

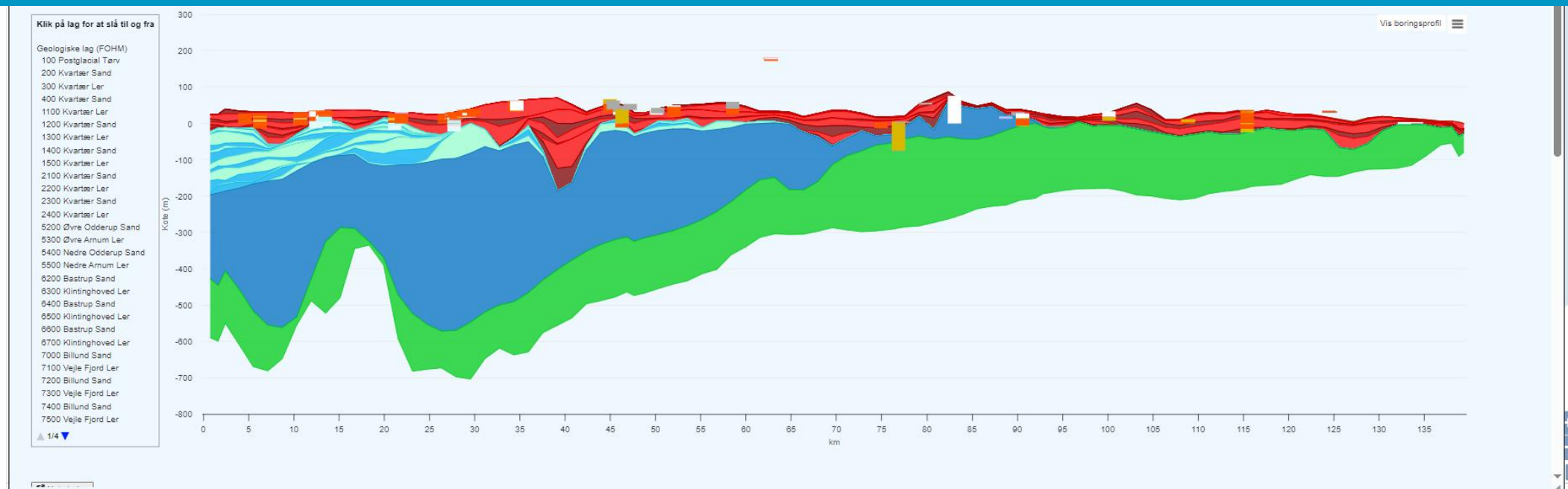
Usikkerhedsvurderinger for den nationale FOHM model

Anne-Sophie Høyer

Ingelise Møller, Rasmus Bødker Madsen, Marianne Wiese

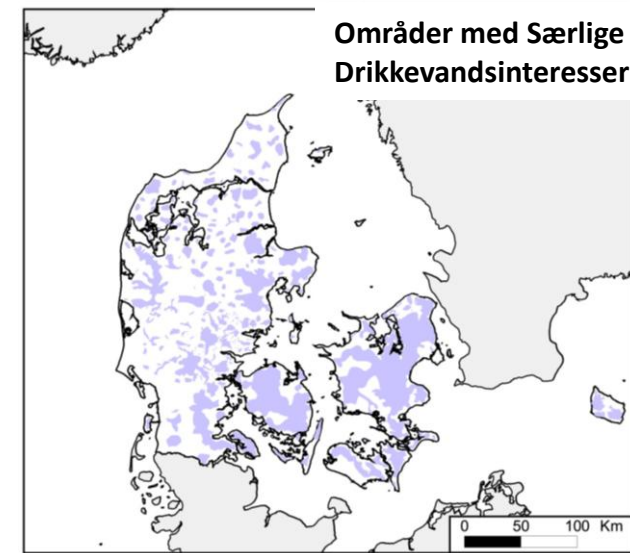
Den nationale hydrostratigrafiske model

MEN: Modellen er lavet på meget forskelligt videns- og datagrundlag
Dvs. STOR forskel på usikkerhed
VISION: Synliggørelse af denne usikkerhed!



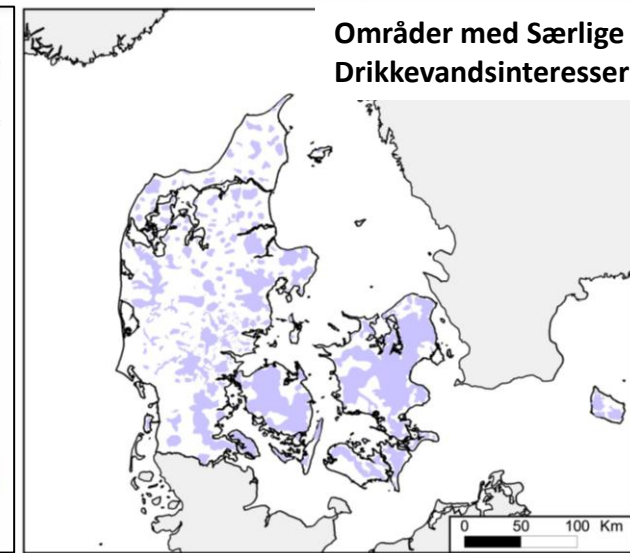
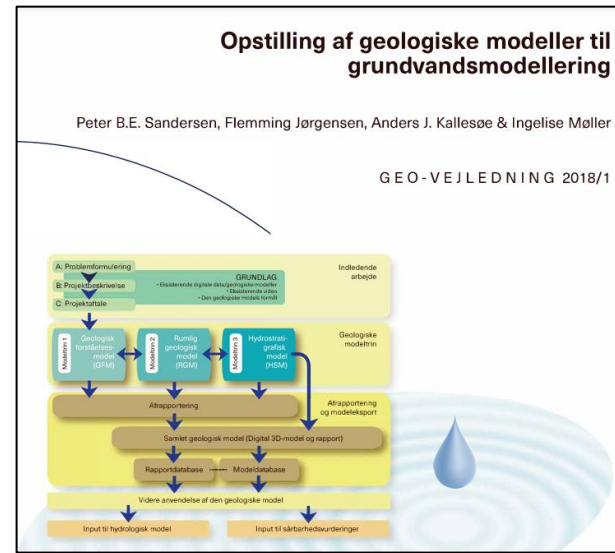
Baggrund

- 'Områder med Særlige Drikkevandsinteresser' (OSD områderne) kortlagt i regi af grundvandskortlægningen (1999-2015)



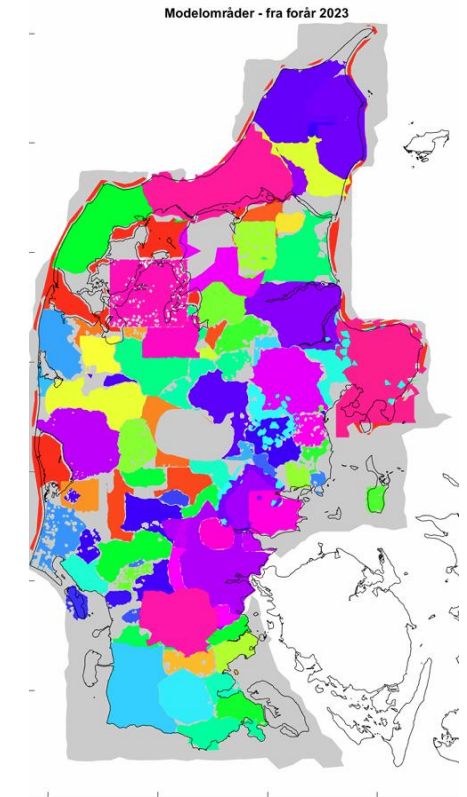
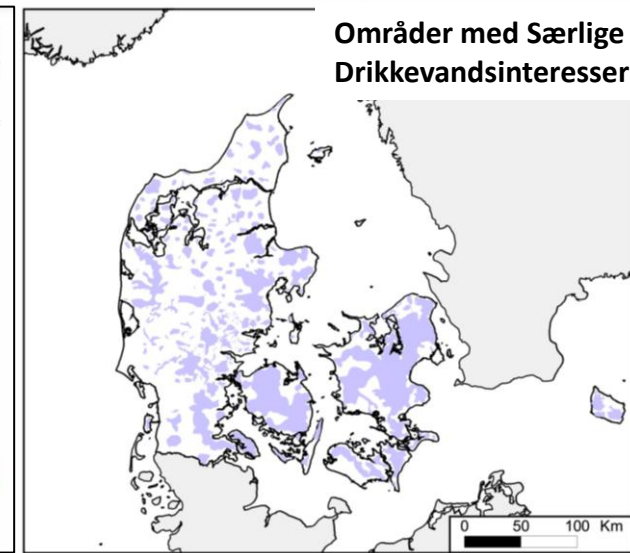
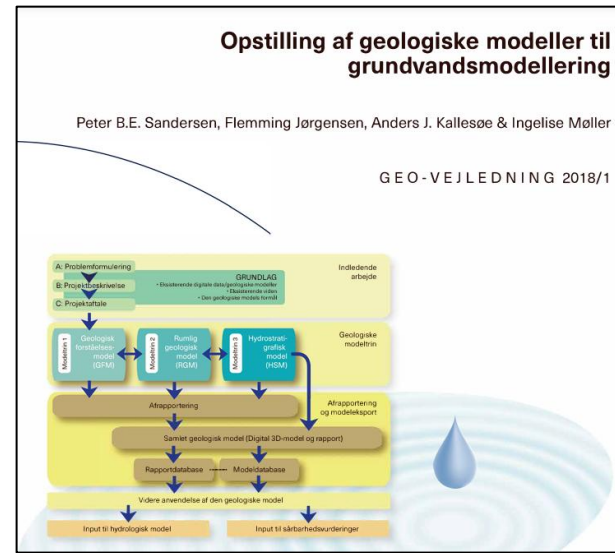
Baggrund

- 'Områder med Særlige Drikkevandsinteresser' (OSD områderne) kortlagt i regi af grundvandskortlægningen (1999-2015)
- Modeller for de enkelte OSD områder opstillet af forskellige rådgivere (Geovejledning) for Miljøstyrelsen



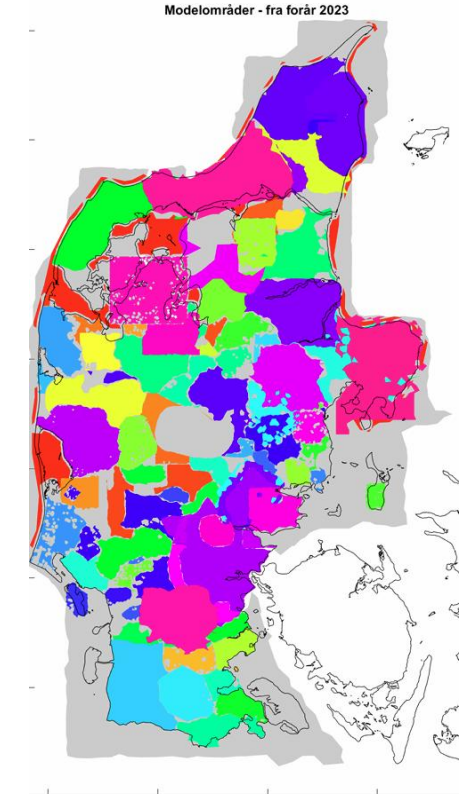
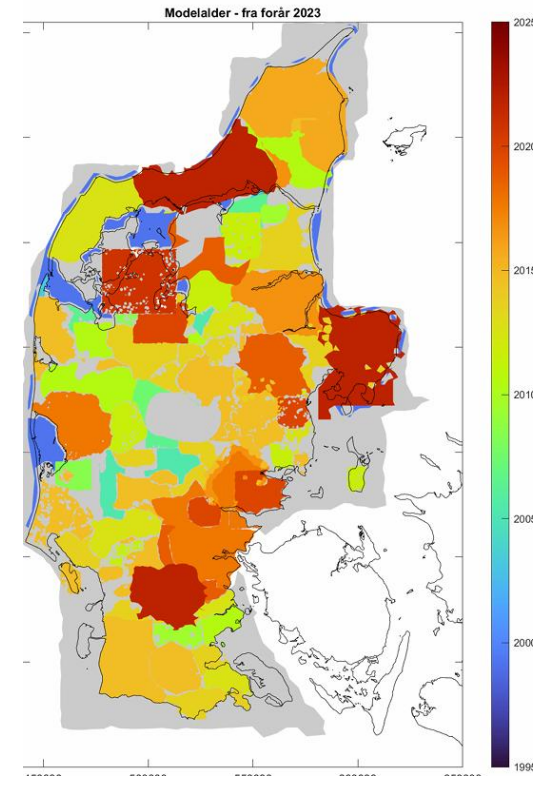
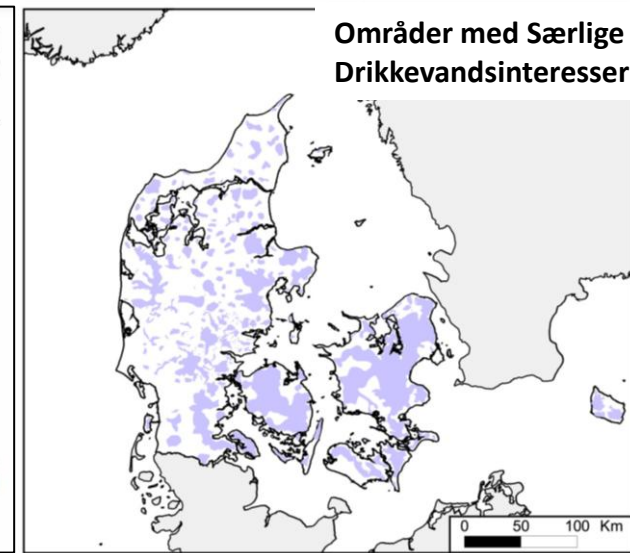
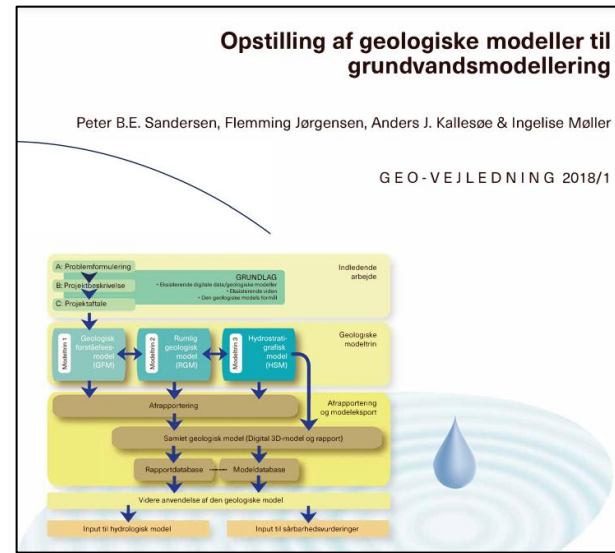
Baggrund

- 'Områder med Særlige Drikkevandsinteresser' (OSD områderne) kortlagt i regi af grundvandskortlægningen (1999-2015)
- Modeller for de enkelte OSD områder opstillet af forskellige rådgivere (Geovejledning) for Miljøstyrelsen
- I Jylland
 - > 150 individuelle modeller



