



Hebungen, Senkungen und Eiszeitliche Auswirkungen auf den Untergrund

Kernbotschaften

- Zahlreiche und unabhängige wissenschaftliche Studien belegen die Überprägung des Erdbodens und tiefen Untergrundes (u.a.) von Nordeuropa und dem Alpenraum im Zuge der Eiszeiten.
- Die wirkenden Prozesse sind konzeptuell beschrieben, quantifizierende Studien fehlen weitgehend.

Agenda

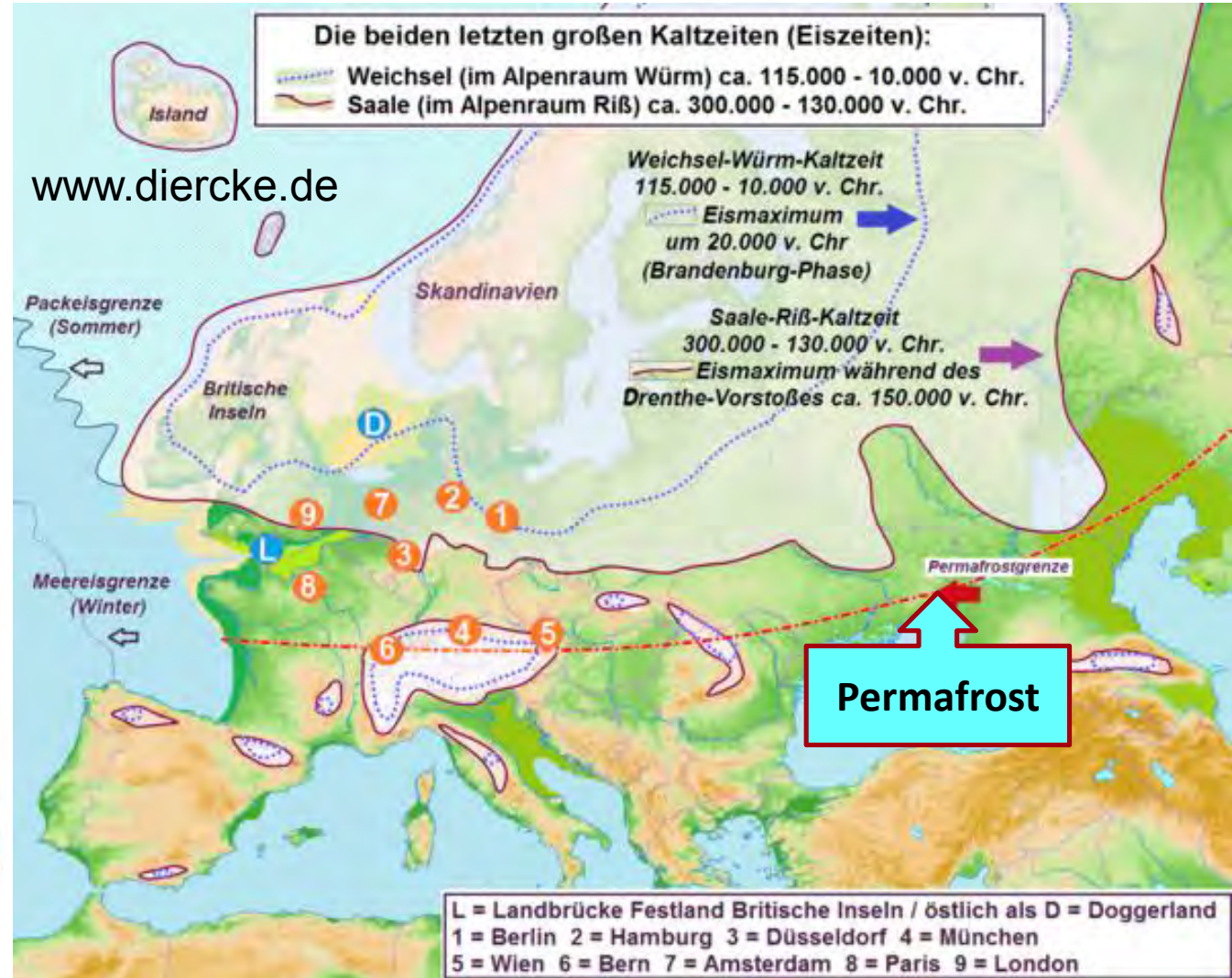
- Erderwärmung vs. Eiszeiten – **kein** Widerspruch
- Eiszeitliche Prozesse
 - Überprägung der Landoberfläche
 - Quartärrinnen
 - Aufschiebungen und Erosion
 - Eisauflast
 - Erdbeben
 - Salzbewegung
- Plattentektonik
- Flüssigkeiten und Gase
- Schlussfolgerungen

Die Eiszeiten

Letztes glaziales
 Maximum vor 18.000 Jahren

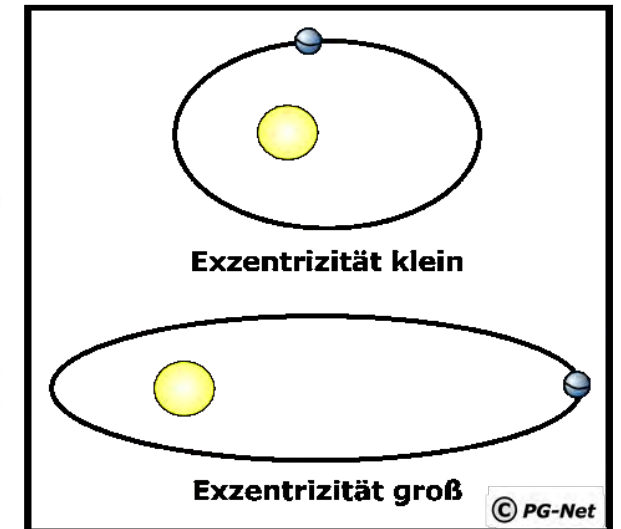
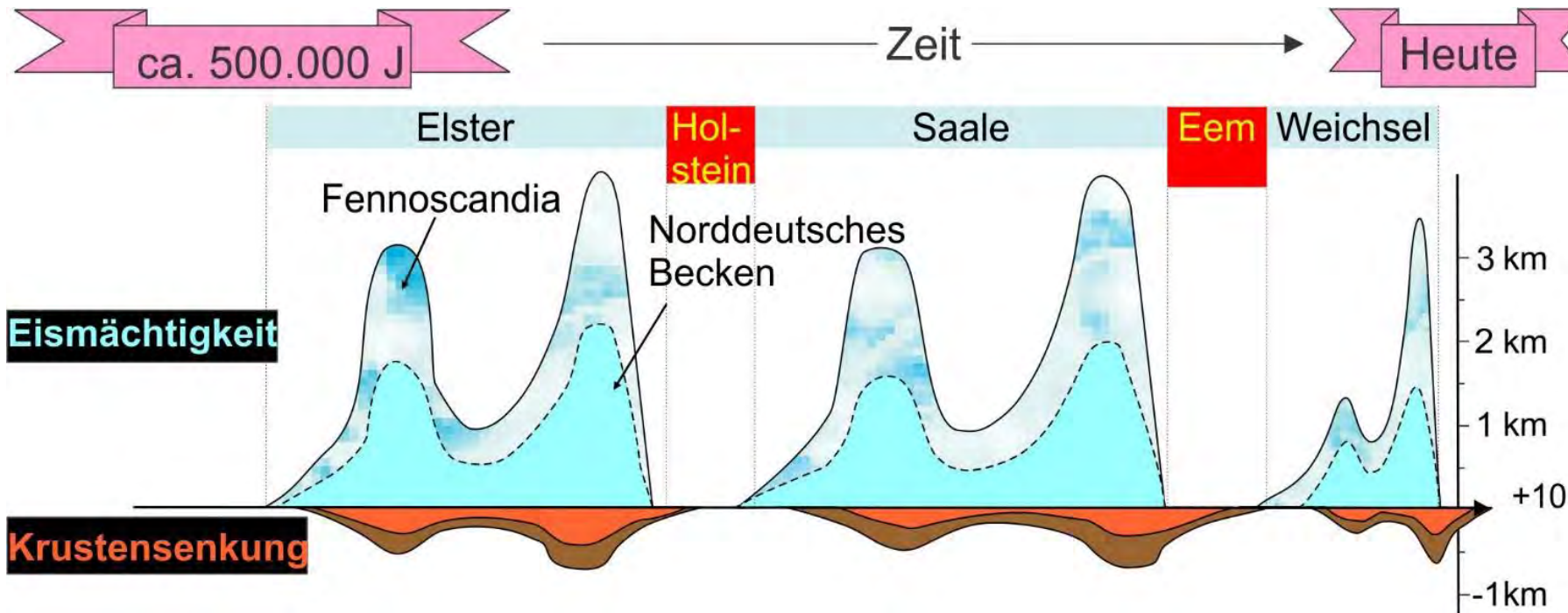


<http://web.sonoma.edu/users/f/freidel/global/372Chapt9.htm>



www.diercke.de

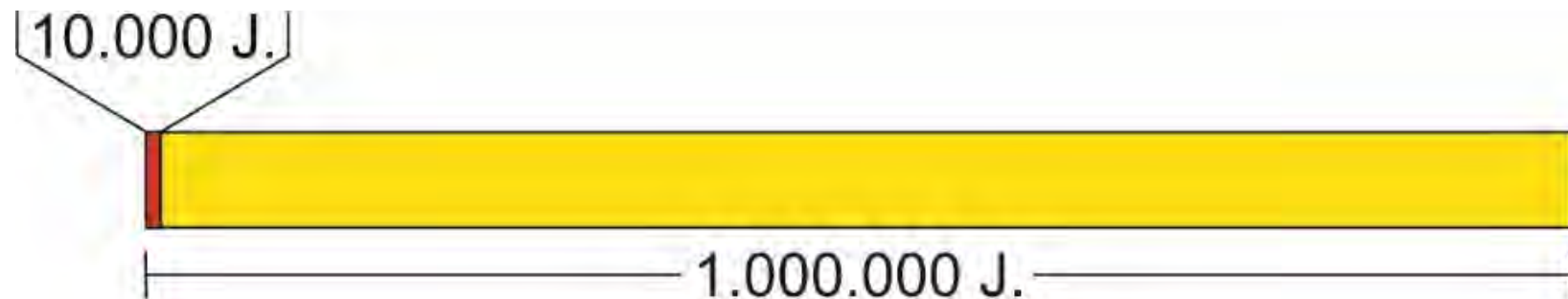
Eisauflast und Erdkrustendeformation der letzten 500.000 Jahre



Nach Reicherter et al. (2005), Stewart et al. (2000), Piotrowski (1999) und Elverhøi et al. (1993).

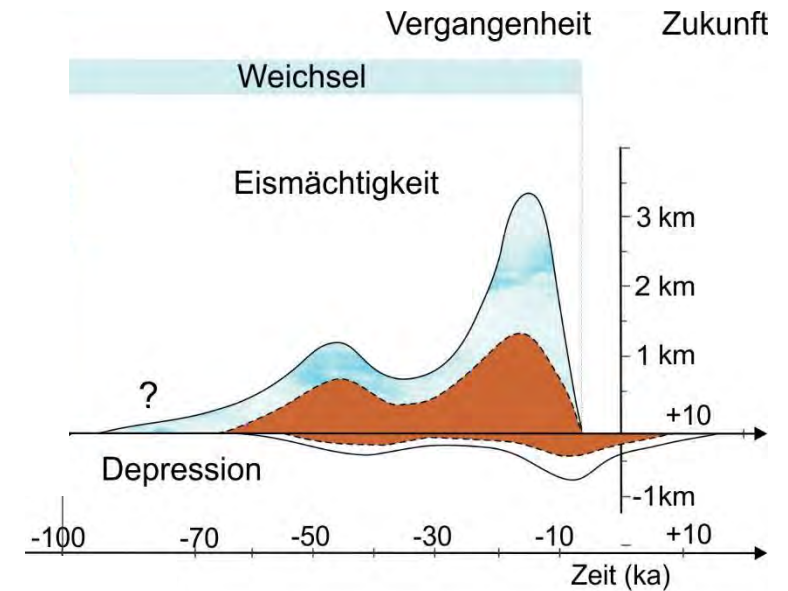
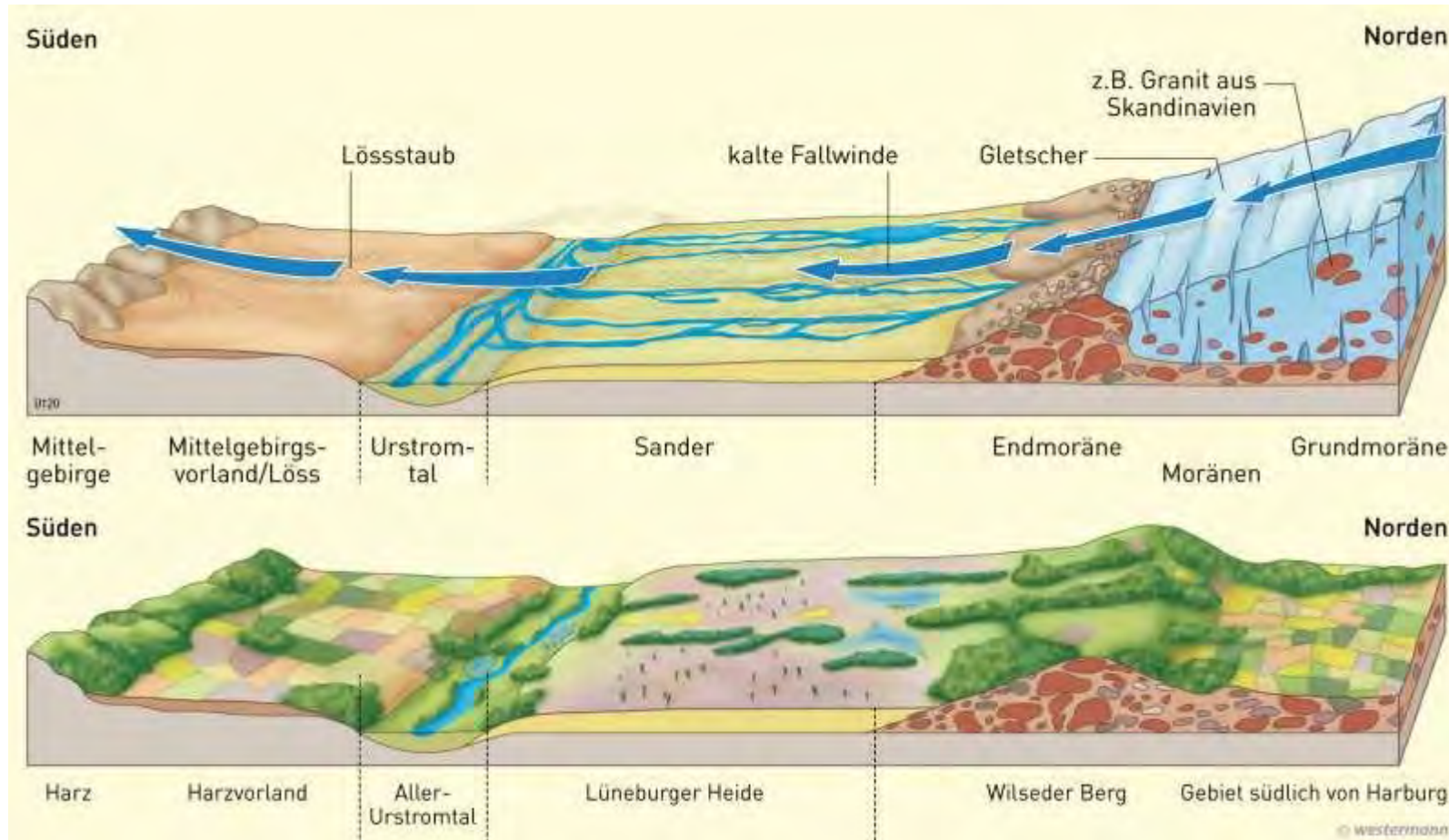
Erderwärmung und kommende Kalt-/Eiszeiten – KEIN Widerspruch!

- Wir dürfen es nicht als gegeben ansehen, dass die anthropogen verursachte Erderwärmung die durch astronomische Prozesse gesteuerten Kaltzeiten kompensiert.
- CO₂ verbleibt noch ca. 10.000 Jahre in der Atmosphäre.
- → **Kaltzeiten, und damit auch Eiszeiten kommen wieder.**
- 10.000 Jahre sind ein für die Menschheit katastrophal langer Zeitraum, repräsentieren aber lediglich 1% von 1 Millionen Jahre.



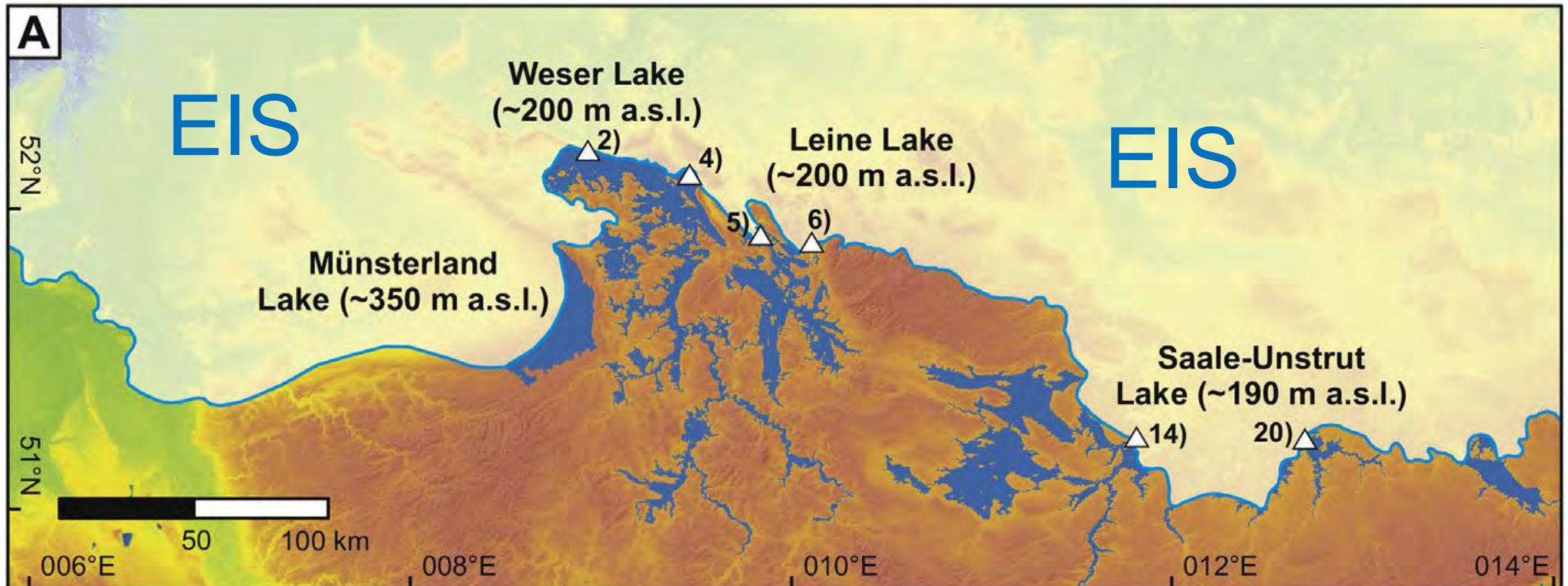
Da die Kaltzeiten durch astronomische Prozesse gesteuert werden, muss das Szenario (neben anderen) der wiederkehrenden Eiszeiten bei der Endlagersuche berücksichtigt werden.

