

# Erosionsmønstre og sammenhænge mellem overfladenær og dyb geologi

Seniorforsker

Peter Sandersen

Vingsted – 5.-6. marts 2024



G E U S

# Indflyvning

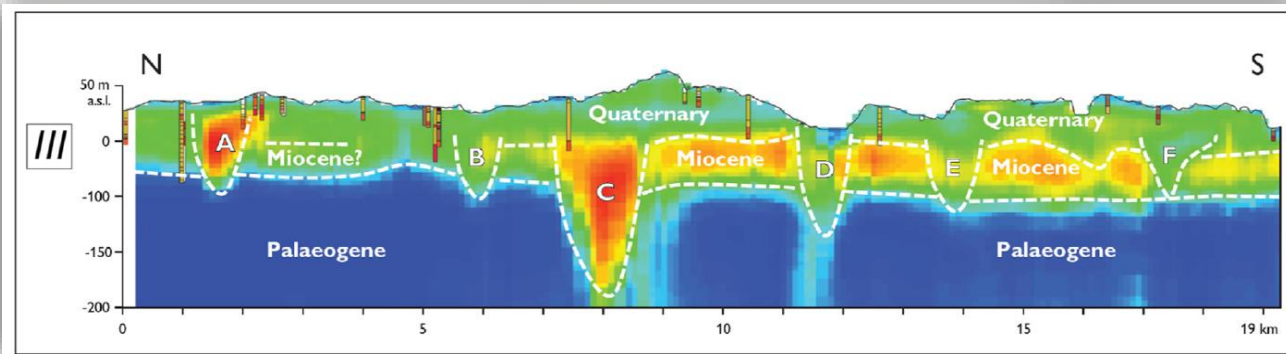
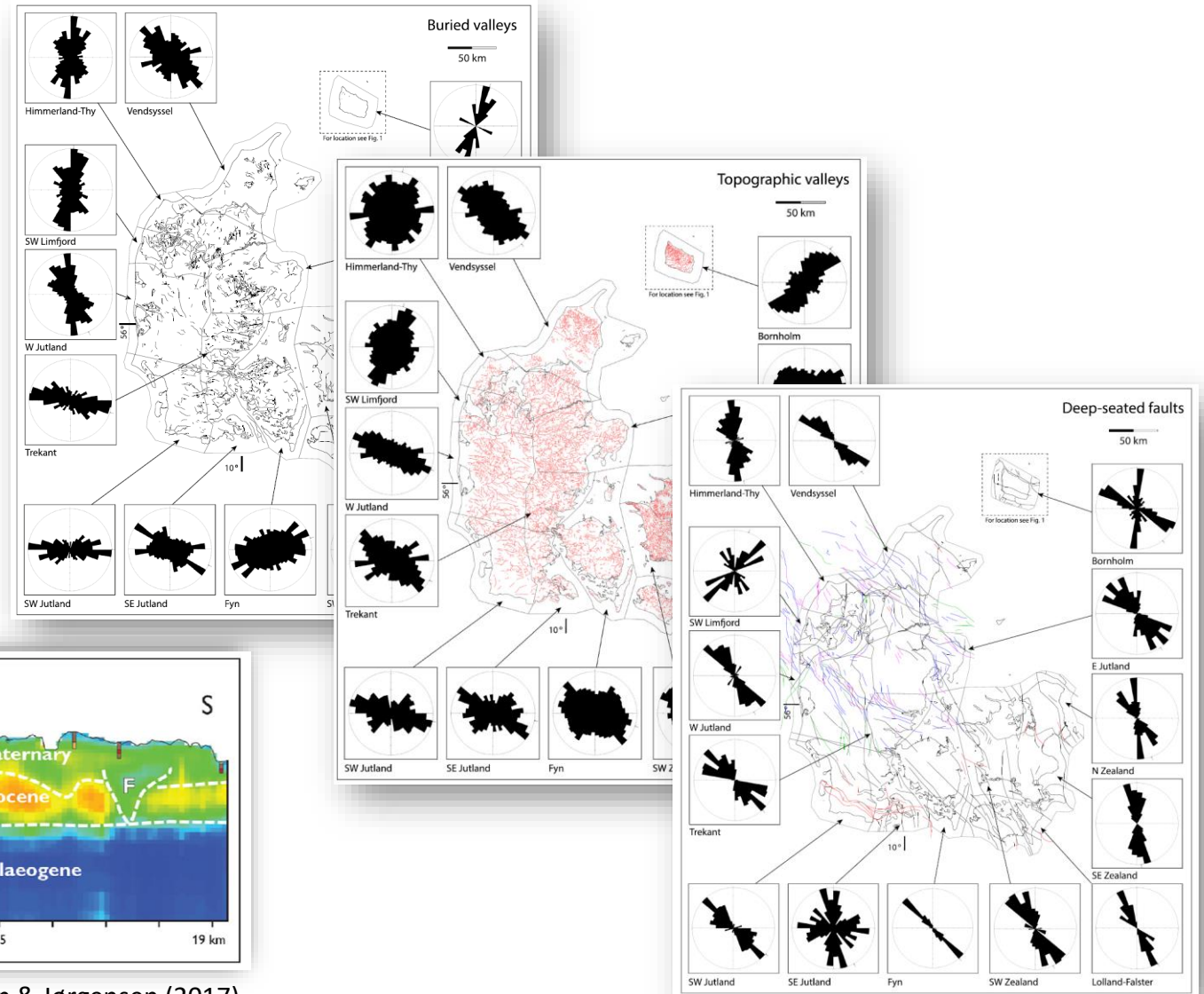
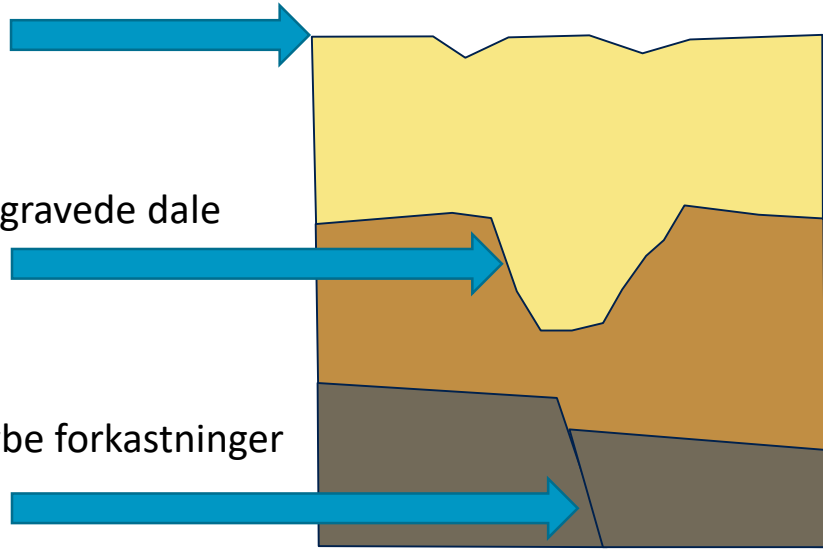
- Det danske landskab er primært formet af kvartærtidens gletschere og smeltevand
- Observationer af topografi og overfladenær geologi, som peger på en sammenhæng med dybe strukturer
- Nye kortlægningsmuligheder med detaljerede højdemodeller (LiDAR) og højopløselig geofysik (tTEM)
- Nye muligheder for samtolkning af terræn og den overfladenære geologi
- **Fokus:**
  - Relationer mellem erosionsmønstre, begravede dale og forkastninger i et nationalt perspektiv
  - Tre lokale eksempler på dybe forkastninger, som påvirker terræn og geologi
  - Hvilken mekanisme ligger bag?
  - Konsekvenser?



**Sammenhænge mellem topografi,  
begravede dale og forkastninger set i  
et nationalt perspektiv**

# Trends i orienteringer (Kortlægning af begravede dale)

Topografiske dale



Sandersen & Jørgensen (2017)

# Tolkninger af orienteringer

- Fokus på den nordlige del af Jylland

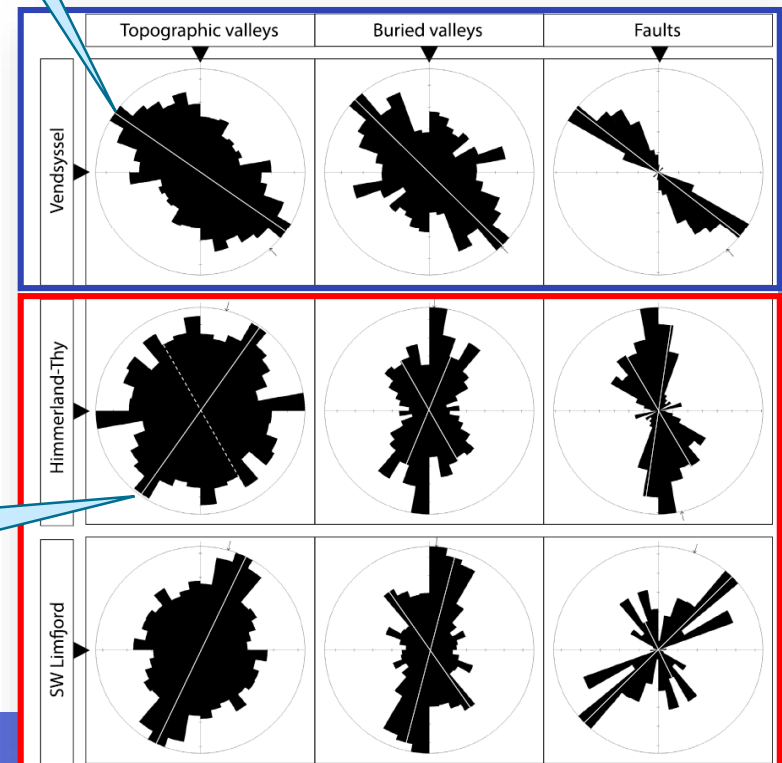
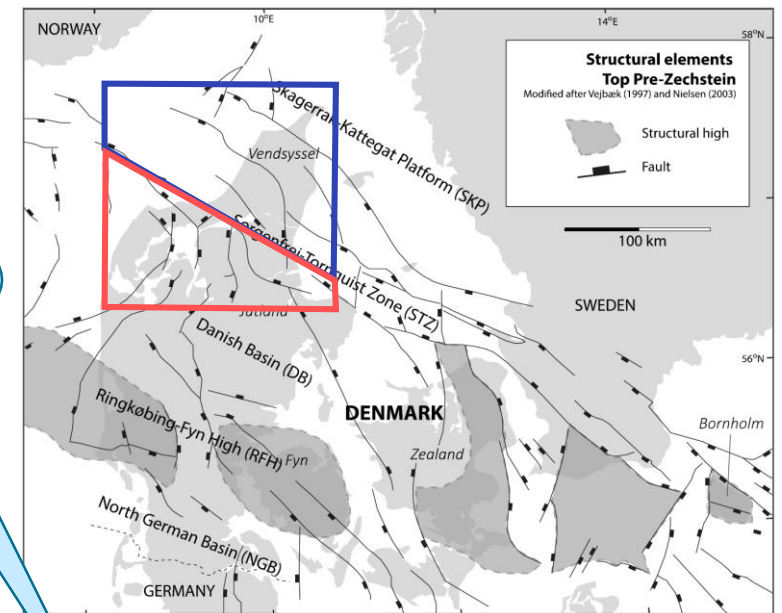
- Vendsyssel ligger over Sorgenfrei-Tornquist Zonen, som er domineret af NV-SØ forkastninger
- Denne orientering dominerer også de topografiske dale og de begravede dale

- Himmerland-Thy og SV Limfjord ligger ovenover det danske bassin langs den sydlige kant af STZ (N-S/NNØ-SSV forkastninger)
- 45-graders skiftet i orienteringer i topografien matcher skiftet i de dybe forkastninger i STZ og overgangen til det danske bassin

- De tektoniske rammer er tydeligt reflekteret i såvel de topografiske dale som de begravede dale

