

# Energieflüsse in der Erde

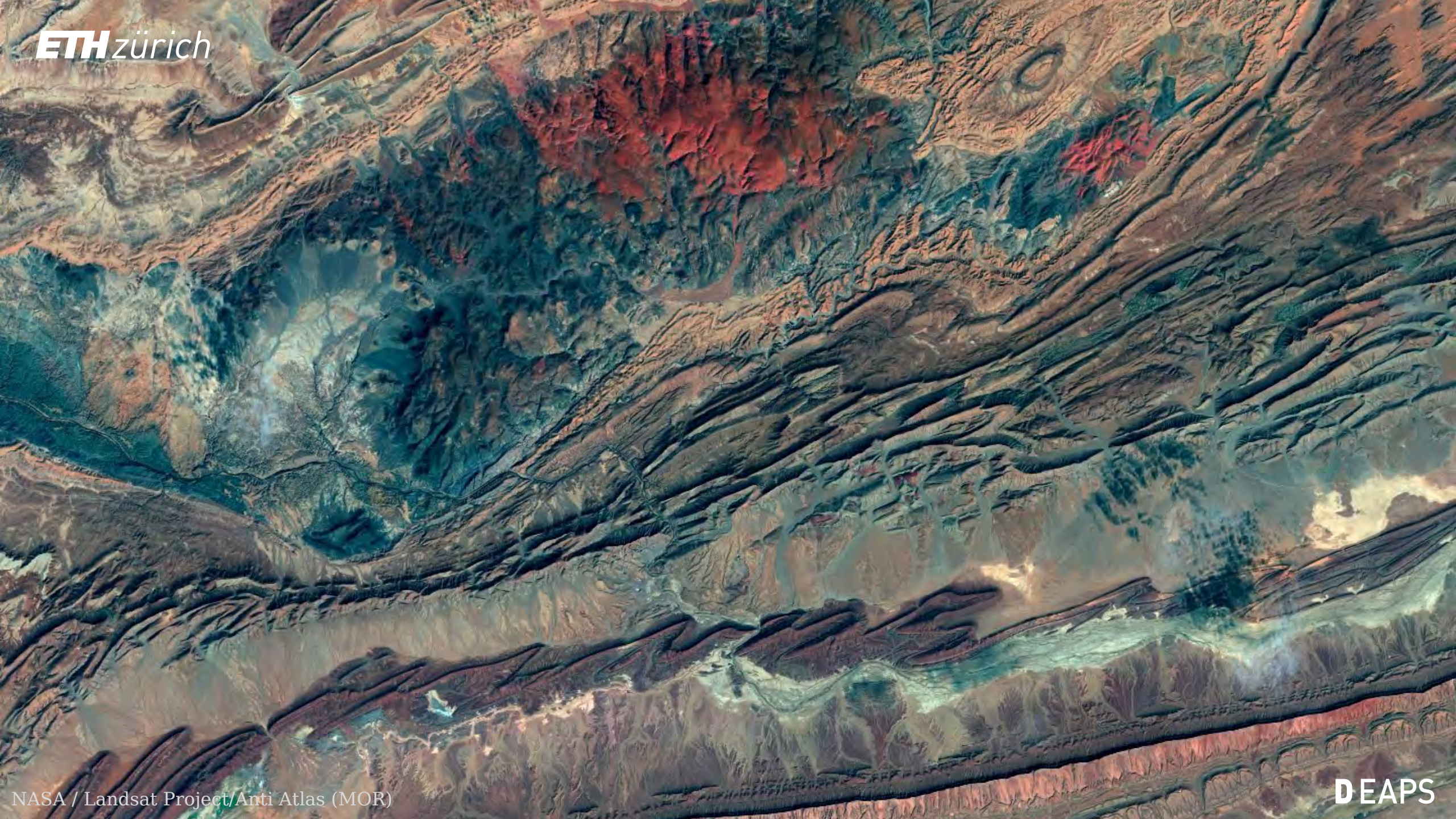
Grosses Potential: Nutzbarkeit & Risiken verstehen

---

Dario Schwendener – [dariosc@ethz.ch](mailto:dariosc@ethz.ch)  
Institut für Geophysik  
Earth & Planetary Sciences  
ETH Zürich