Glaziale Überprägung der Erdoberfläche



Dauer: > 50.000 Jahre

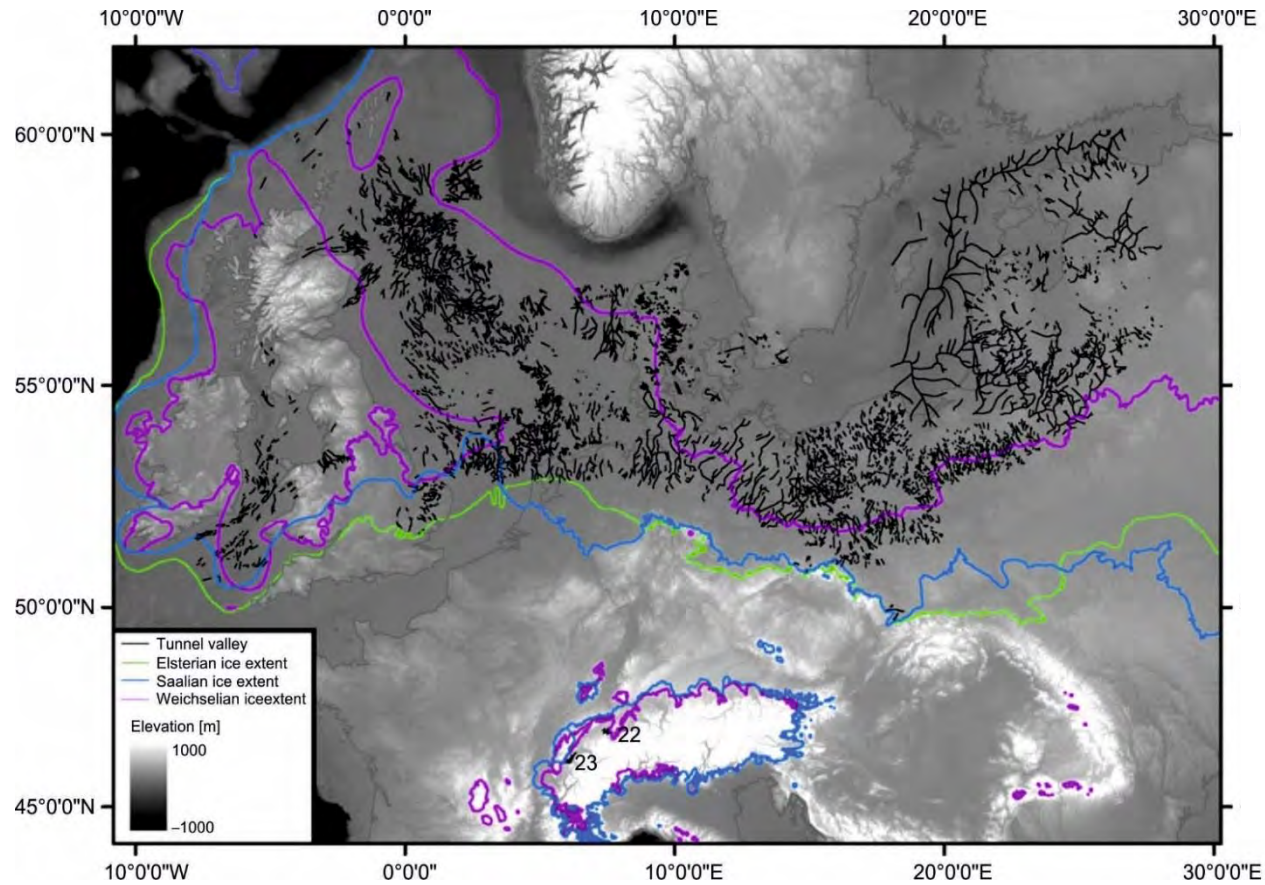
Stauseen in Eisrandlagen



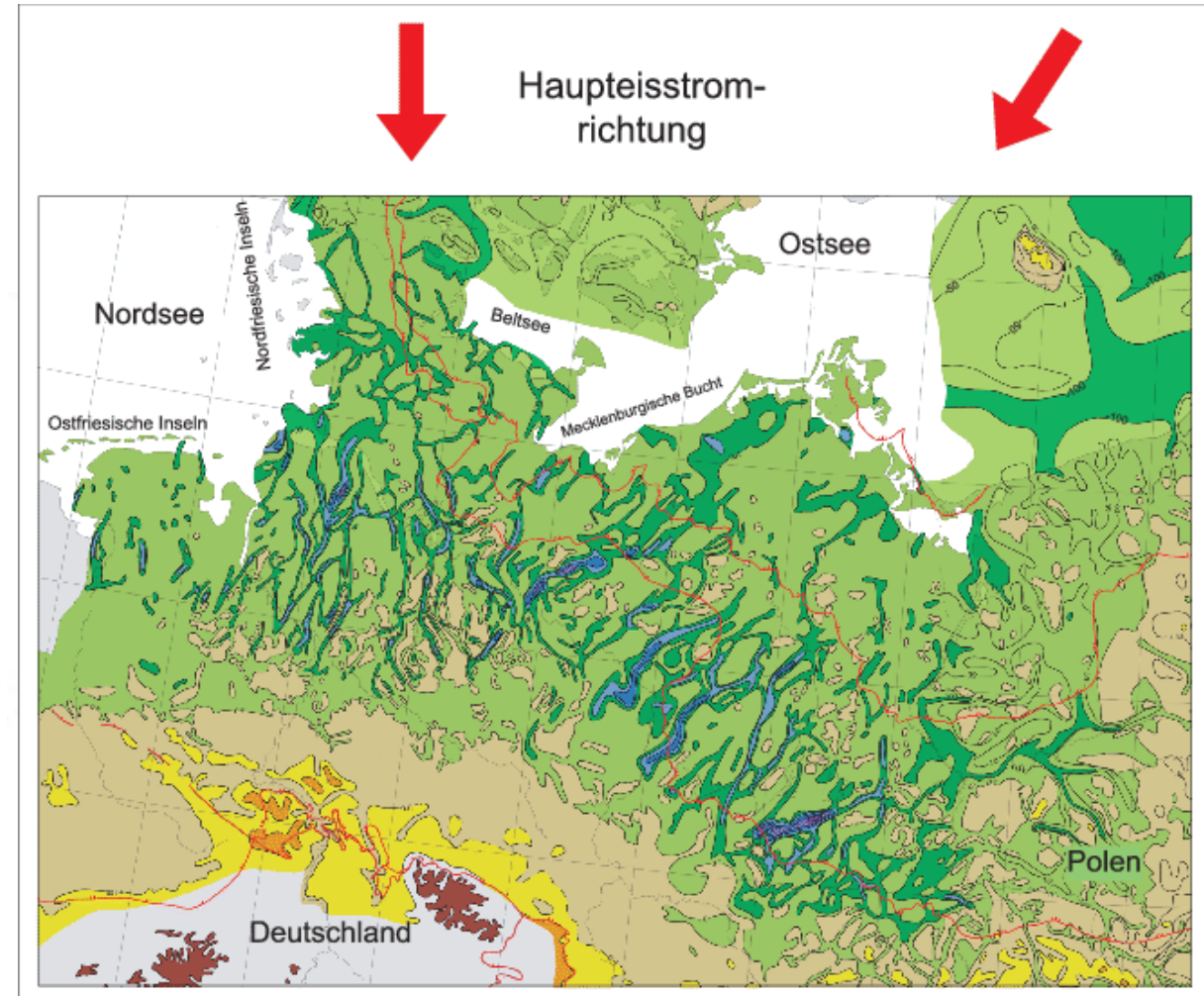
Glaziales Maximum der Saale-Eiszeit (ca. 150.000 J)

Lang et al., 2018

Unterhalb des Eises: Rinnenbildung



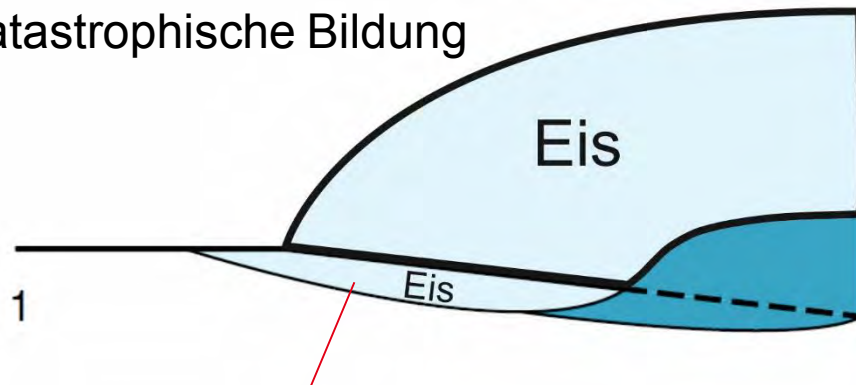
van der Vegt et al., 2012



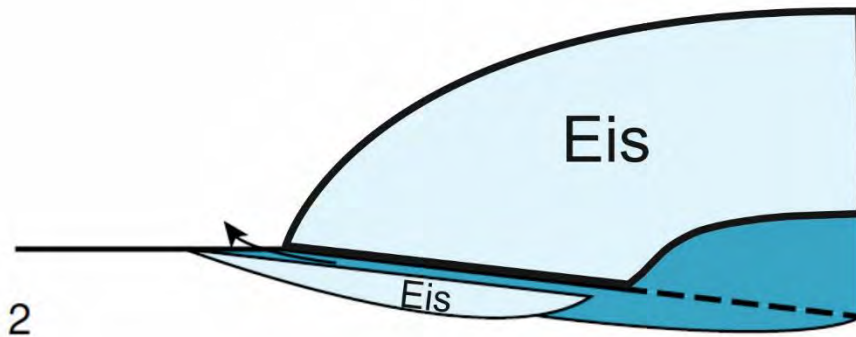
Elicki und Breitzkreuz, 2016, nach Stackebrandt 2009

Klassische Erklärungen: Rinnenbildung durch Schmelzwasser

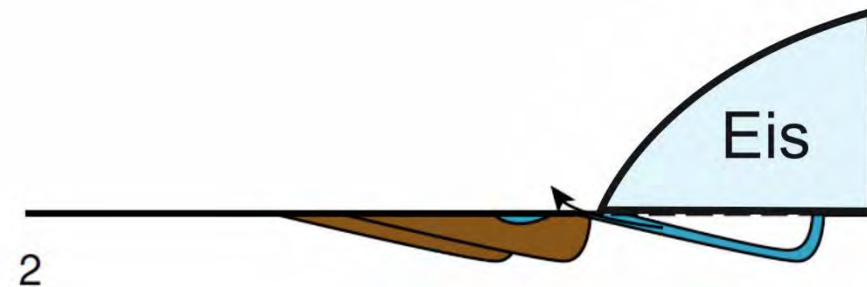
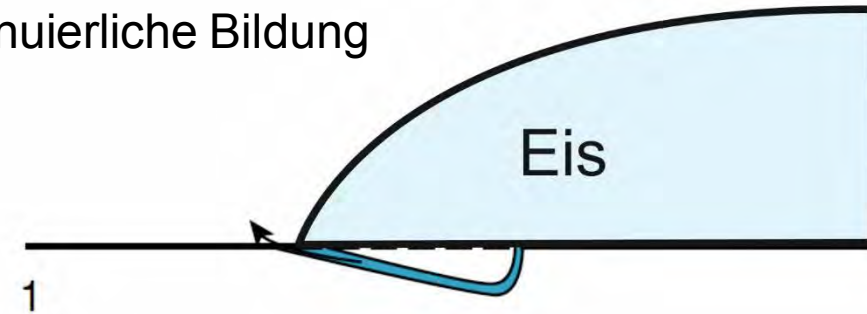
Katastrophische Bildung