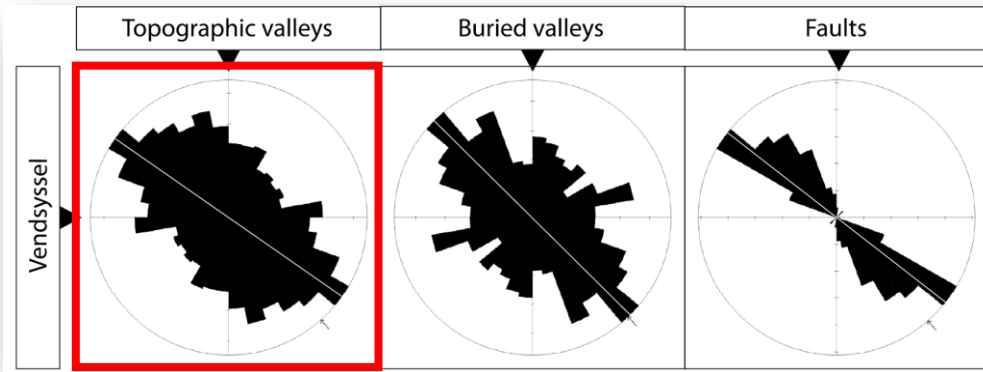
- 10-graders intervaller

- Kumuleret længde



# Erosionsmønstre - Vendsyssel

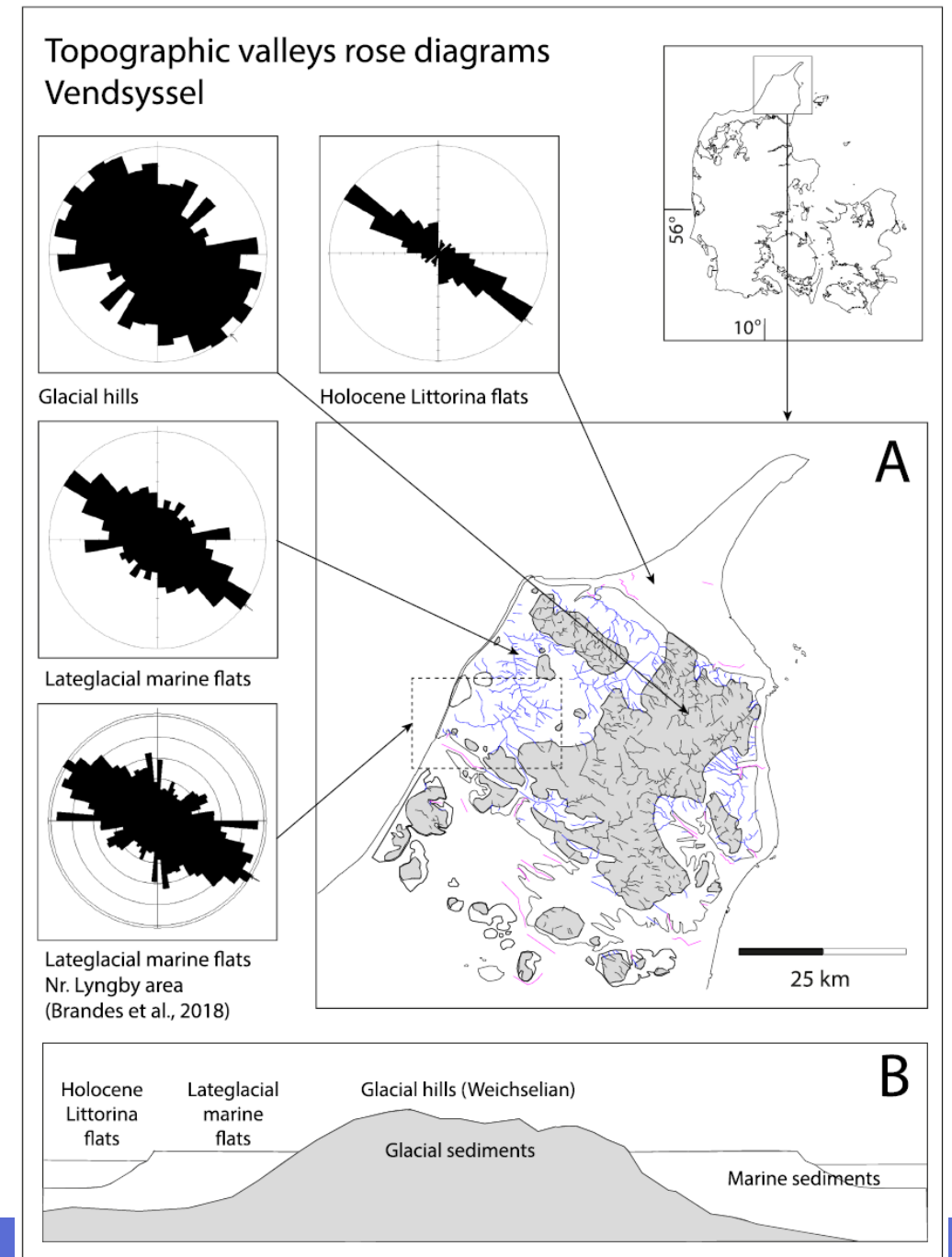
- Erosionsdalene i topografien og de begravede dale har samme orienteringstrends som forkastningerne



## Topografiske dale

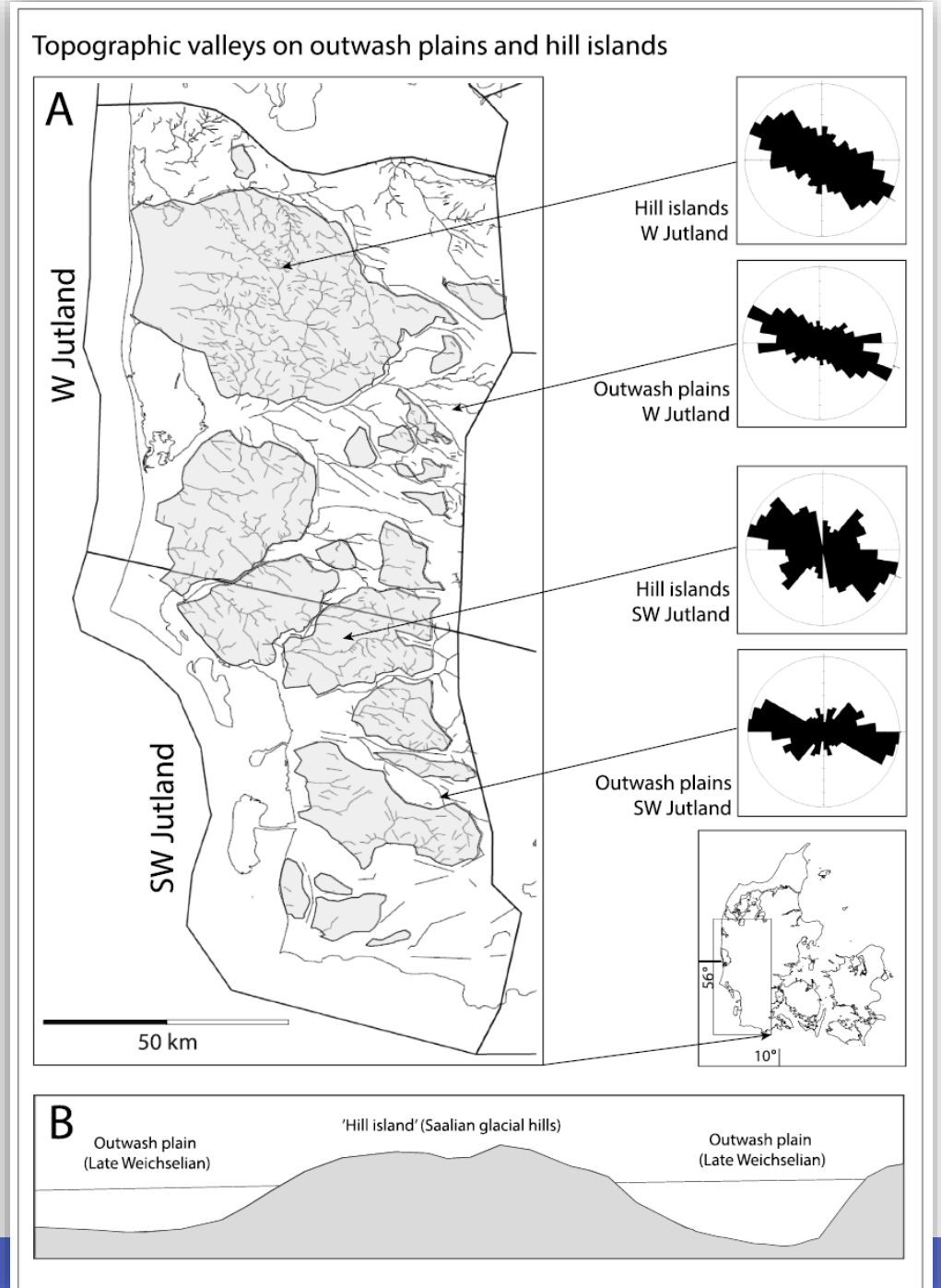
Underinddeling i forskellige områdetyper:

1. Glaciale bakker
  2. Senglacial havbund (Yoldia)
  3. Postglacial havbund (Littorina)
- Konsistens i orienteringer på trods af forskellene i oprindelse og alder af de overfladenære sedimenter
  - Tilsyneladende har forkastningerne overordnet indflydelse på erosionsmønstrene



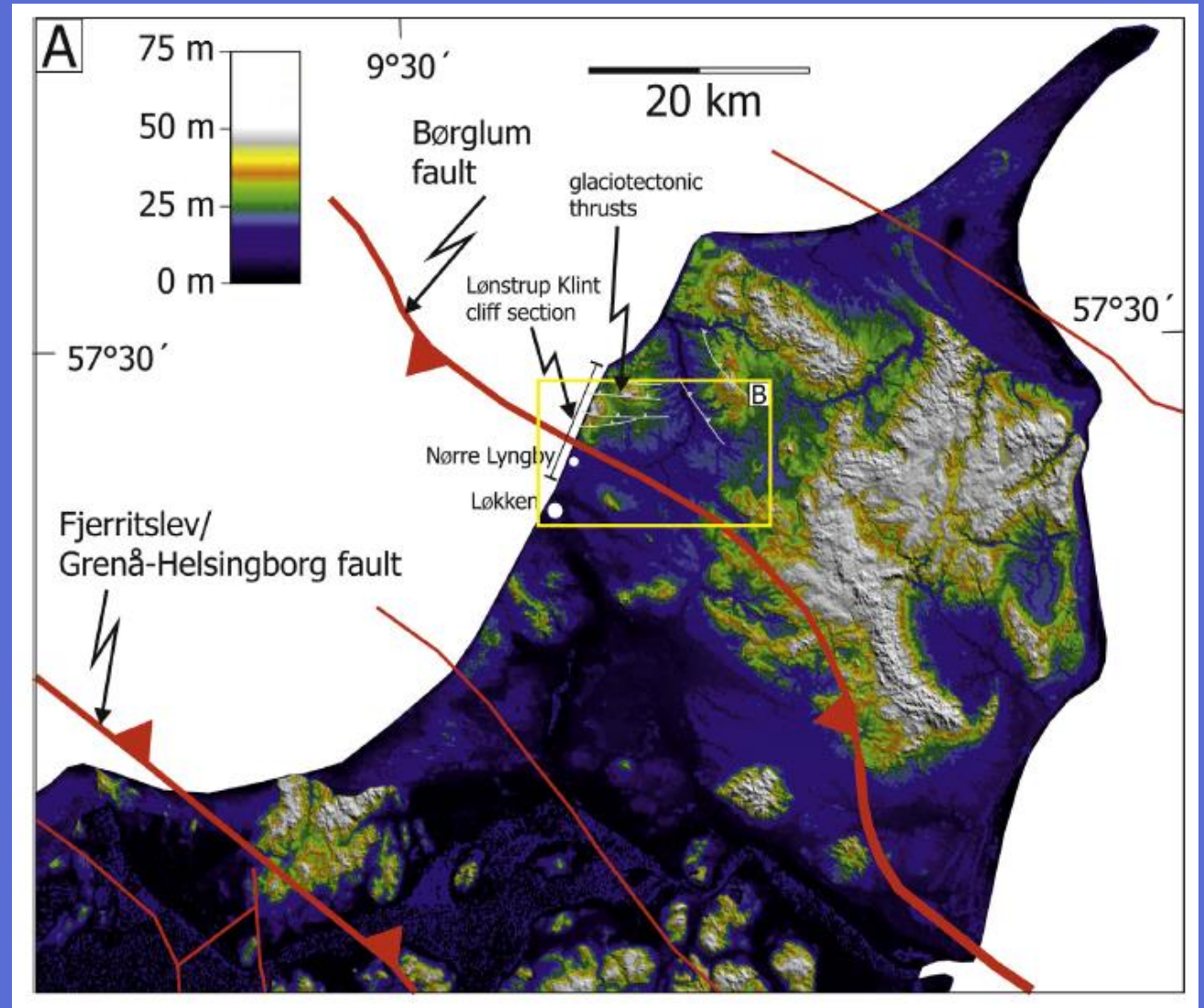
# Topografiske dale i Vestjylland

- Underinddeling af det topografiske datasæt:
  1. Bakkeøerne (Saale)
  2. Hedesletterne (Weichsel)
- Orienteringerne viser de same trends på trods af forskellene i oprindelse og alder af sedimenterne
- Præcis det samme som for Vendsyssel
- Hovedkonklusionen i 2022-artiklen:
  - Reaktivering af dybe forkastninger har haft indflydelse på erosionsmønstrene gennem kvartæret