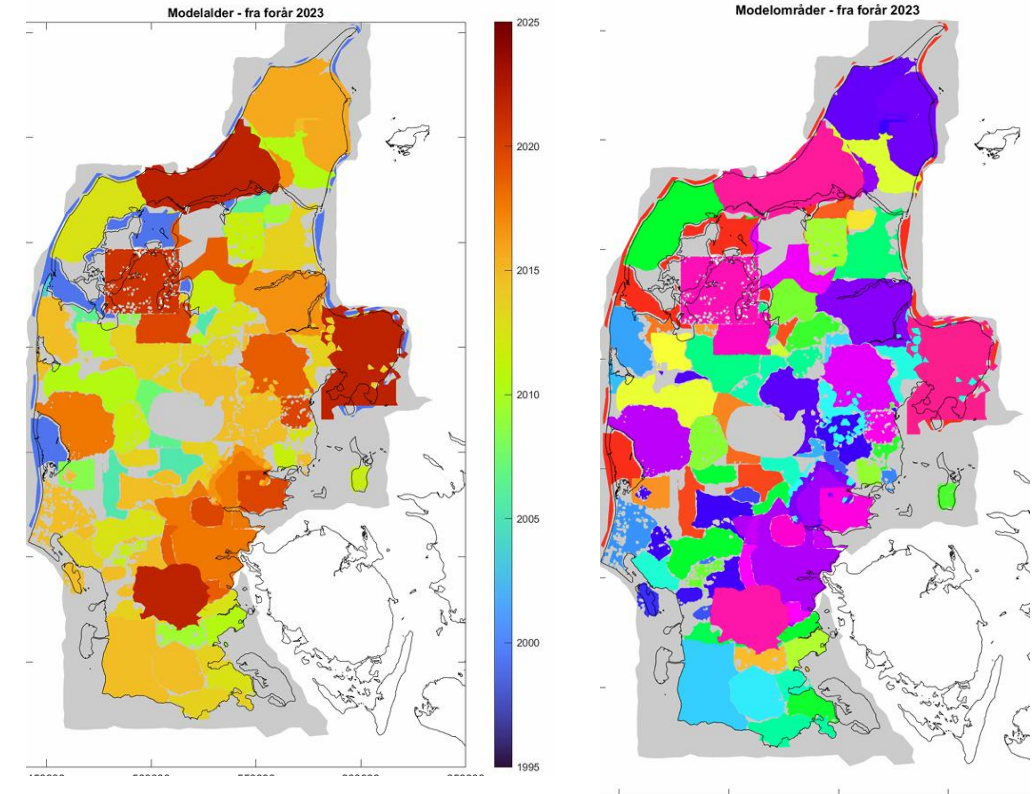
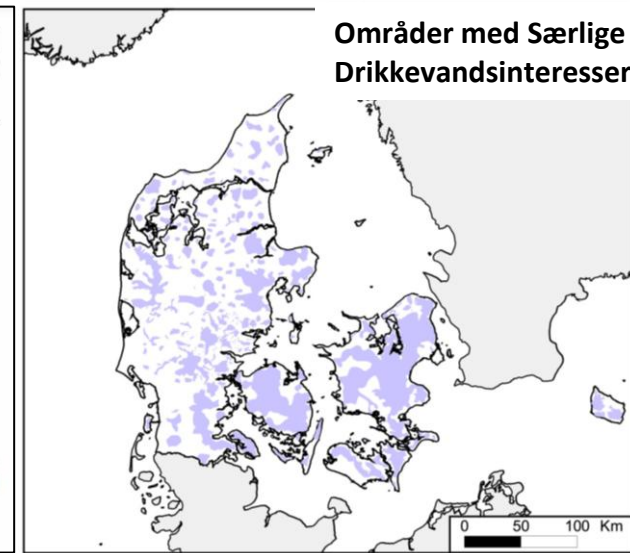
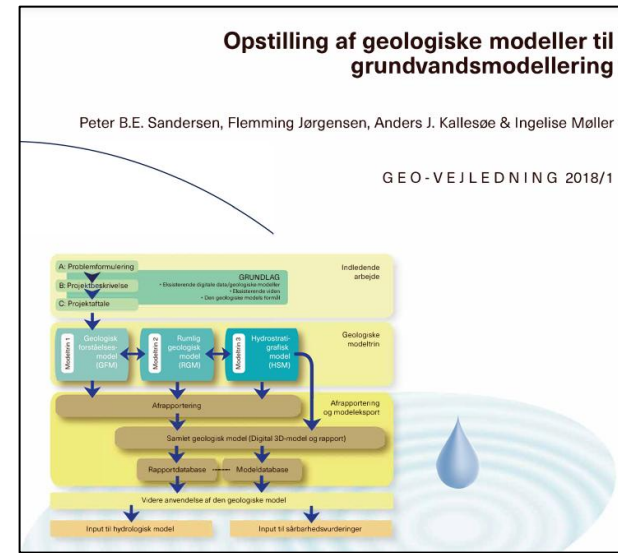
Baggrund

- 'Områder med Særlige Drikkevandsinteresser' (OSD områderne) kortlagt i regi af grundvandskortlægningen (1999-2015)
- Modeller for de enkelte OSD områder opstillet af forskellige rådgivere (Geovejledning) for Miljøstyrelsen
- I Jylland
 - > 150 individuelle modeller
 - over en periode på 30 år



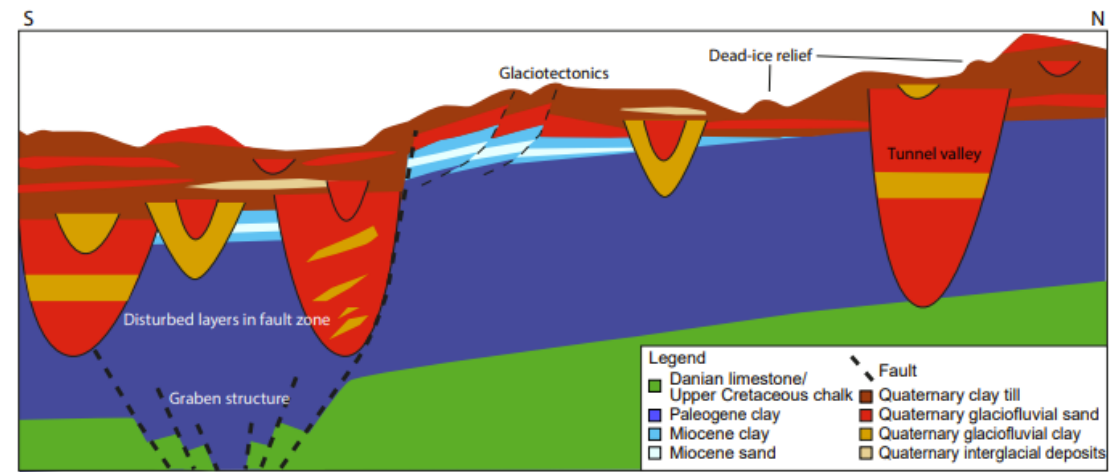
Baggrund

- 'Områder med Særlige Drikkevandsinteresser' (OSD områderne) kortlagt i regi af grundvandskortlægningen (1999-2015)
- Modeller for de enkelte OSD områder opstillet af forskellige rådgivere (Geovejledning) for Miljøstyrelsen
- I Jylland
 - > 150 individuelle modeller
 - over en periode på 30 år
- I 2018 blev de individuelle modeller samlet til 'FOHM modellen' og indarbejdet i den danske vandressourcemodel (DK modellen)



Tolkning af lokale modeller

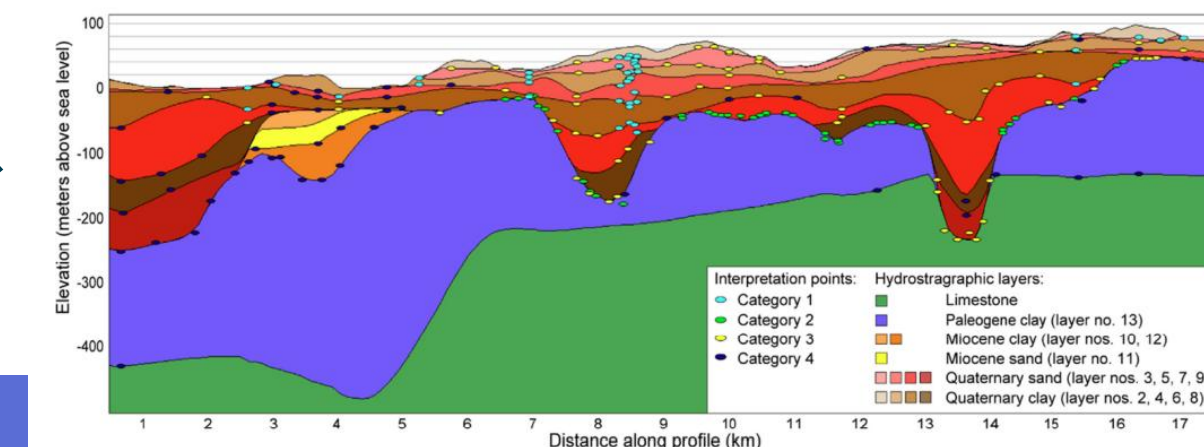
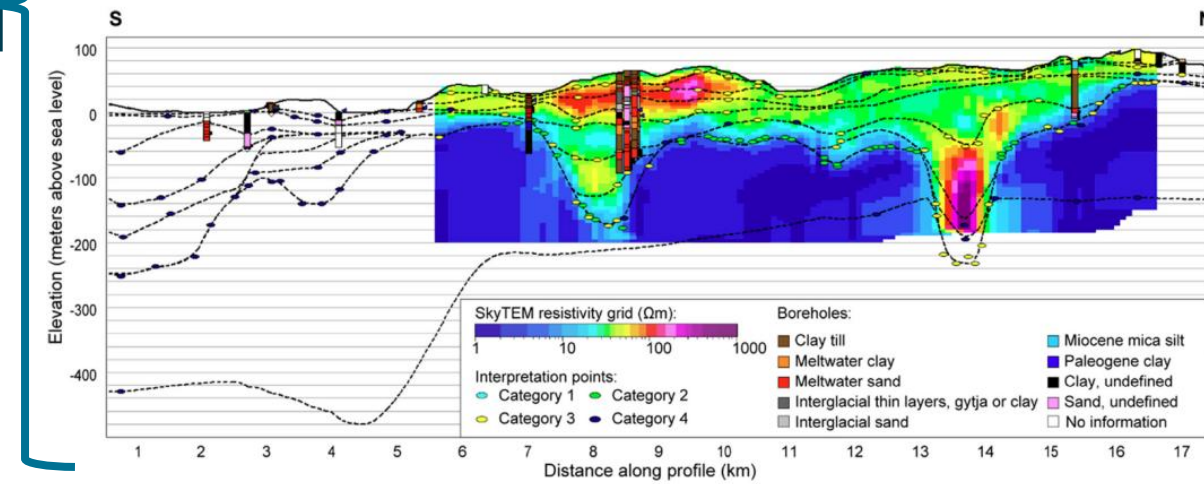
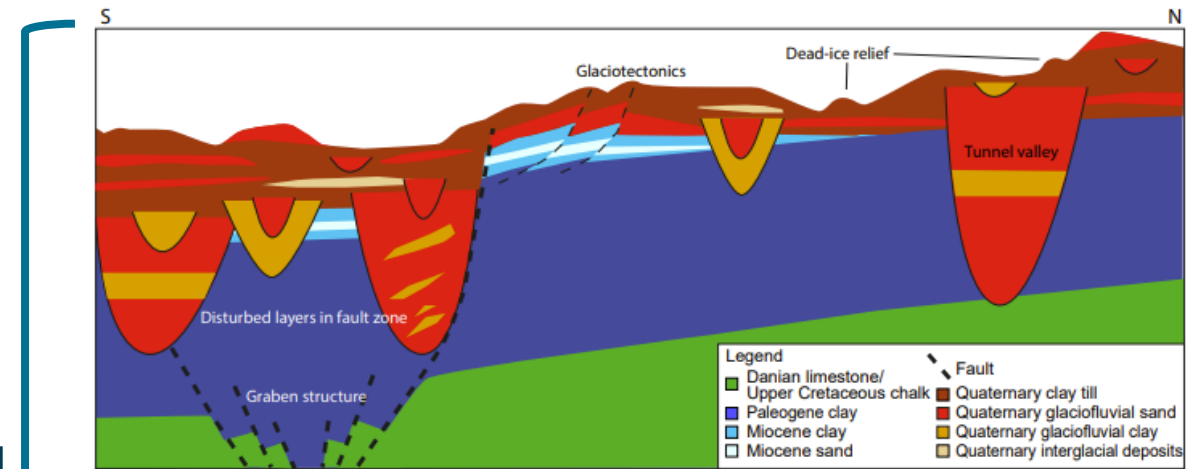
- Geovejledningen: Udgangspunktet er konceptuel geologisk forståelse



Tolkning af lokale modeller

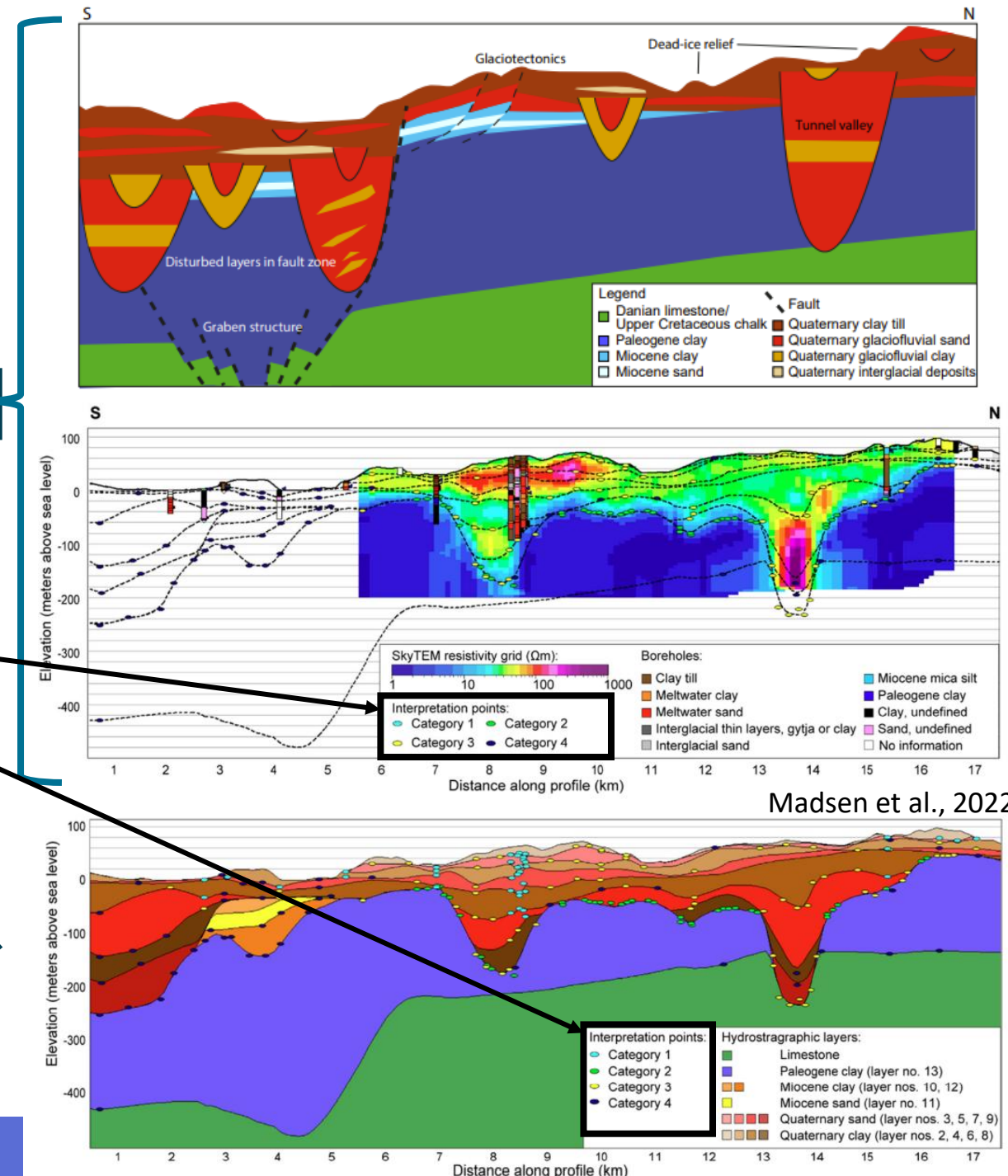
- Geovejledningen: Udgangspunktet er konceptuel geologisk forståelse
- Data er tolket manuelt i Geoscene3D vha. tolkningspunkter, der er griddet til lagflader