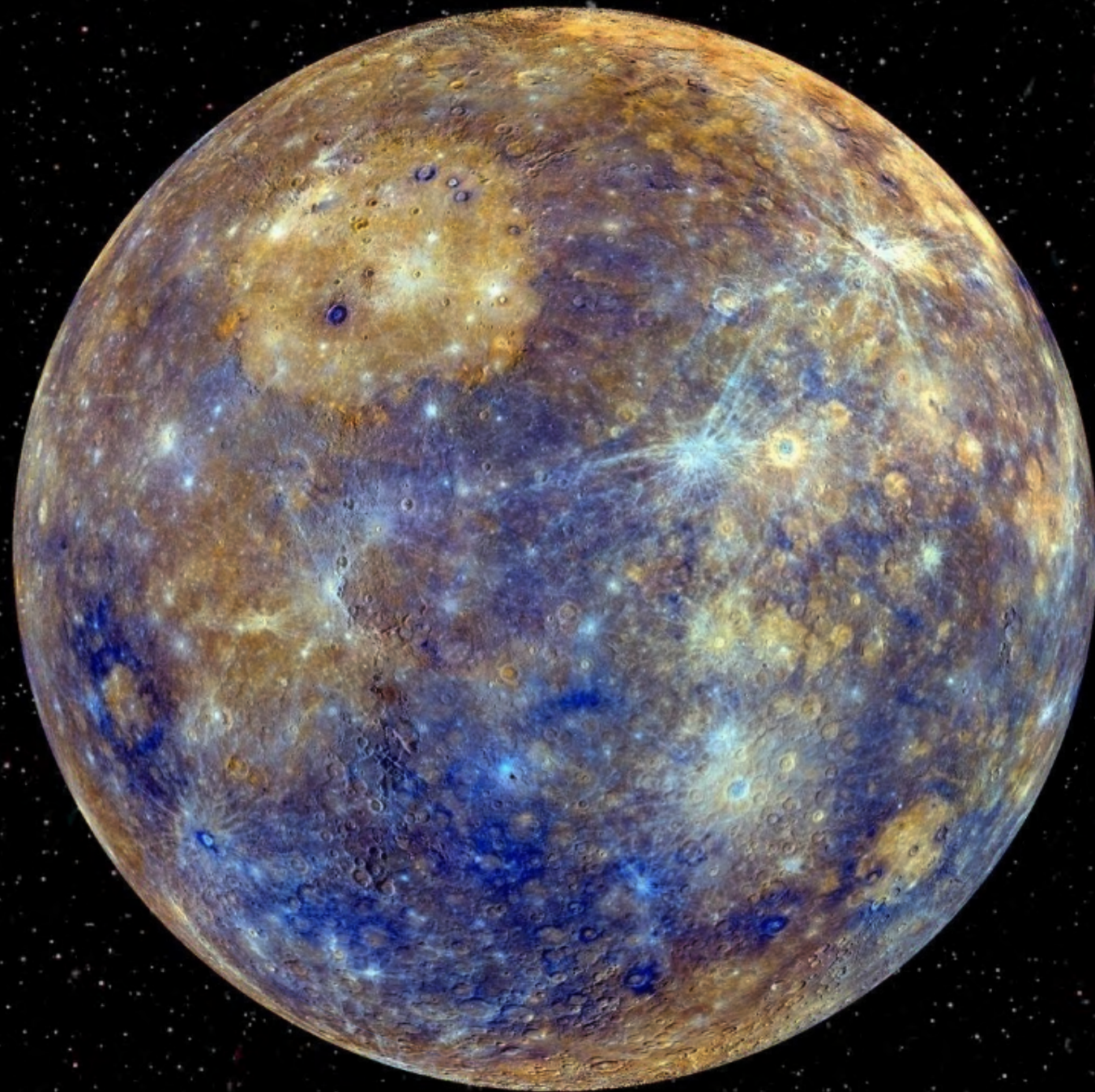












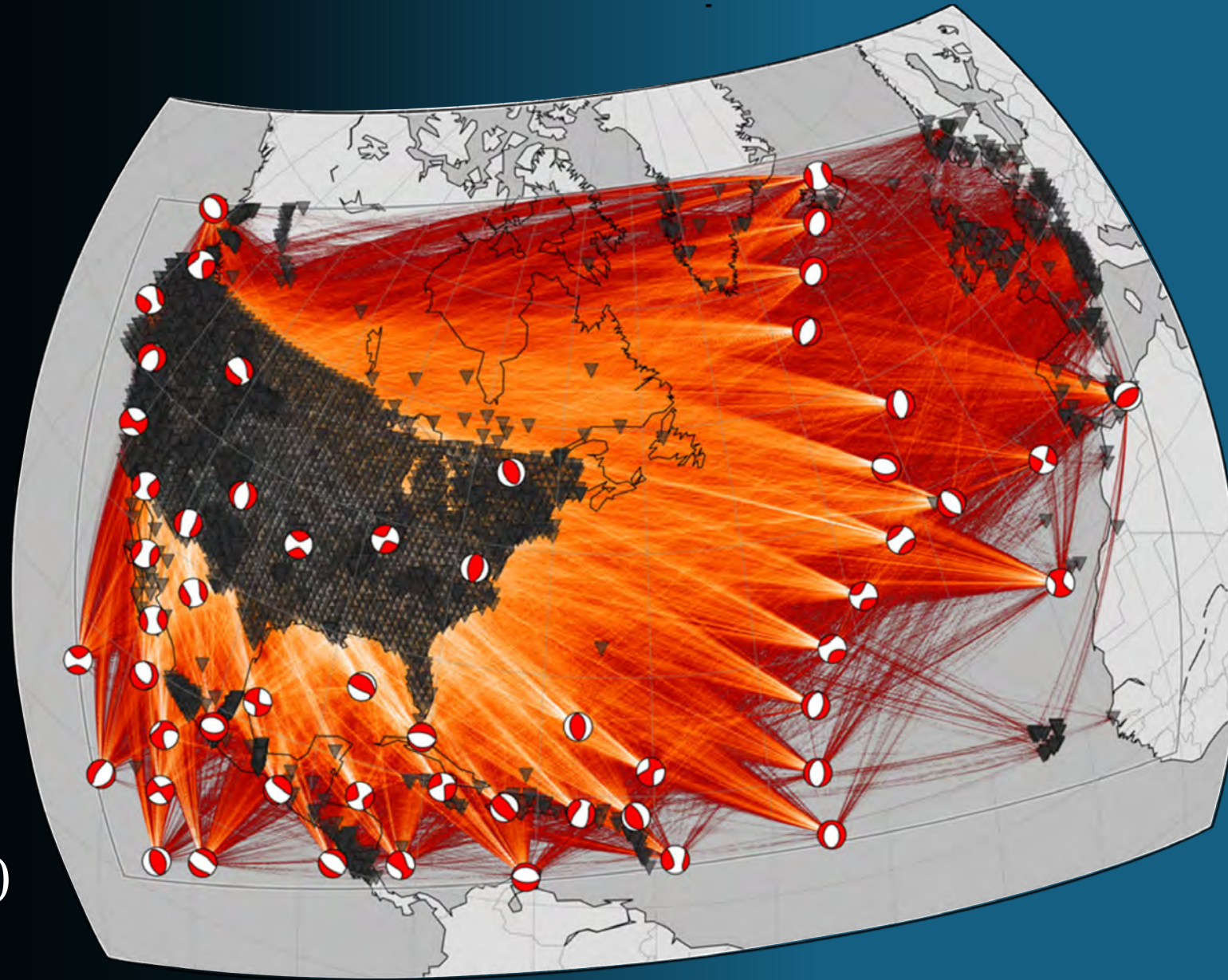


13 km

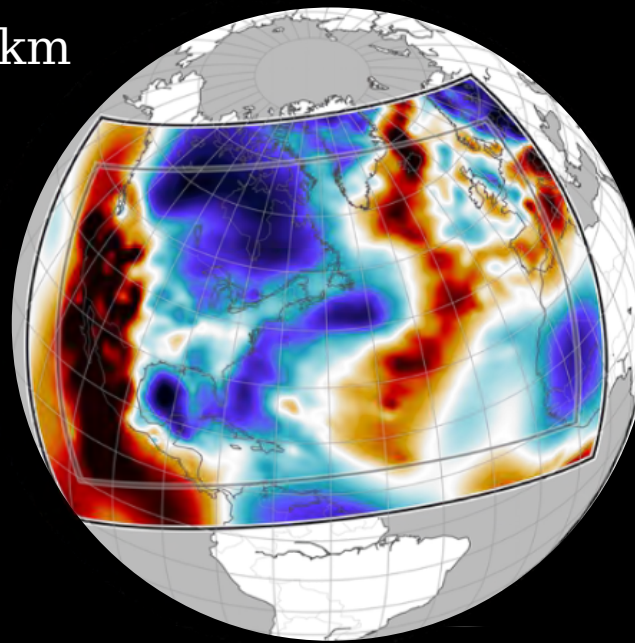
Die tiefste Bohrung der Welt ist ca. halb so tief wie der Suez Kanal breit (Kola, Rus 12,262 m)