# Eksempel 1

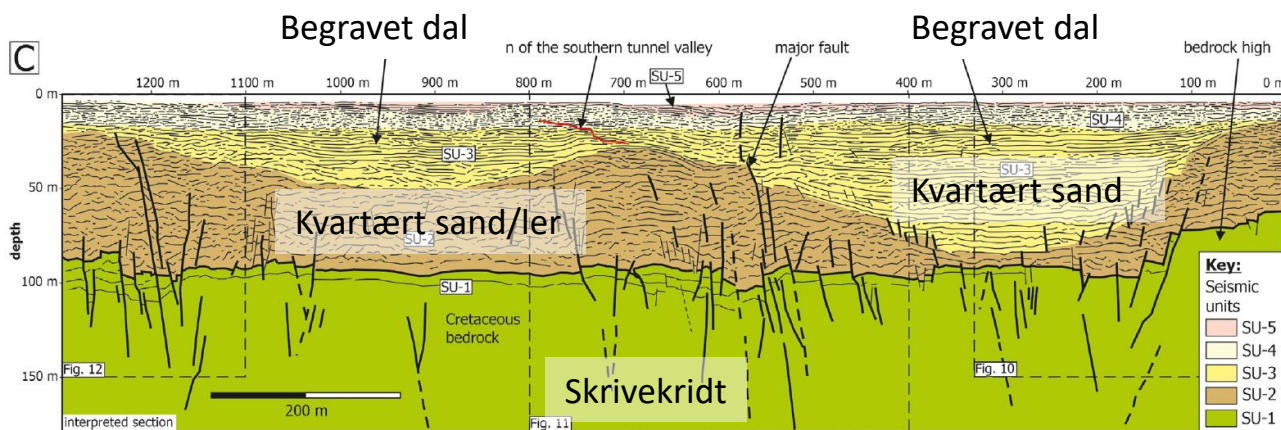
## Nr. Lyngby



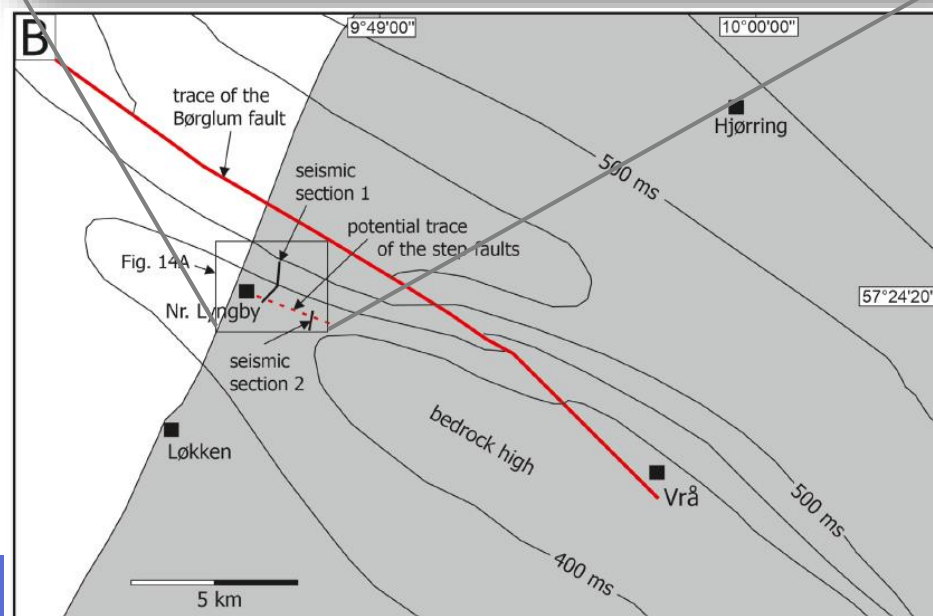
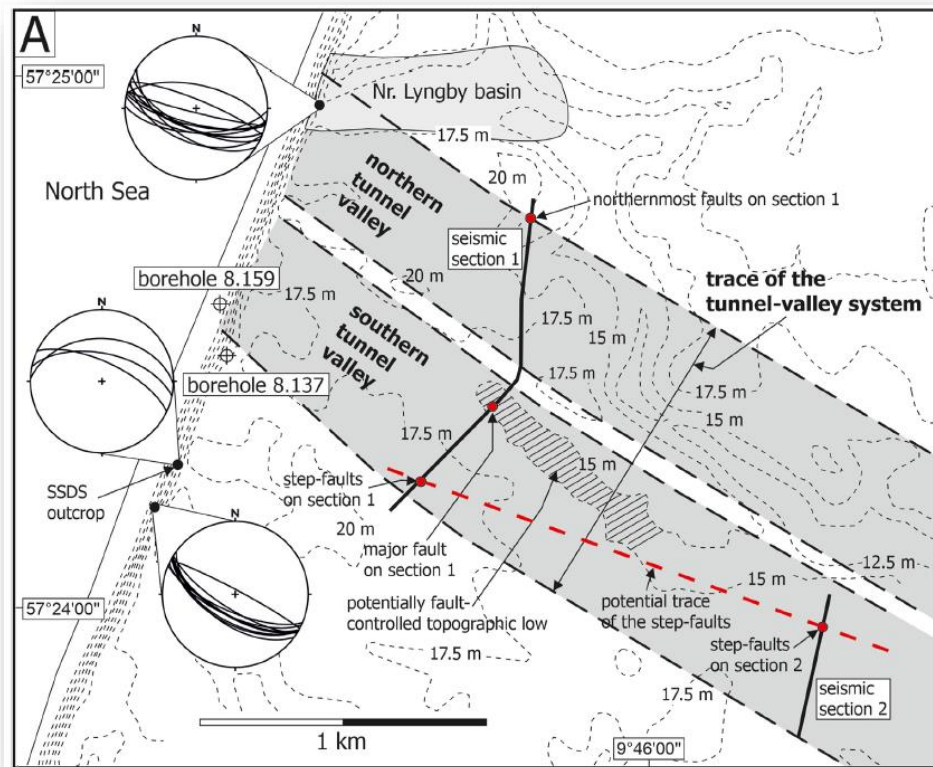


# Nr. Lyngby – Forkastninger og begravede dale

- Forkastninger i senglaciertid kan ses i kystklinerne
- Orienteringen af forkastningerne og de begravede dale matcher Børglumforkastningens orientering
- Tydelig sammenhæng mellem forkastninger og daldannelse



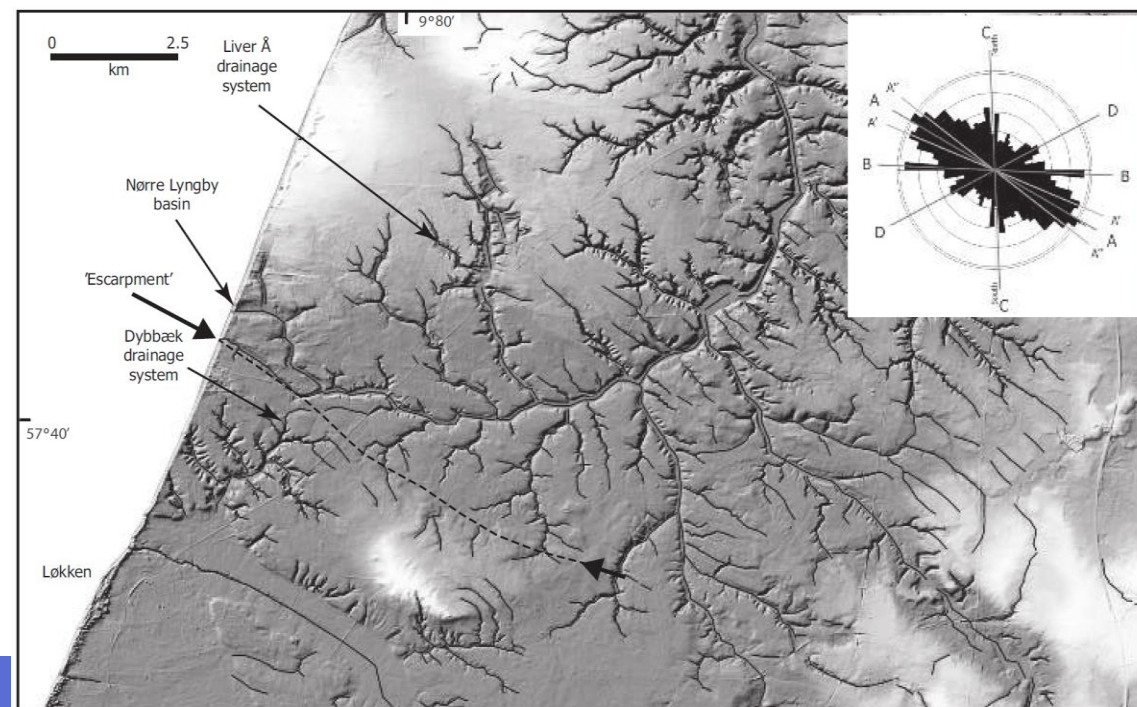
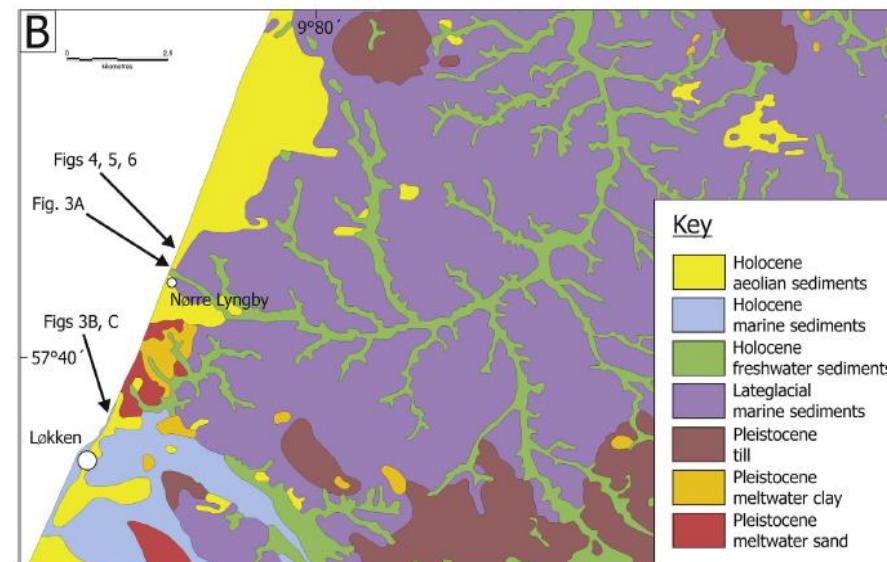
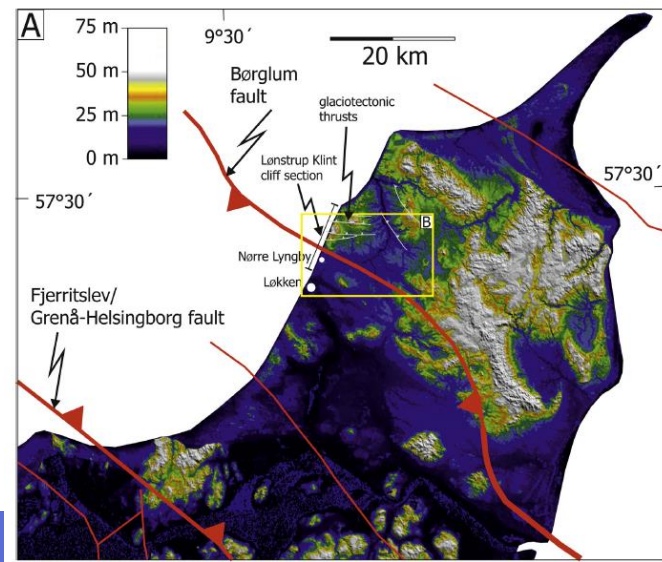
Brandes et al. 2022



Brandes et al. 2022

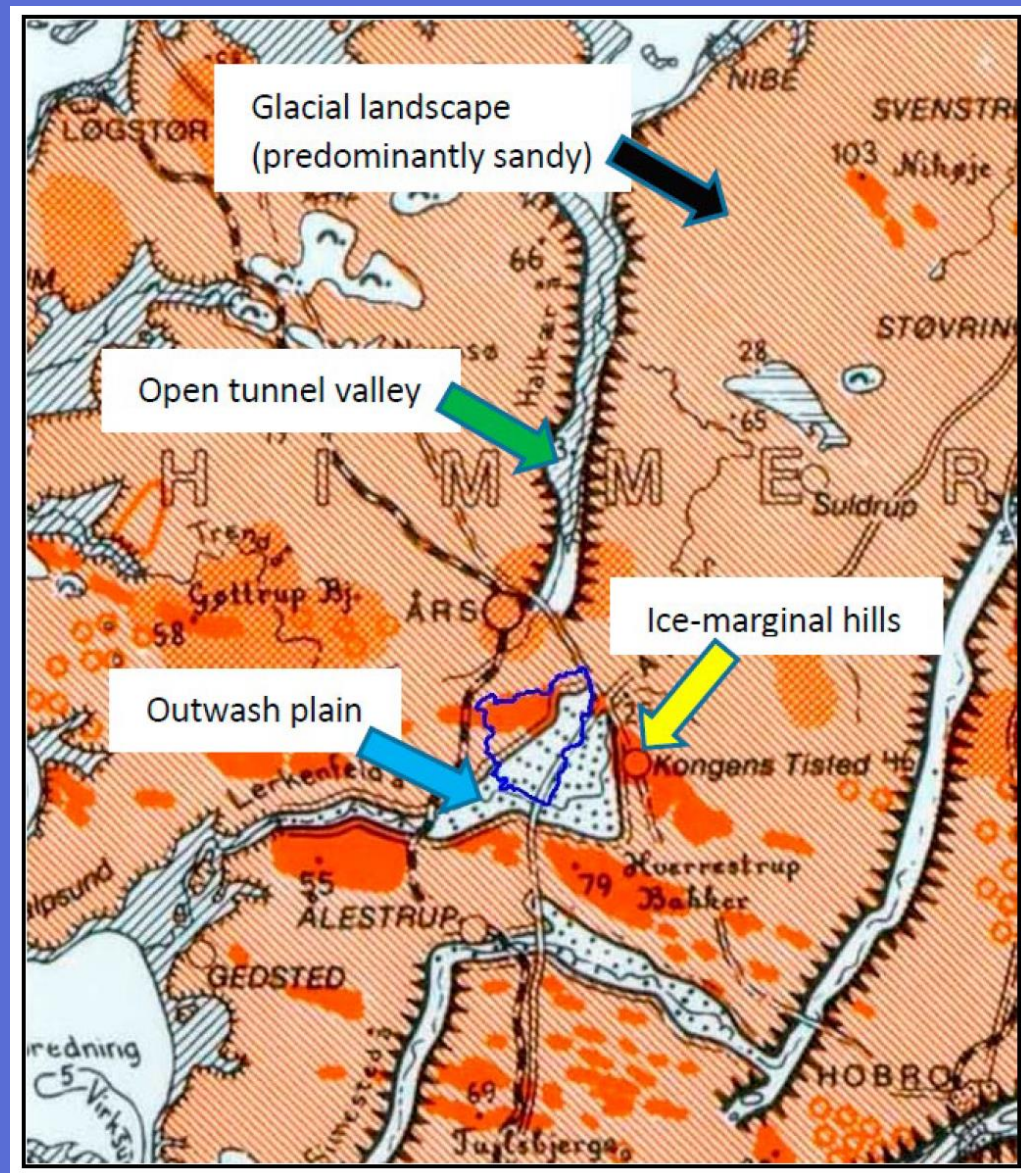
# Nr. Lyngby - Forkastninger og topografi

- Senglacial havbund
- Særprægede dræneringsmønstre
- Orienteringen af erosionsdalene er vinkelret på den overordnede afstrømningsretning
- Samme orientering som Børglum forkastningen
- En 1-2 m skrænt i terrænet udgør et vandskel
- Jordskælv i senglacialtid (12-14.000 år før nu)