Konceptuel forståelse
+ Data tolkes til
Geologisk model



Tolkning af lokale modeller

- Geovejledningen: Udgangspunktet er konceptuel geologisk forståelse
- Data er tolket manuelt i Geoscene3D vha. tolkningspunkter, der er griddet til lagflader
- Geovejledningen anbefaler, at man associerer tolkningspunkterne med tolkningsusikkerheder

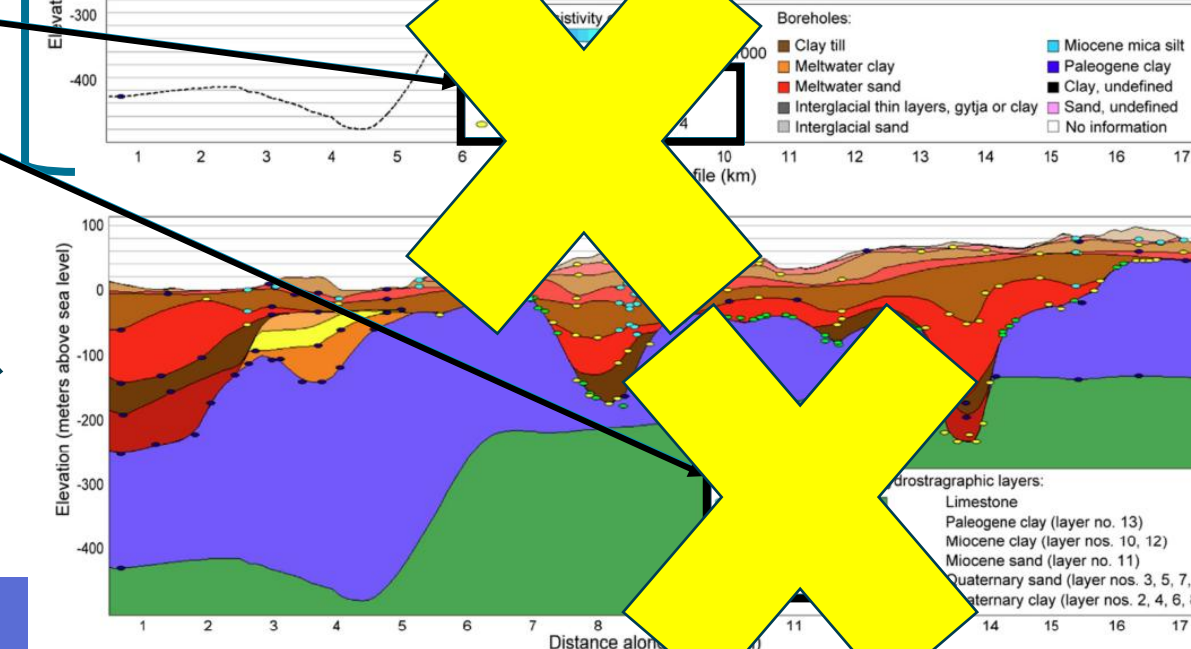
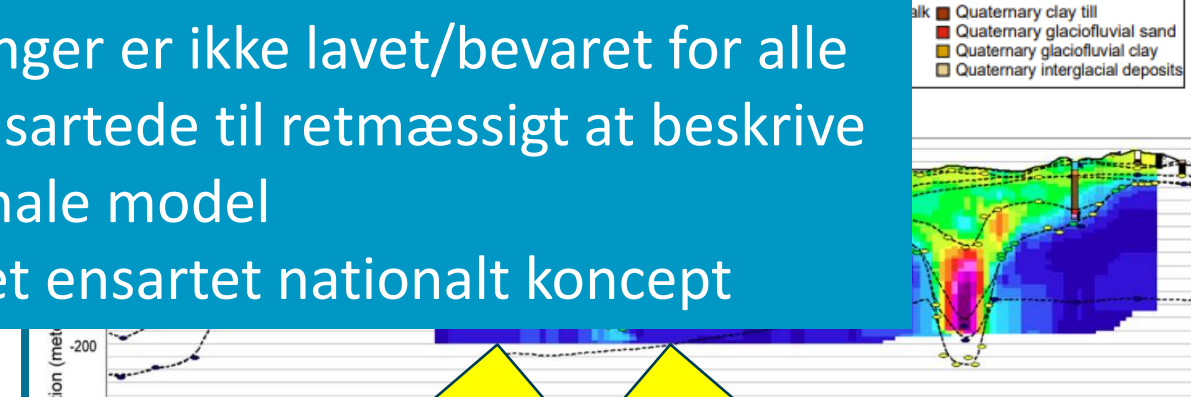
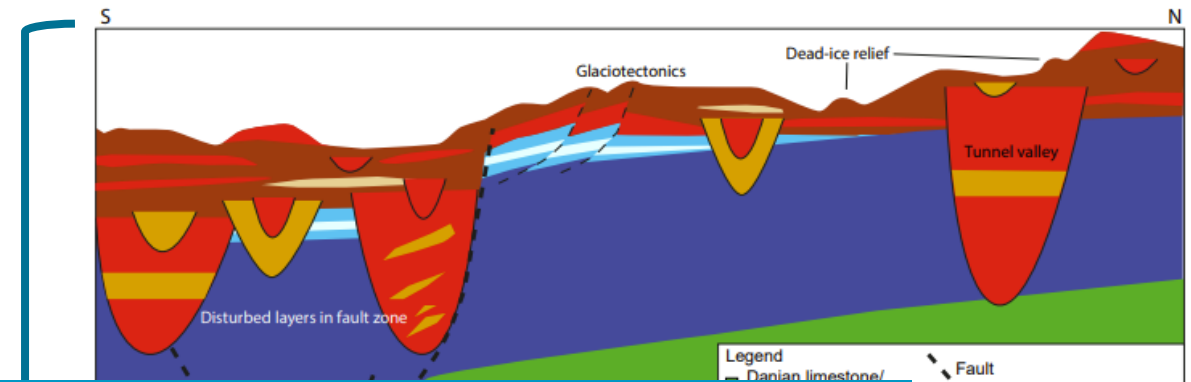


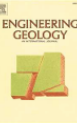
Tolkning af lokale modeller

- Geovejledningen er en uklar, og man associerer tolkningspunkterne med tolkningsusikkerheder
- Geovejledningen er en uklar, og man associerer tolkningspunkterne med tolkningsusikkerheder
- Geovejledningen er en uklar, og man associerer tolkningspunkterne med tolkningsusikkerheder

MEN: Lokale usikkerhedsvurderinger er ikke lavet/bevaret for alle modeller – og er desuden for uensartede til retmæssigt at beskrive den nationale model

=> Vision: Udarbejdelse af et ensartet nationalt koncept





=> Hvad er vigtigst for at vurdere usikkerheden af en geologisk model?

- Usikkerheder mange steder i det geologiske modelleringsworkflow!
- Usikkerheder relateret til stort set alle valgene, men mange er ikke italesat eller meget svære at måle - som f.eks. Usikkerheder relateret til:

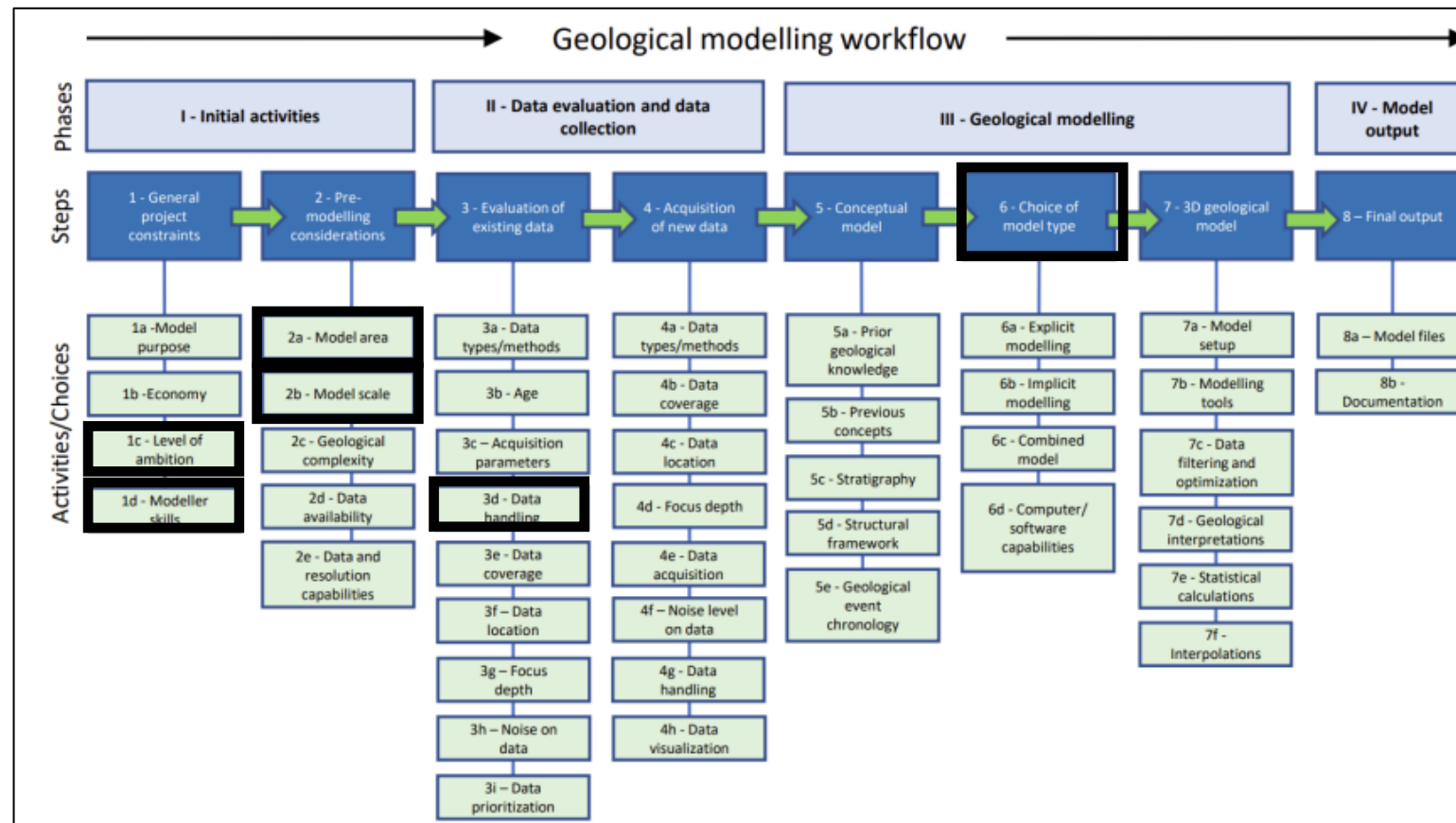
- Ambitionsniveau
- Modellørens evner
- Modelområde
- Skala af modellen
- Valg af metode til geofysisk modellering
- Valg af metode til geologisk modellering
- Etc.

=> Mange valg er afgørende for usikkerheden af den endelige model, men typisk indgår kun en lille del af disse usikkerheder i en endelige usikkerhedsvurdering

Evaluating the chain of uncertainties in the 3D geological modelling workflow

A.S. Høyer*, P.B.E. Sandersen, L.T. Andersen, R.B. Madsen, M.H. Mortensen, I. Møller

Geological Survey of Denmark and Greenland, Department of Near-Surface Land and Marine Geology, Aarhus, Denmark





=> Hvad er vigtigst for at vurdere usikkerheden af en geologisk model?

- Usikkerheder mange steder i geologisk modellering
- Usikkerheder i dataindsamlingen
- Usikkerheder i modelleringen
- Usikkerheder i modeloutput

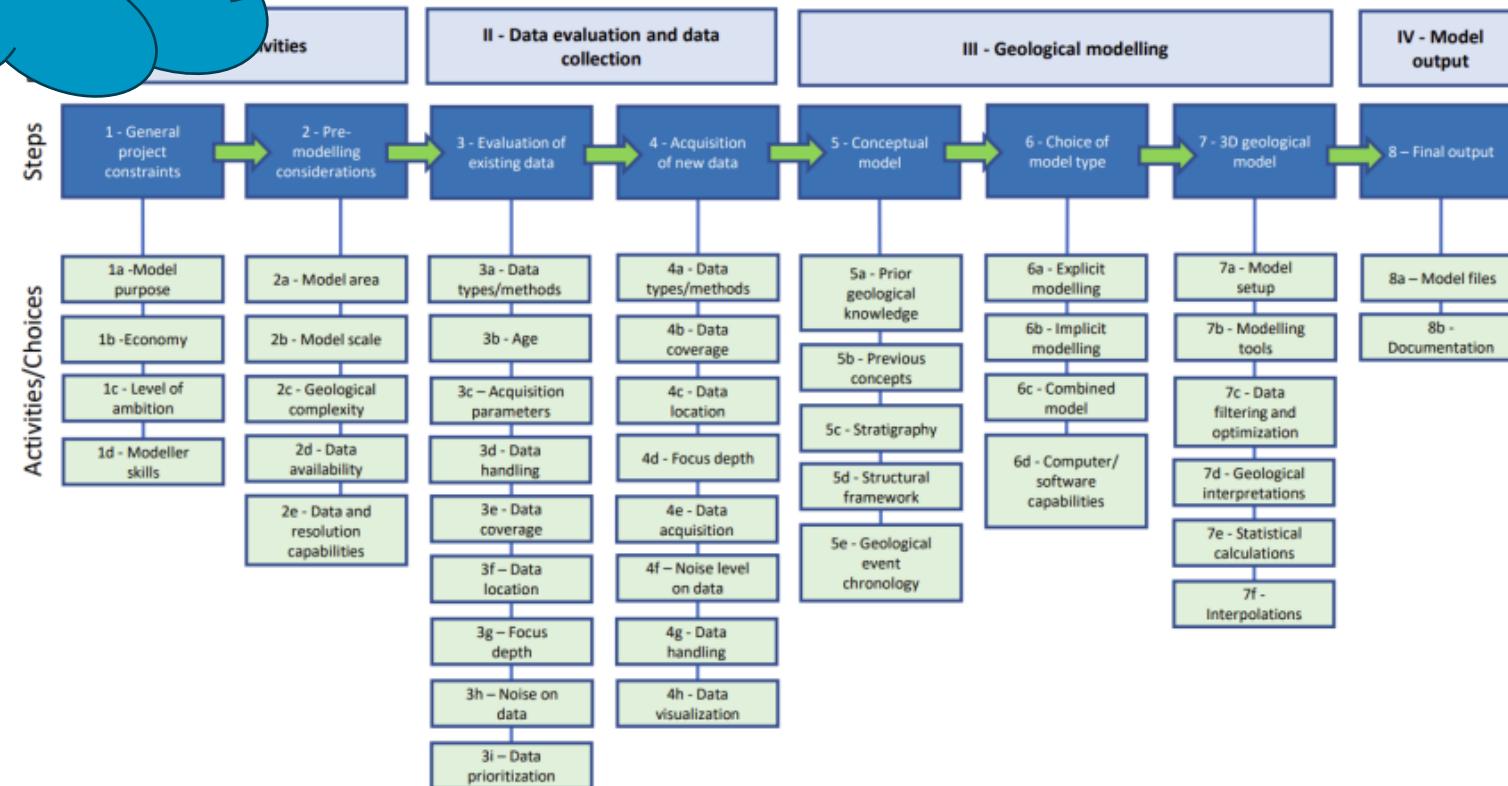


Evaluating the chain of uncertainties in the 3D geological modelling workflow

A.S. Høyer*, P.B.E. Sandersen, L.T. Andersen, R.B. Madsen, M.H. Mortensen, I. Møller

Geological Survey of Denmark and Greenland, Department of Near-Surface Land and Marine Geology, Aarhus, Denmark

Geological modelling workflow



=> Må af der en lille usikkerhed kun elige

Kvantificering af usikkerheden på FOHM modellen

...Når vi skal opstille et nationalt koncept – hvad er så praktisk muligt?