# Tomographie

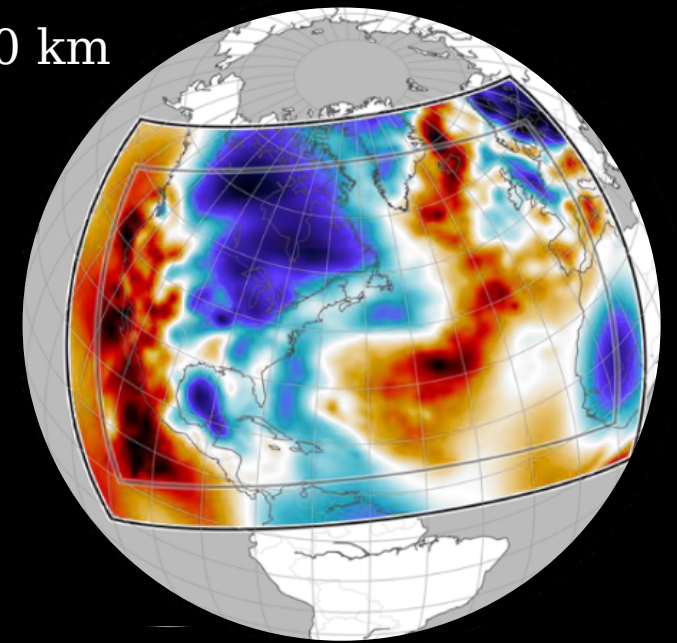
- Erdbebenwellen Messung mit Seismometer
- Laufzeit & Ursprung der Welle bekannt
- Errechnung der Geschwindigkeit ('Full wave-form inversion')