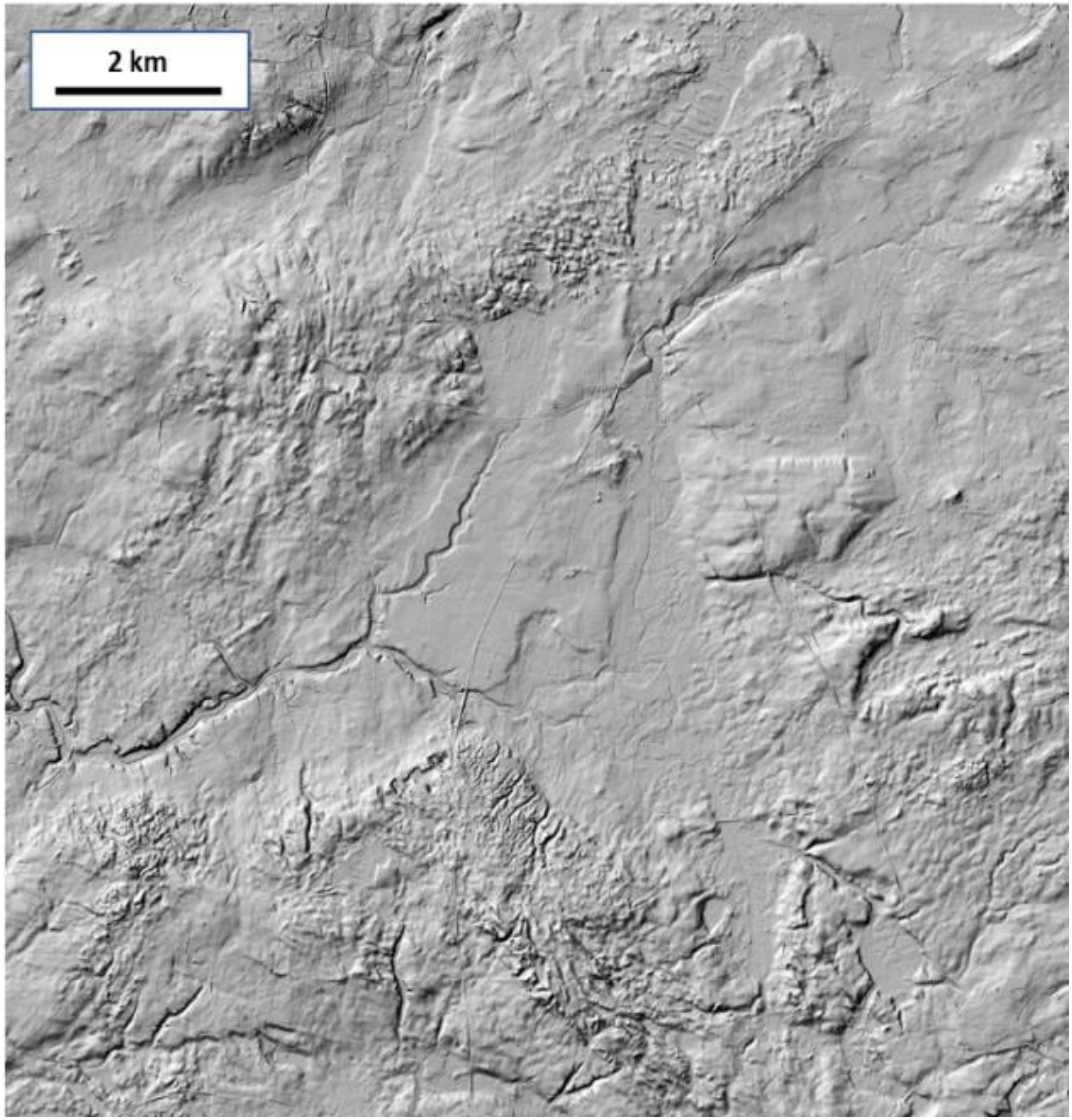
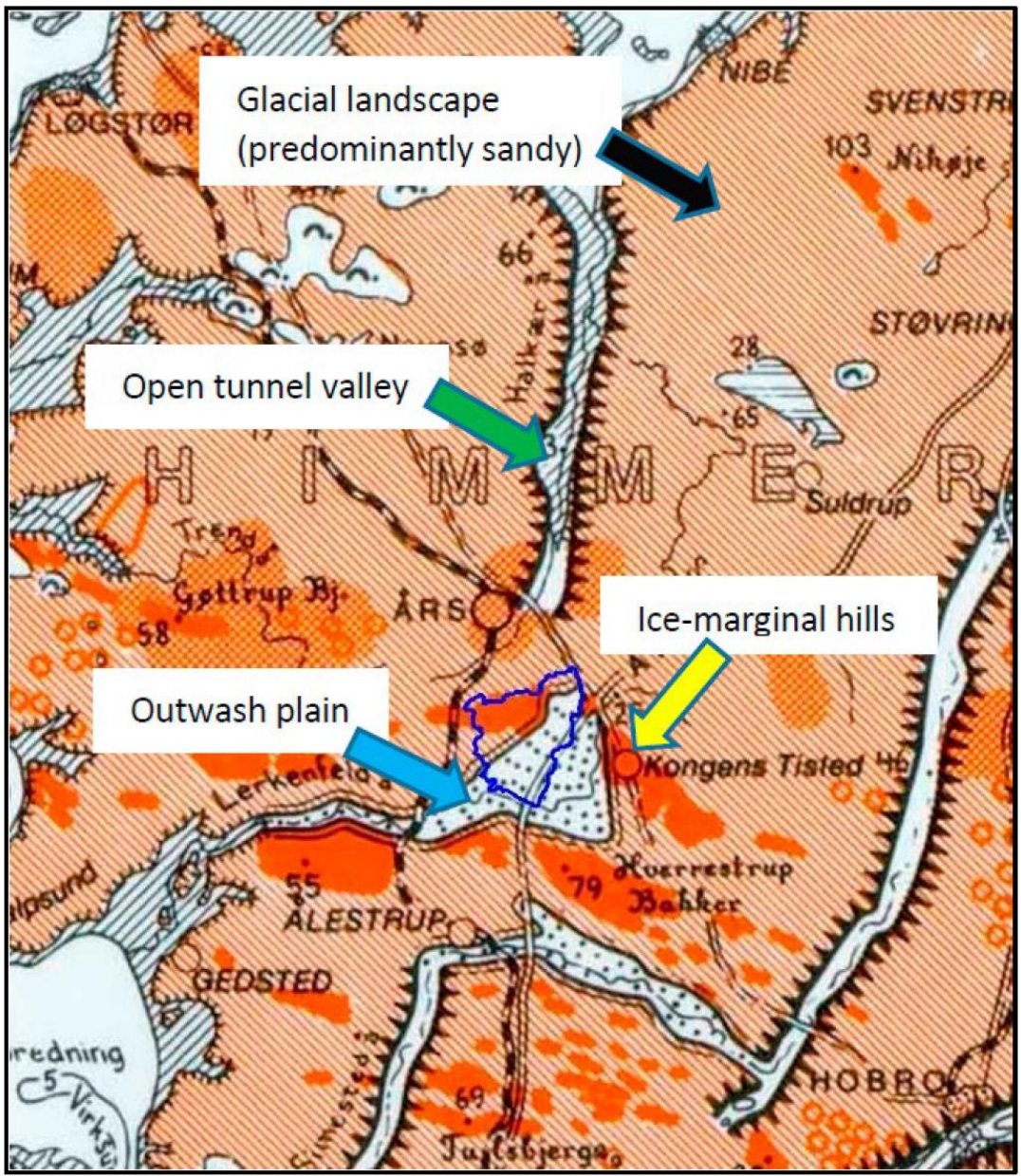


## Eksempel 2:

### Hedesletten ved Gislum syd for Års



# Hedeslettens topografi

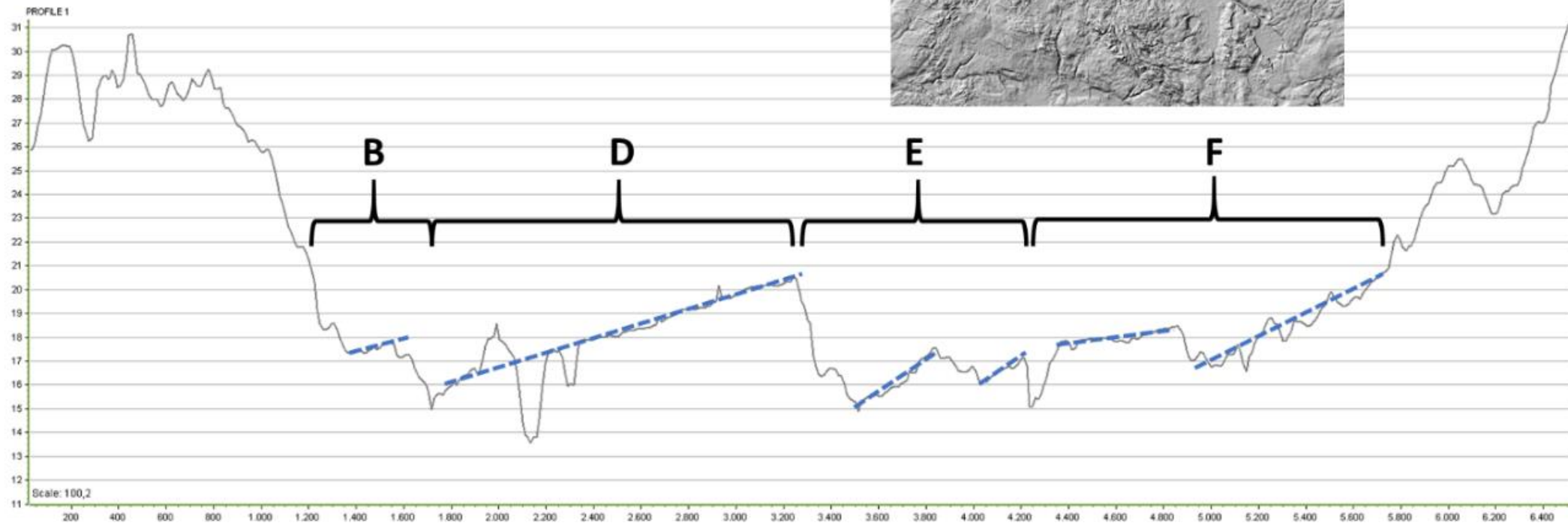
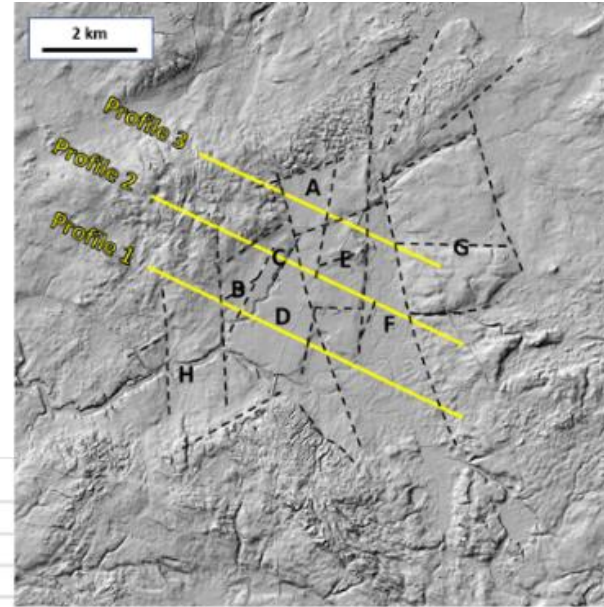


Smed (1989)

Sandersen & Kallesøe (2021b)

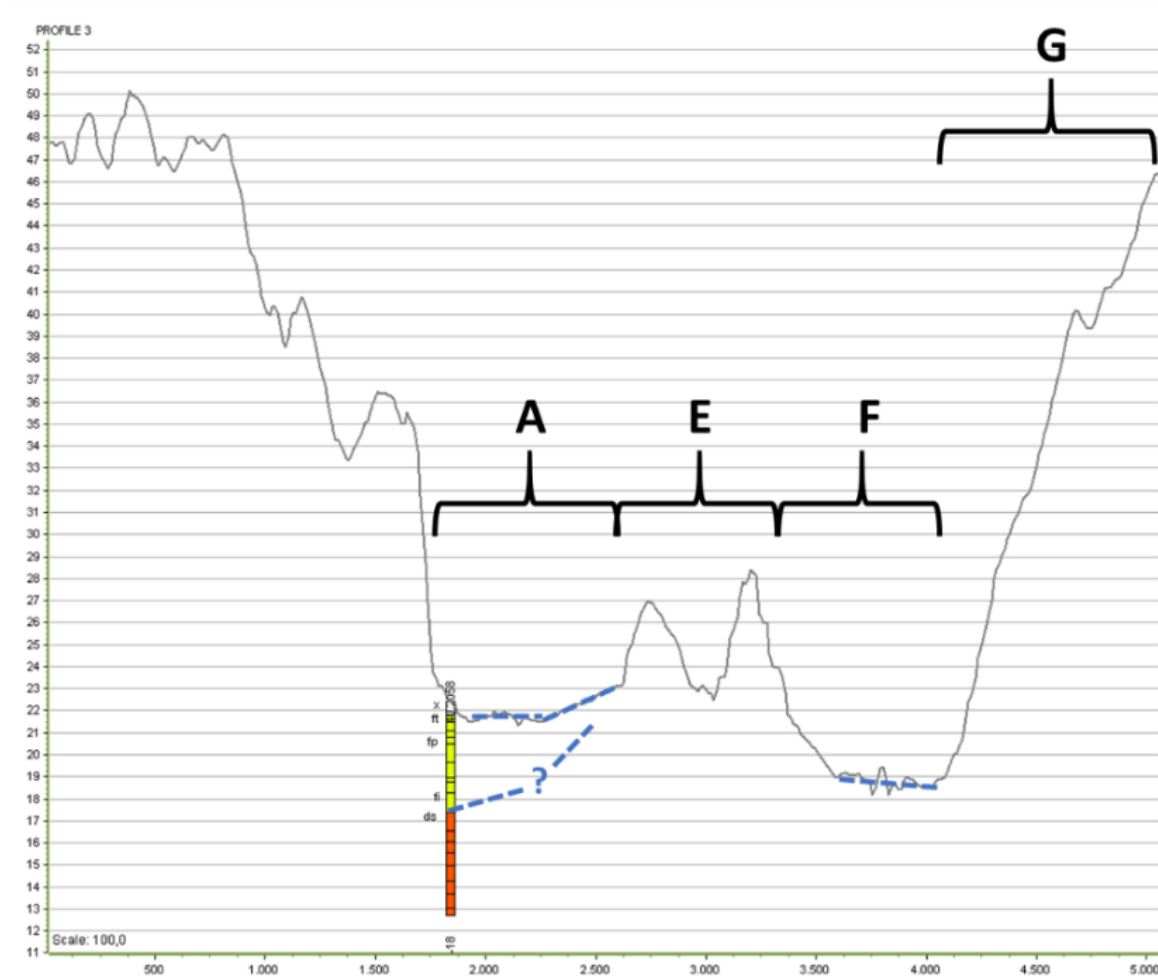
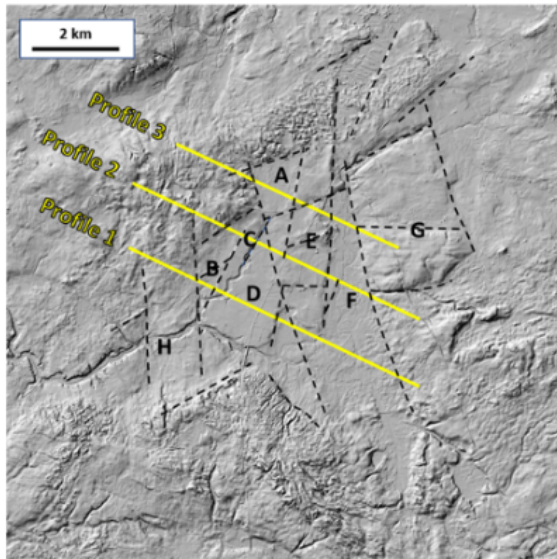
# Profiler gennem hedesletten