Gefrorener Boden

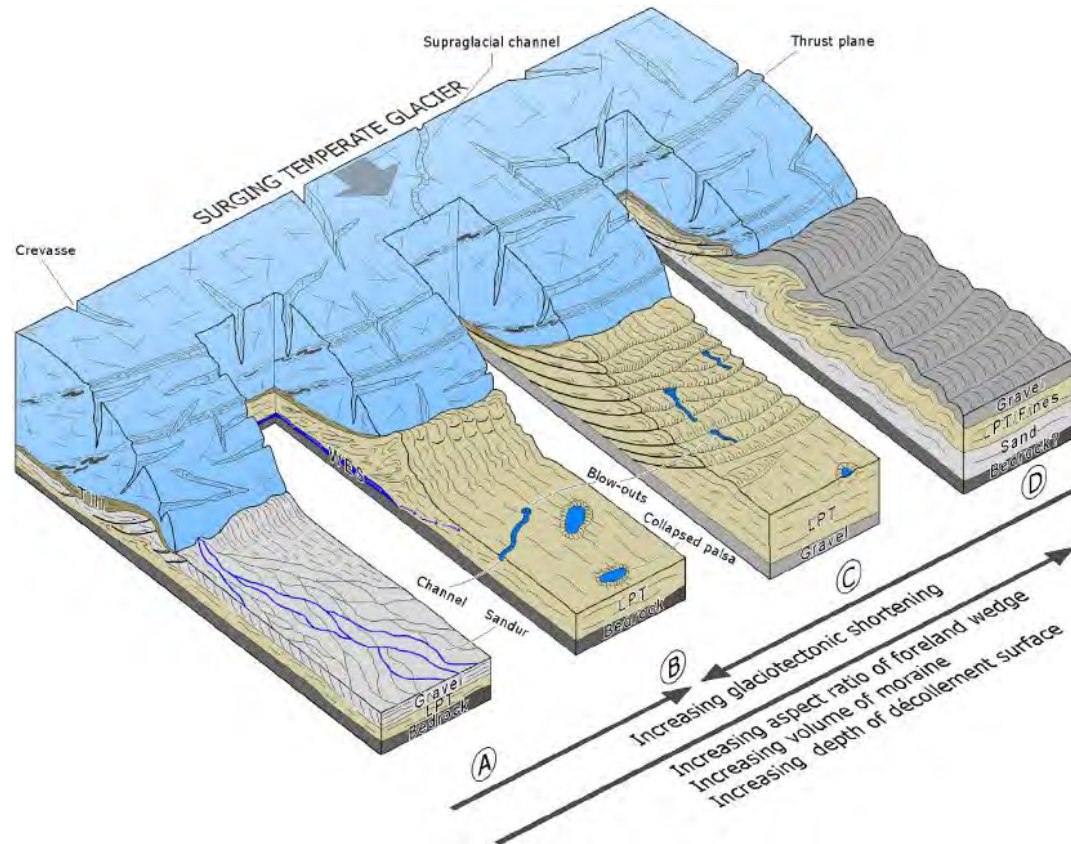


Quasi-kontinuierliche Bildung

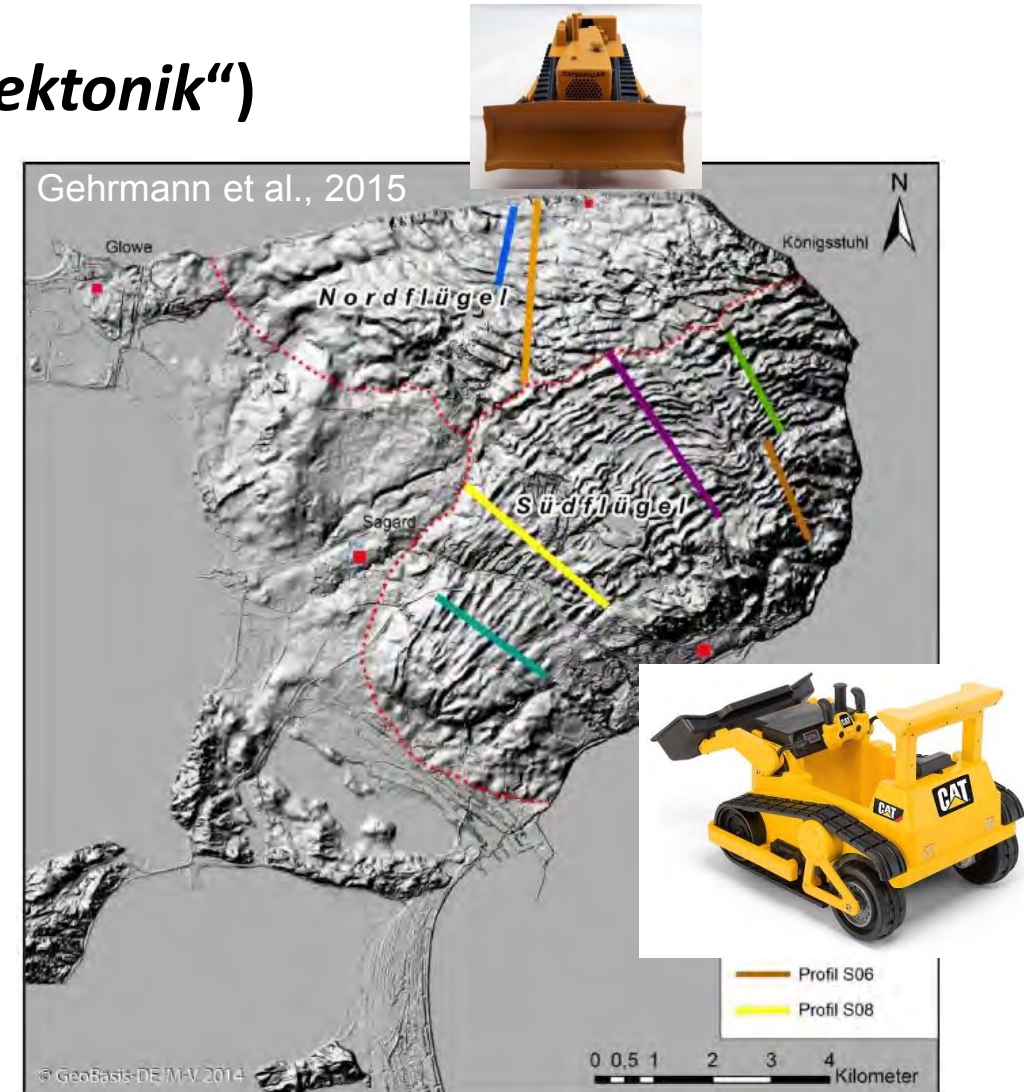


Nach van der Vegt et al., 2014

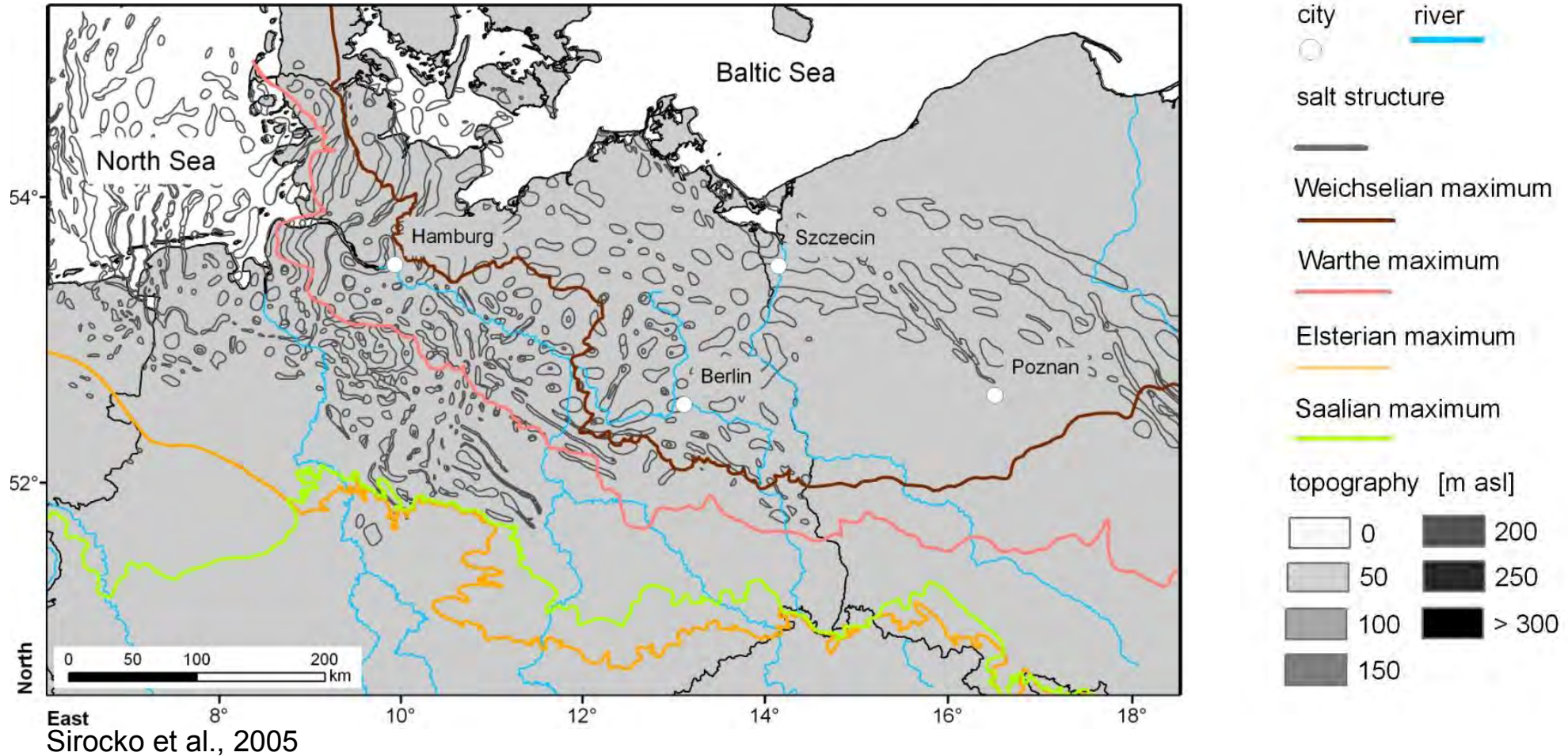
Aufschiebungen an der Gletscherfront („Glaziotektonik“)



Ingolfsson et al., 2013

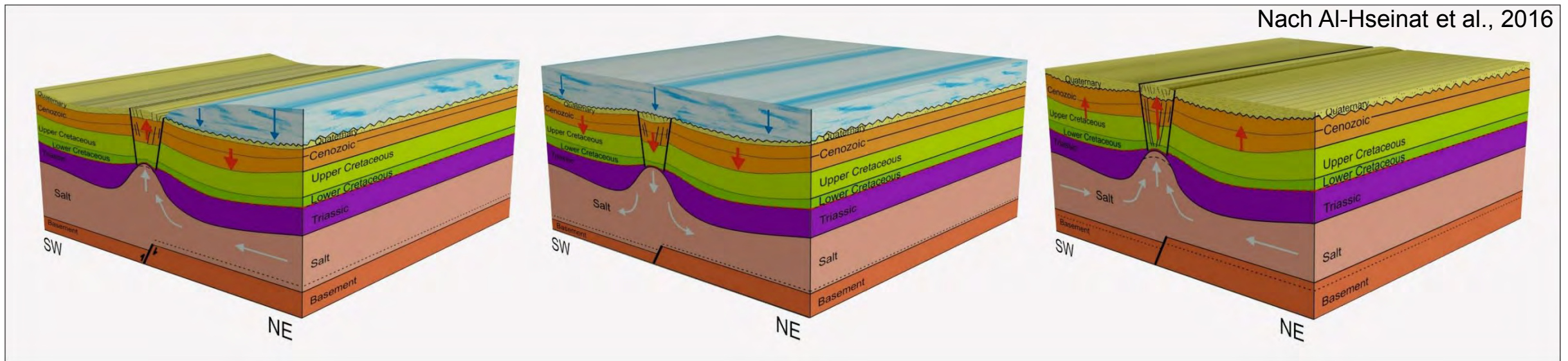


Eisrandlagen und Salzstöcke



Deformation von Salzkissen

Seitlich variierende Eisauflast mobilisiert fließfähiges Salz während des Vorrückens und Zurückweichens von Gletschern.
 Konzept numerisch verifiziert von Lang et al. (2014)



Gletscher rücken vor

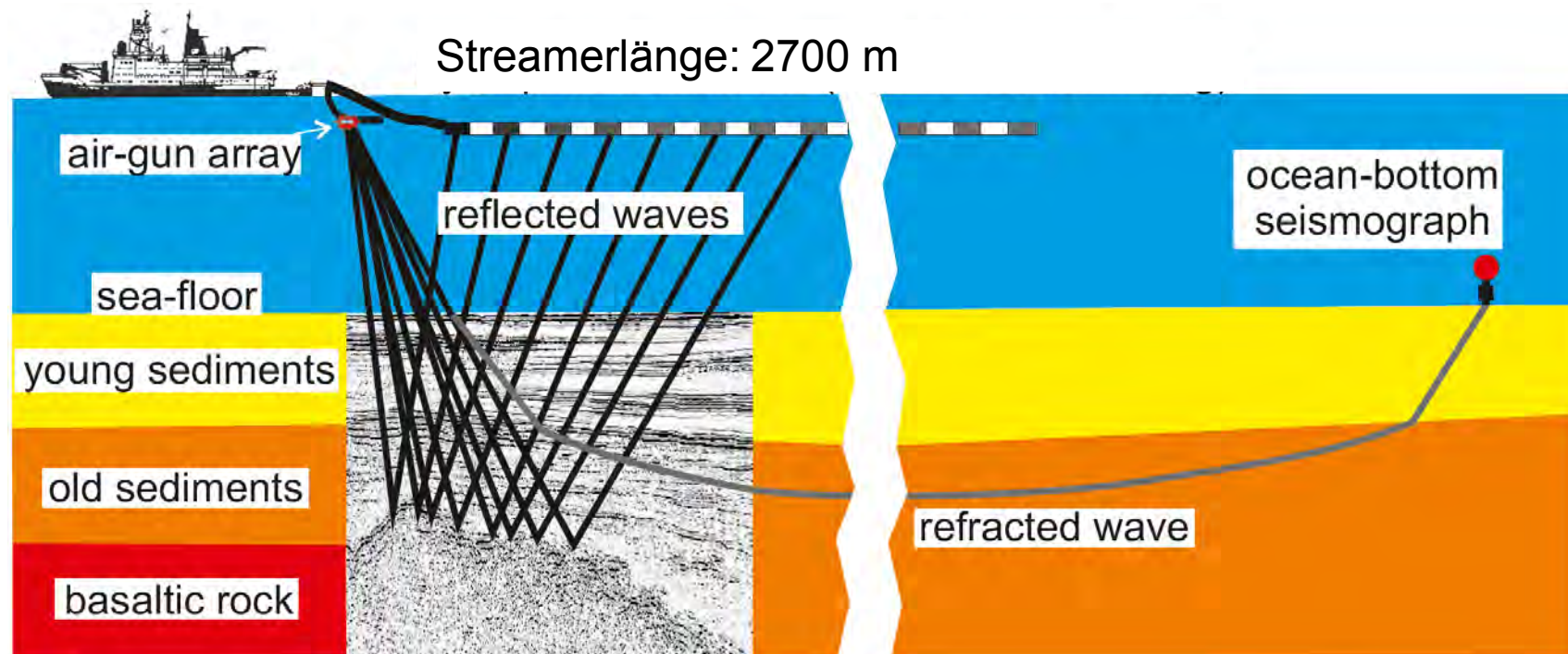


Totale Eisbedeckung



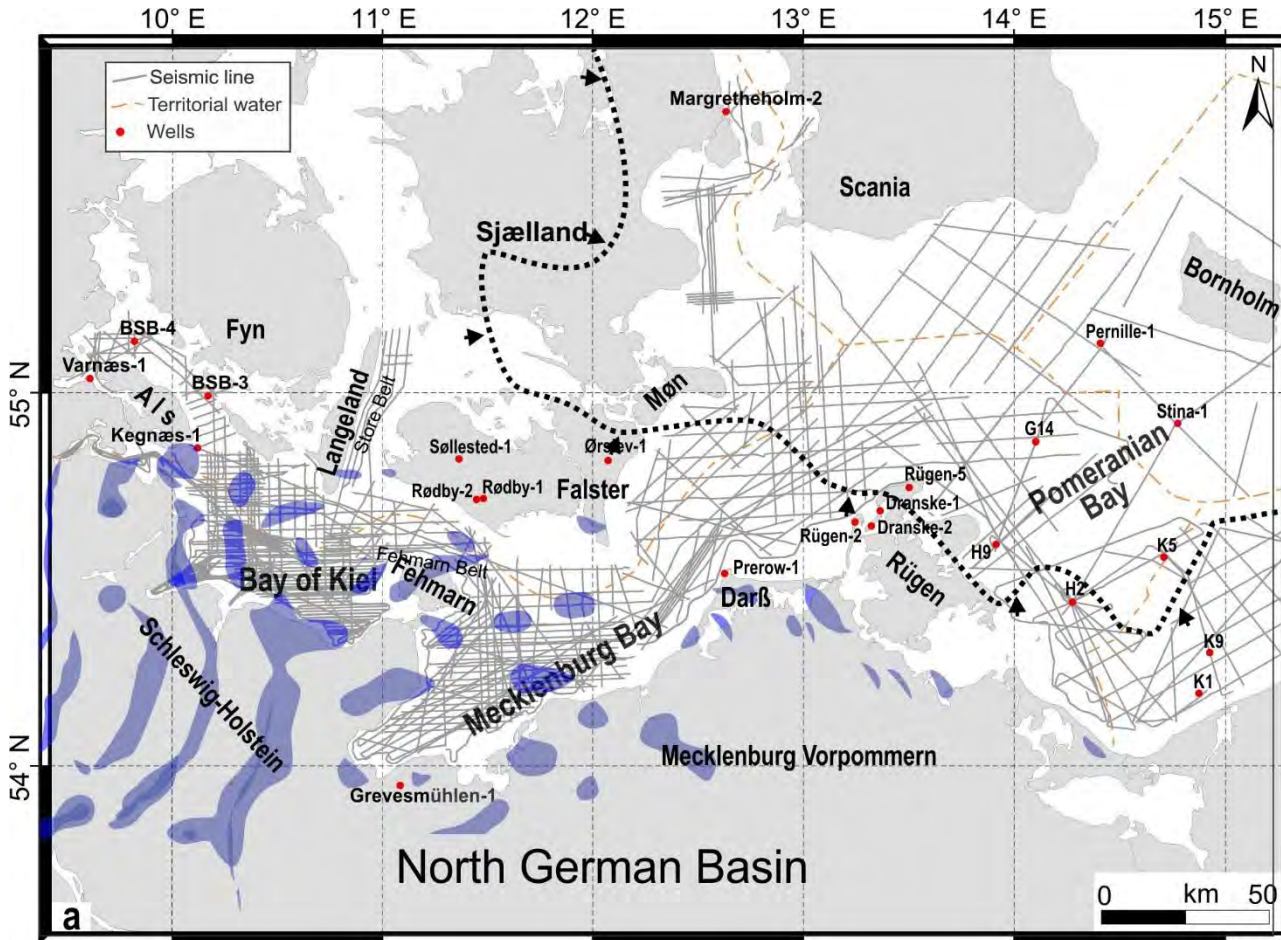
Salzaufstieg nach Abschmelzen

Exkurs: Abbildung des Untergrundes mit der seismischen Methode



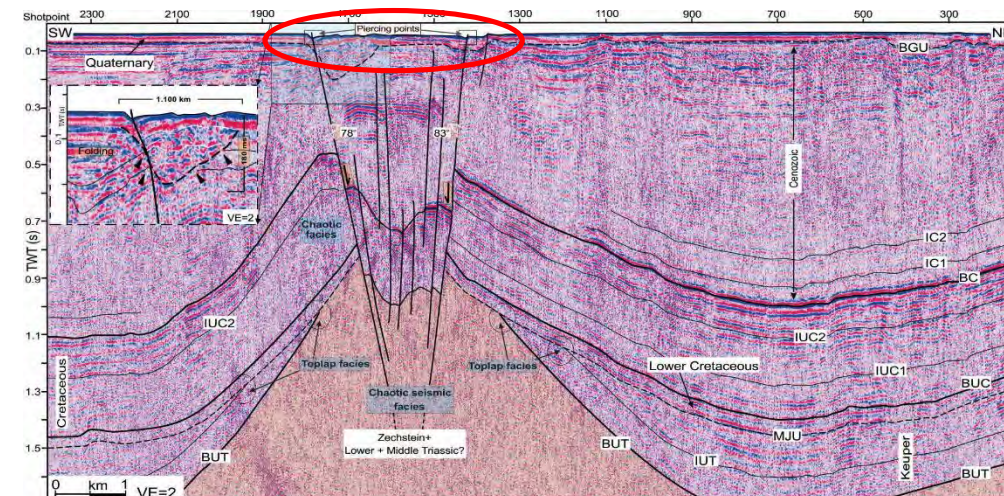
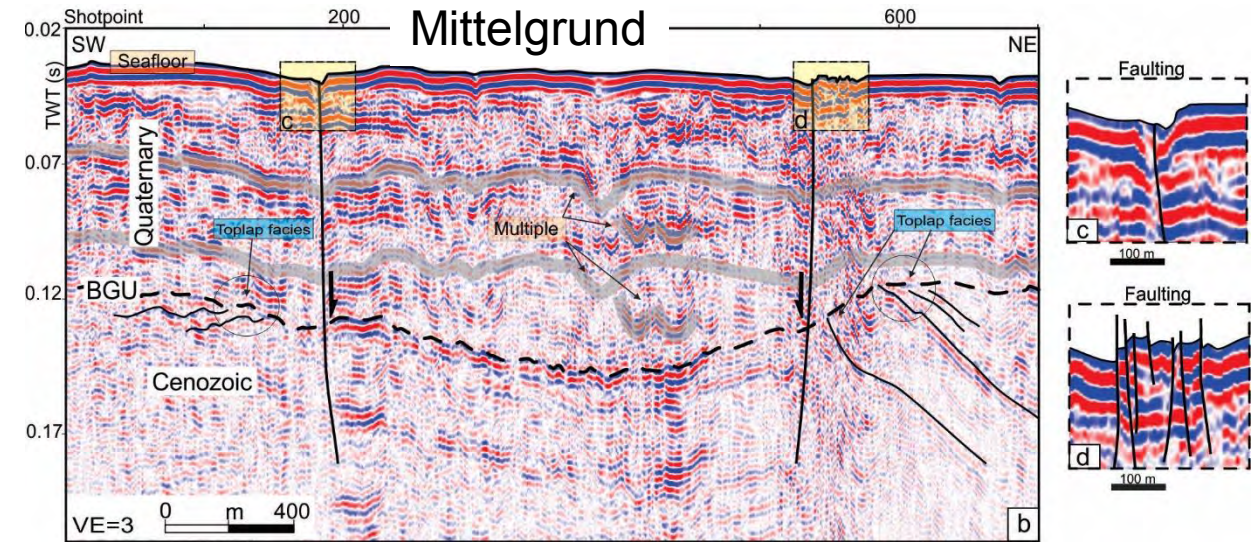
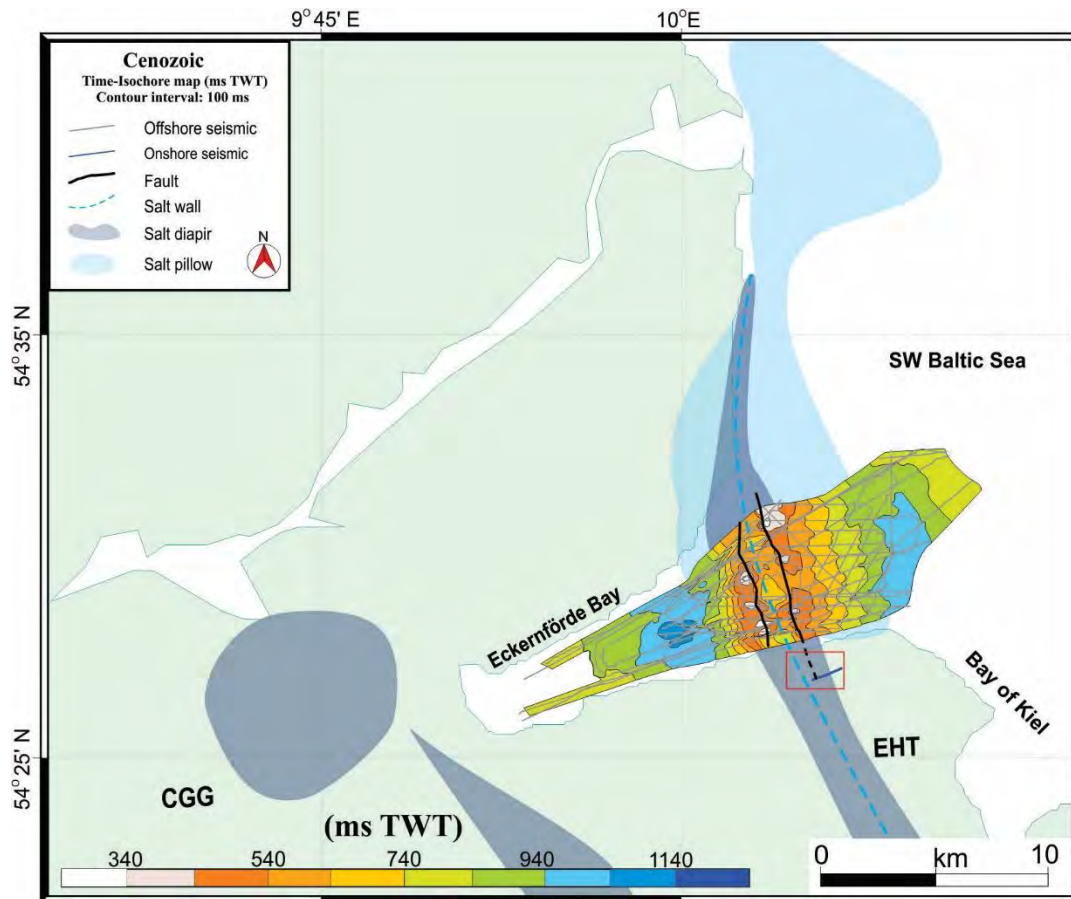
Nach Hübscher und Gohl, 2014