100 km

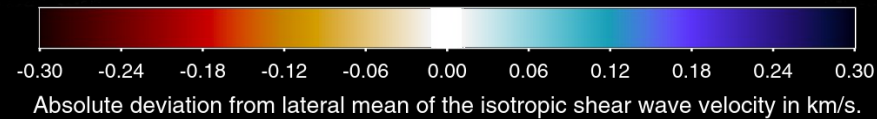


150 km

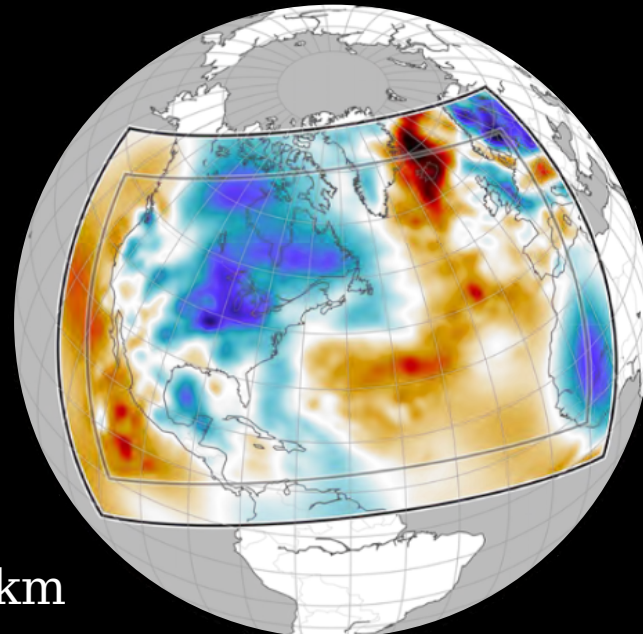


# Tiefblicke

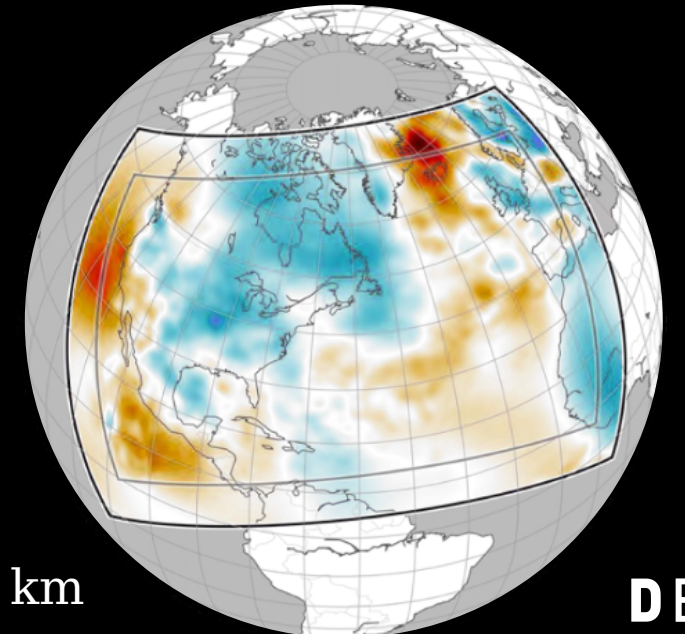
- Geschwindigkeitsfelder geben Einblick in die Tiefe
- **Rot** = langsam, Schmelzen
- **blau** = schnell, Fest
- Wurzel der Kontinente
- Schmelzen an Platten-grenzen