## Profile 1



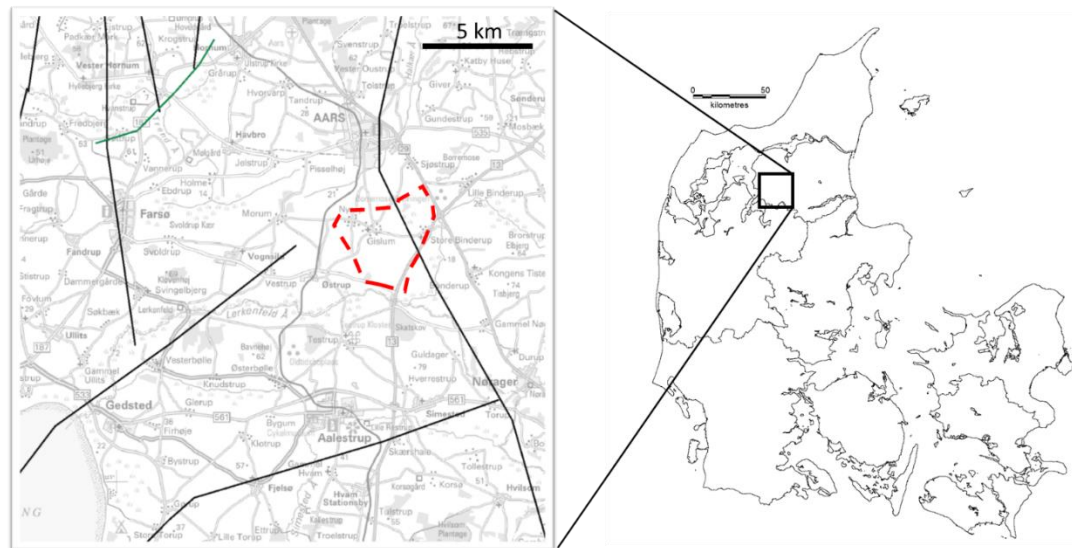
# Profiler gennem hedesletten

## Profile 3



# lagttagelser og sammenhænge

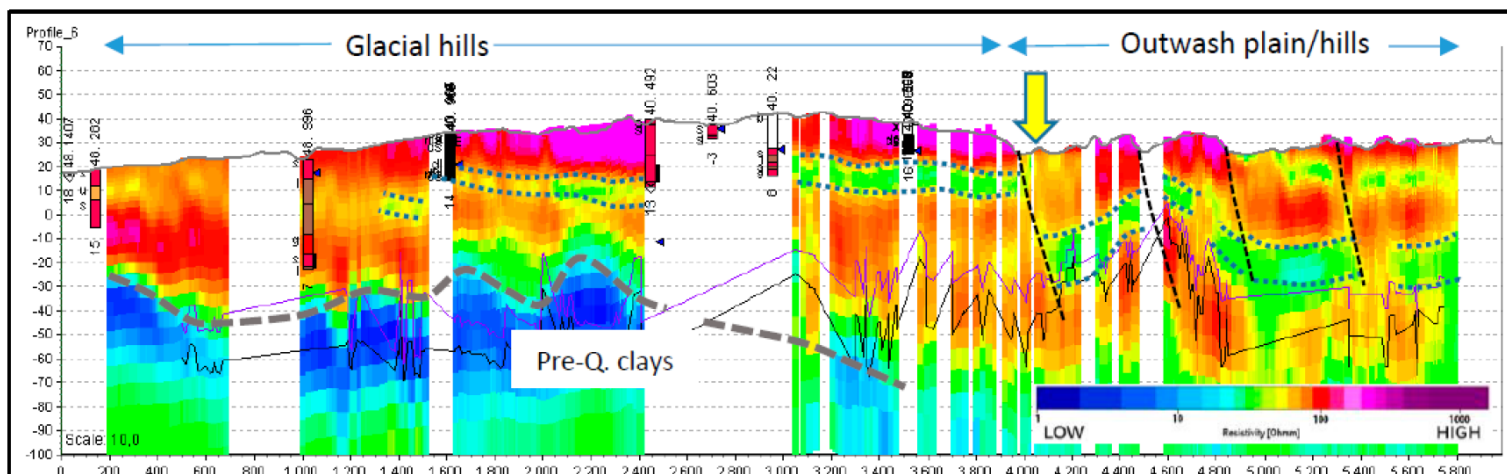
- Mange topografiske lineamenter i området
- Hedesletten er 'skåret i stykker' efter dannelsen
- Forskellig hældning og kote
- Tykke lag af postglacial tørv og gytje i lavninger
- SkyTEM data viser tegn på forkastninger
- Forkastninger i Top præ-Zechstein og Top Trias
- Saltstrukturer
- Sen/postglacial reaktivering af salt/forkastninger?



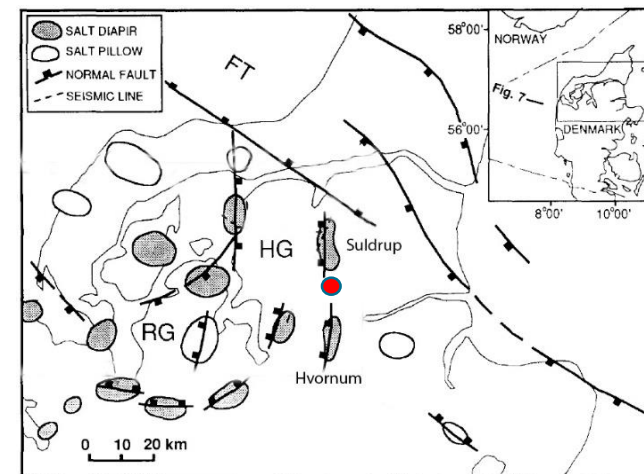
Forkastninger i Top præ-Zechstein og Top Trias. Fra Vejebak & Britze (1994) og Japsen & Langtofte (1991),

Sandersen & Kallesøe (2021a)

Sandersen & Kallesøe (2021b)



SkyTEM resistiviteter langs et profil mod nord

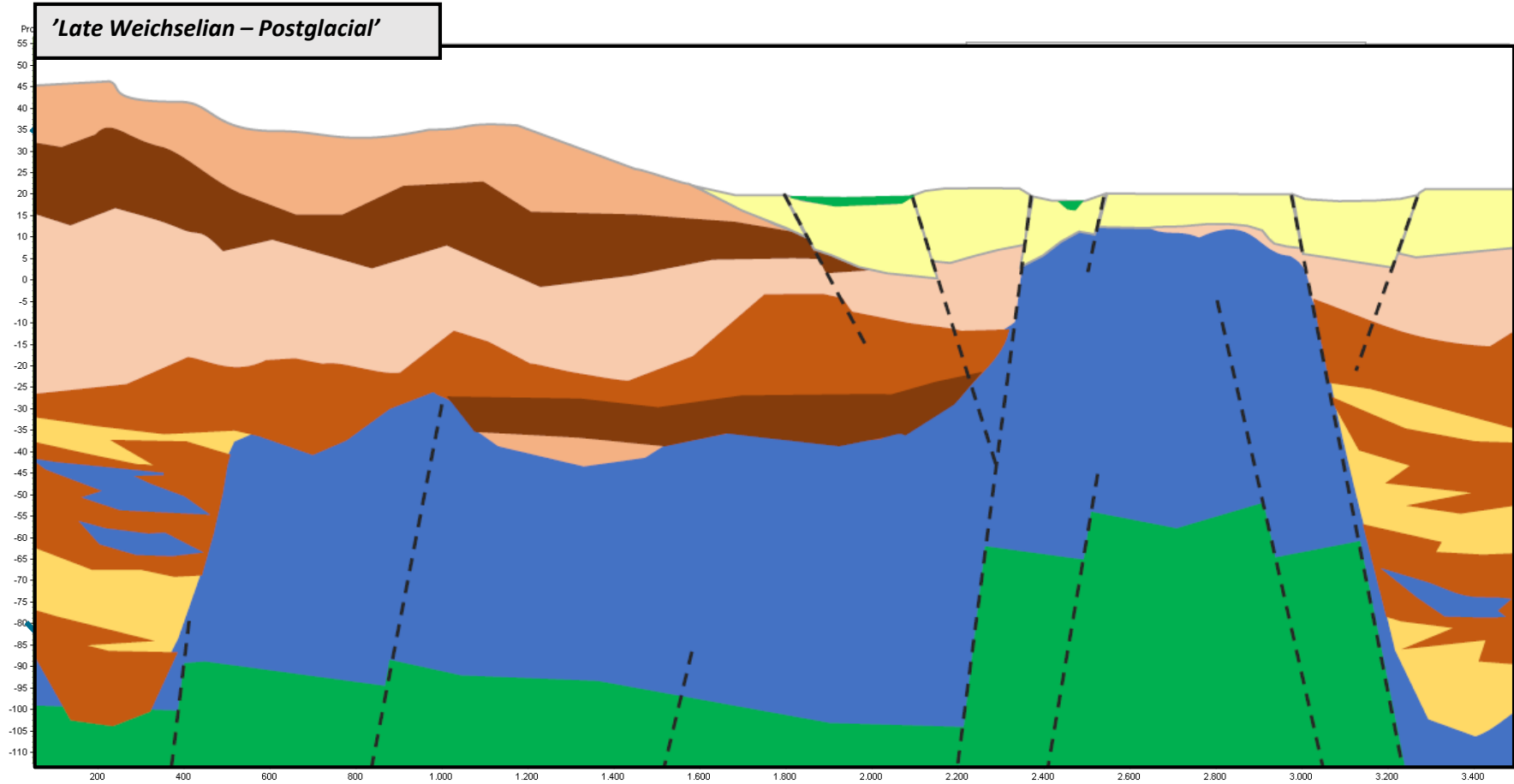


Kort over dybe forkastninger og salt strukturer

Efter Koyi & Petersen (1993).

NV

SØ

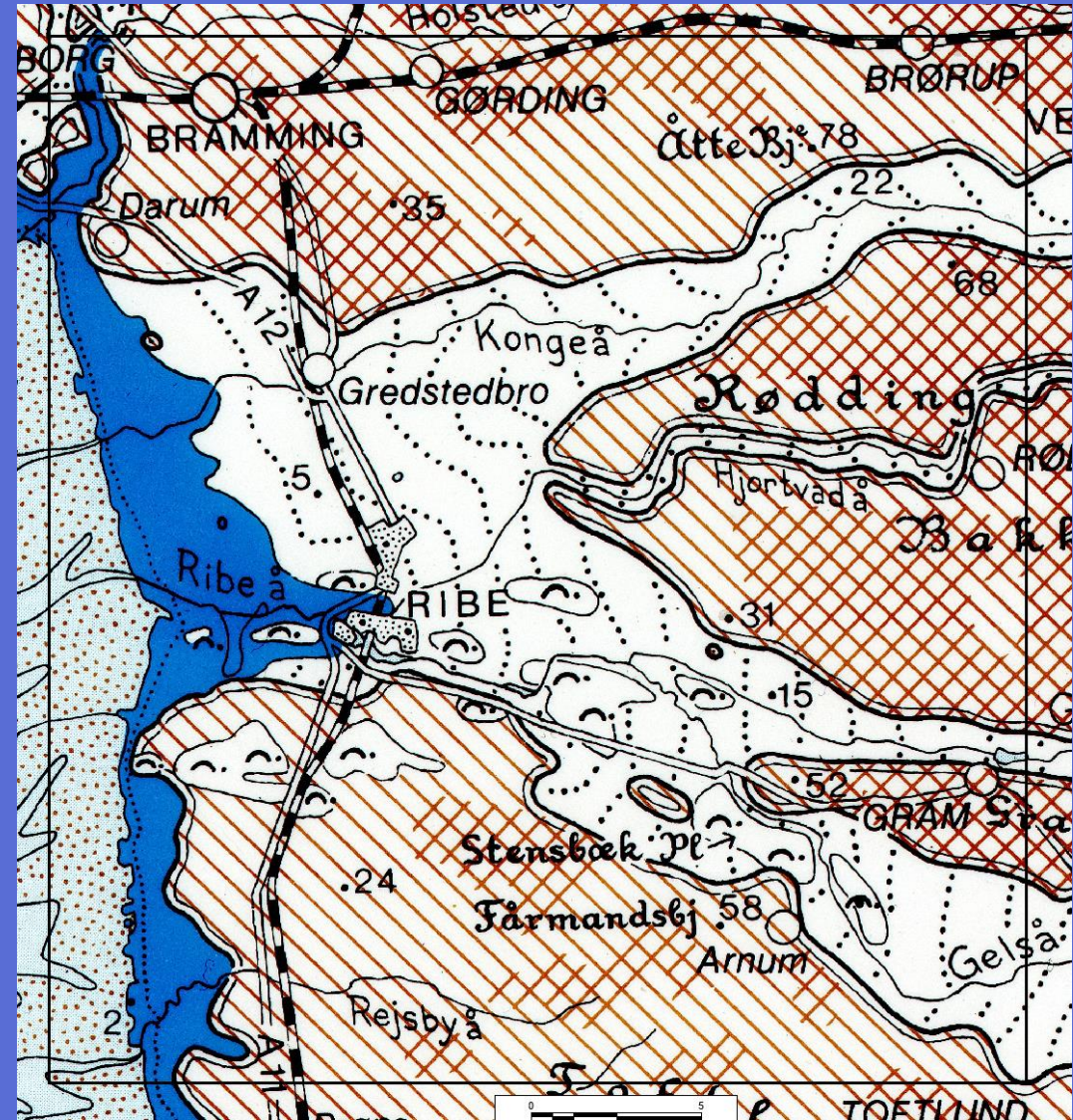


Sandersen & Kallesøe (2021a)