... Vi må prioritere... Hvad er vigtigst?

val
me
Usi

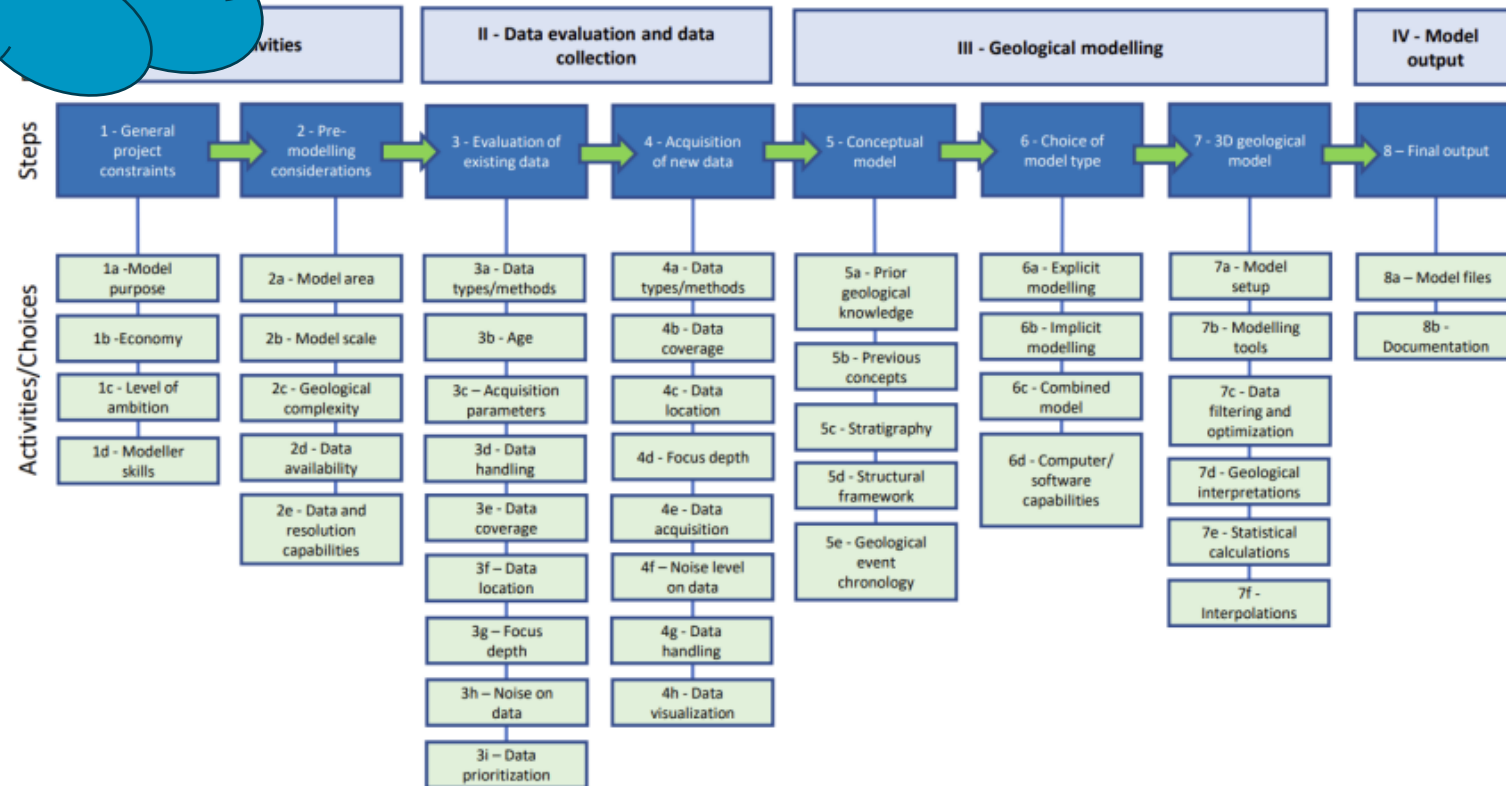


=> Må
af der
en lille
usikke

ng
ng

den
kun
lige

Geological modelling workflow

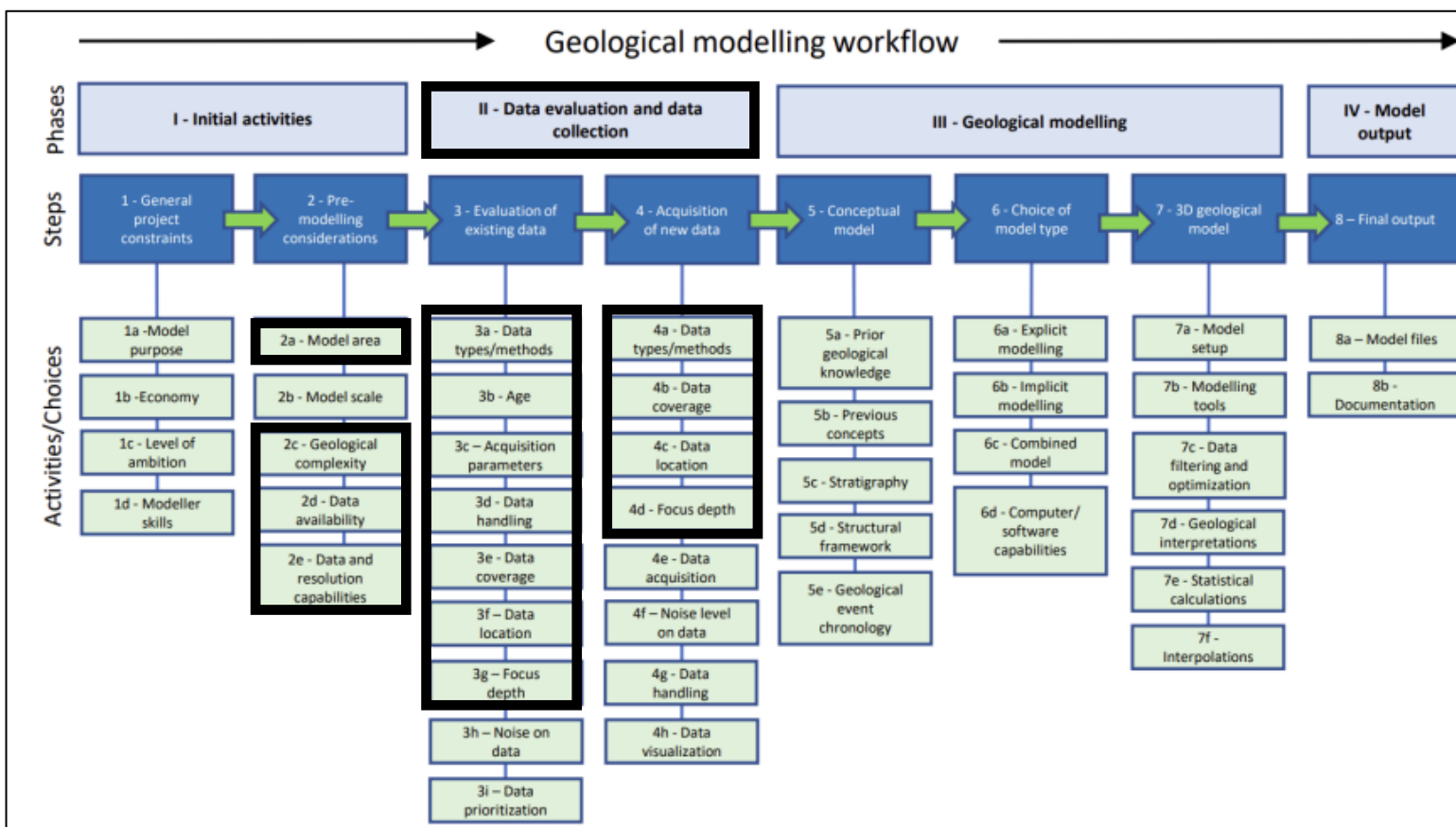


Kvantificering af usikkerheden på FOHM modellen

- Fokus på:
1. Datagrundlag,
 2. Geologisk kompleksitet
 3. Modeltroværdighed ifl. MST



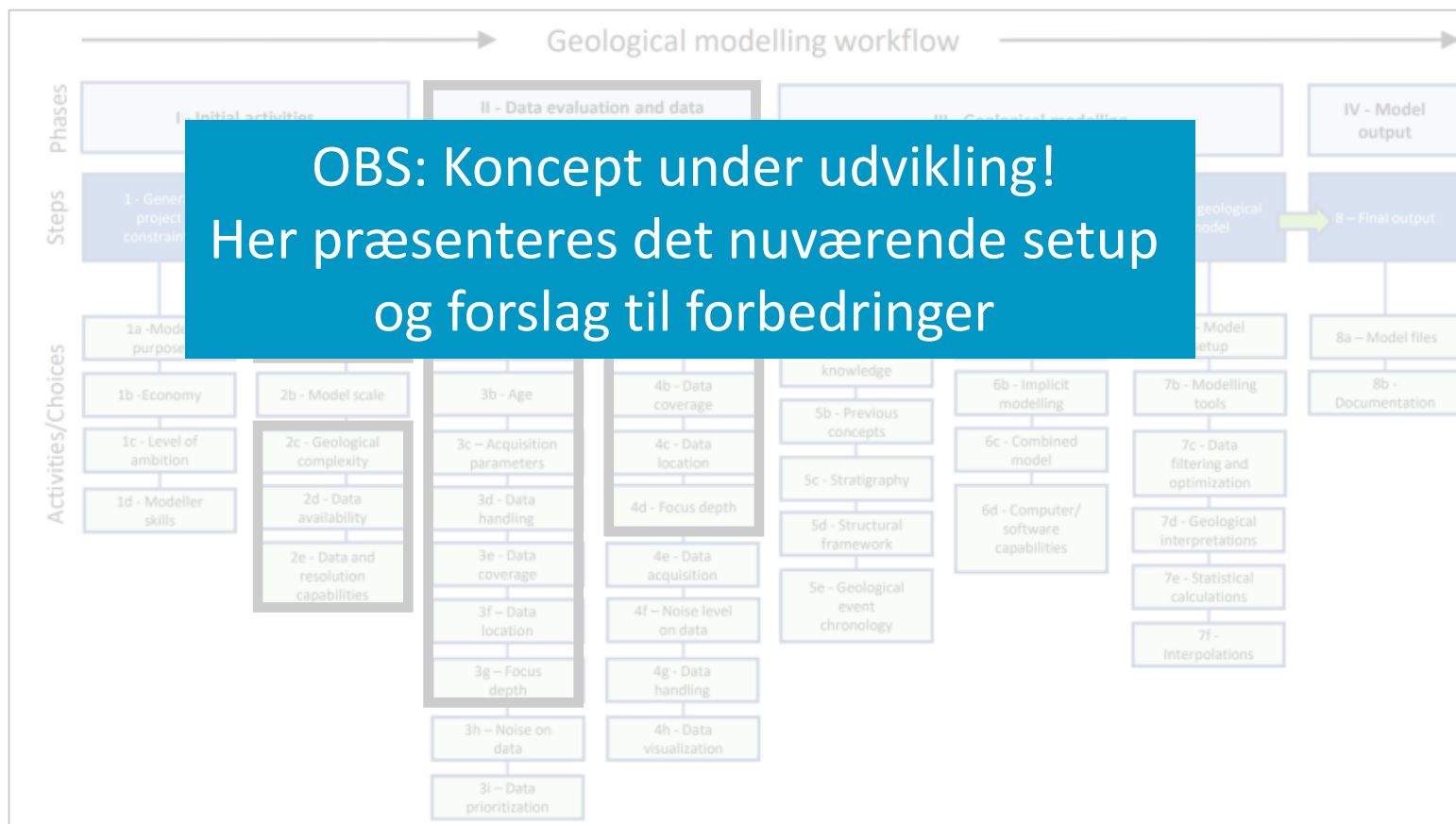
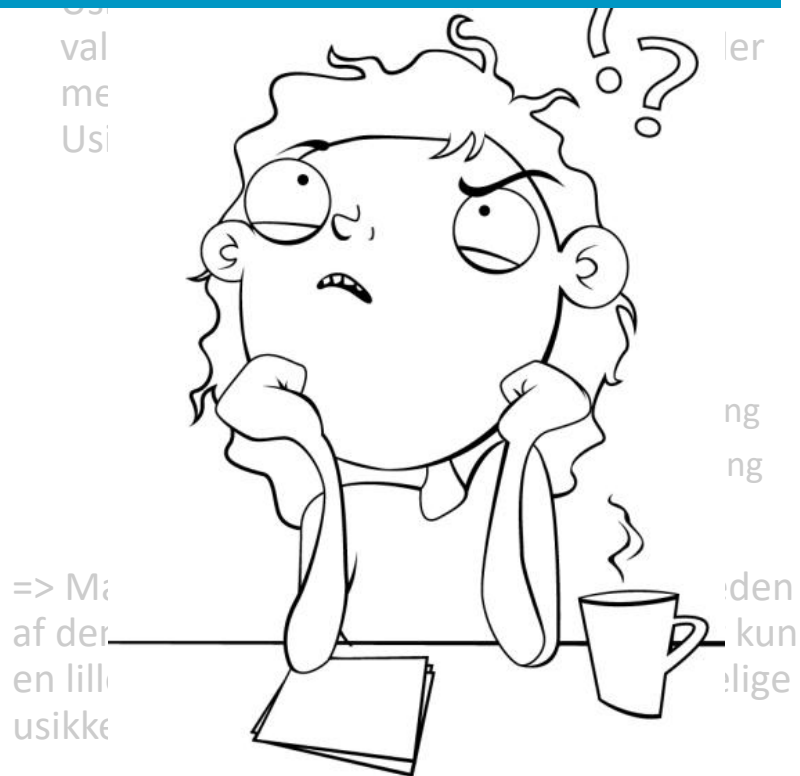
=> Må af der en lille usikker



Kvantificering af usikkerheden på FOHM modellen

Fokus på:

1. Datagrundlag,
2. Geologisk kompleksitet
3. Modeltroværdighed ifl. MST

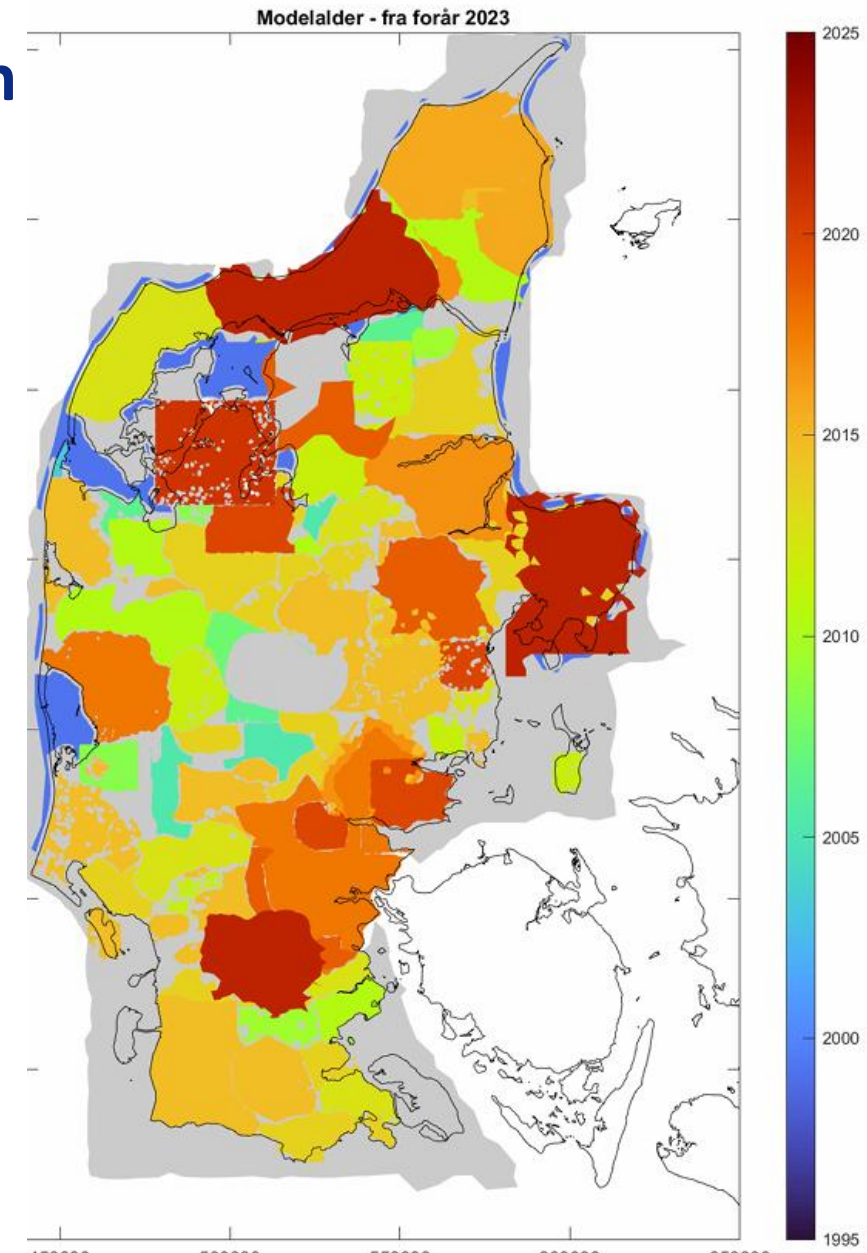
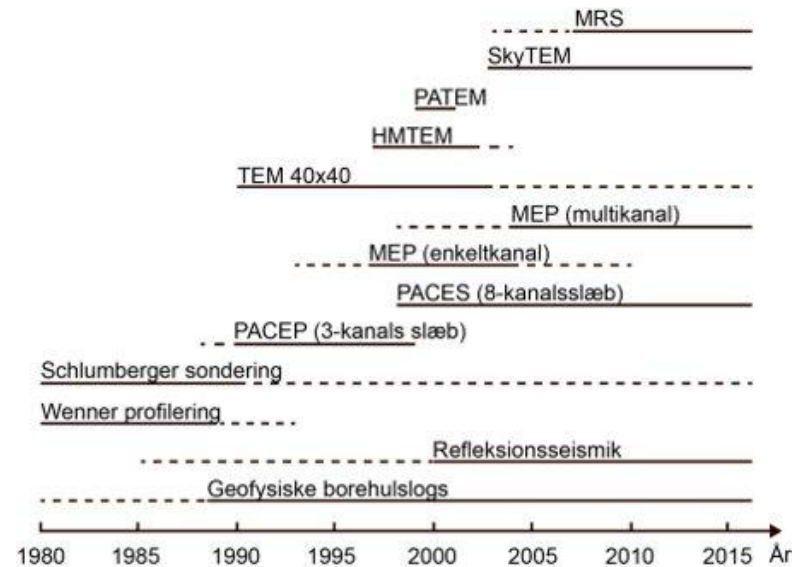


Kvantificering af usikkerheden på FOHM modellen

1. Datagrundlag - Geofysik

Datagrundlag - Geofysik:

Hvilke typer geofysik er brugt i de originale modeller?



Kvantificering af usikkerheden på FOHM modellen

1. Datagrundlag - Geofysik

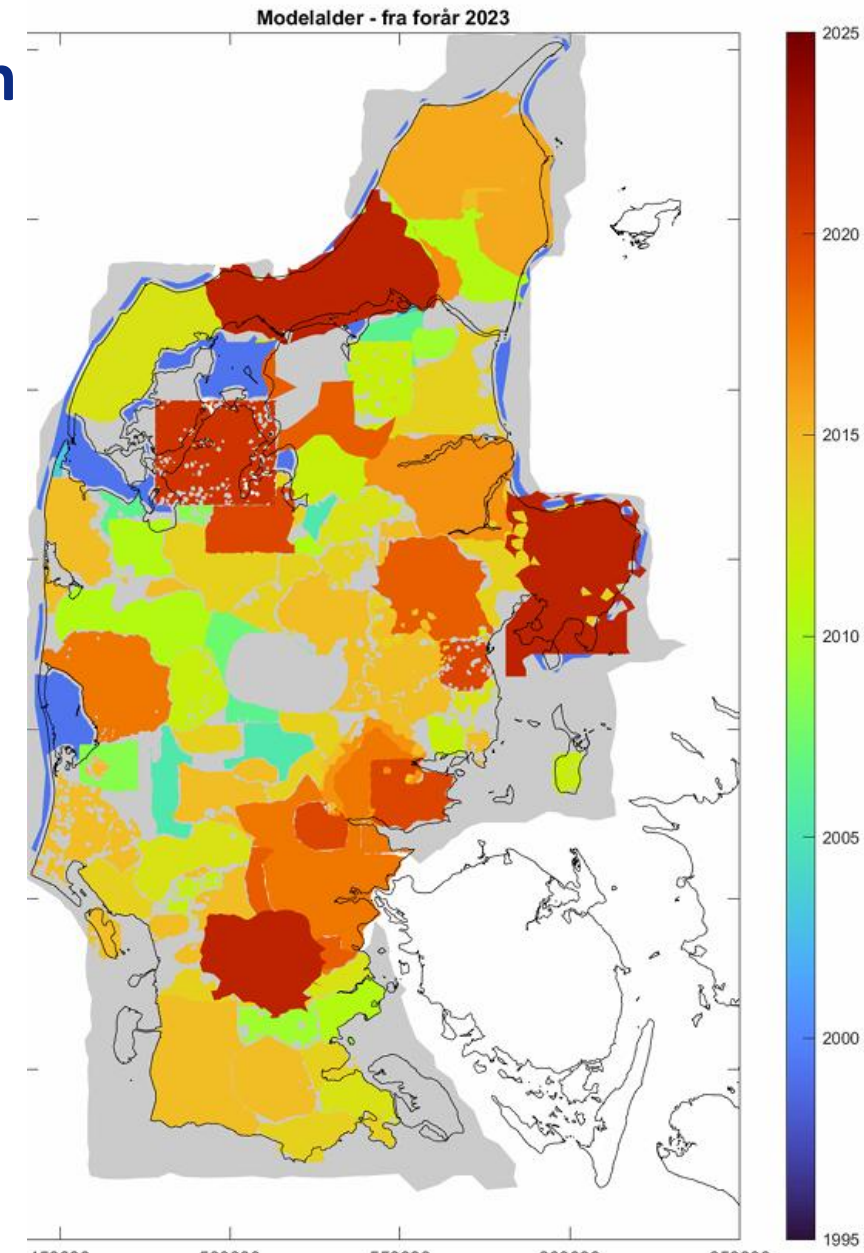
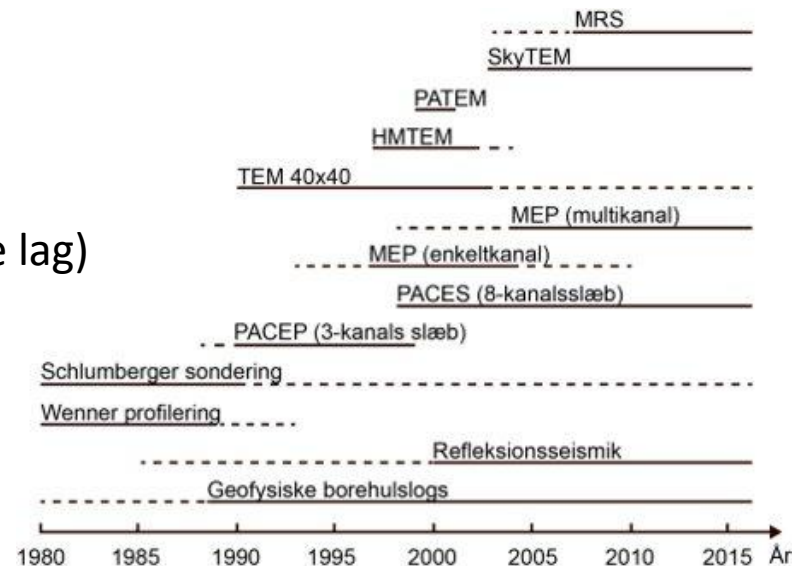
Datagrundlag - Geofysik:

Hvilke typer geofysik er brugt i de originale modeller?

- Typisk opløselighed
- Typisk dybdeindtrængning
- Typisk footprint

Videreudvikling:

- Inversion af geofysik
- Hvor velopløste er lag?
(lavresistive kontra højresistive lag)



Kvantificering af usikkerheden på FOHM modellen

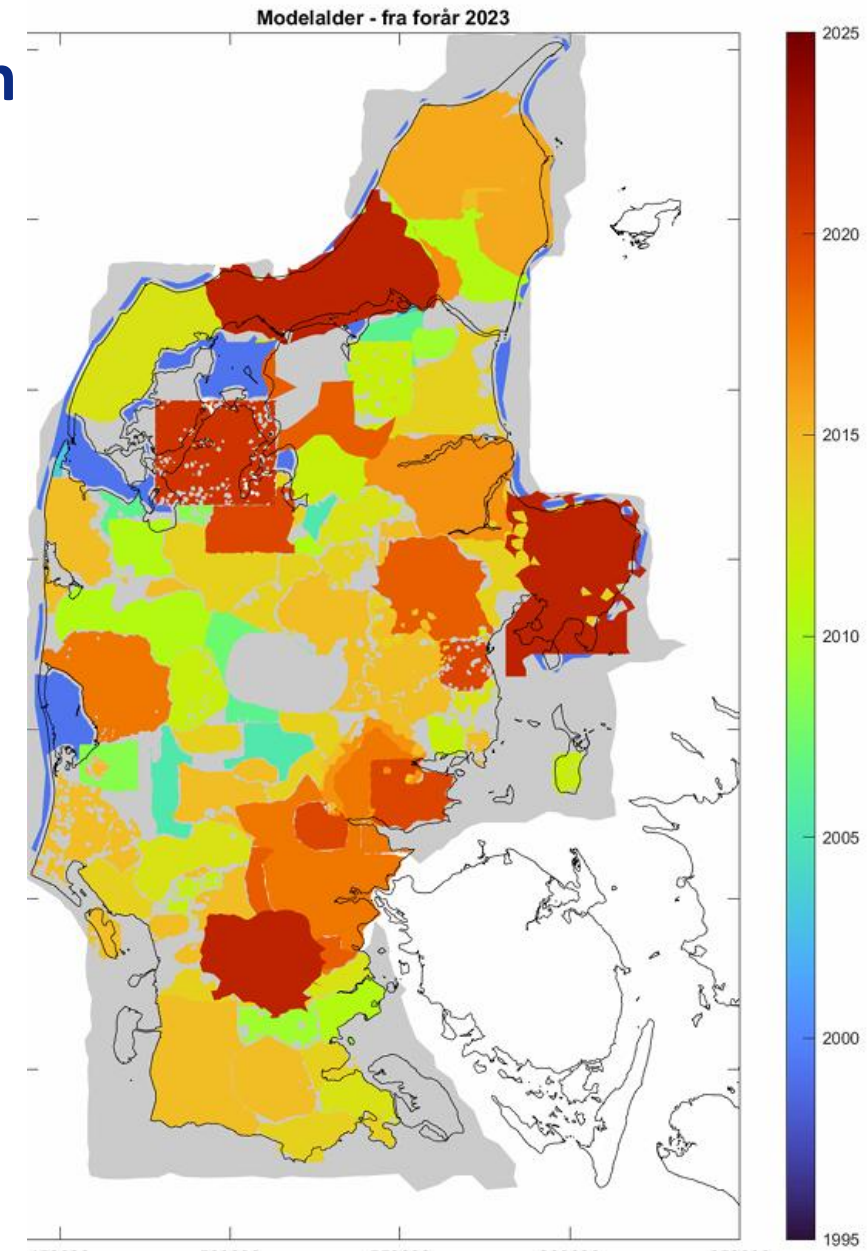
1. Datagrundlag - boringer

Datagrundlag - Boringer:

Hvilke boringer er brugt i de originale modeller?

- Boringskvalitet ifl. MST
- Boringsdybde i forhold til tolkningspunkt

MST borings-kvalitetskode	GEUS borings-kvalitetskode	Beskrivelse af kriterier til forespørgsel
3	4	Der findes en litologisk beskrivelse, ikke DAPCO boring
4	3	+ Litologisk beskrivelse fra GEUS jordprøvelab
5	3	+ boringsdybde registreret
6	2	+ mindst prøve per 2 m
7	1	+ boremetode er snegl



Kvantificering af usikkerheden på FOHM modellen

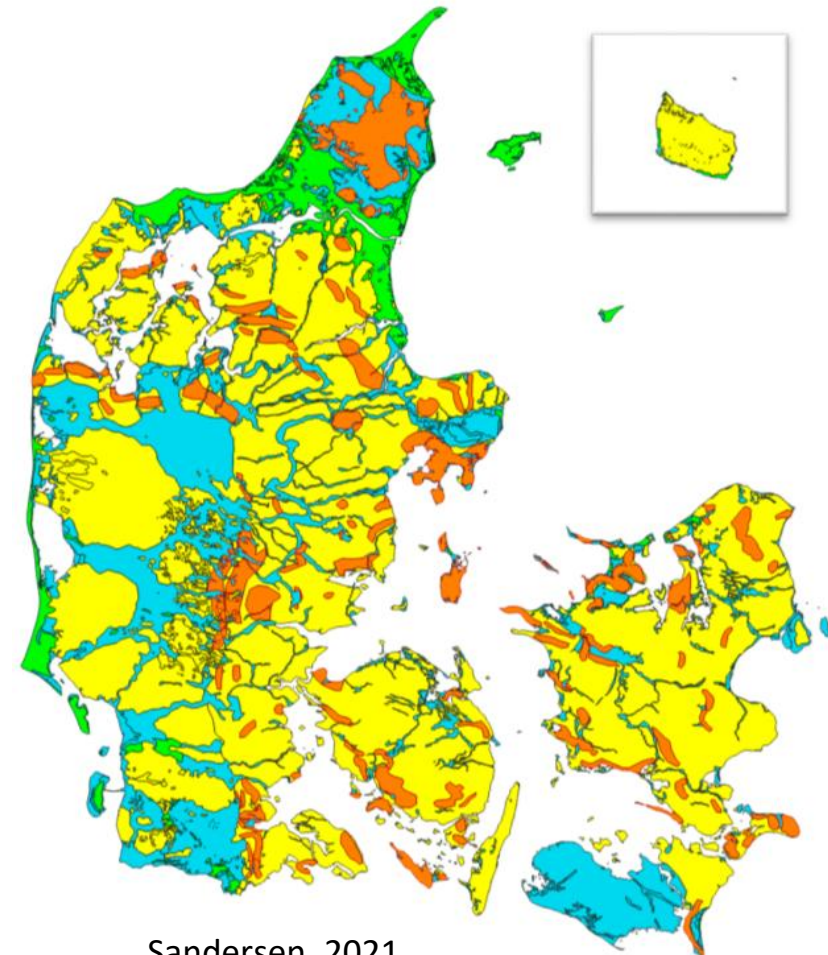
2. Geologisk kompleksitet

Geologisk kompleksitet:

Kompleksiteten af de øverste 30m er inddraget

Videreudvikling:

Inddrage kompleksitet af de dybere lag

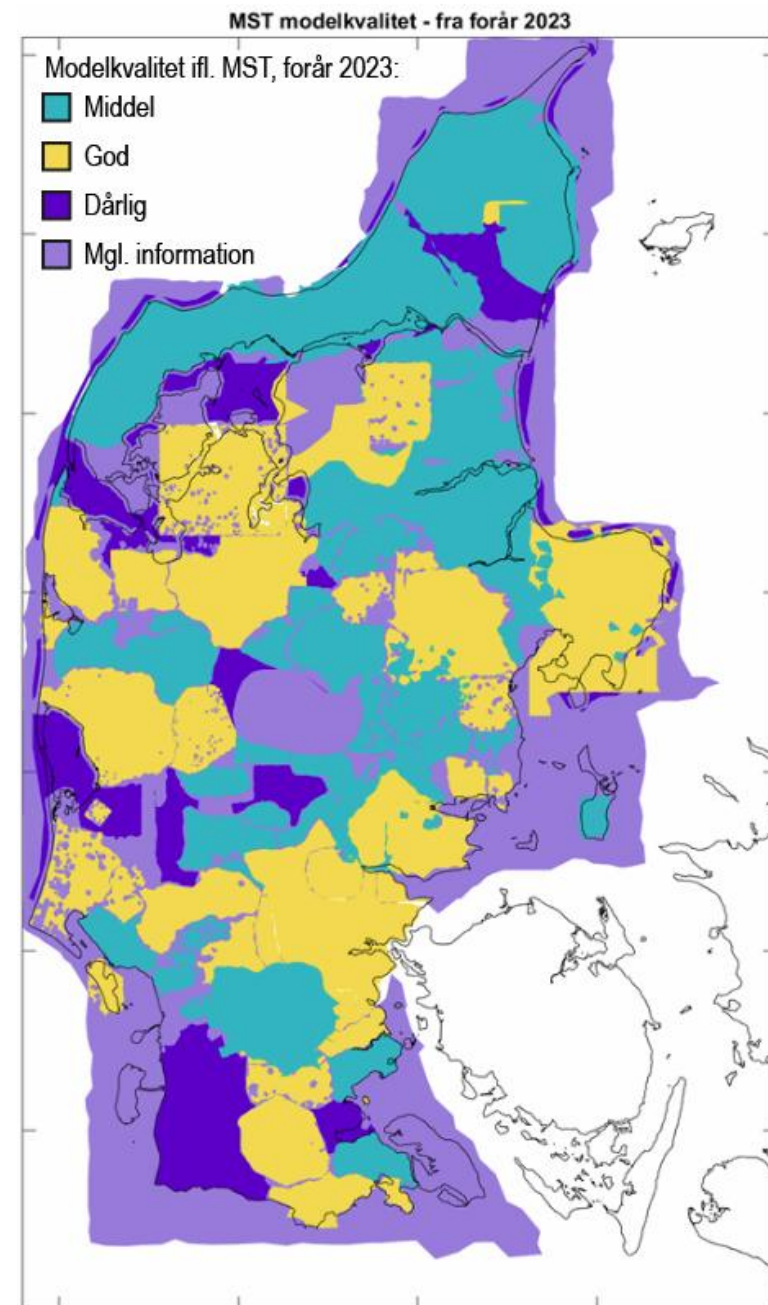


Sandersen, 2021

Kvantificering af usikkerheden på FOHM modellen

3. Modeltroværdighed ifl. MST

Modeltroværdighed:
Evalueret af Miljøstyrelsen



Kvantificering af usikkerheder for data og modeller

Princippet baserer sig på 'vished': $\left(\frac{1}{\sigma^2}\right)$

Beregningen foretages i hvert gridpunkt, hvor der regnes en vægtet sum af sikkerheder fra de forskellige kilder:

$$\frac{1}{\sigma_{combined}^2} = \frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2}$$

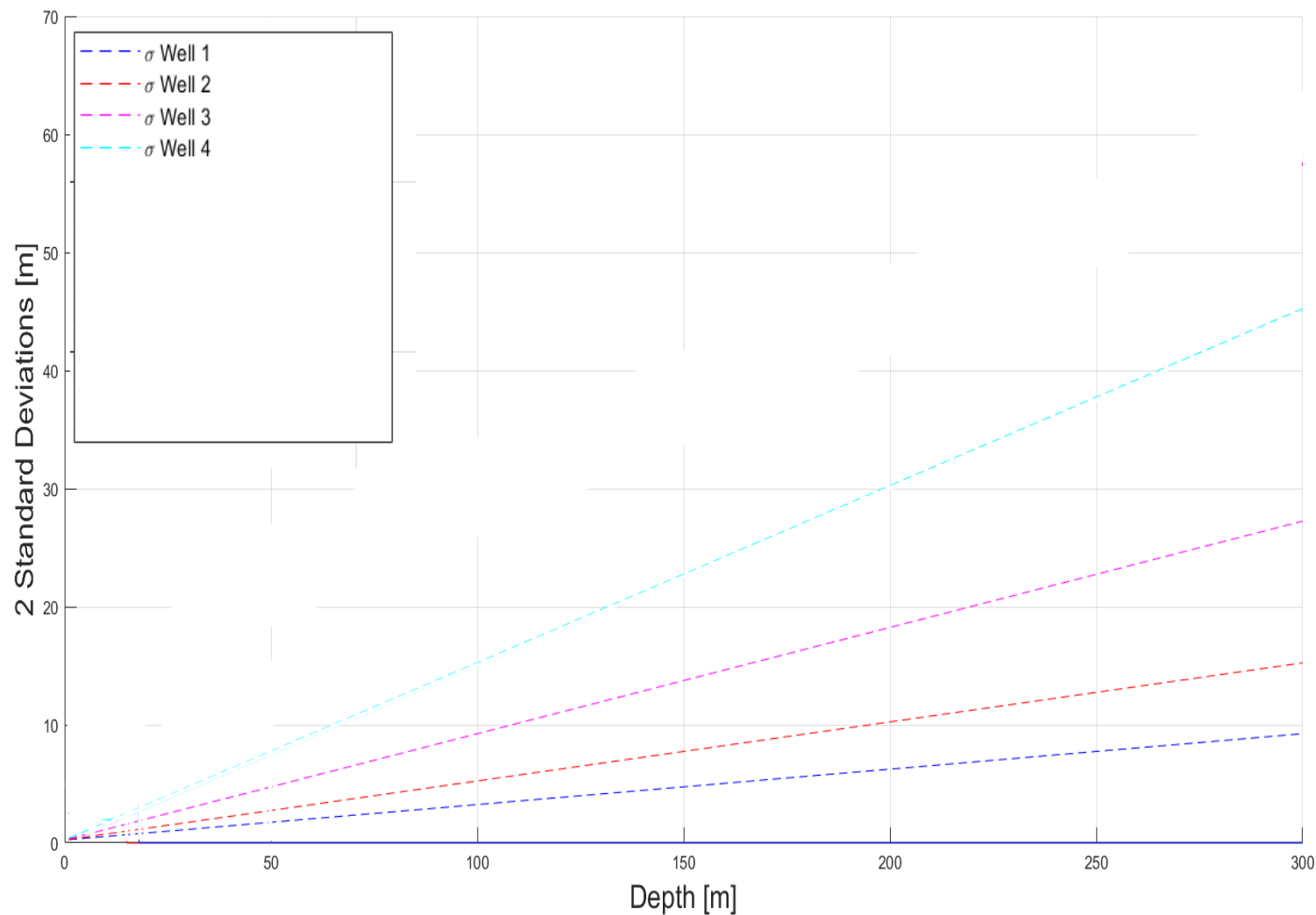
Kvantificering af boringer

Usikkerhed afhænger af dybden og boringskvaliteten:

→ Lineært tiltagende

Hældning:

- Boringskvalitet 1 : 3%
- Boringskvalitet 2: 5%
- Boringskvalitet 3: 9%
- Boringskvalitet 4: 15%



Kvantificering af geofysik

Usikkerhed afhænger af dybden og boringskvaliteten:

→ Lineært tiltagende

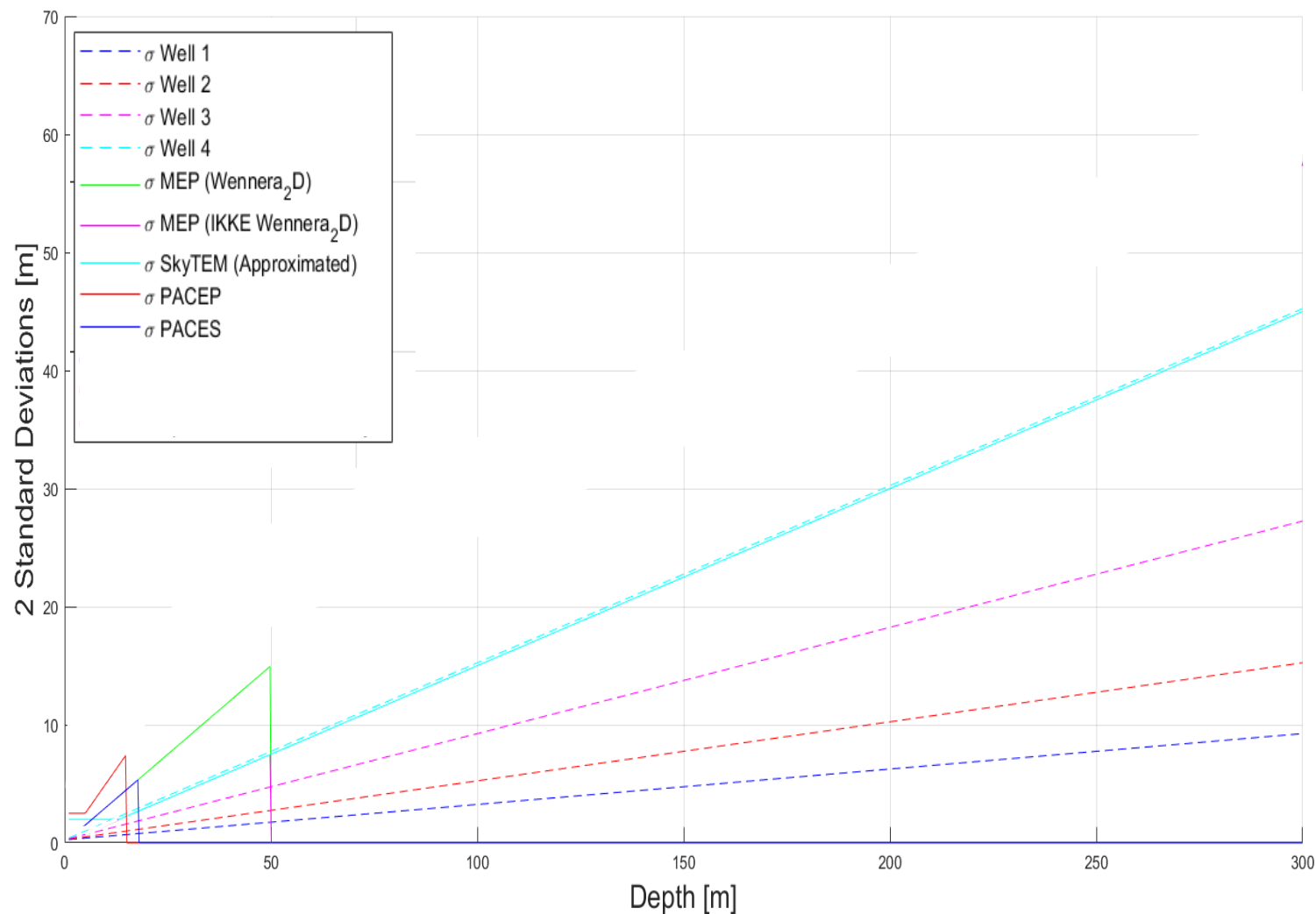
Hældning:

- Boringskvalitet 1 : 3%
- Boringskvalitet 2: 5%
- Boringskvalitet 3: 9%
- Boringskvalitet 4: 15%

SkyTEM ~ usikkerhed sat til at svare til de mest usikre boringer

MEP → informerer til 50 m dybde

PACES/PACEP → informerer til 20 m



Kvantificering af geofysik

Usikkerhed afhænger af dybden og boringskvaliteten:

→ Lineært tiltagende

Hældning:

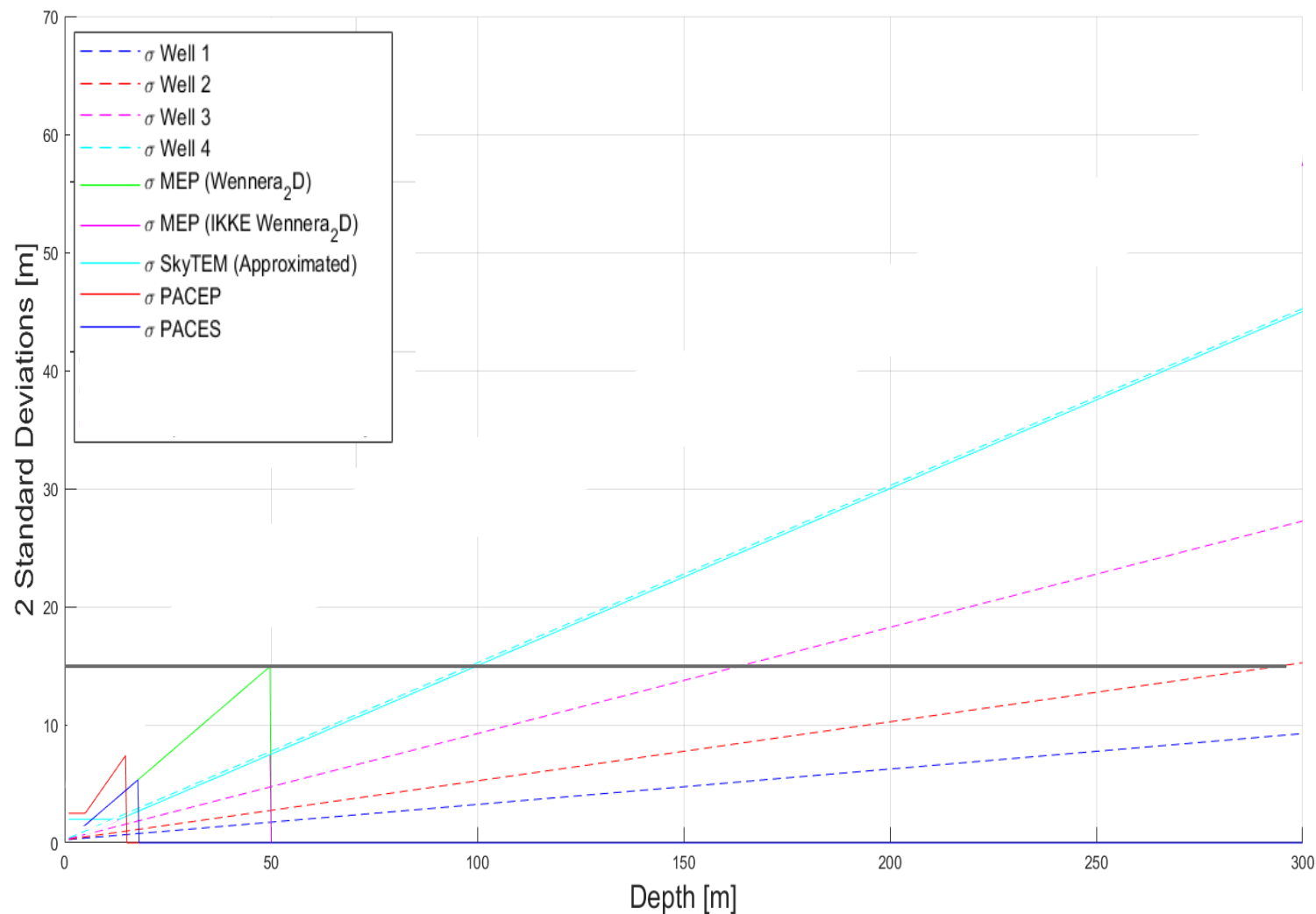
- Boringskvalitet 1 : 3%
- Boringskvalitet 2: 5%
- Boringskvalitet 3: 9%
- Boringskvalitet 4: 15%