200 km

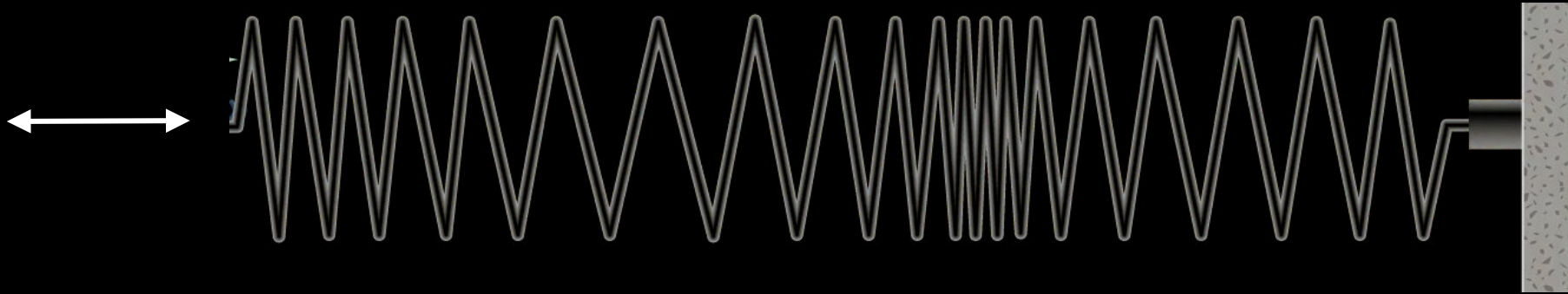


250 km

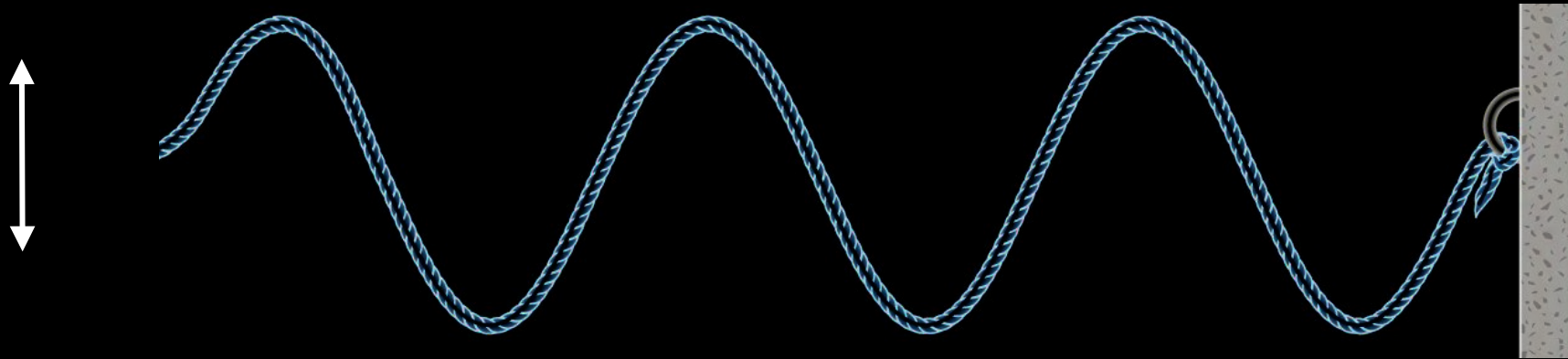


DEAPS

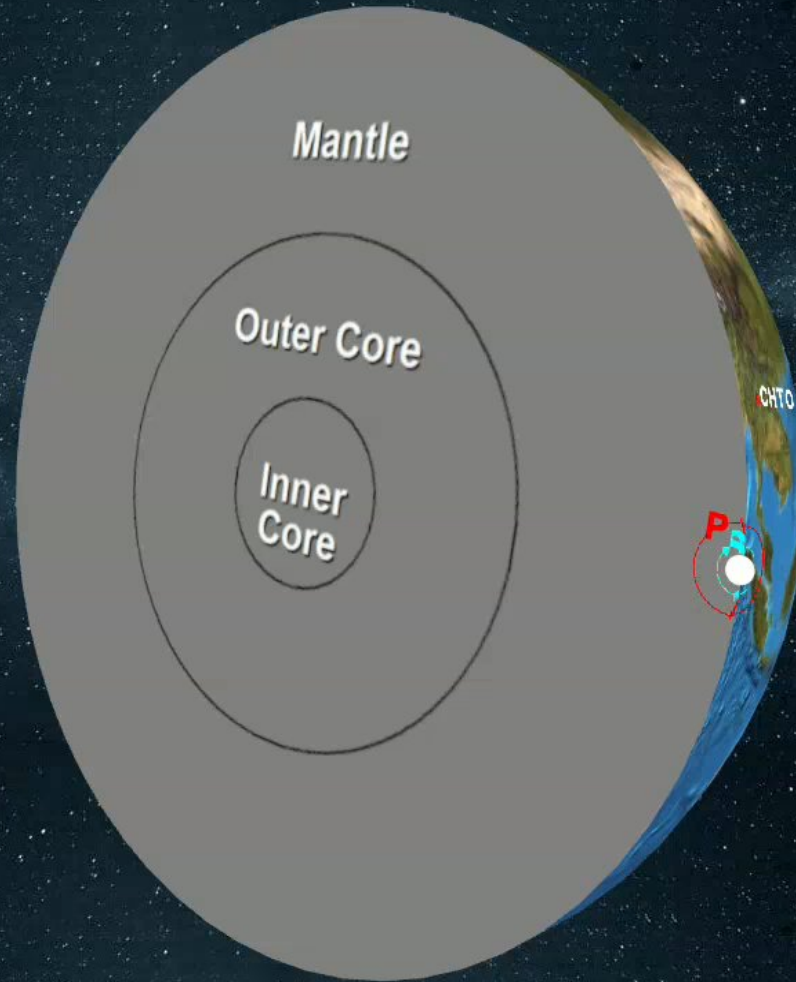
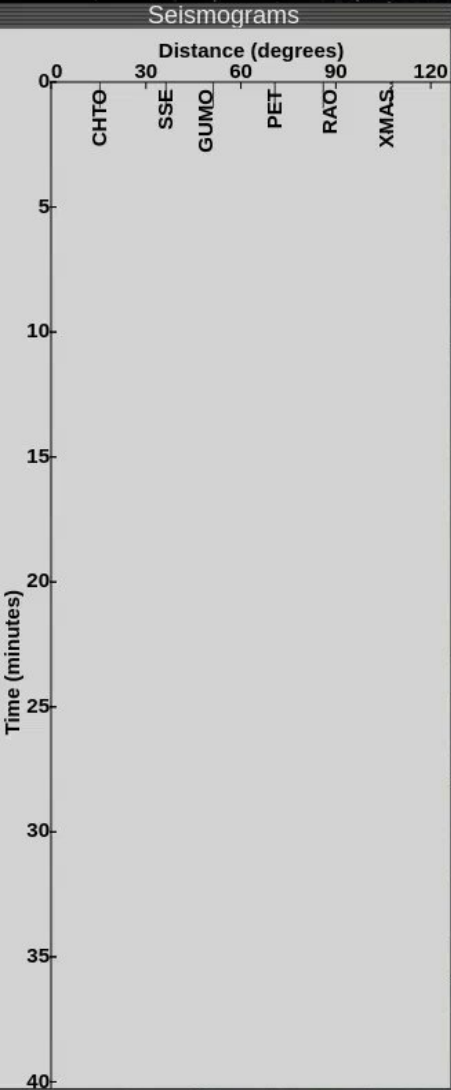
## P – Wellen, Kompressionswellen