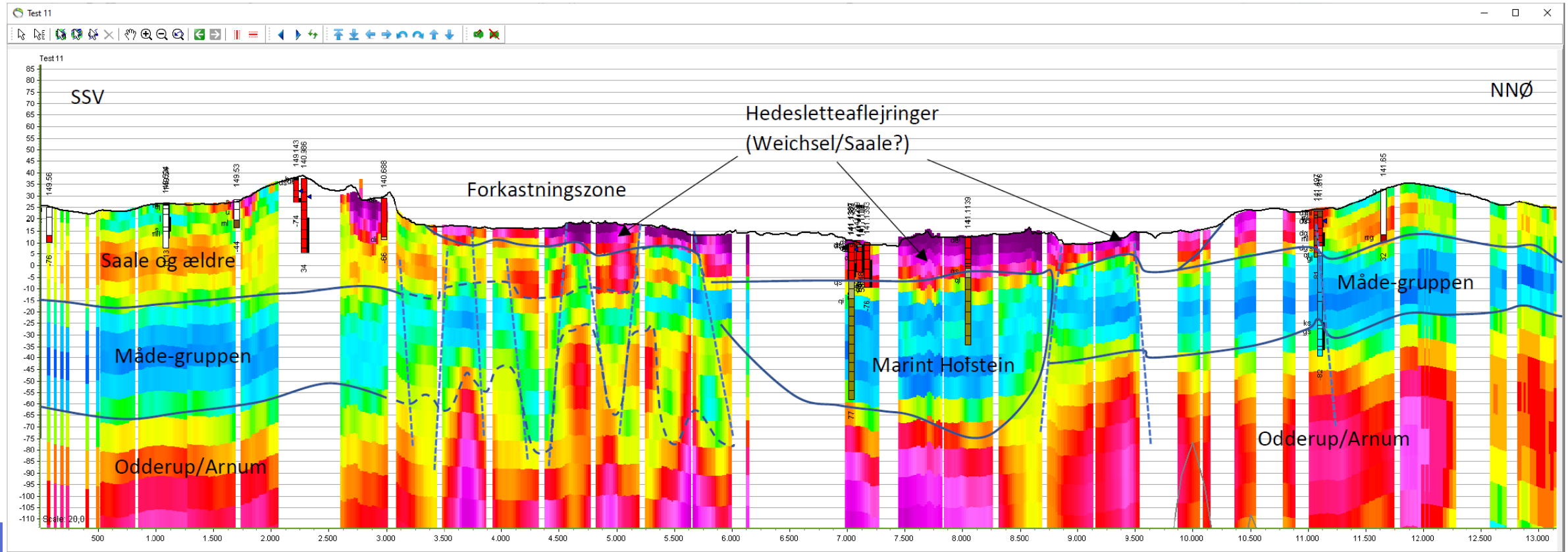
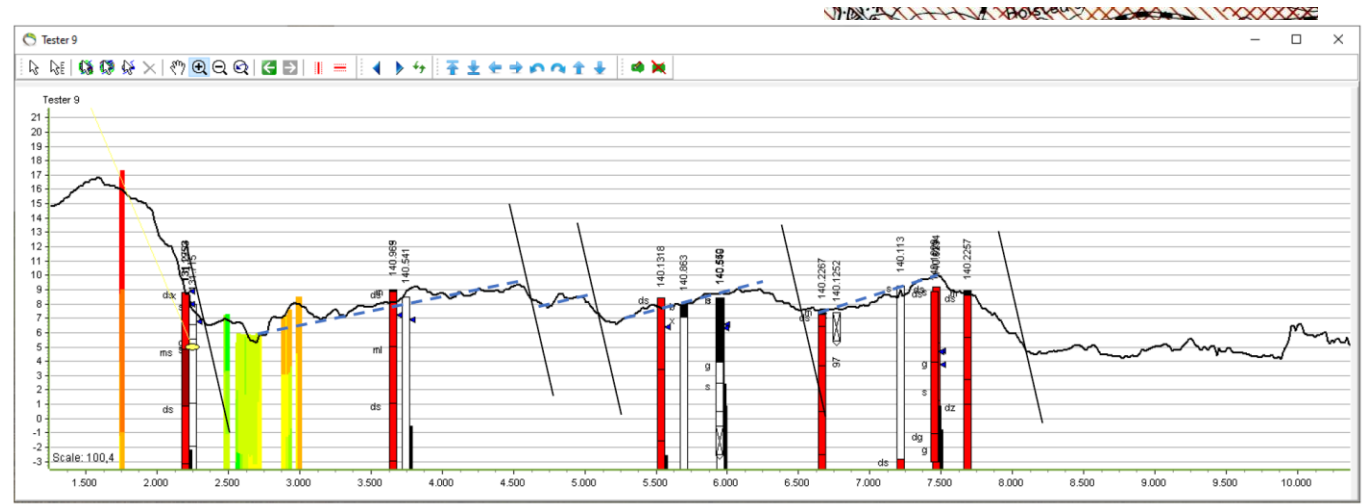
# Eksempel 3: Ribeområdet

(med tak til Din Forsyning, Esbjerg)



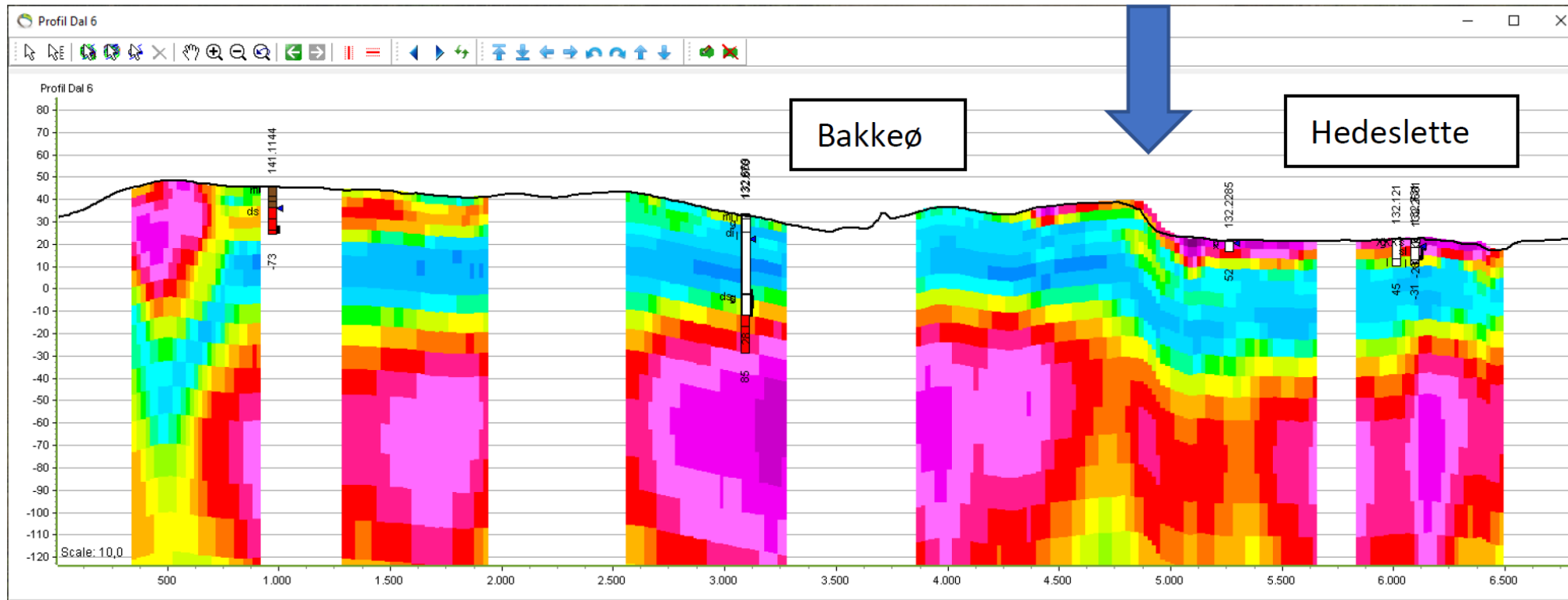
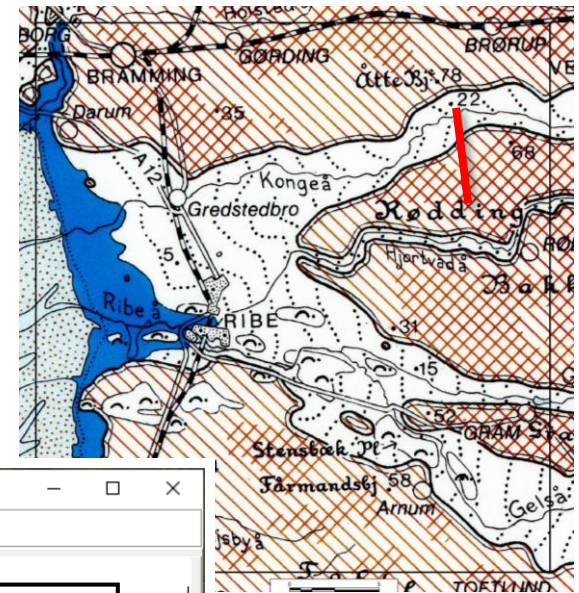
# Topografi og overfladenær geologi

- Mådegruppen (Øvre Miocæn) lokalt stærkt deformeret
- Hedesletten ovenover er også deformeret



# Hedesletter og bakkeøer

- Mådegruppen (Øvre Miocæn); lavmodstandslag
- Forsætning på 20-30 m ved bakkeøens kant
- Hedesletten er dannet, hvor Mådegruppen er nedforkastet

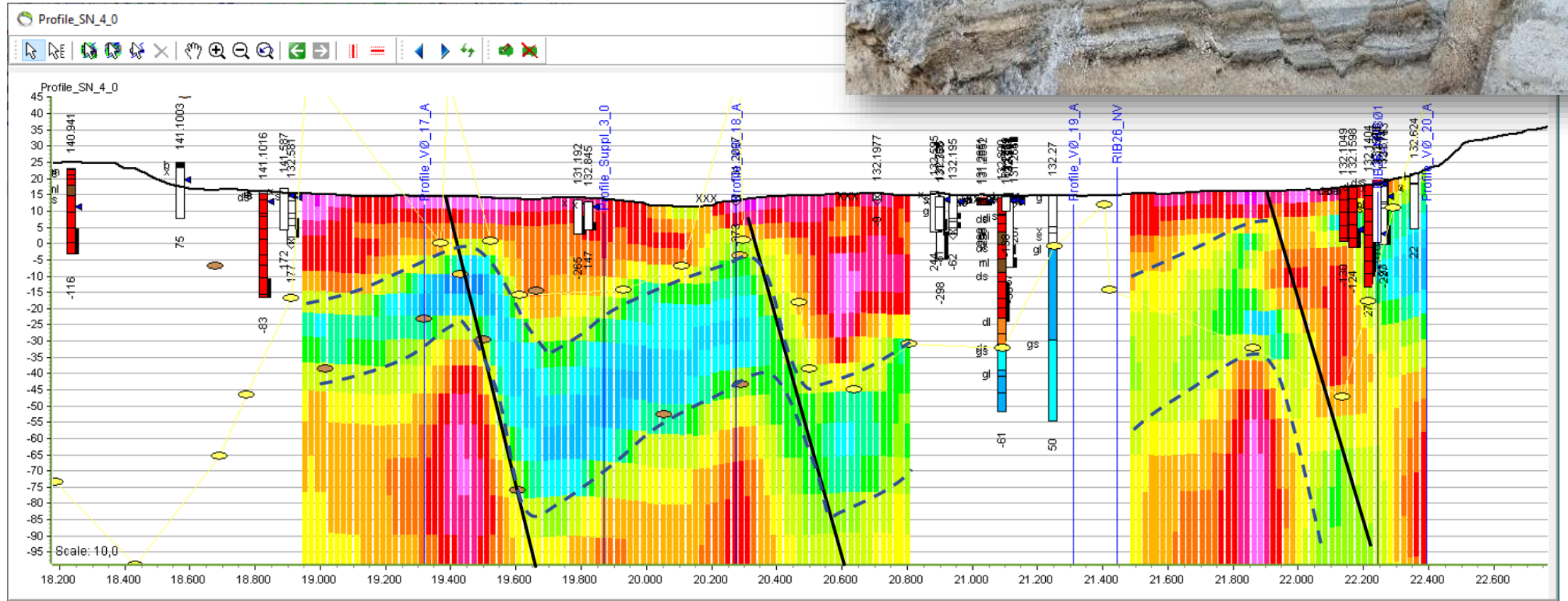


# Hedesletter og bakkeøer

Fra klinten i Nr. Lyngby ca. 25 cm i højden

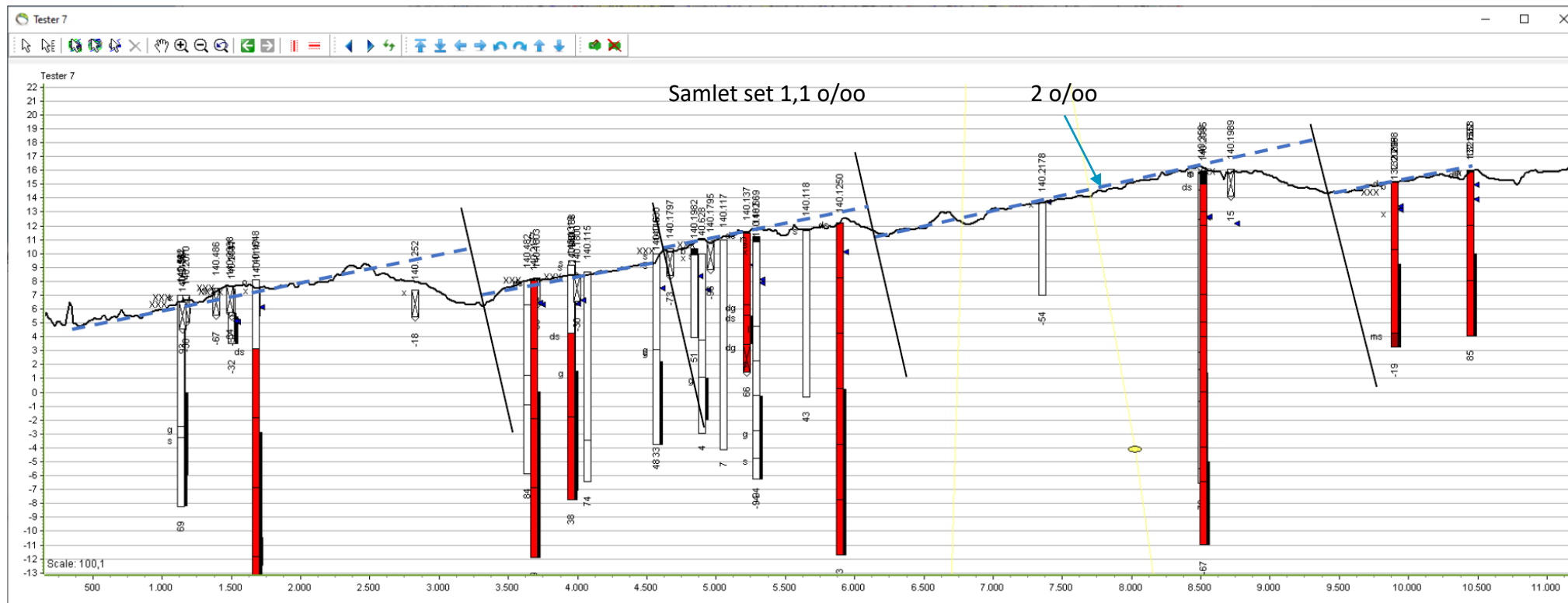
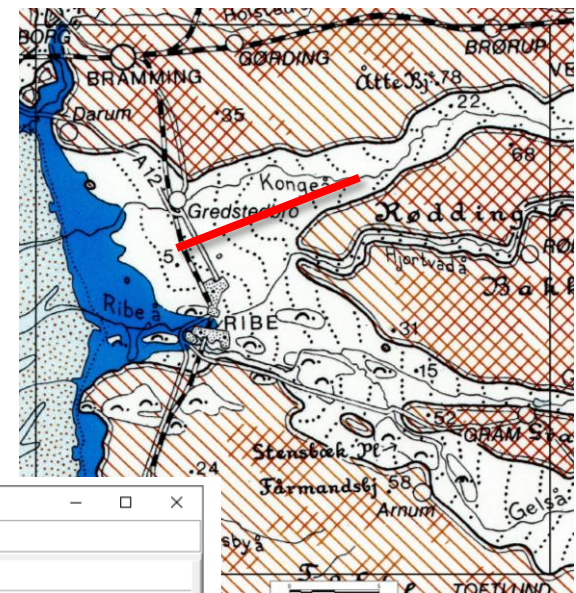