Das see-geophysikalische Praktikum der Universität Hamburg



Nach Al-Hseinat und Hübscher, 2017

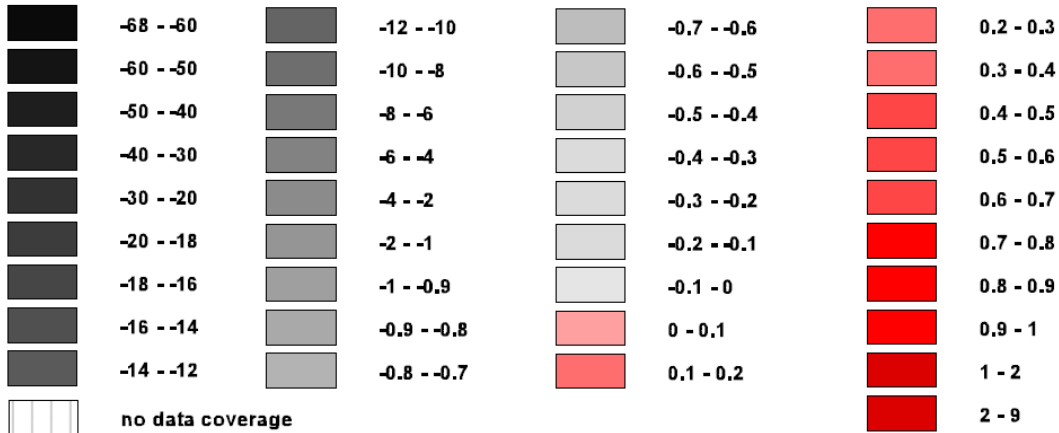
Störungsbildung oberhalb von Salzkissen




Al-Hseinat et al., 2016

Nacheiszeitliche Landhebung und Senkung

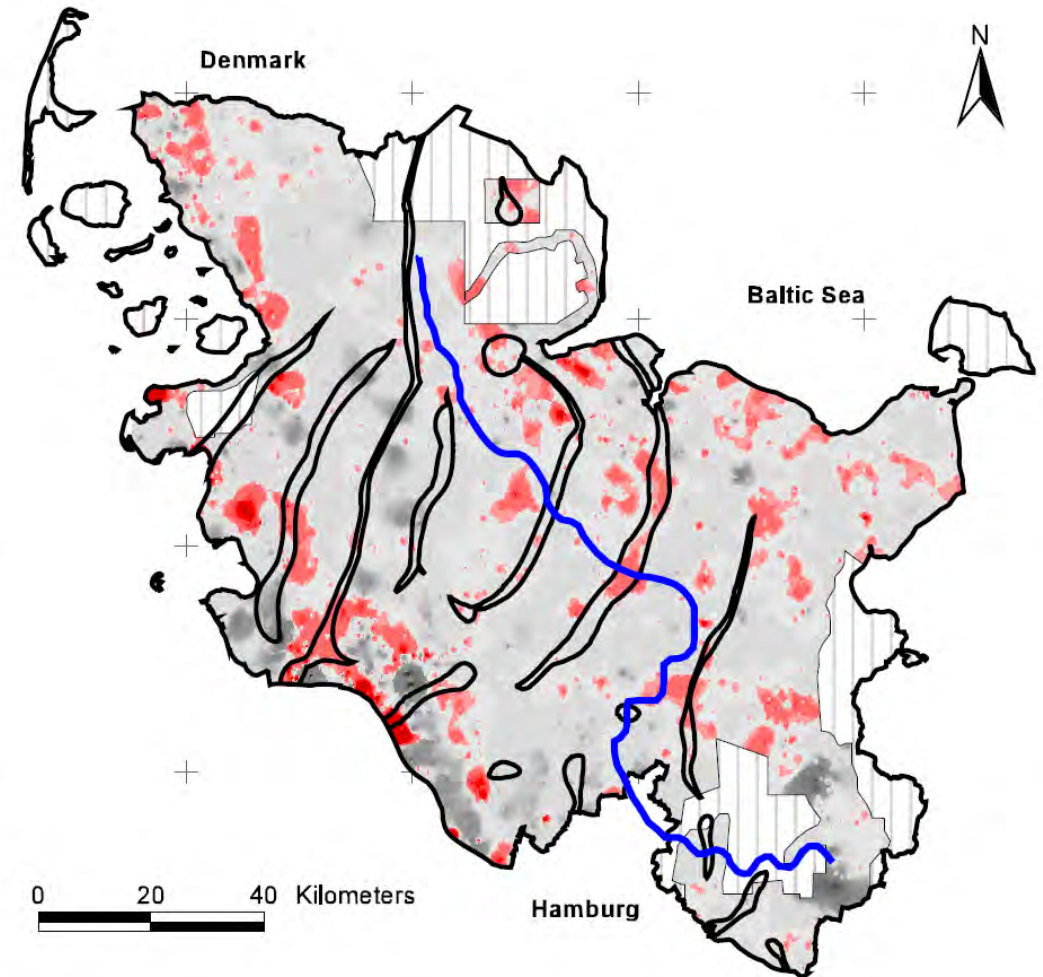
vertical movements mm/year



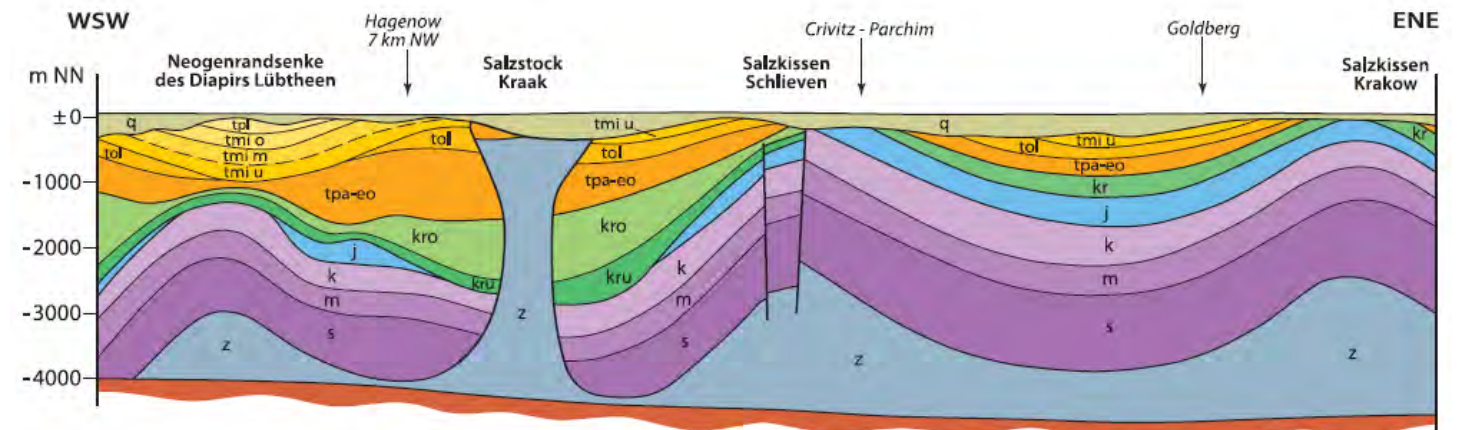
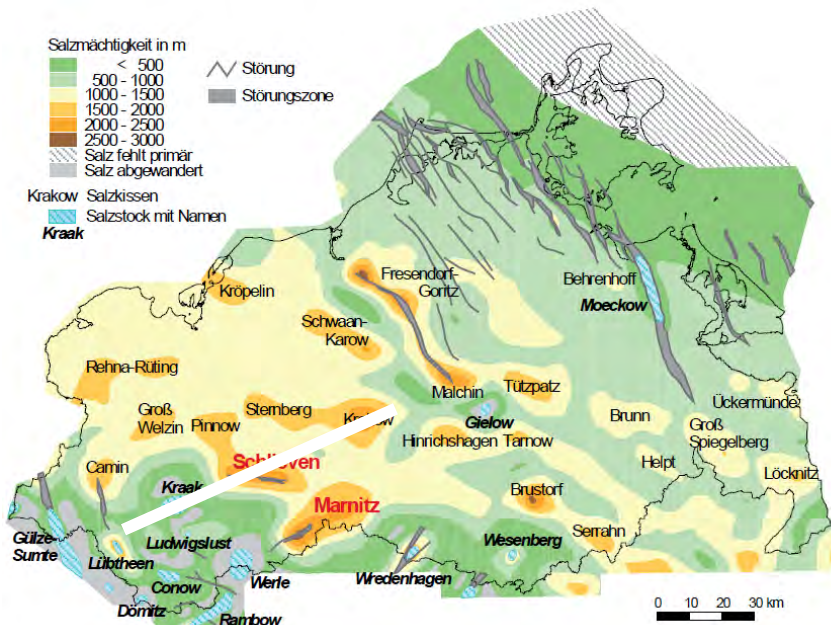
 Weichselian maximum (after Liedtke 1981)

 salt wall (after Baldschuhn et al. 2001)

Lehné und Sirocko, 2010



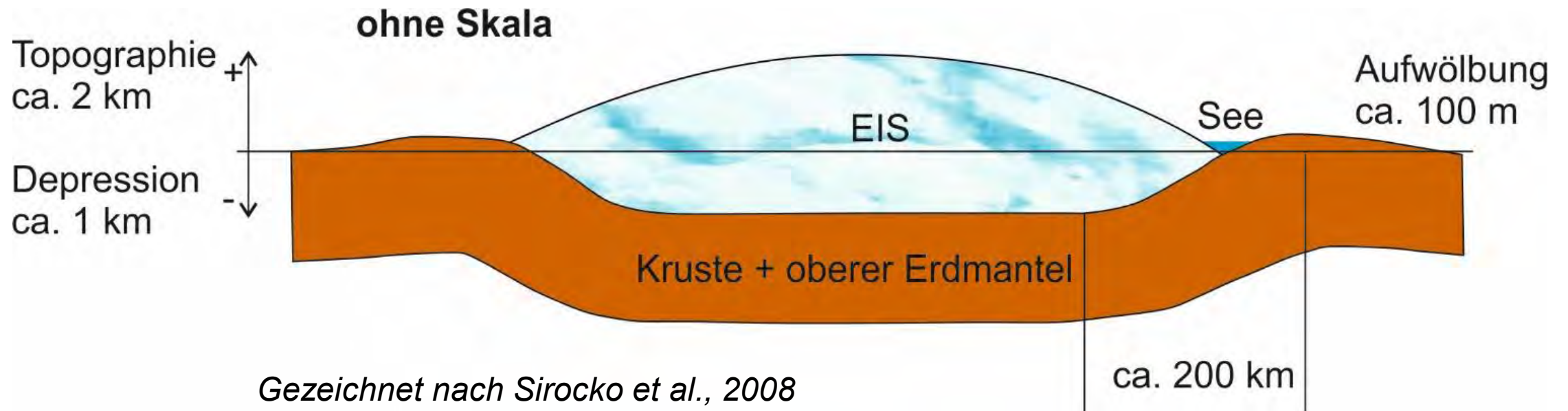
Überprägung von Salzkissen



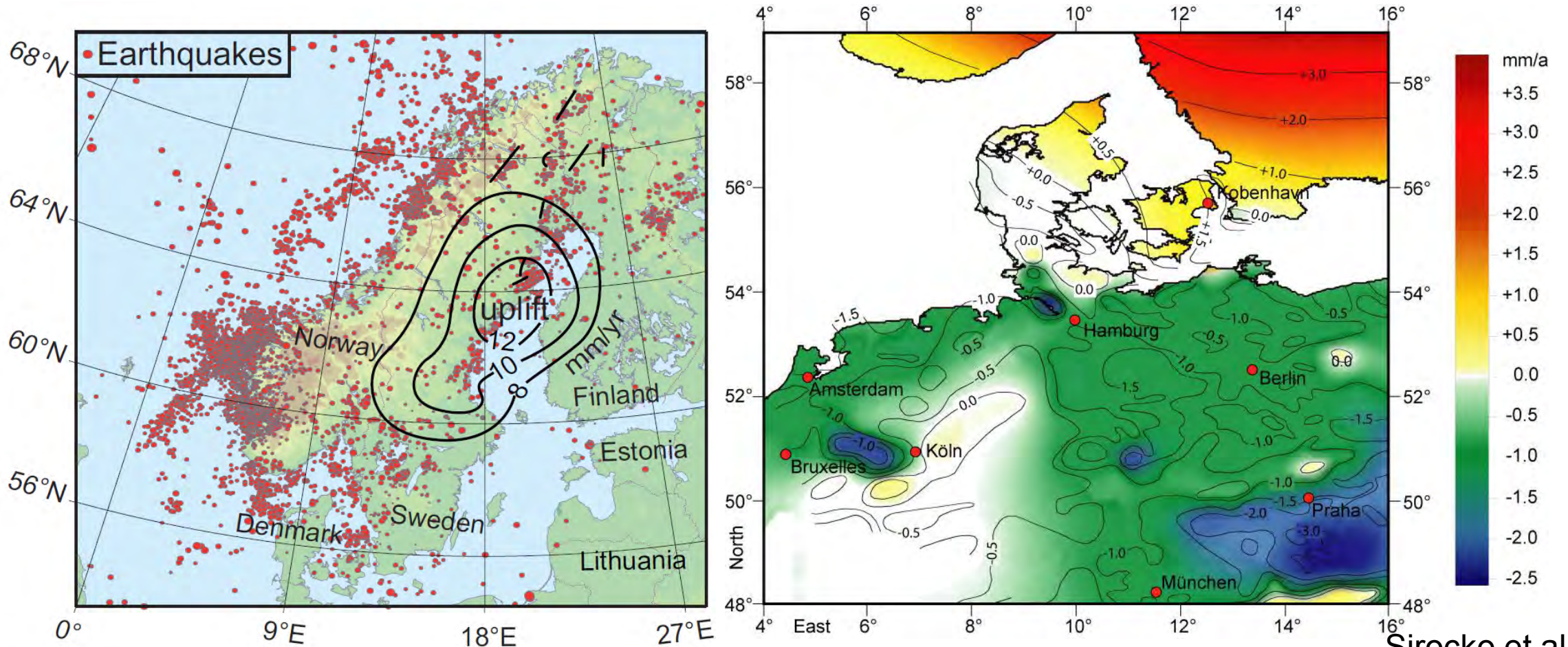
„...Schichtenfolgen ...stehen genetisch im Zusammenhang mit jungen halokinetischen, möglicherweise glazial-isostatisch induzierten Bewegungen“

Müller und Obst, 2008 (LUNG)

Eisauflast und Deformation



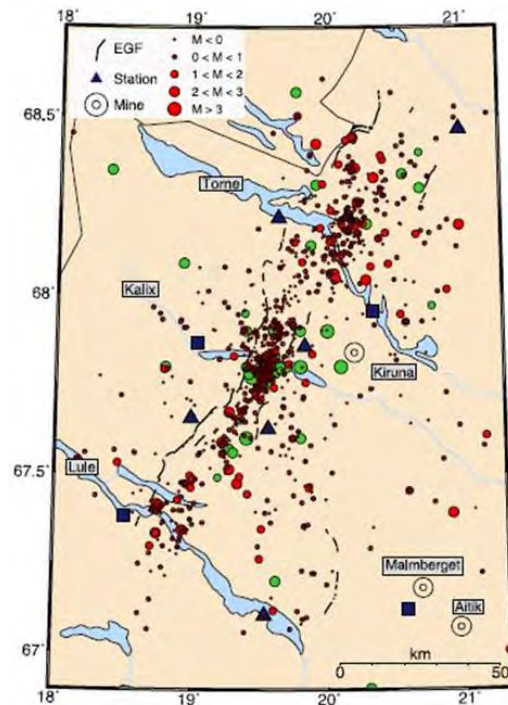
Nacheiszeitliche Hebung



Sirocko et al., 2008

Eisauflast verursachte Brüche

Sprunghöhe an der Erdoberfläche bis 30 m auf einer Länge von 155 km



Oyama
(2016)

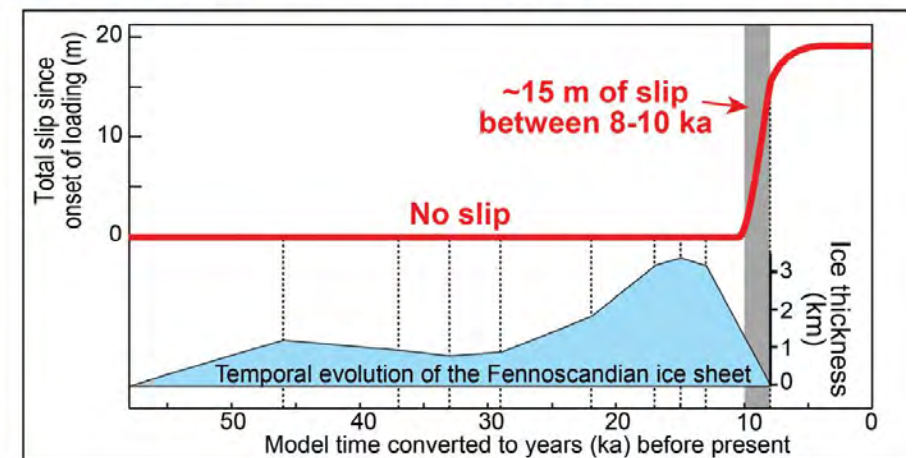
Erdbeben:

Rot:
2003-2013

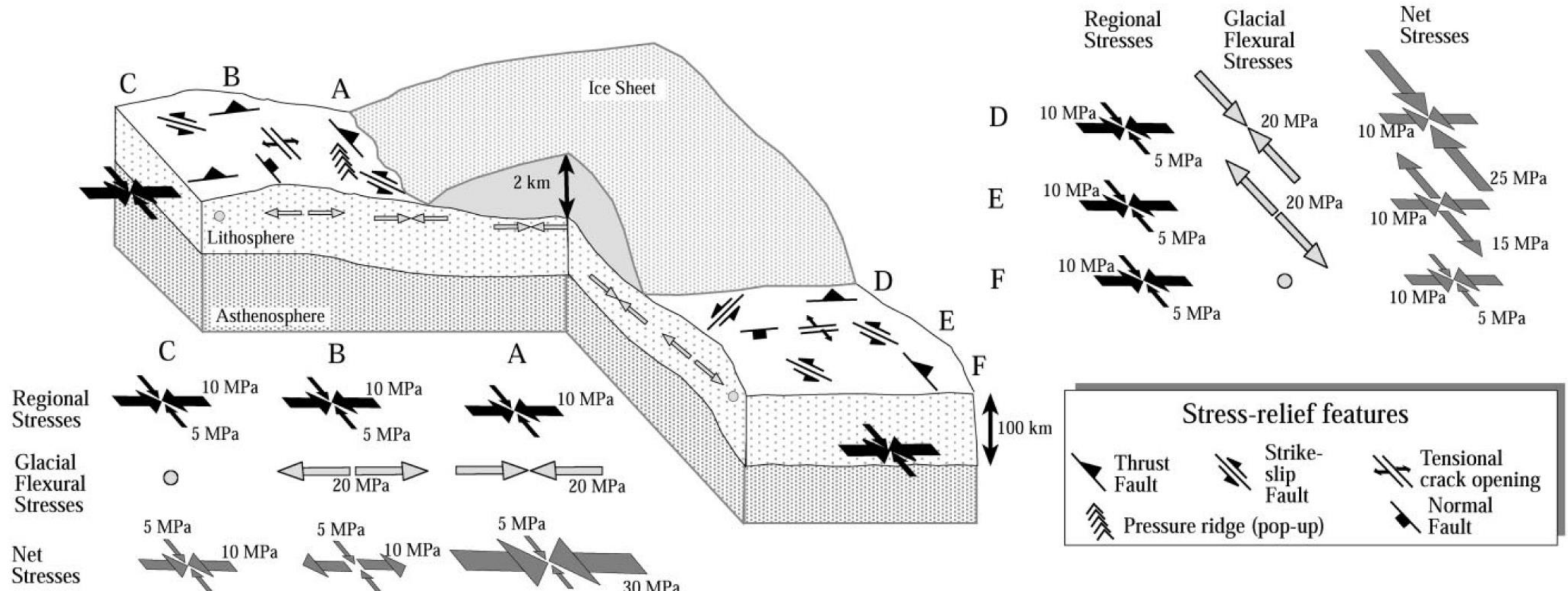
Grün:
1967-2002



Kompiliert von Hampel et al., 2017



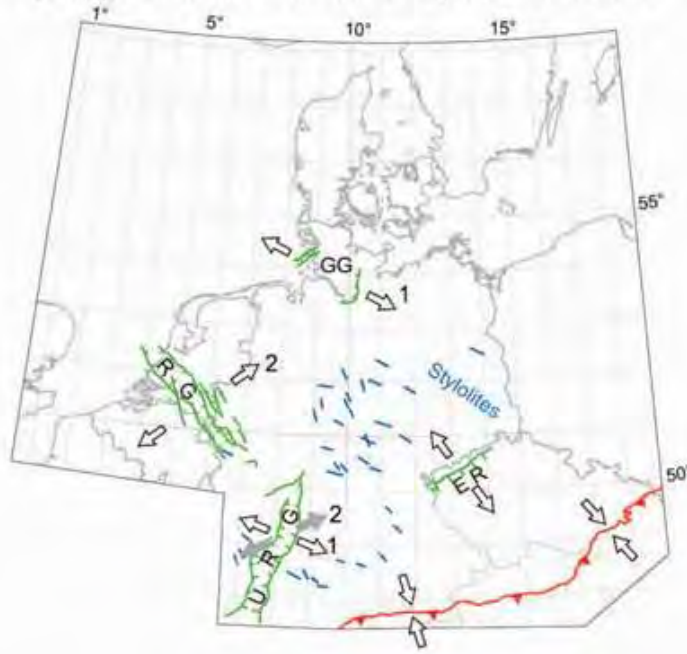
Eisauflast verursachte Brüche



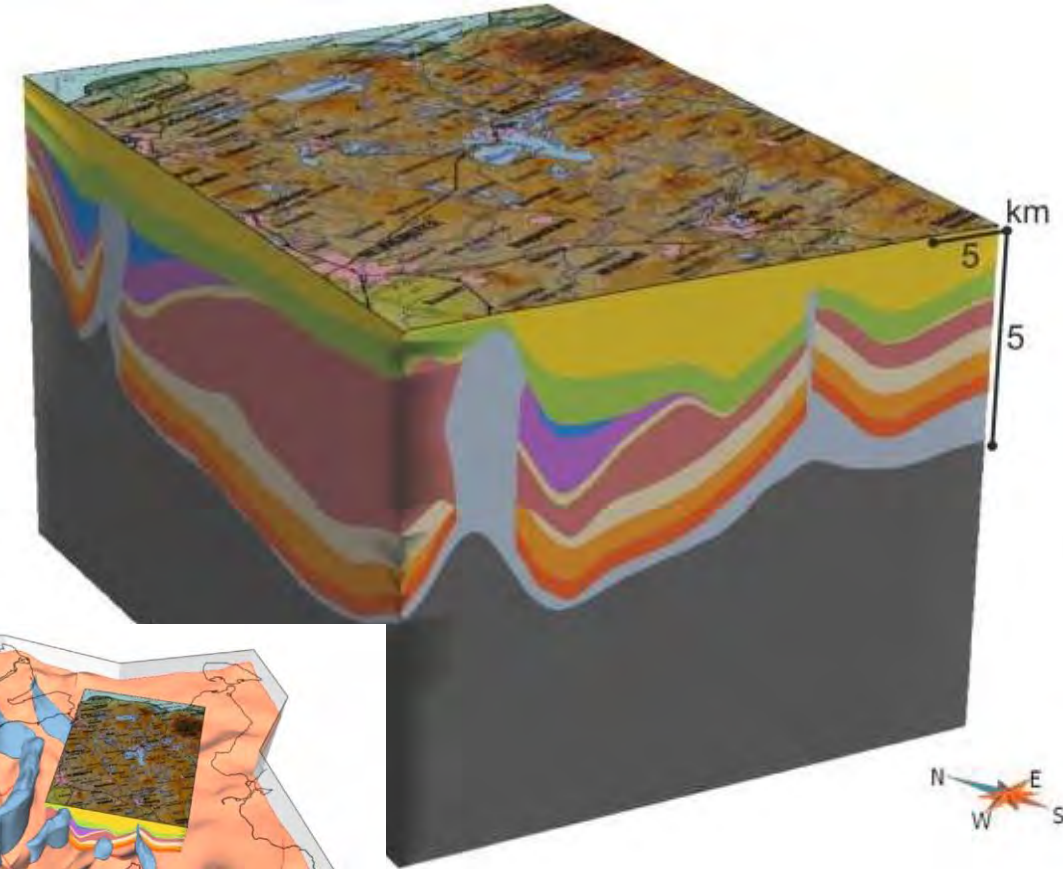
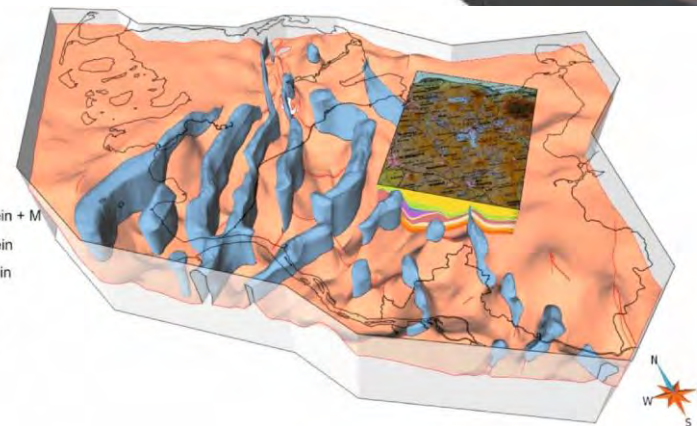
Stewart et al., 2010

Plattentektonik (?)

e) Stage 4: Eocene-Recent complex kinematics



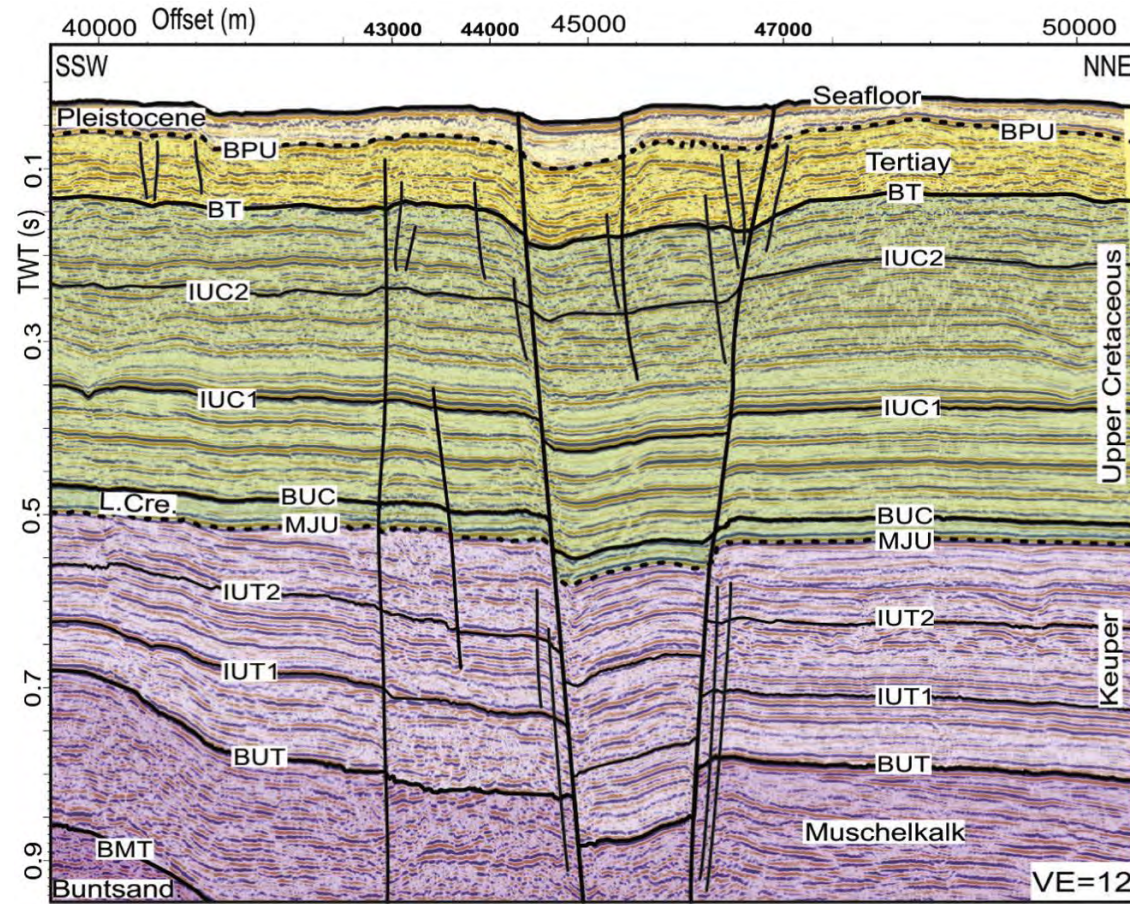
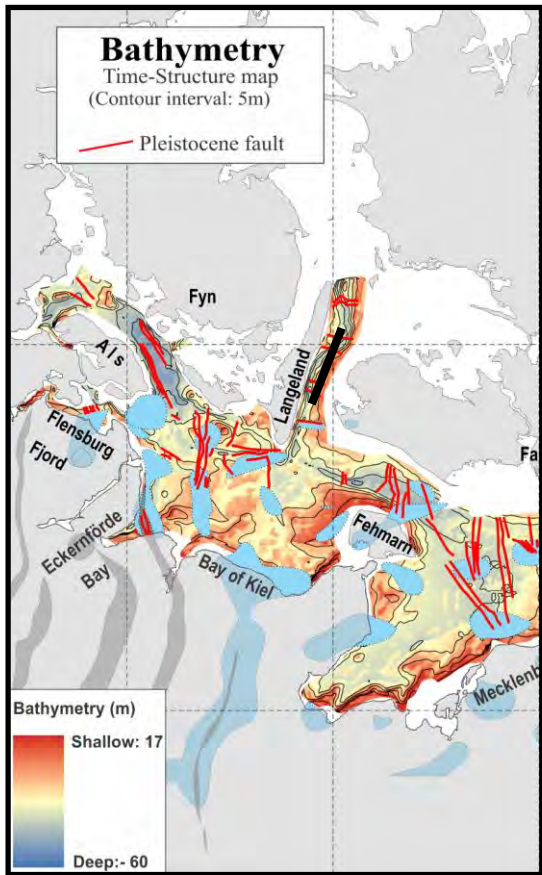
- Tertiär + Qp
- U.+O. Kreide
- M. Jura
- U. Jura
- O. Keuper
- U.+M. Keuper
- O. Buntsandstein + M
- M. Buntsandstein
- U. Buntsandstein
- Zechstein
- Prä-Zechstein



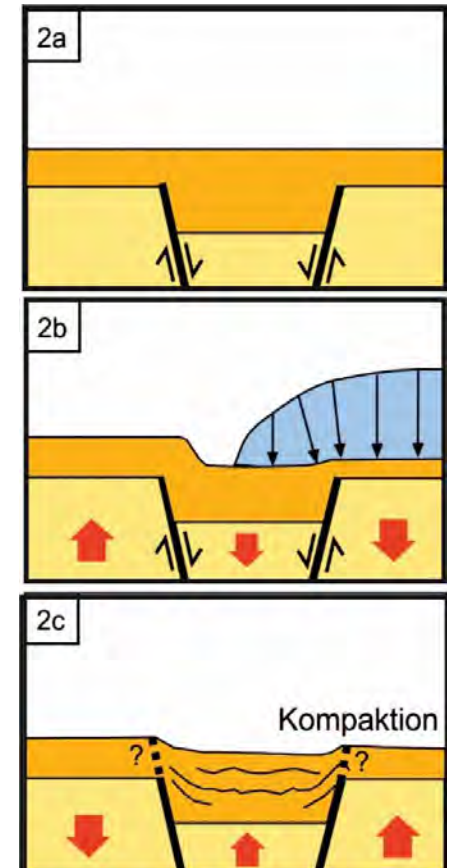
Kley et al., 2008

„StörTief“, LLUR, 2017

Eisauflast oder Plattentektonik

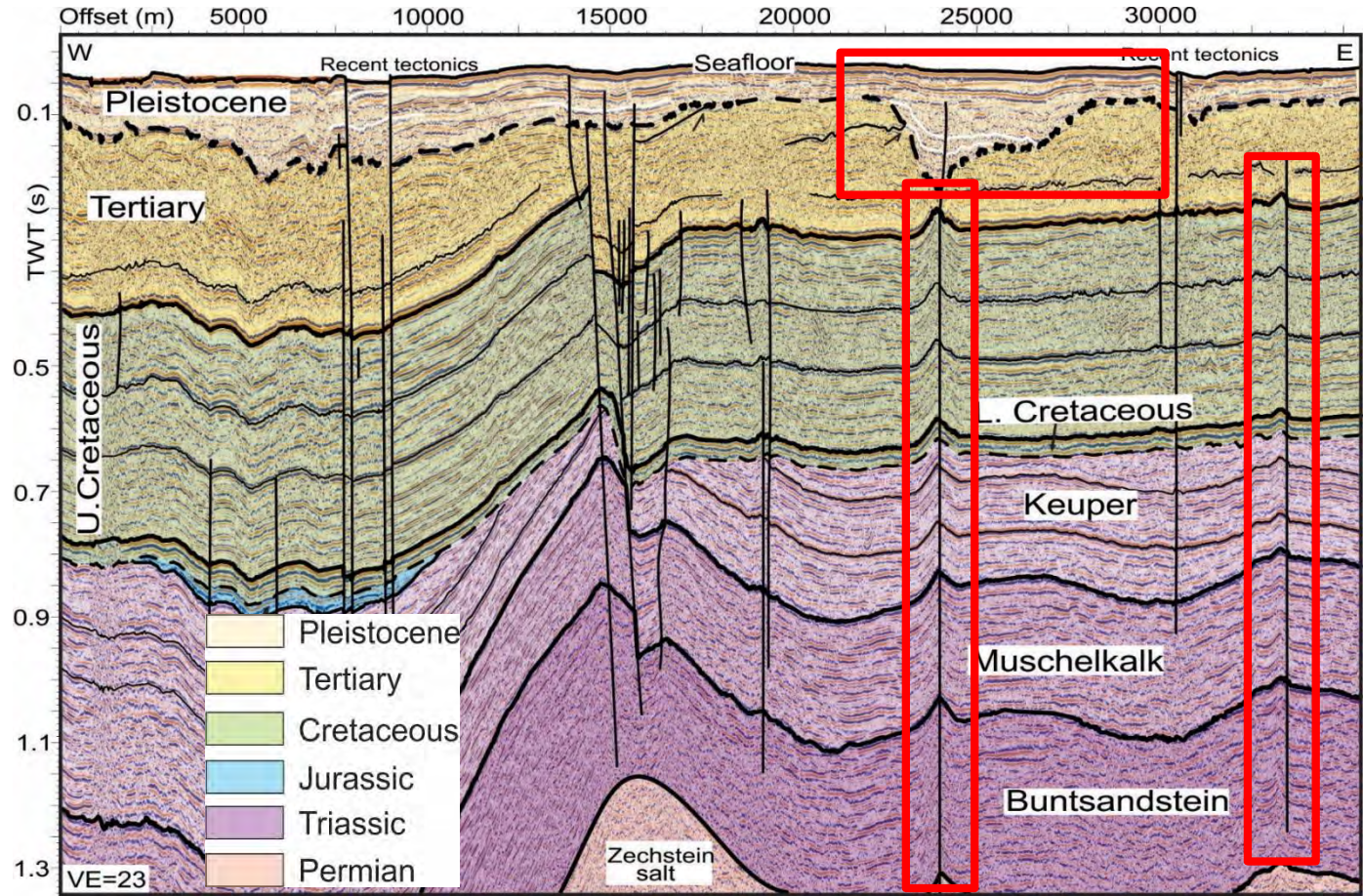
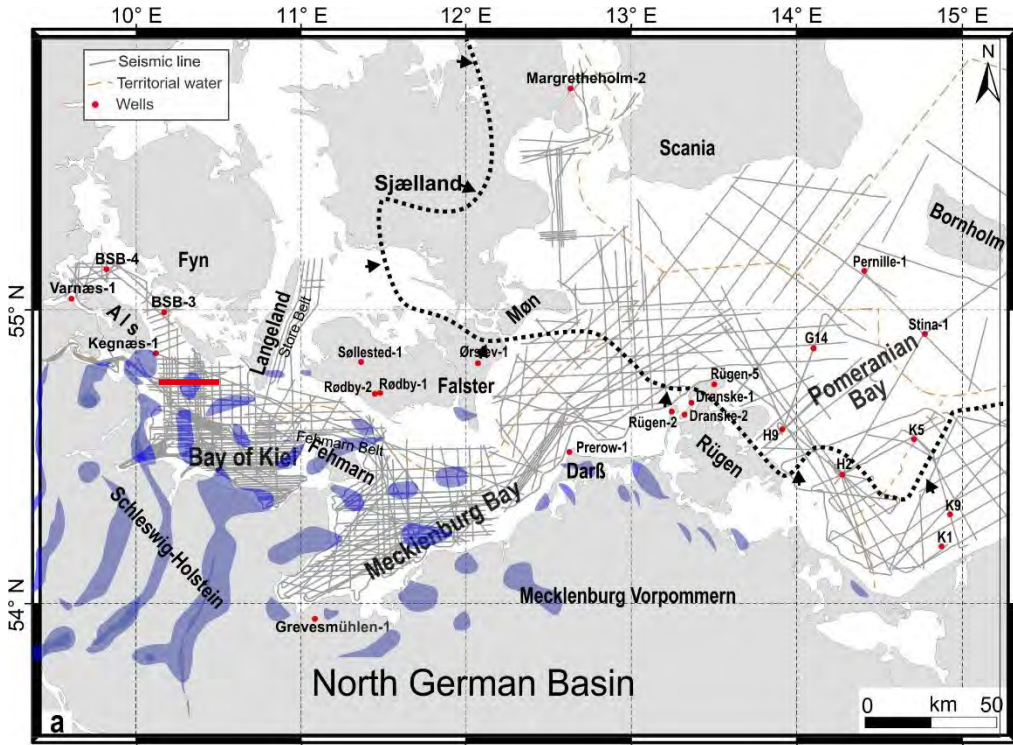