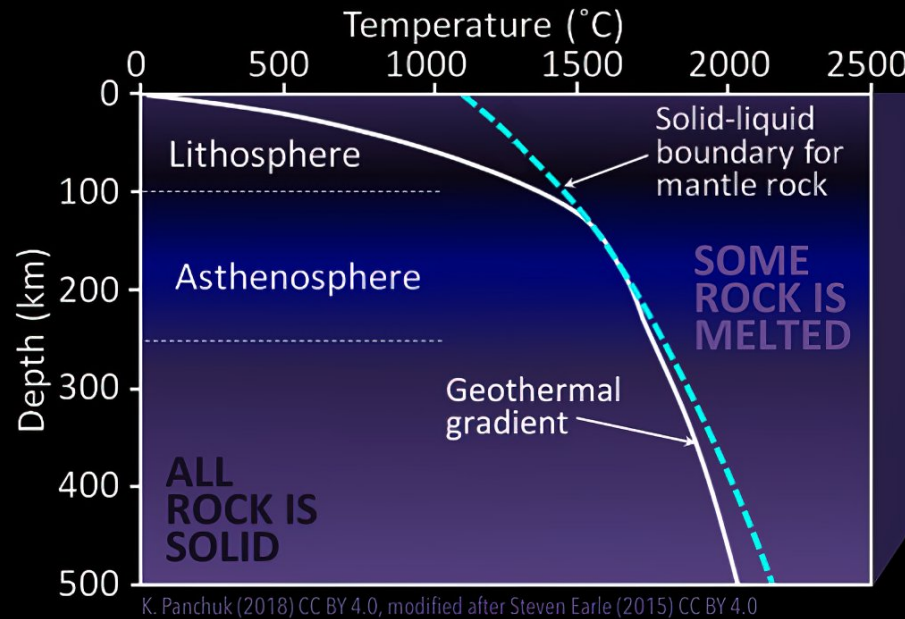


## S – Wellen, Scherwellen

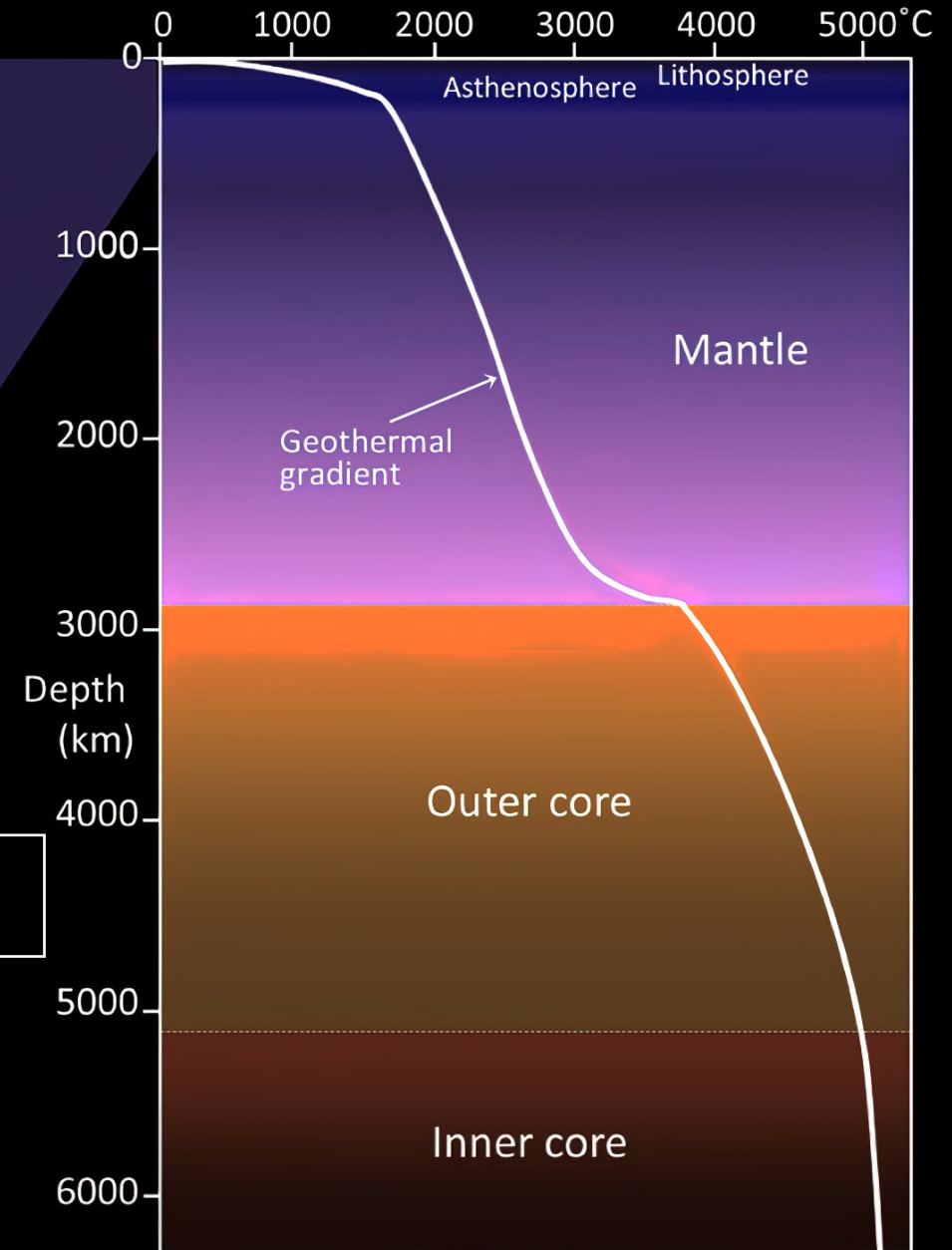


# Sumatra Erdbeben (2004)



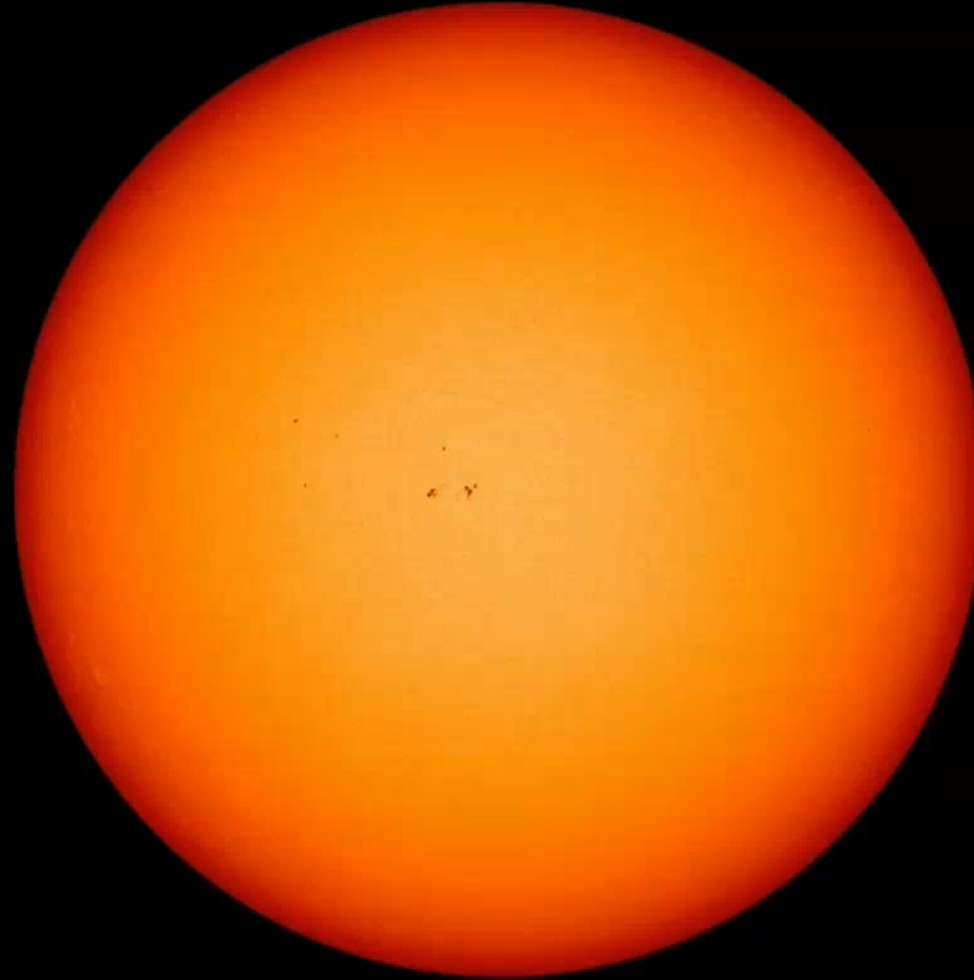