Profil vinkelret på slettens hældning



# Hedesletter og bakkeøer

Profil parallelt med slettens hældning



# Glacialtektonik eller dyb tektonik?

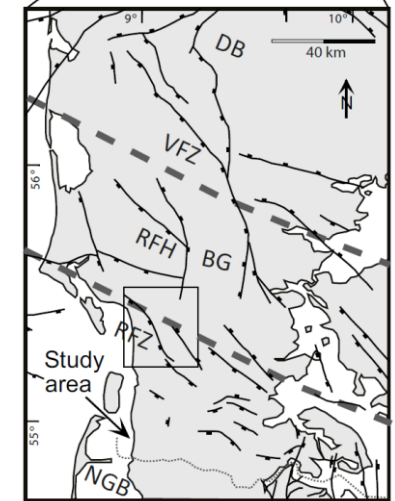
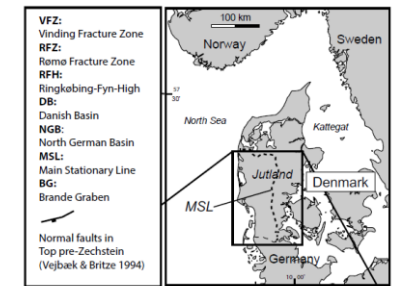
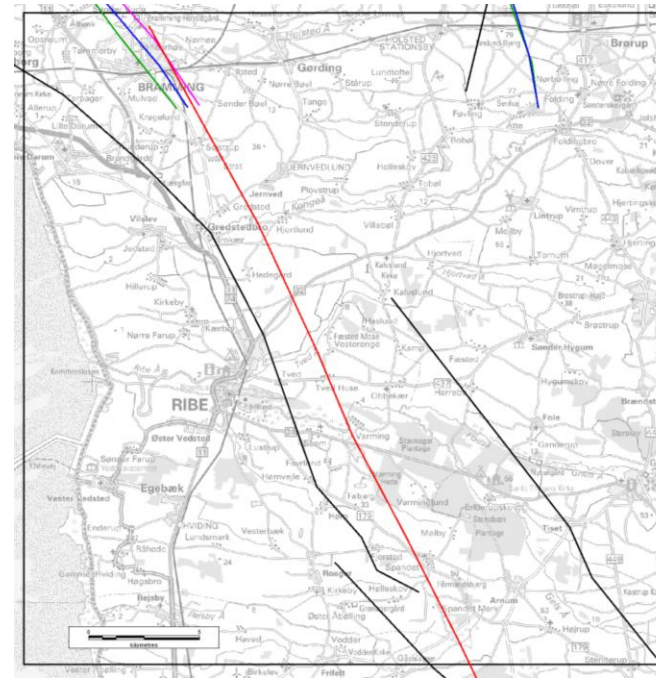
## Deformationer

- Ingen hill/hole par
- Ingen tydelige randmoræner
- Regelmæssige deformationer (set i optimale tværsnit)
- Hele lagserien og terrænet er deformeret
- Lineamenter i terræn og overfladenær geologi matcher med kendte dybe forkastninger
- Arbejdshypotese: Bevægelser langs dybe forkastninger

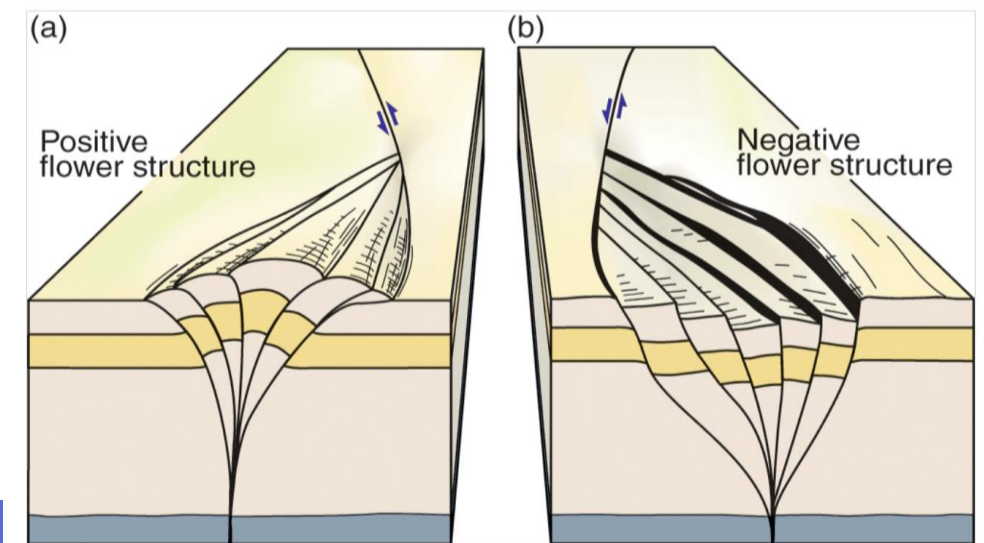
## Timingen

- Deformationer helt til terræn
- Mindre grad af deformationer af kvartæret sammenlignet med prækvartæret
- Bevægelser på forskellige tidspunkter i post Miocæn

Work in progress!



Efter Sandersen & Jørgensen (2015)



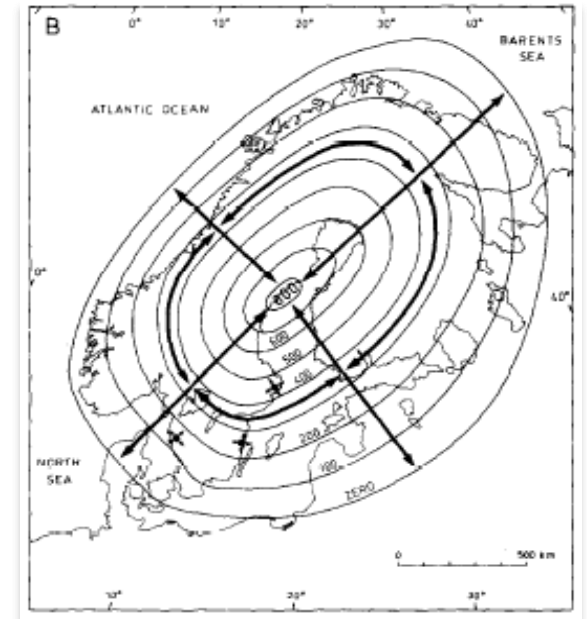
Fossen (2016)

Hvilken mekanisme ligger bag?

# Tektonisk indflydelse på terræn og lagserie

## Observationer

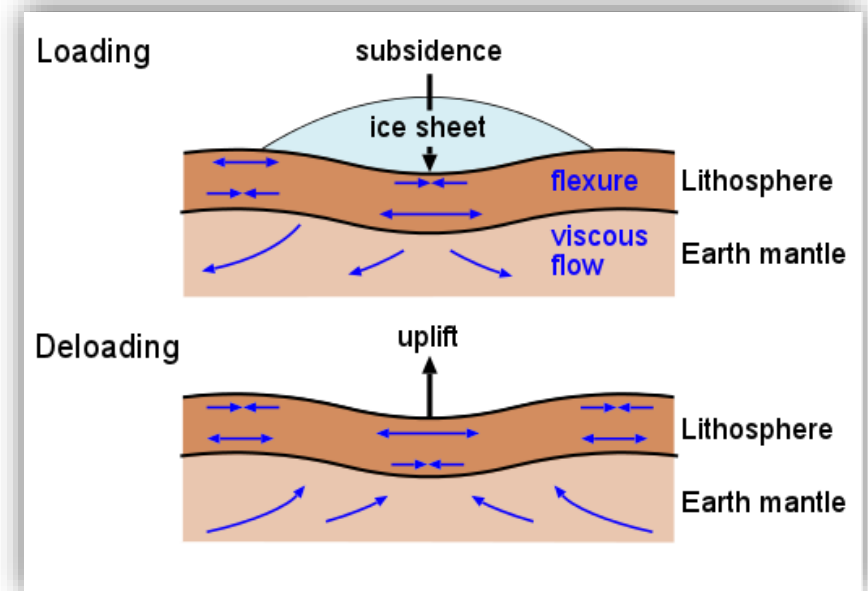
- De tektoniske rammer reflekteres i orienteringerne af:
  - 1) erosionsdalene i det nuværende terræn
  - 2) andre terrænformer
  - 3) de begravede dale
  - 4) lagserien
- Deformationerne er tilsyneladende sket gennem hele kvartæret



Mörner 1991

## Dannelsesmodel

- Be- og aflastninger fra istidernes iskapper skaber vertikale og horisontale stress-varianter
- Gamle forkastningssystemer reaktiveres, når iskappen forsvinder
- Svage zoner dannes i sedimenterne langs forkastningerne
- Erosionsmønstrene påvirkes
- Flere nedisninger: Gentagne hændelser gennem kvartæret

