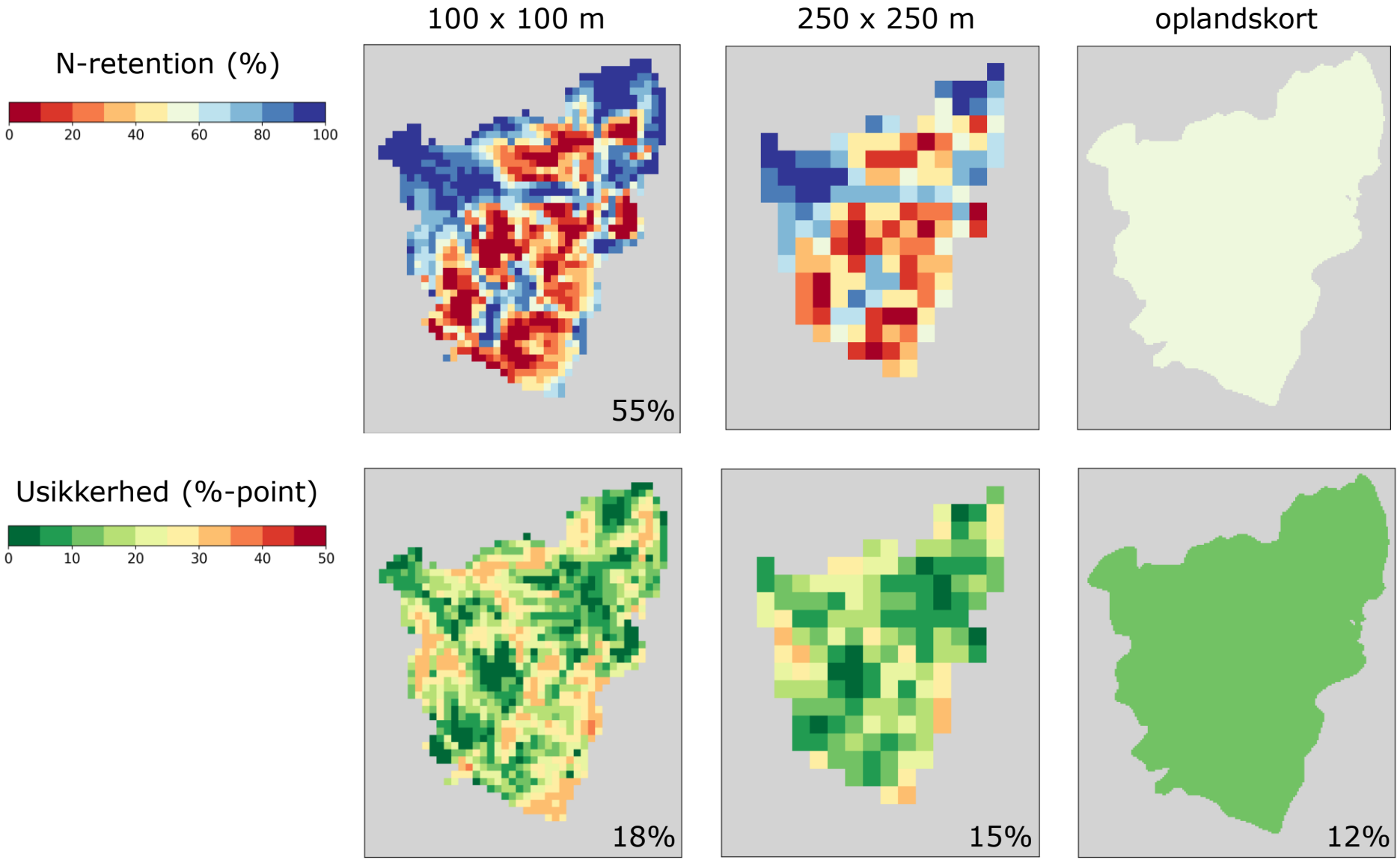








N-retention og usikkerhed for LOOP2



Opsummering

- **Koncept til beregning af et detaljeret retentionskort**
- **Data, data, data**
- **Forbedret beskrivelse af hydrogeologiske forhold**
- **Forbedret beskrivelse af hydrogeokemiske forhold**
- **Fuldt integreret usikkerhedsanalyse**
- **Effektiv og data-drevet modellering**