K. Panchuk (2018) CC BY 4.0, modified after Steven Earle (2015) CC BY 4.0



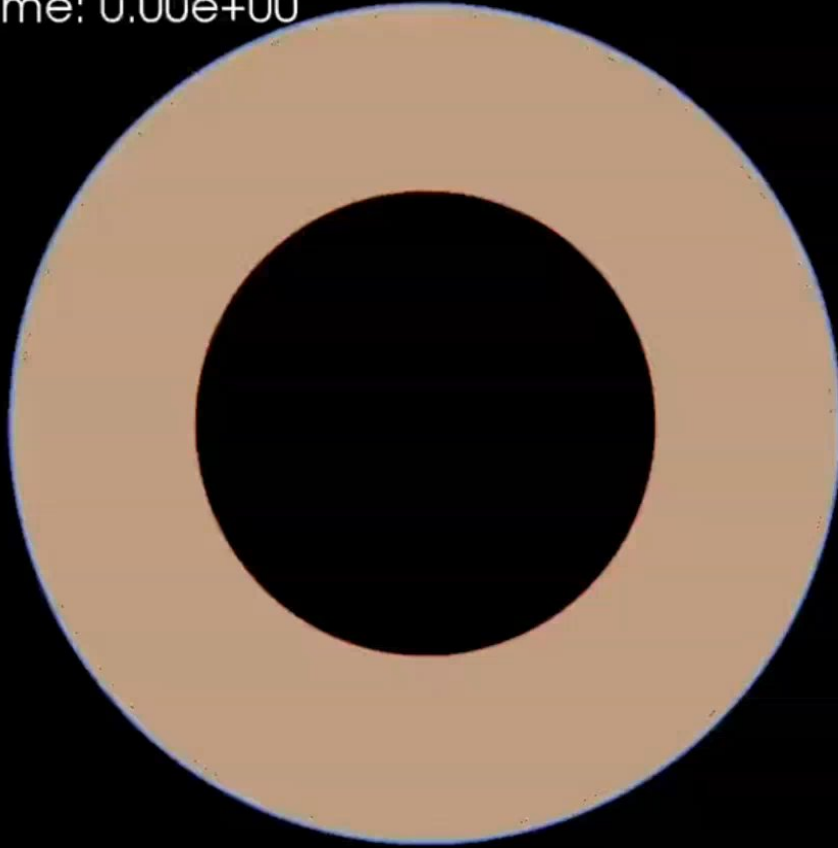
# Mögliches Modell der Erde

# Der dominante Wärmetransport in der Erde

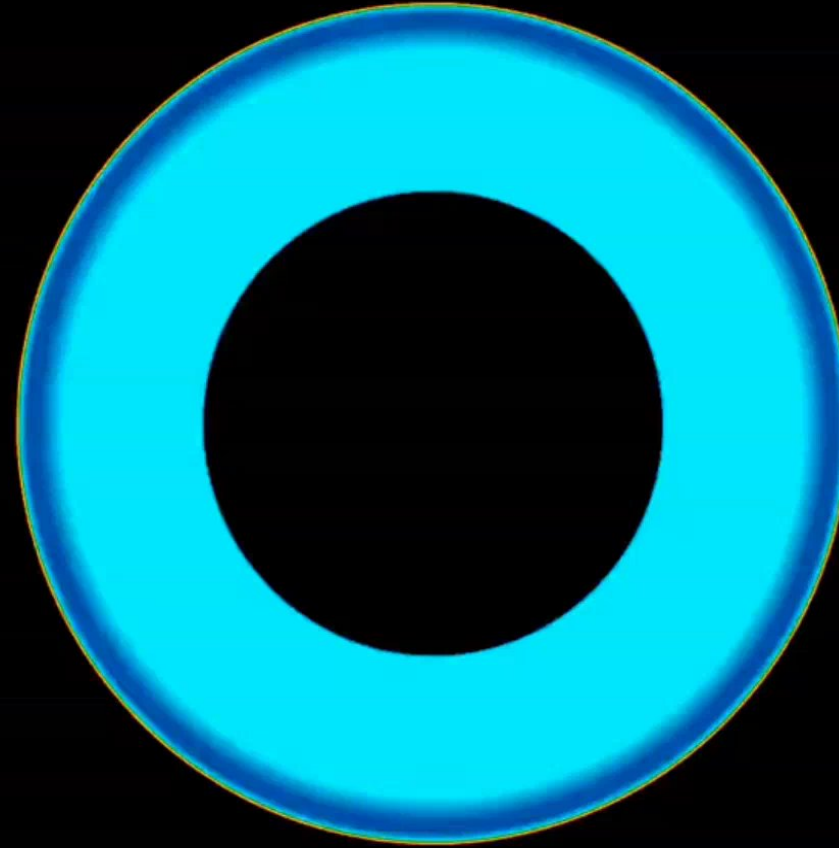