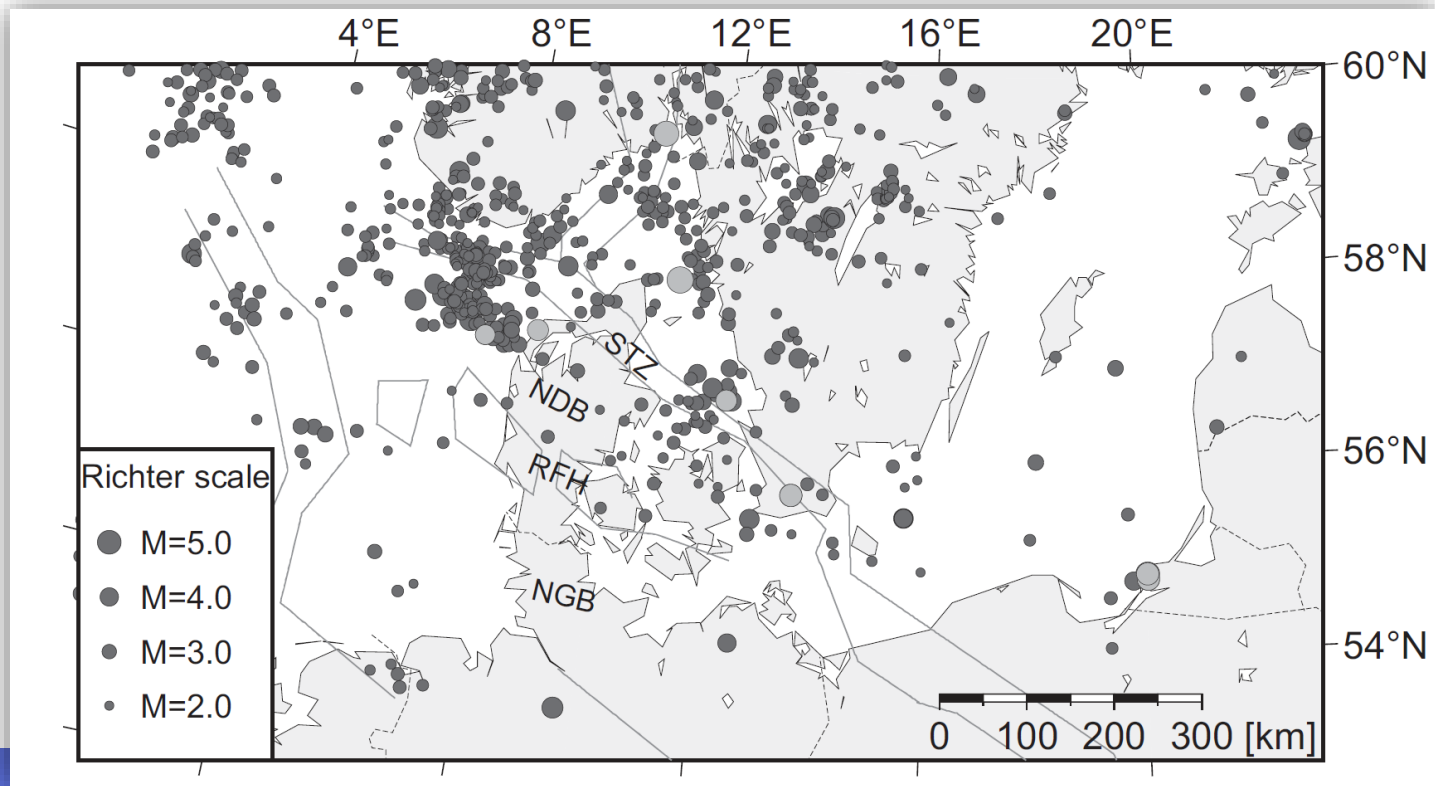


<http://www.gfz-potsdam.de/>

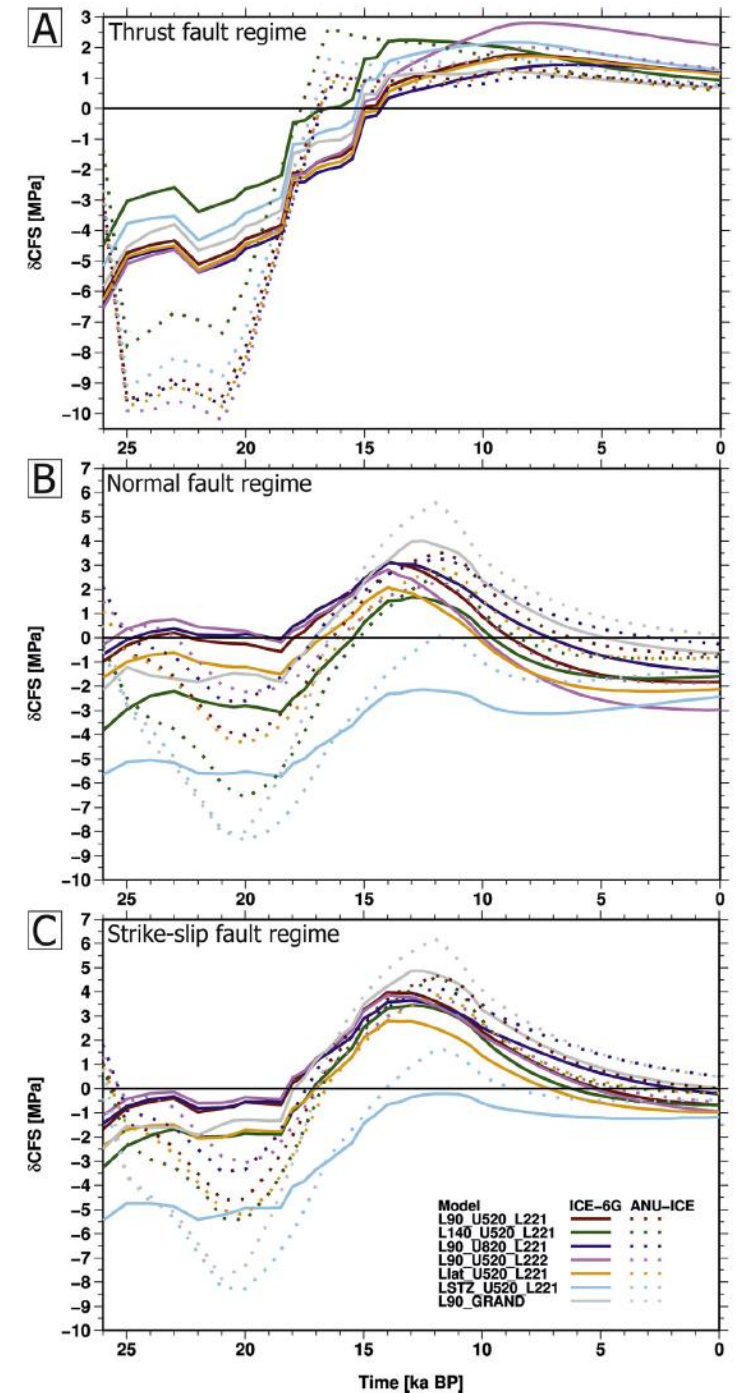


# Hvornår?

- Forkastningsaktiviteten var kraftigst ved slutningen af istiden
- Nutidens jordskælv i Danmark er beskedne
- De tektoniske pladers bevægelser dominerer stressbilledet i dag
- Kan der være sket noget i historisk tid?



Sandersen et al. (2021)



Brandes et al. (2018)

# Lapland – bevægelser i historisk tid

- Stuoragurra forkastningskomplekset (Olsen & Olesen, 2023)
  - 90 km lang
  - Maze forkastningen: 9 m revers forsætning over 42 km indikerer op til M6,9 (Richter)
  - 14C Dateringer: Yngste bevægelser: 330 til 500 år siden

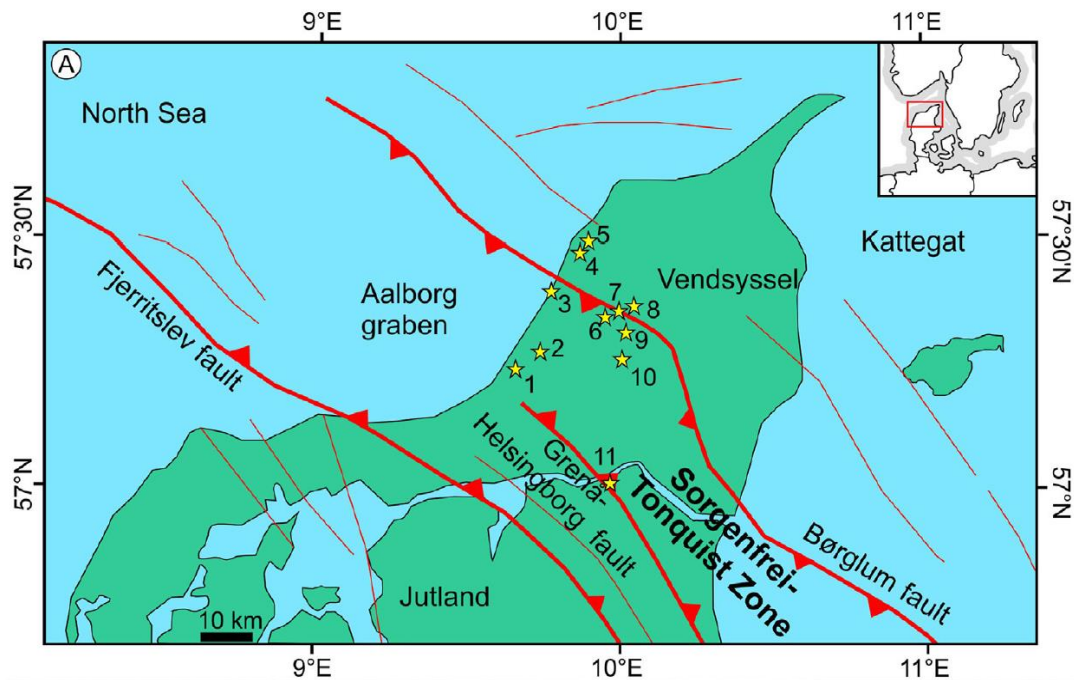


Steffen et al., 2021



Olsen & Olesen, 2023

# Nr. Lyngby – bevægelser i historisk tid?



Gaidzik & Kázmér 2023

Quaternary Science Reviews 301 (2023) 107933

Contents lists available at ScienceDirect

Quaternary Science Reviews

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/quascirev](http://www.elsevier.com/locate/quascirev)

Comment

**The Børglum fault was active in historical times.** Comment on 'The near-surface structure in the area of the Børglum fault, Sorgenfrei-Tornquist Zone, northern Denmark: Implications for fault kinematics, timing of fault activity and fault control on tunnel valley formation' by Brandes et al. [Quat. Sci. Rev. 289 (2022) 107619]

Krzysztof Gaidzik <sup>a,\*</sup>, Miklós Kázmér <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Institute of Earth Sciences, University of Silesia in Katowice, Będzińska 60, 41-200, Sosnowiec, Poland  
<sup>b</sup> Eötvös University, 1117 Budapest, Pázmány Péter Sétány 1/c, Hungary

ARTICLE INFO

Article history:  
 Received 7 December 2022  
 Received in revised form 14 December 2022  
 Accepted 19 December 2022  
 Available online xxx

Handling Editor: Dr C. O'CoFaigh

ABSTRACT

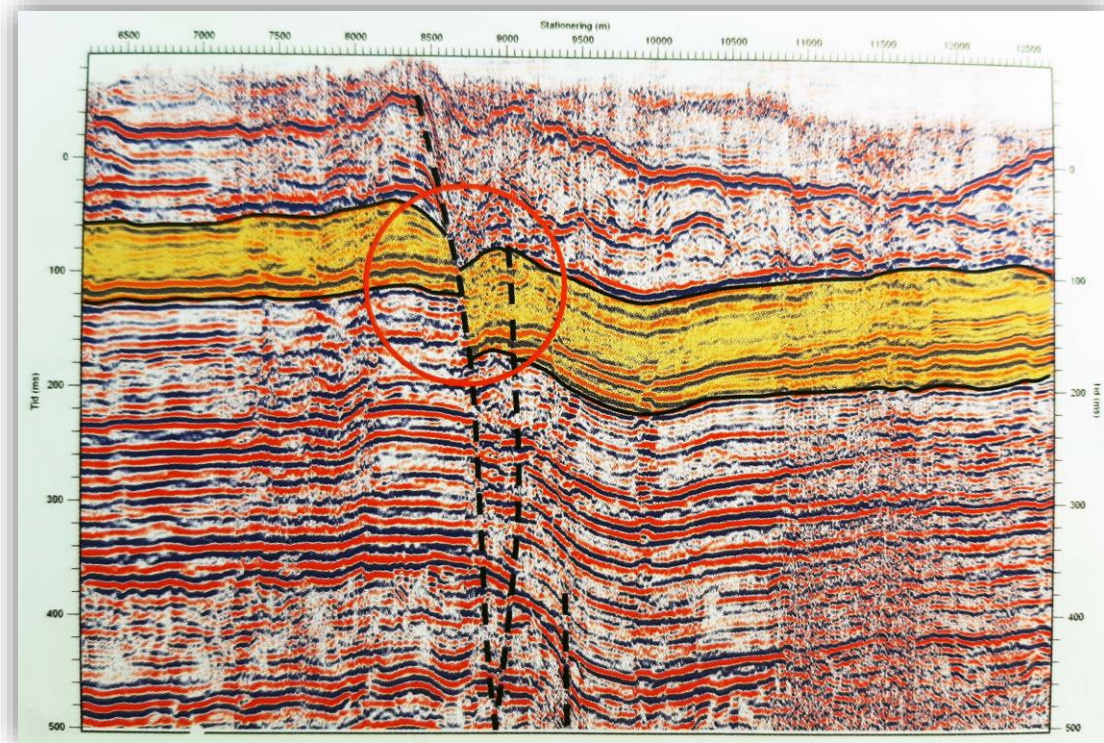
Brandes et al. (2022) provided a detailed study of the Børglum fault, a branch of the Sorgenfrei-Tornquist Zone, in northern Denmark, based on seismic profiles, borehole, and outcrop data. They suggest that the last fault displacement occurred between 14.5ka and 12ka. We wish to highlight the widespread **deformed churches in the region: their damage was caused by seismic activity in historical times (13–16th century).** Displacement along the Børglum fault, therefore, did not cease before the Holocene but rather has been active at least up to the 16th century.

© 2022 Elsevier Ltd. All rights reserved.

- *"Bevægelser langs Børglumforkastningen stoppede derfor ikke før holocænet, men har i stedet været aktiv helt op til det 16. århundrede".*

# Konsekvenser af forkastningsaktiviteten?

- **Geomorfologien**
  - er påvirket
- **Lagserien**
  - Lagserien brudt i stykker: 'svage zoner'
  - Foretrukne erosionsmønstre
  - Indflydelse på udbredelsen af lag
- **Dyb deponering**
  - Kan seglet påvirkes negativt?
  - Korridorer for stoftransport til overfladen?
- **Grundvandet**
  - Nedsat naturlig beskyttelse
  - Øget eller reduceret transport af grundvand langs/på tværs af forkastninger?
  - Påvirkning af grundvandets strømning?
  - De dybe grundvandsmagasiner kan være mere komplekst opbyggede en vi hidtil har troet



**Seismisk profil fra Sørvad**  
En forkastning på ca. 60 m gennemskærer Bastrupsandet (gult) i den markerede cirkel og skaber en magasinafsnøring

(Olsen et al. 2004)

# Konklusioner

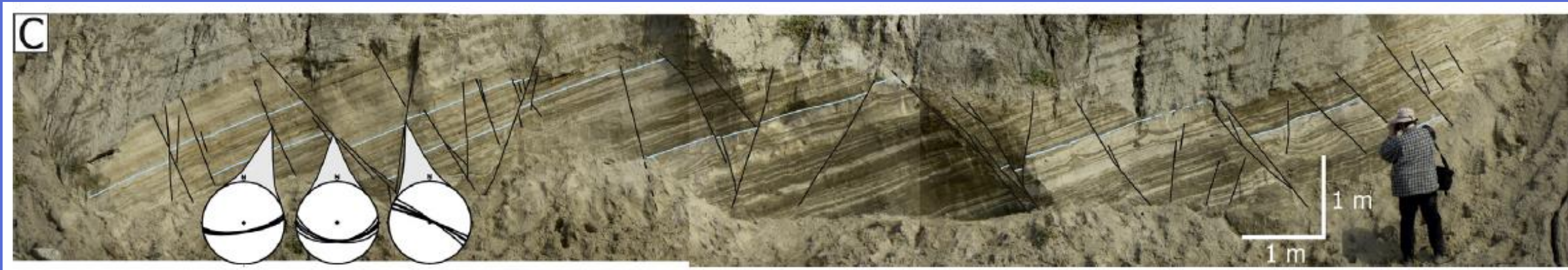
## Tektoniske forstyrrelser og årsagen til disse

- Tektoniske forstyrrelser af topografi og lagserie
- Årsag: Be- og aflastningen fra istidernes iskapper
- Vertikal og horisontal stress, som involverer den øvre del af kappen
- Reaktivering af dybe forkastninger
- Den tektoniske aktivitet toppe i senglacial/tidlig postglacial – men sandsynligvis aktivitet senere endnu!

## Hvad kan vi bruge denne viden til?

- Viden om reaktivering dybe forkastninger kan bruges ved undersøgelser af overfladenær geologi *og vice versa*
- Nye værktøjer i den traditionelle kvartærgeologiske værktøjskasse giver nye tolkningsmuligheder
- Marine flader og hedesletter er gode studieområder!
- Konsekvenser for grundvandets sårbarhed og strømningsveje
- Mere 'vertikal tænkning'! 😊





Tak for jeres opmærksomhed!