Al Hseinat und Hübscher, 2017

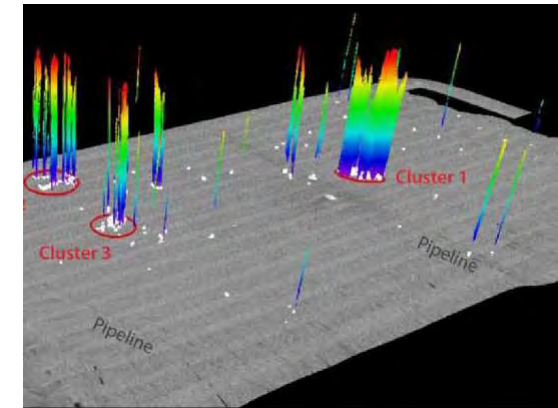
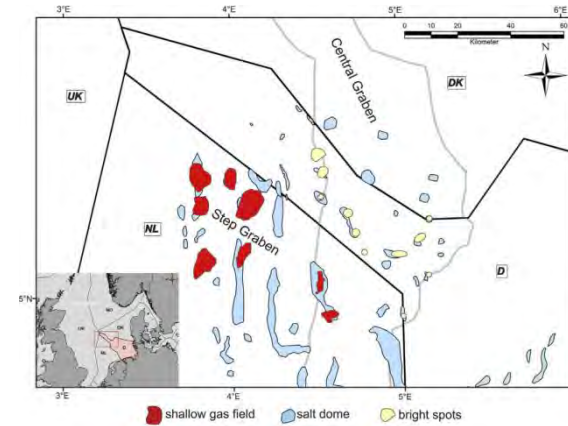
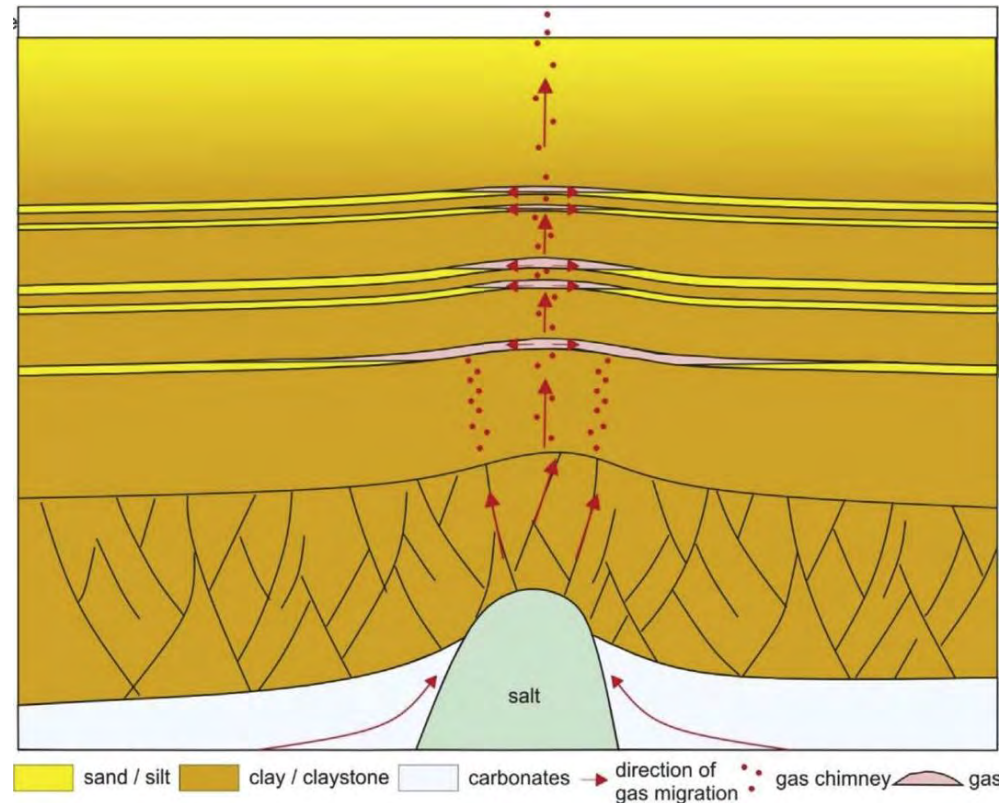
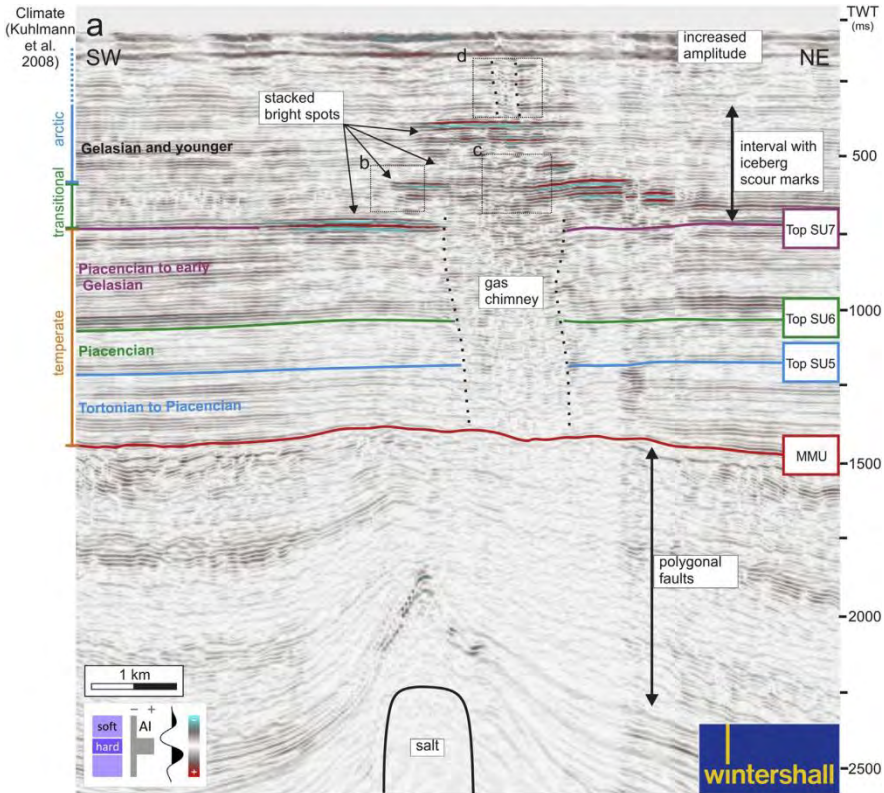


Sirocko et al., 2008

Datenbeispiel aus der nördlichen Kieler Bucht



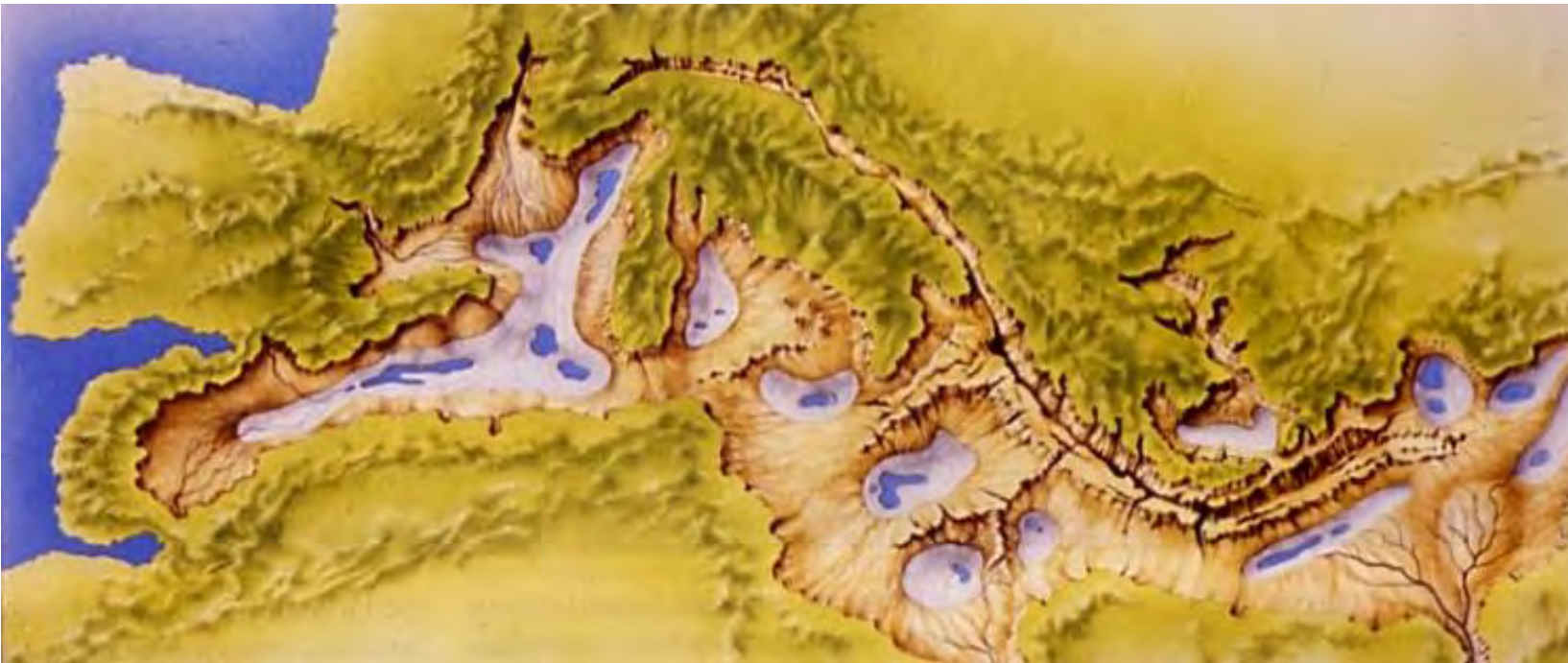
Gasaufstieg oberhalb von Salzdiapiren



Müller et al., 2018 (BGR)

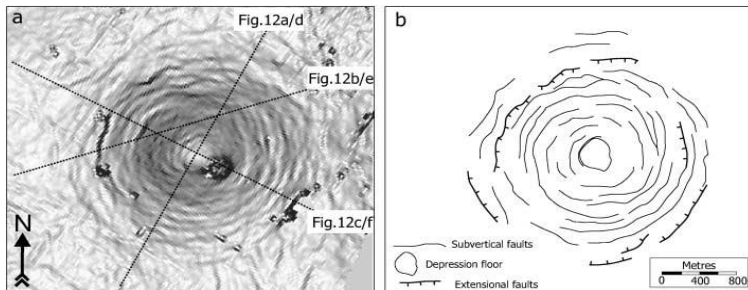
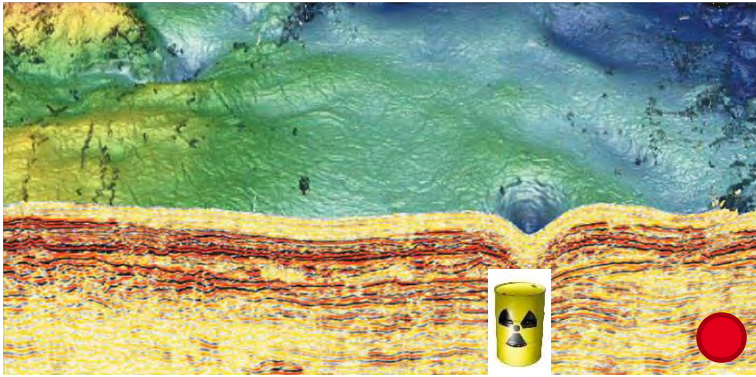
Römer et al., 2017

Lektionen aus dem Mittelmeer - die Messinische Salinitätskrise 5.96-5.33 Ma BP

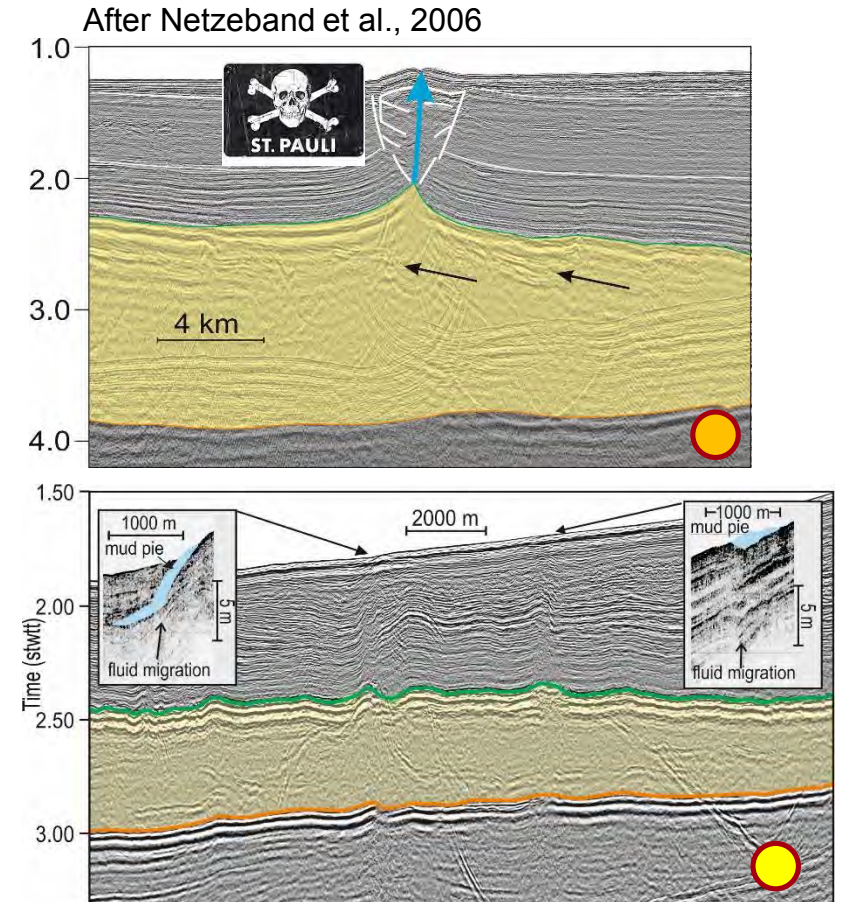
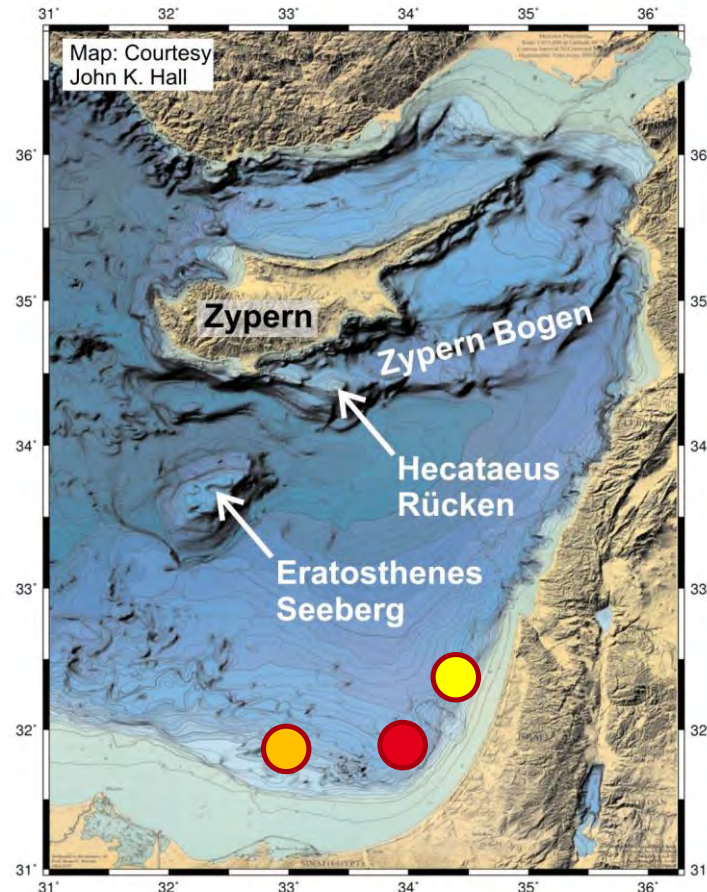


©1986 Guy Billout

Flüssigkeiten wandern durch >1000 m mächtiges Salz vor Israel und Ägypten



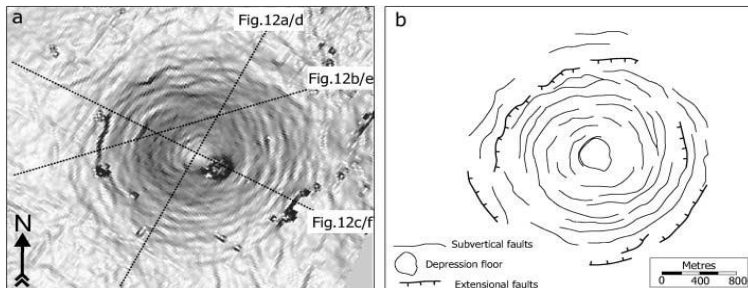
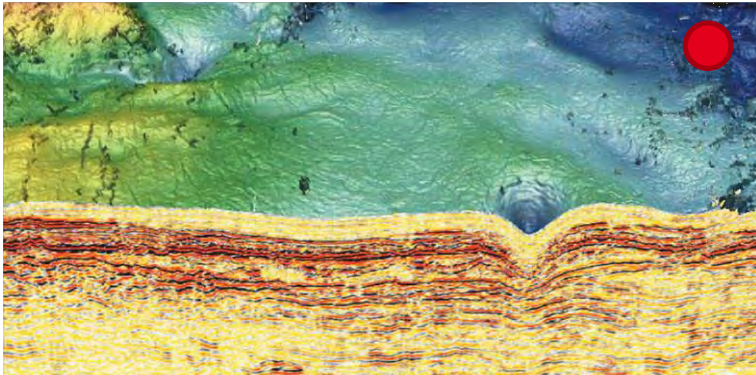
Bertoni & Cartwright, 2005



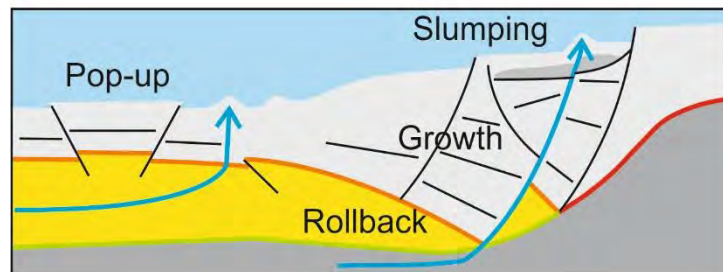
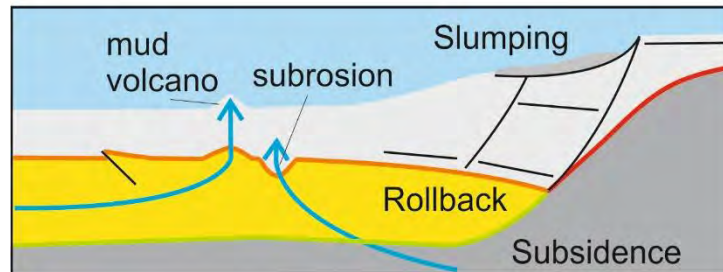
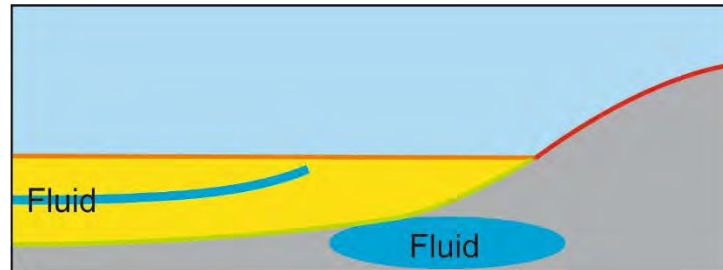
Hübscher und Dümmong, 2007