SkyTEM ~ usikkerhed sat til at svare til de mest usikre boringer

MEP → informerer til 50 m dybde

PACES/PACEP → informerer til 20 m

Seismik → informerer kun for prækvartære lag



Kvantificering på baggrund af modelusikkerhed

Usikkerhed afhænger af dybden og boringskvaliteten:

→ Lineært tiltagende

Hældning:

- Boringskvalitet 1 : 3%
- Boringskvalitet 2: 5%
- Boringskvalitet 3: 9%
- Boringskvalitet 4: 15%

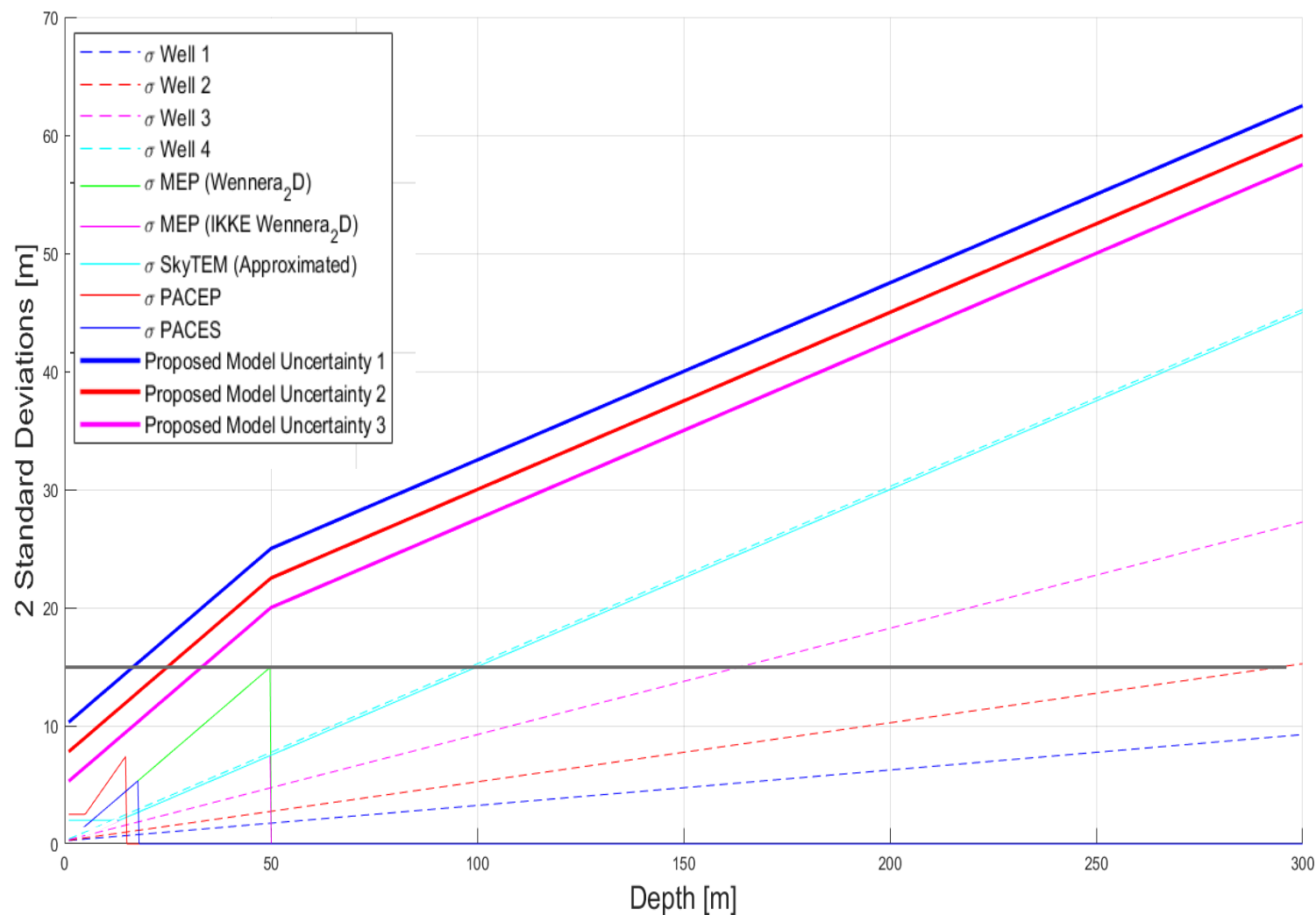
SkyTEM ~ usikkerhed sat til at svare til de mest usikre boringer

MEP → informerer til 50 m dybde

PACES/PACEP → informerer til 20 m

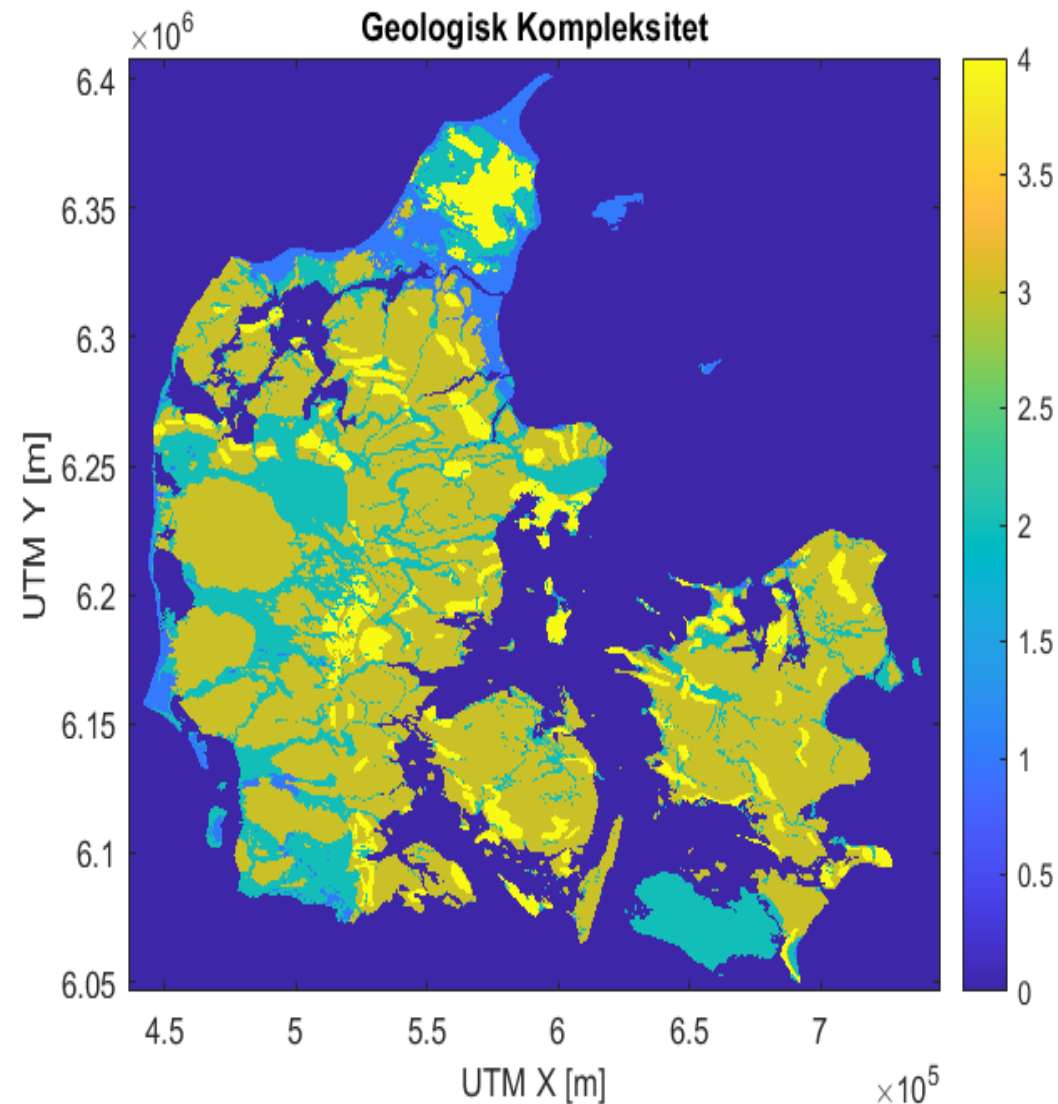
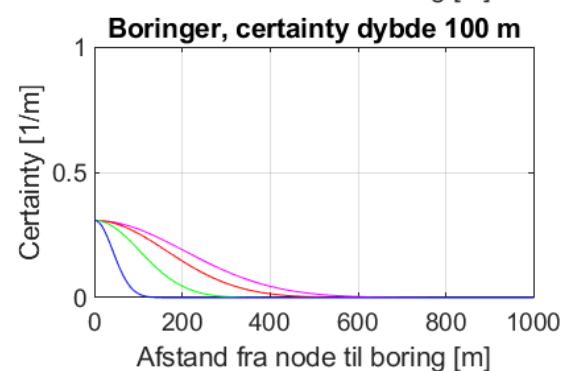
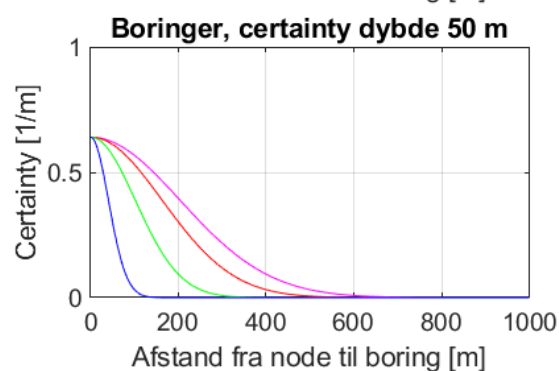
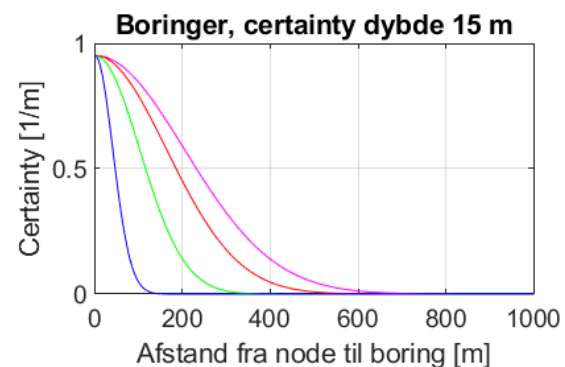
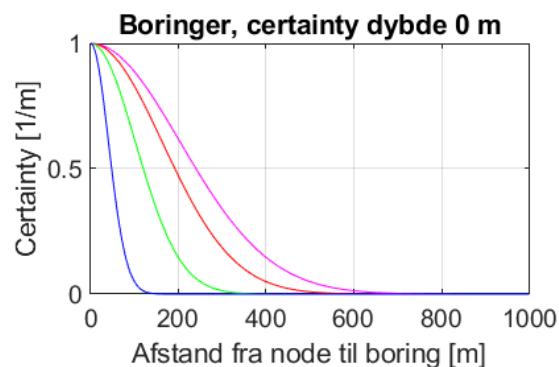
Seismik → informerer kun for prækvartære lag

Modelusikkerheden angiver et maks for usikkerheden



Kvantificering – lateral udbredelse

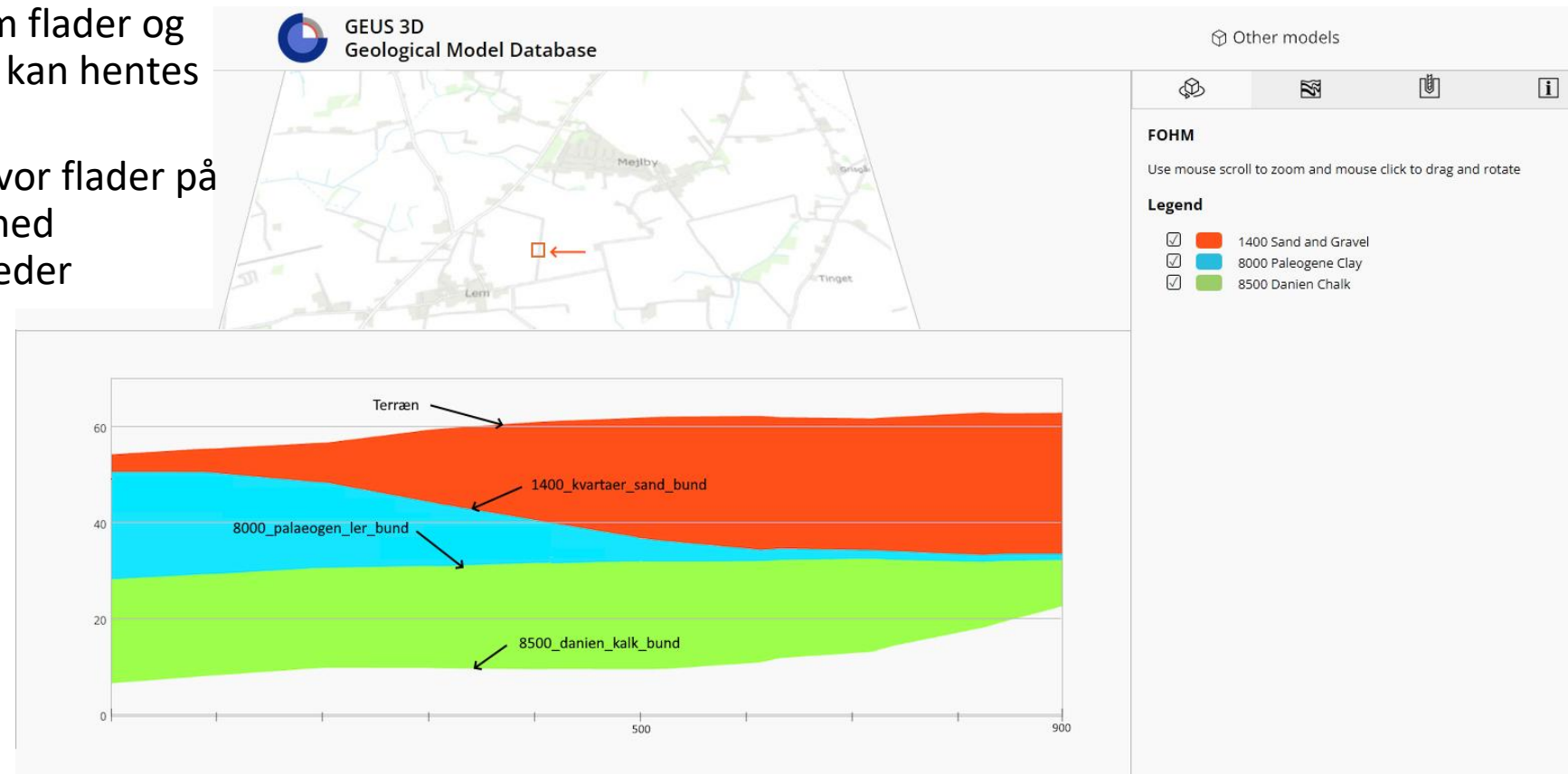
- Sikkerheden ($\frac{1}{\sigma^2}$) aftager med afstanden til datapunktet – aftager hurtigst i områder med stor geologisk kompleksitet (blå kurve)



Visualisering og formidling

- GEUS arbejder på at gøre de estimerede usikkerheder tilgængelige som:
 - ✓ API, hvor information om flader og tilhørende usikkerheder kan hentes som data
 - ✓ Visning i webbrowser, hvor flader på tværprofiler suppleres med visualisering af usikkerheder

Der arbejdes pt. på visualiseringen. Vi vil her vise nogle muligheder (vist på et simpelt eksempel: 900 m langt profil i et område med kun 3 lag.)