Flüssigkeiten wandern durch >1000 m mächtiges Salz vor Israel und Ägypten

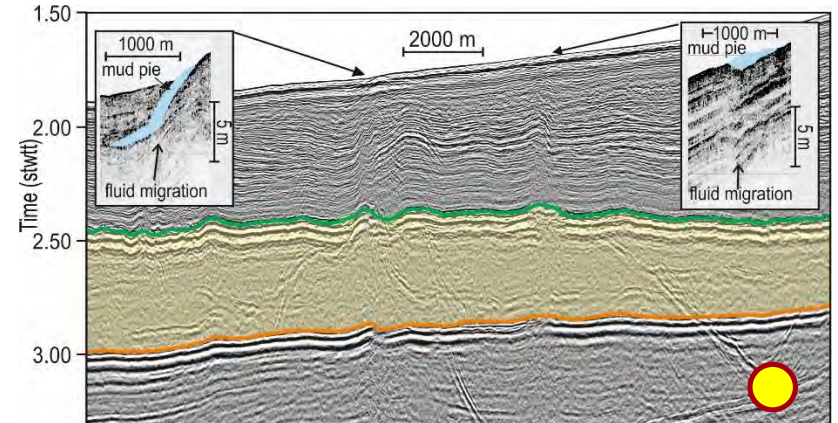
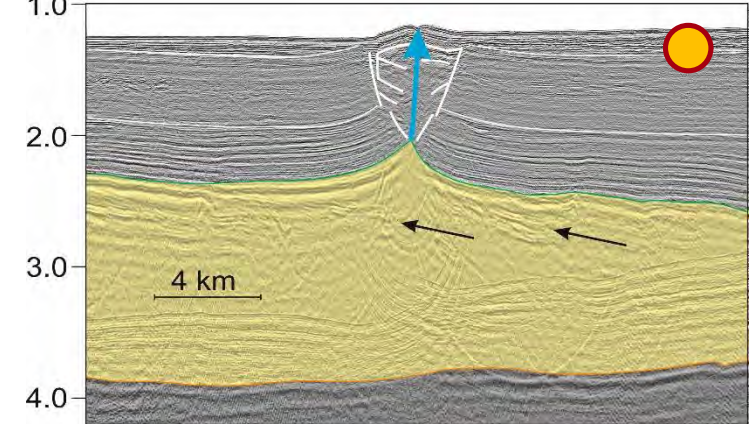
Bertoni & Cartwright, 2005



Hübscher & Dümmong, 2011

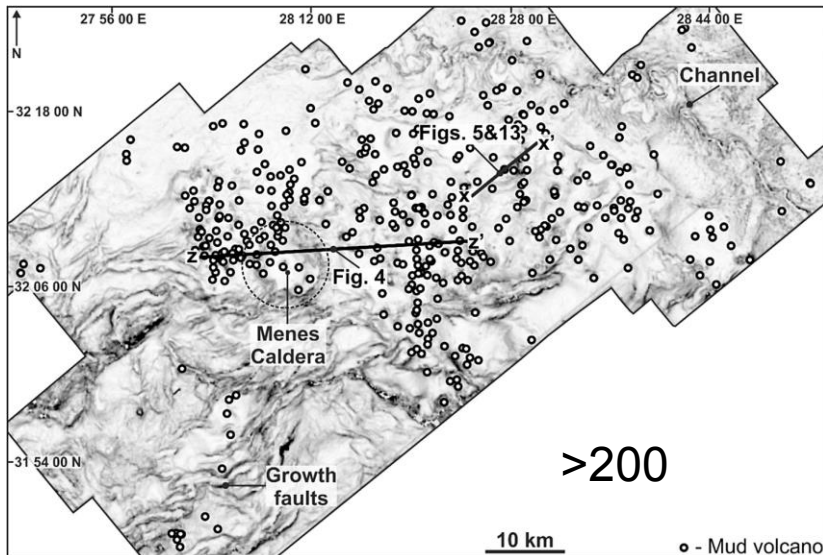
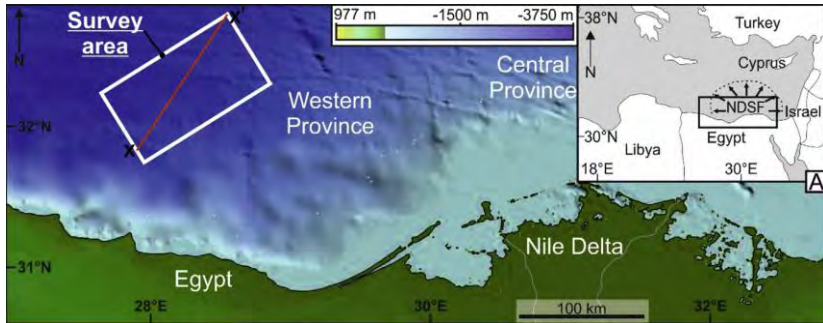


after Netzeband et al., 2016

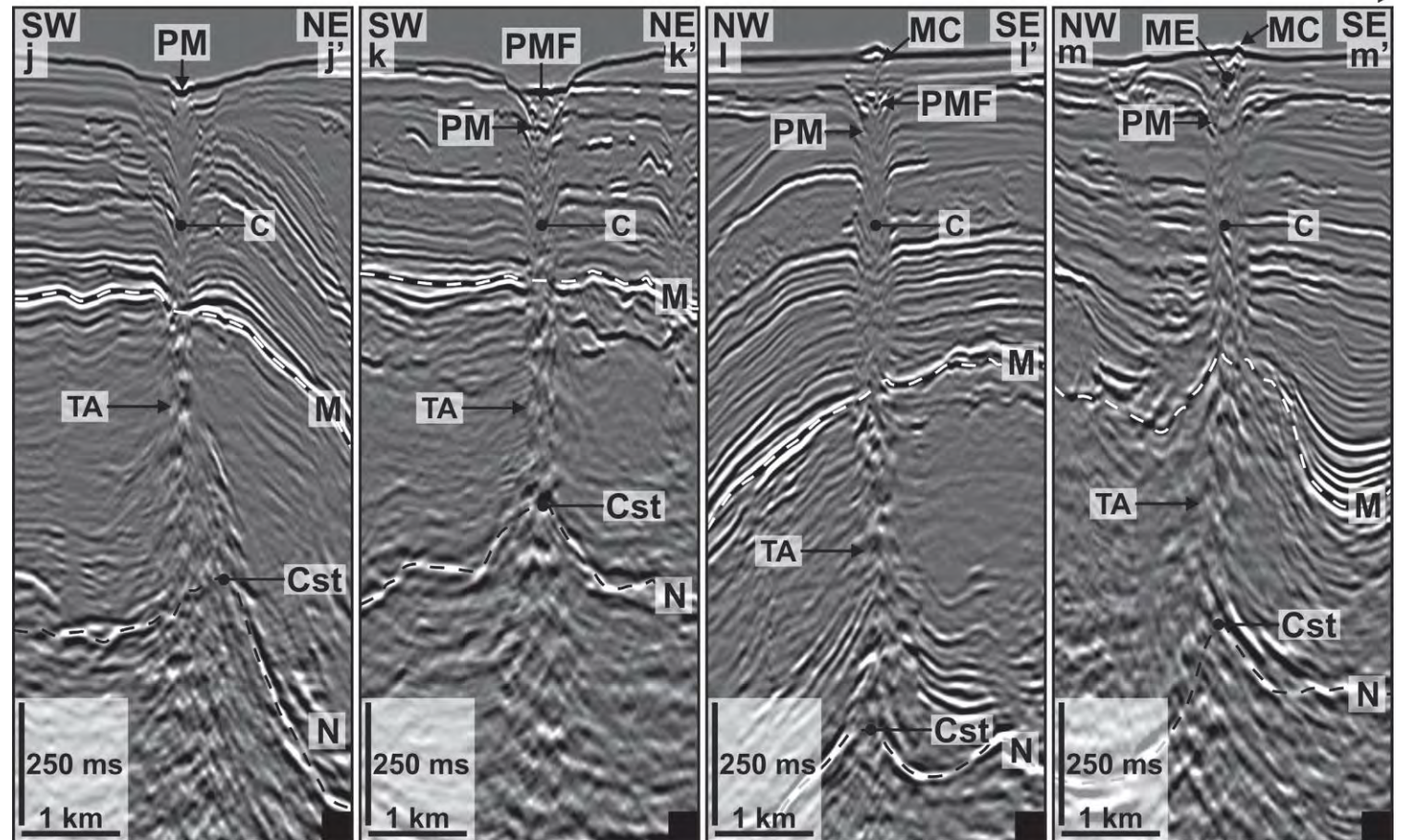


After Gradmann, Hübscher und Gajewski, 2005

Flüssigkeiten wandern durch >1000 m mächtiges Salz vor Ägypten



Kirkham et al., 2017



Kirkham et al., 2018

Überprägung des Untergrundes durch eiszeitliche Prozesse

- Ablagerung von Moränen, Sandern und Löss
- Seenbildung in Eisrandlagen
- Aufschiebung und Erosion an der Gletscherfront (wenige 100 Meter)
- Entstehung von bis 500 m tiefen Rinnen, teils gekoppelt an Salzkissen oder Diapiren (Himalaya: 1000 m)
- Mobilisierung von Salzkissen und Störungen bis in Tiefen von einigen Kilometern
- Reaktivierung von tektonischen Störungen
- Flexur der Erdkruste und des oberen Erdmantels
- Erdbeben durch Entlastungsprozesse
- *Fluiddynamik (?)*



<http://web.sonoma.edu/users/f/freidel/global/372Chapt9.htm>

Abschlussbericht der Kommission „Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ K-Drs. 268 :

„Es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des einschlusswirksamen Gebirges über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.“

Schlussfolgerungen

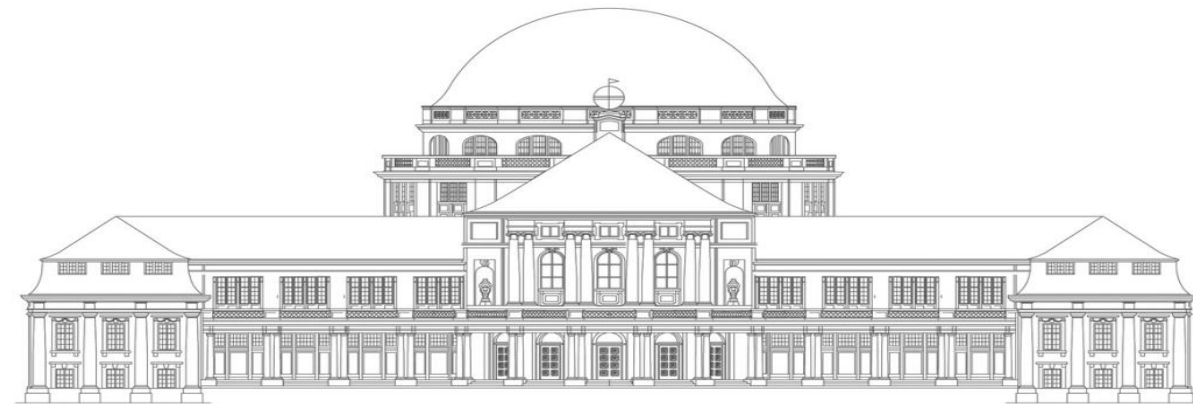
Die grundsätzliche Eignung aller ehemals von eiszeitlichen Gletschern bedeckten Regionen und deren Randbereiche für die Errichtung von atomaren Endlagern ist verstärkt zu beforschen.

Die Forschung muss auf die Quantifizierung aller wirkenden Prozesse zielen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

ANHANG

FÜR DISKUSSION



Beweise vs. „gute Gründe“

Steven Weinberg (Physik-Nobelpreisträger 1979):

„...Ein Mathematiker ist erst glücklich, wenn er etwas bewiesen hat. Physiker sind meist nicht um Gewissheit besorgt – wie wir alle im täglichen Leben. Wir haben guten Grund anzunehmen, dass die Sonne jeden Morgen aufgeht, und ich habe guten Grund anzunehmen, dass das Photon keine Masse hat. ... Wir arbeiten nicht mit Beweisen, sondern mit vernünftigen Wahrscheinlichkeiten.“

Die ZEIT Nr. 30, 16. Juli 1998

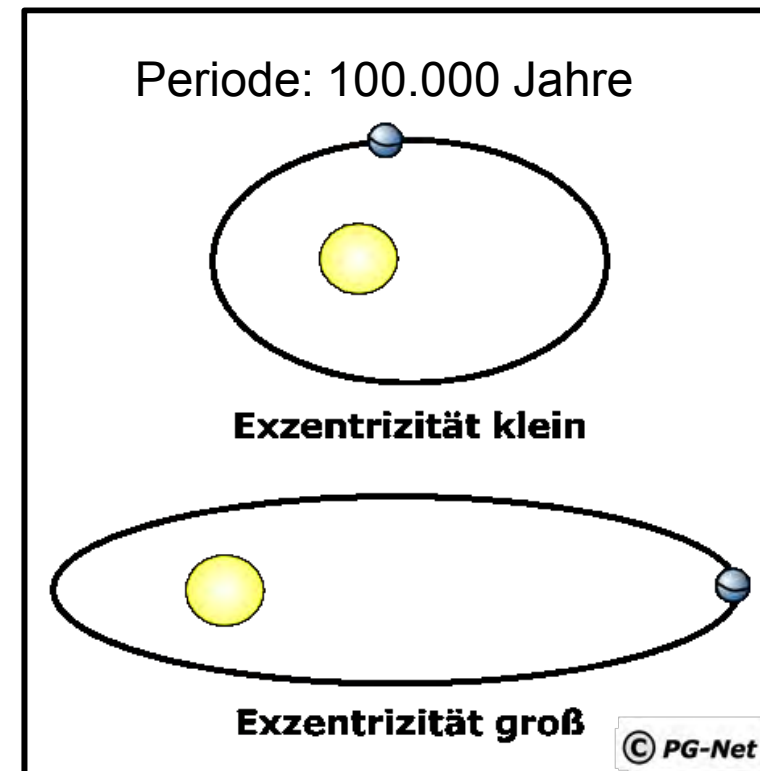
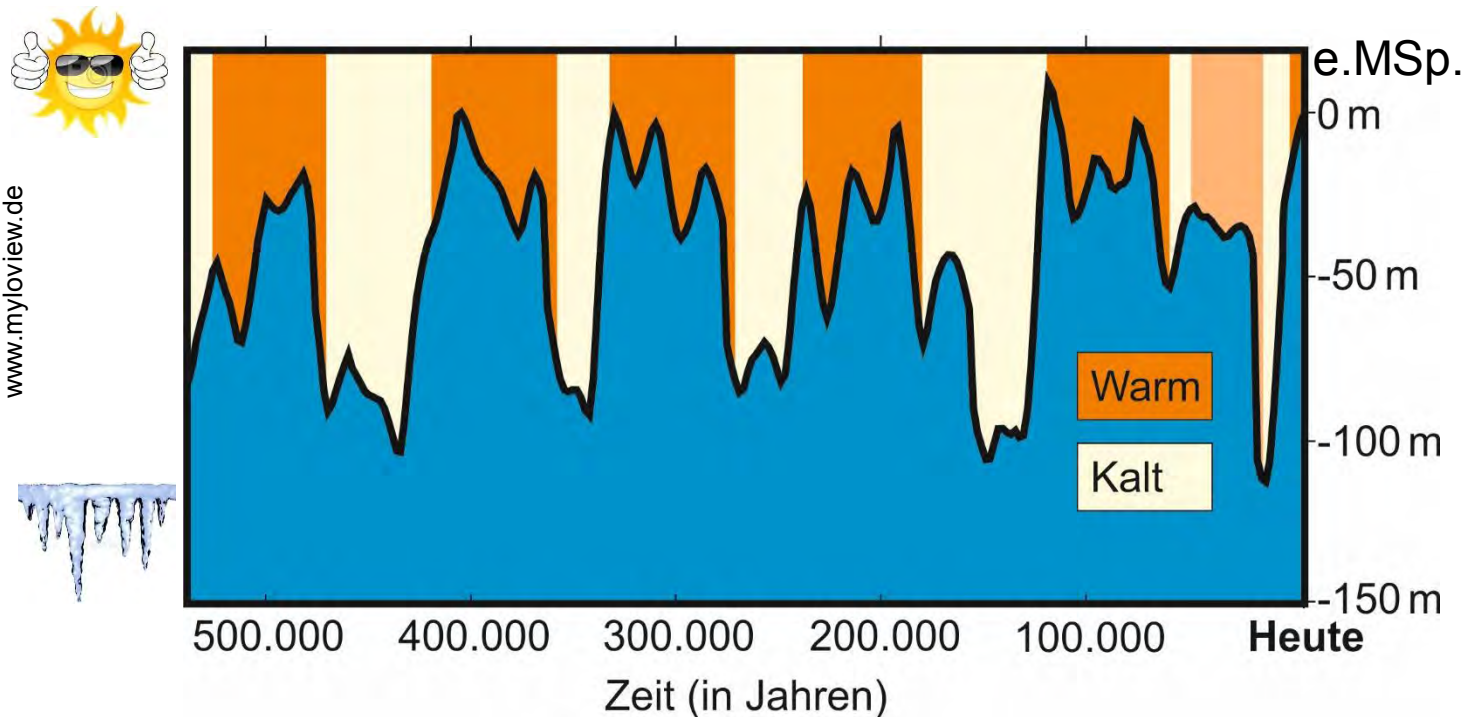
Wann haben wir „gute Gründe“?

Säulen naturwissenschaftlicher Erklärungen:

- Überprüfbarkeit
- Unabhängigkeit (von Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen)
- Wiederholbarkeit
- Vorhersagbarkeit
- Belastbarkeit (Kausalzusammenhänge, maximal viele Beobachtungen erklärt – minimal viele Annahmen über unbekannte Faktoren)
- Abgrenzung

Erderwärmung und kommende Kalt-/Eiszeiten – KEIN Widerspruch!

Das Inlandeisvolumen kontrolliert den globalen Meeresspiegel - dominante Periode: 100.000 Jahre



Kontrollfaktoren: Wärme, Regen, Meereis

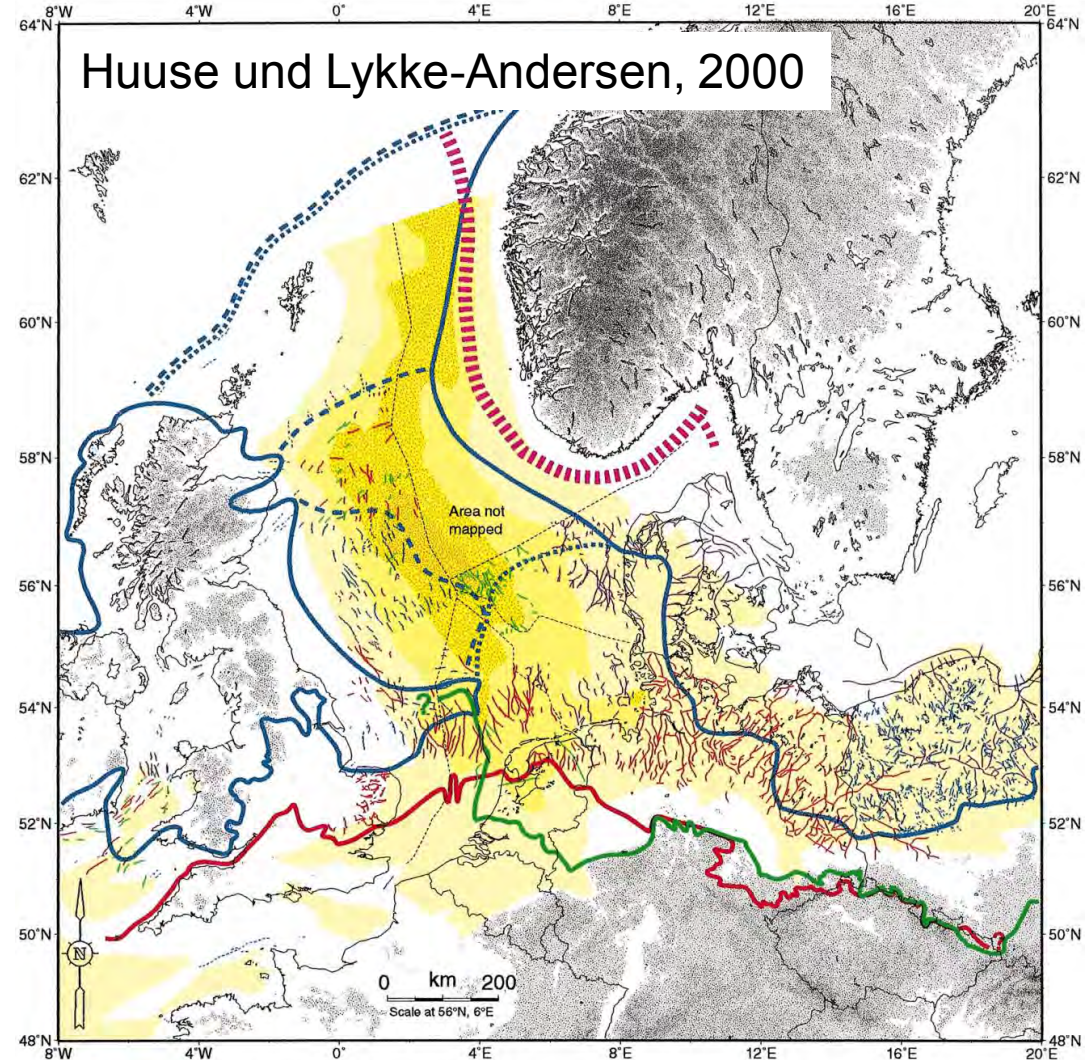
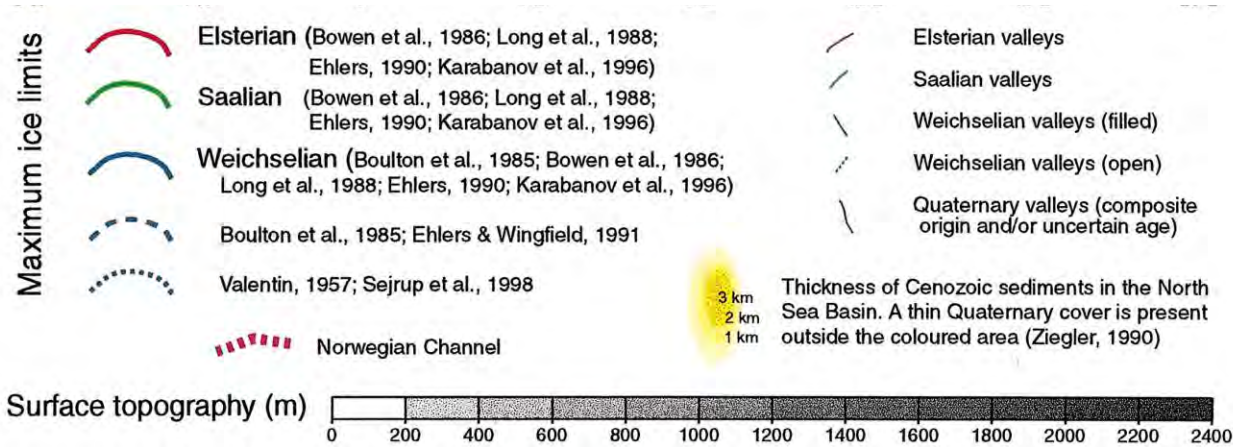
Der Golfstrom entsteht:

- Transport feuchter Luft nach Norden und Eurasien, der Niederschlag nimmt zu
- Verstärkter Süßwassereintrag in den Arktischen Ozean
- Süßwasser verstärkt Meereisbildung
- Höheres Albedo und Abkürzung der nordatlantischen Zirkulation
- Vereisung der Arktis ca. 2 Millionen Jahre nach Schließung des Panama-Isthmus
- **In den nächsten 1 Millionen Jahren ist kein mit der Schließung des Panama Isthmus vergleichbarer Prozess zu erwarten.**



www.whoi.edu/cms/images

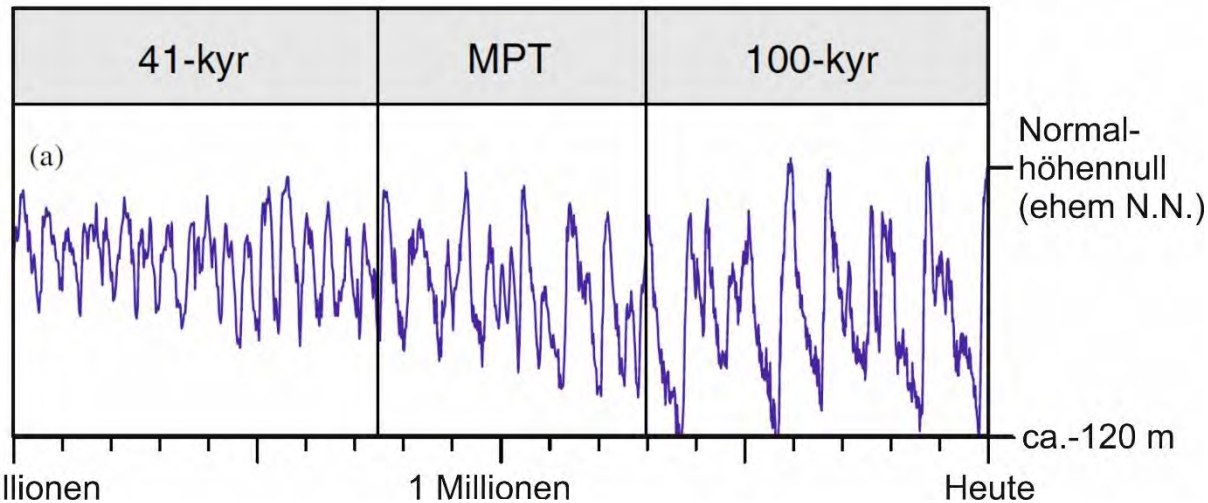
Eiszeitliche Rinnenbildung



Unterschiedliche Alter der Rinnen in Polen und Deutschland als Folge von Lehrmeinungen
 → Die Datierung der zahlreichen Rinnen ist unsicher.
 Frage: Werden Rinnen durch folgende Eiszeiten vertieft?

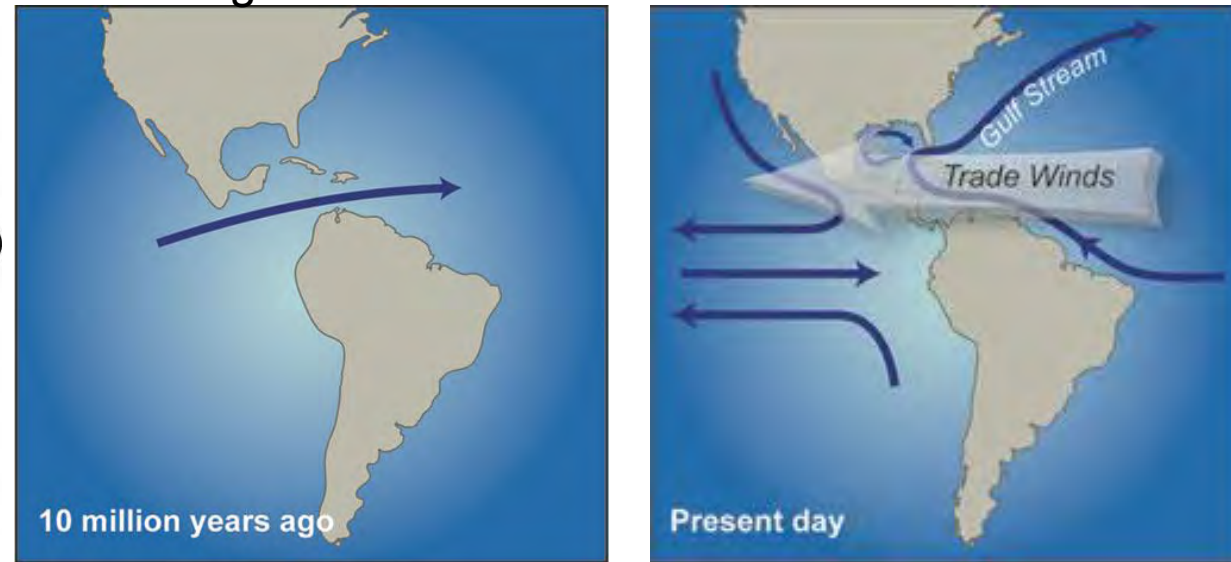
Kontrollfaktoren: Plattentektonik und Meeresströmungen

nach Lisiecki und Raymo, 2005; Clark et al., 2006



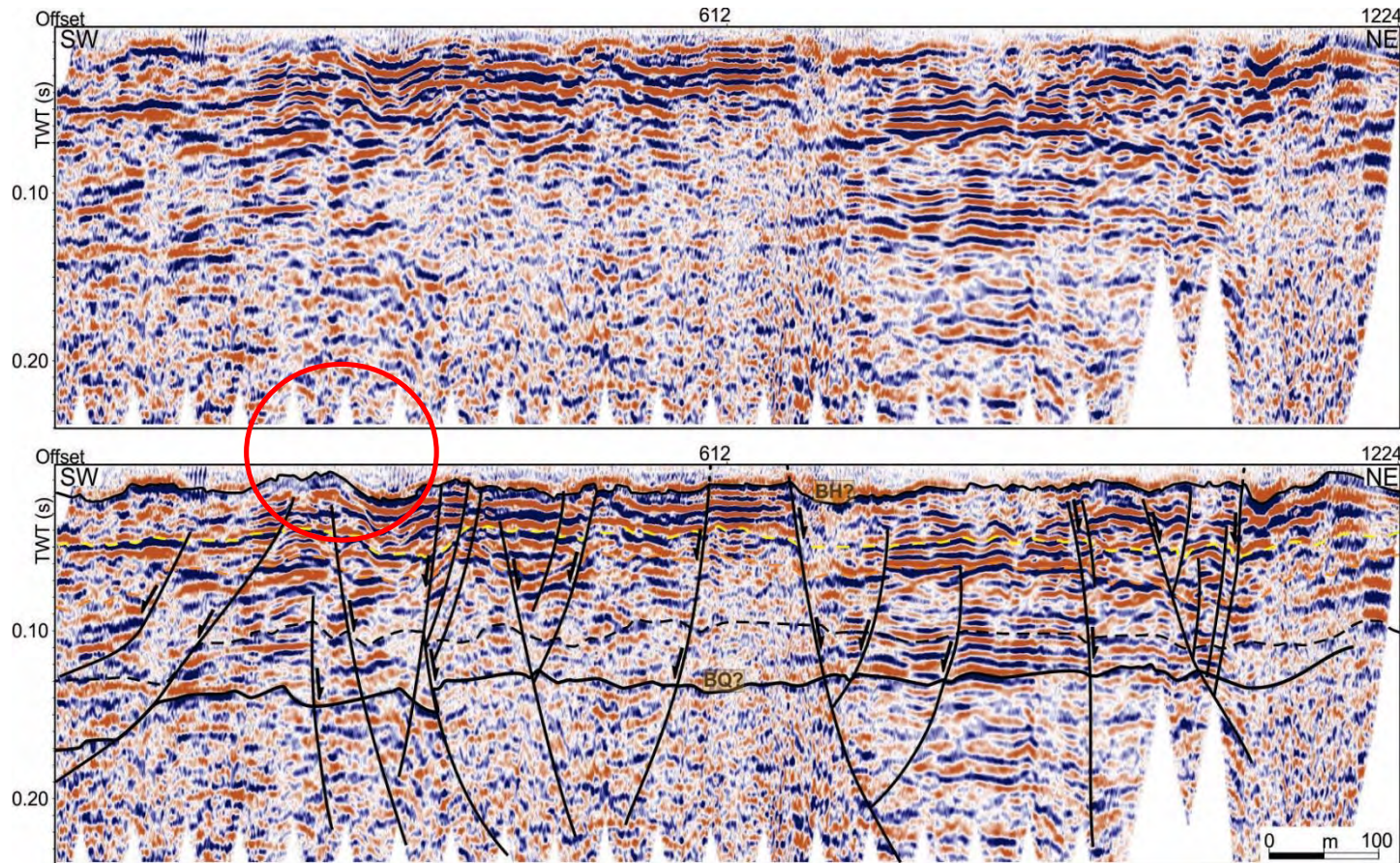

 Glazial / Interglazial-Wechsel in Nordeuropa

Schließung des Panama Isthmus

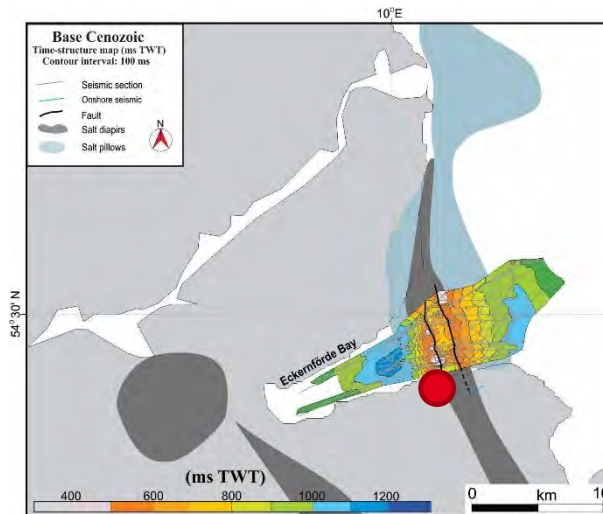


www.whoi.edu/cms/images

Eckernförder Bucht



Al-Hseinat et al., 2016

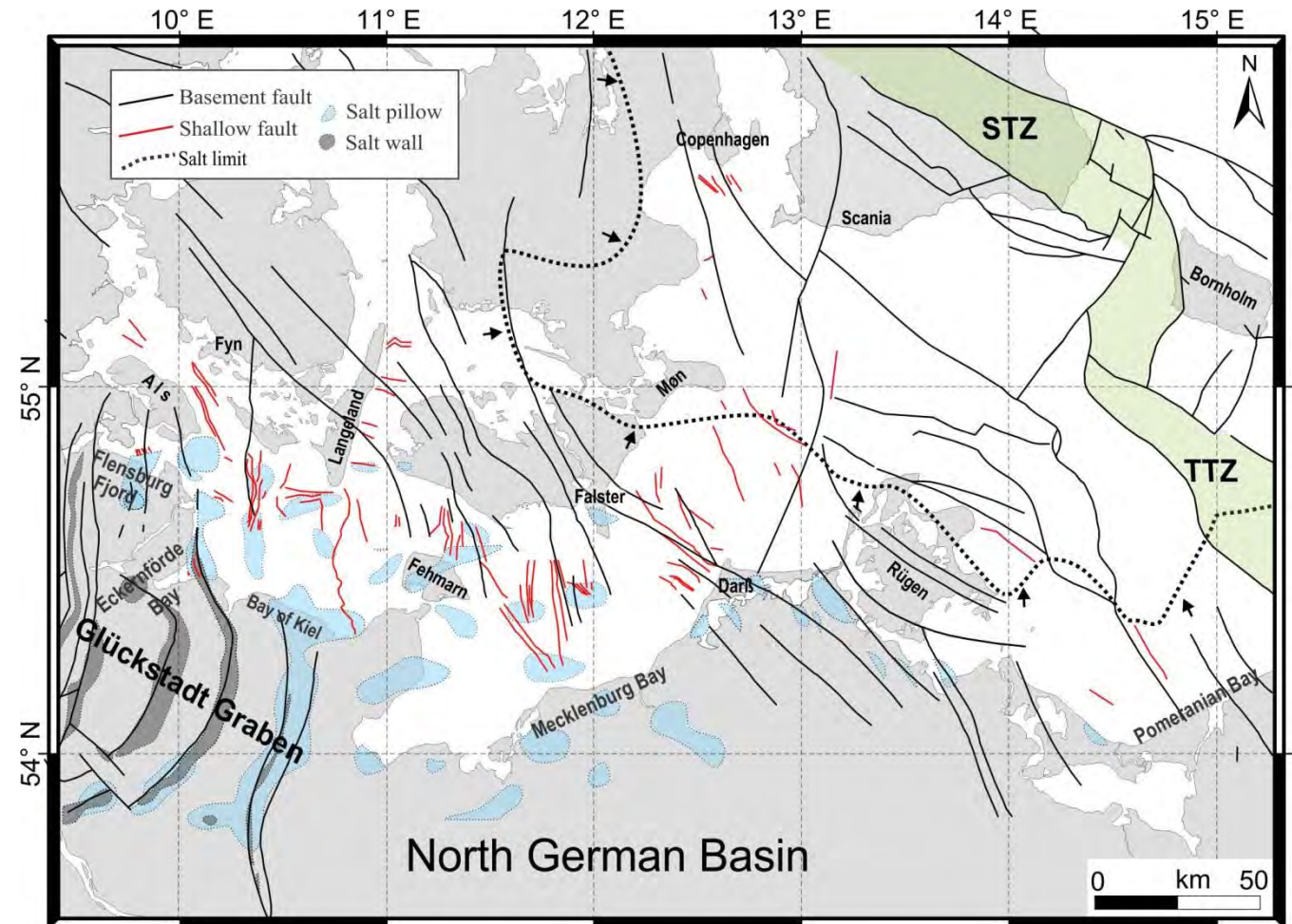


Störungen im flachen Untergrund der Ostsee

Postglaziale Störungen gruppieren sich oberhalb von

- Salzstöcken,
- tiefen Störungen.

Grenzen kartierter Störungen resultieren aus räumlich begrenzter Forschung.



Al-Hseinat und Hübscher, 2017

Schmelzwasseraustritt



<https://cntraveler.com>



<https://imgur.com/gallery/7sQafpH>