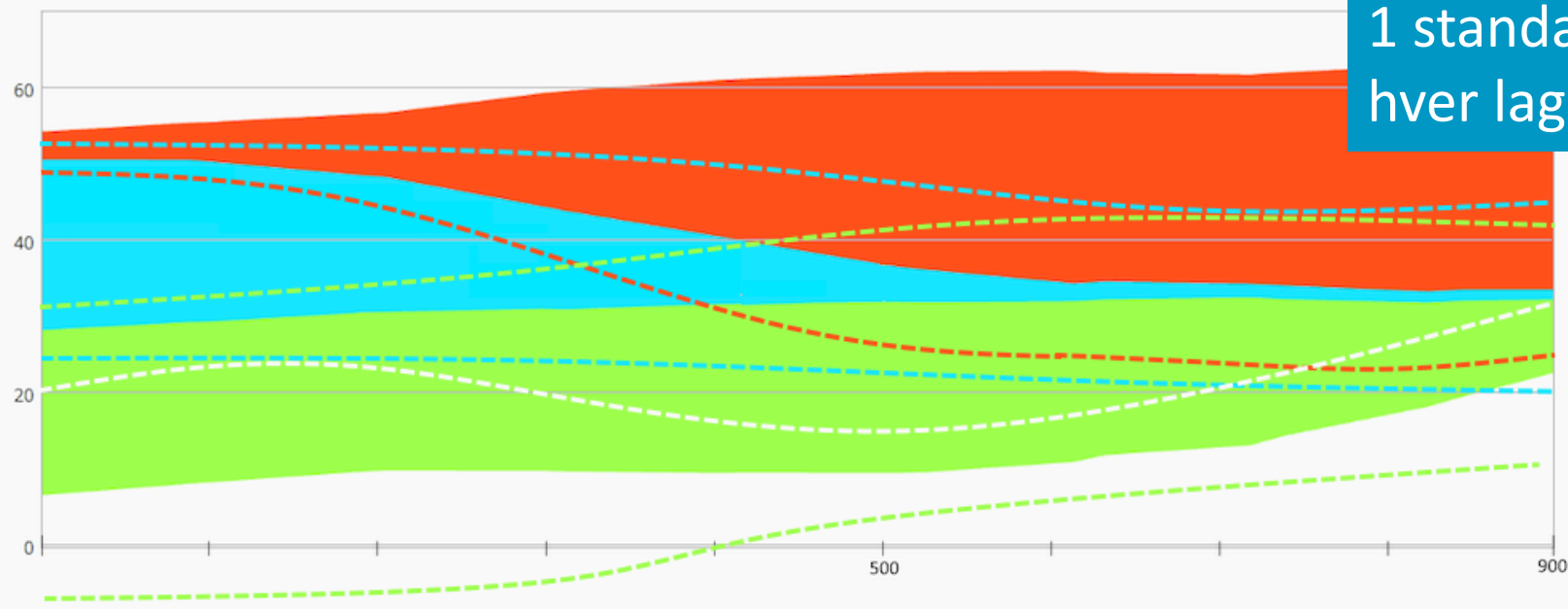


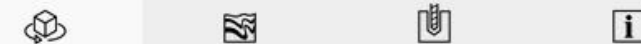
FOHM

Use mouse scroll to zoom and mouse click to drag and rotate

Usikkerheden er beregnet pr. celle i FOHM modellens 100 m grid

Her er usikkerheden vist som linjer. 1 standardafvigelse over og under hver laggrænse



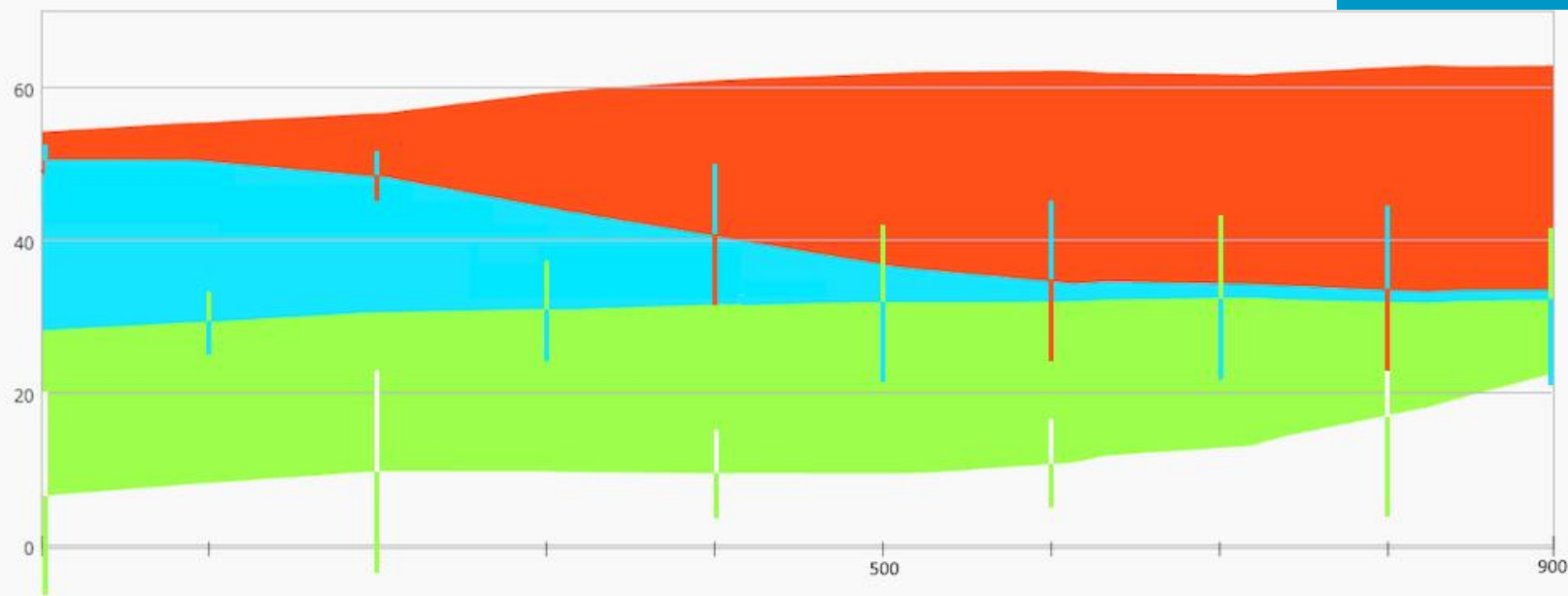


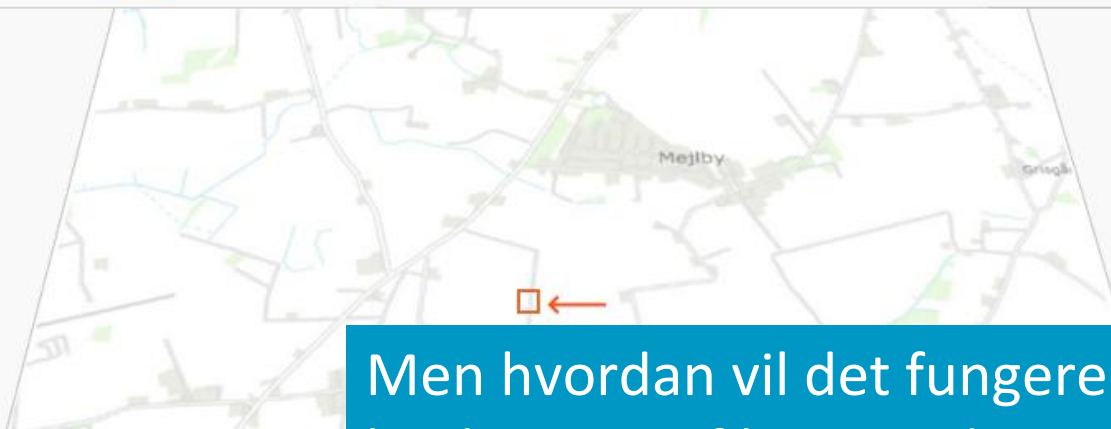
FOHM

Use mouse scroll to zoom and mouse click to drag and rotate

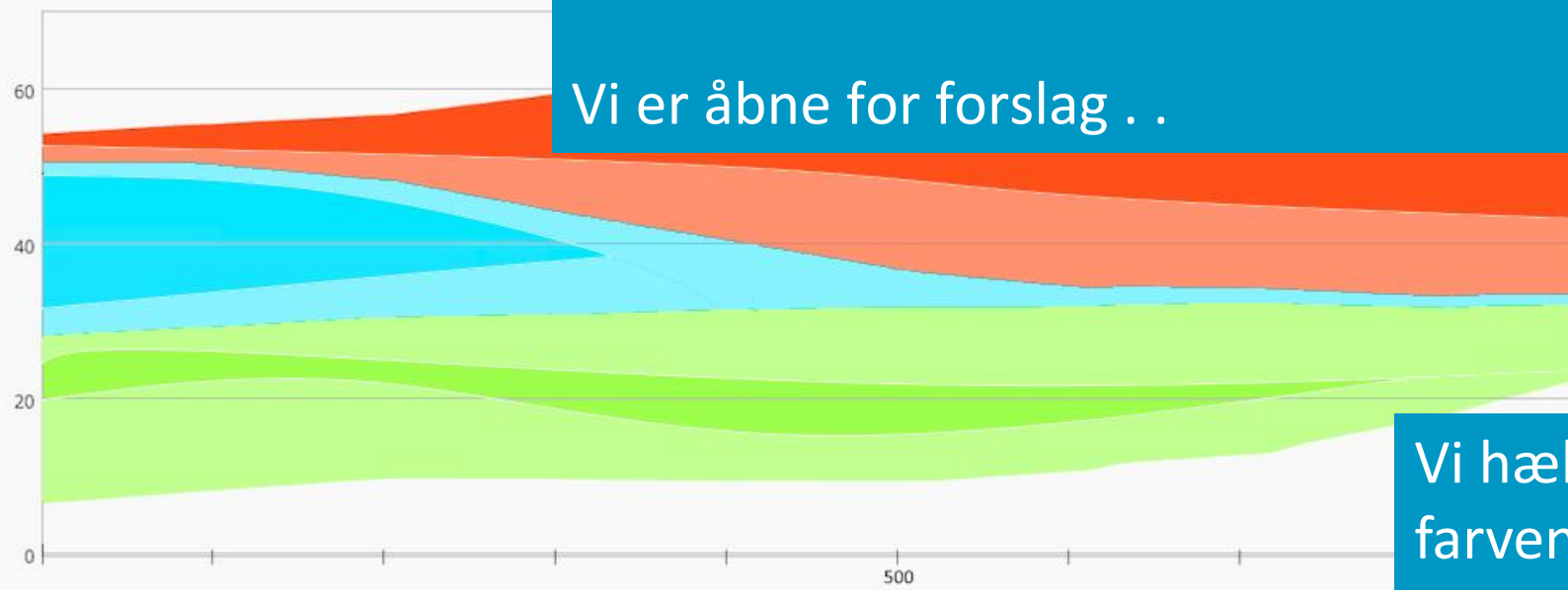
Legend

Den samme usikkerhed vist som pinde i hveranden gridcelle i laggrænsen.





Men hvordan vil det fungere på flere km lange profilsnit med mange lag ?
Vi er åbne for forslag . .



FOHM

Use mouse scroll to zoom and mouse click to drag and rotate

Legend

- 1400 Sand and Gravel
- 8000 Paleogene Clay
- 8500 Danien Chalk

Vi hælder nok pt. mest til at gøre farven mere gennemsigtig inden for 1 standardafvigelse for laggrænsen

Opsummering

- Der er udarbejdet et koncept for at kvantificere usikkerhederne af FOHM modellen i hvert gridpunkt
- Ved udarbejdelse af konceptet er der prioriteret i de faktorer, der har betydning for usikkerheden af den endelige model
- Konceptet fokuserer på de usikkerheder, der relaterer sig til; 1) Datagrundlaget for modellen, 2) troværdighed af de lokale modeller og 3) den geologiske kompleksitet
- Konceptet kan ikke tage højde for den grundlæggende konceptuelle model – selvom den er helt afgørende for usikkerheden af modellen!
- Konceptet vil blive yderligere forfinet i år – **input velkomne**
- Det er målet, at GEUS vil sikre adgang til de kvantificerede usikkerheder – gennem API og visning i webbrowser – **ønsker og input velkomne**

Kvantificering opsummering

Kvantificeringen baseres på 'sikkerheder' $\left(\frac{1}{\sigma^2}\right)$

Beregningen foretages i hvert gridpunkt Vægtet sum af (u)sikkerheder fra de forskellige kilder

Kvantificering af (u)sikkerheder:

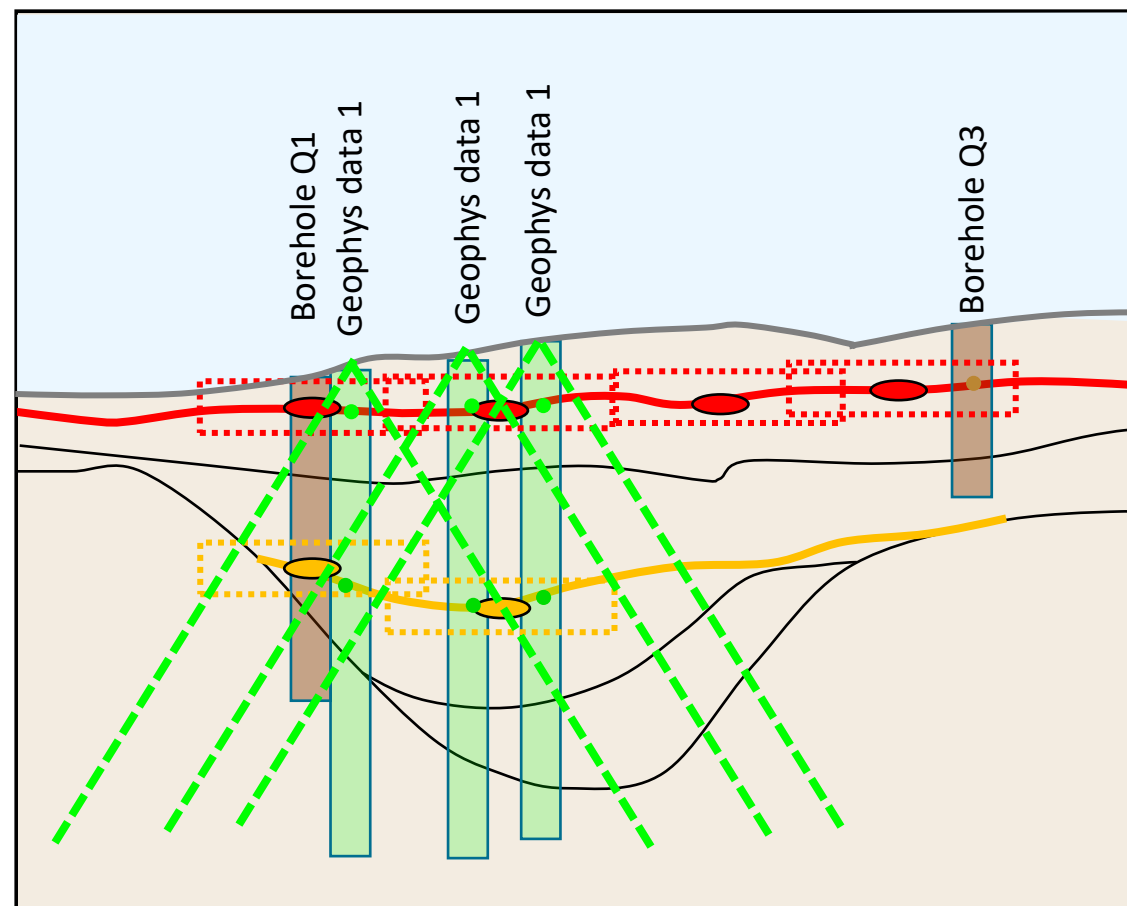
Hvert data punkt tilskrives (u)sikkerheder baseret på type, kvalitet og dybde

Lateral udbredelse baseret på footprint

Udbredelsen af informationen afhænger af den geologiske kompleksitet

Vægtet sum af (u)sikkerheder fra de forskellige kilder:

$$\frac{1}{\sigma_{combined}^2} = \frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2}$$



● ● Interpretation point