2016 Sep 19 09:01:28.000 (TAI)

Time: 0.00e+00



Nonadiabatic temperature (K)



Viscosity (Pa s)



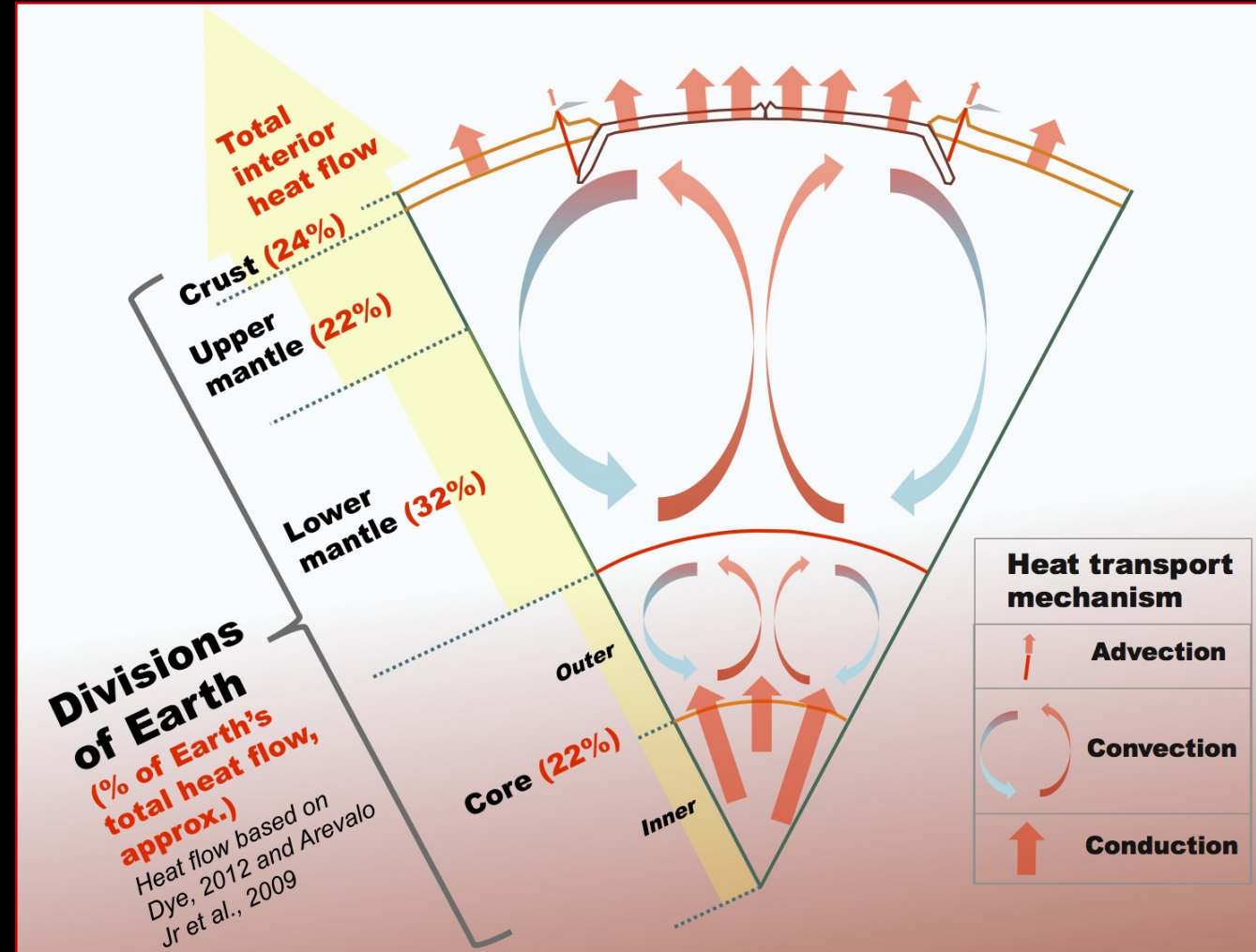


# Wärmebudget

Totale Leistung:  
 ~ 47 +/- 3 TW

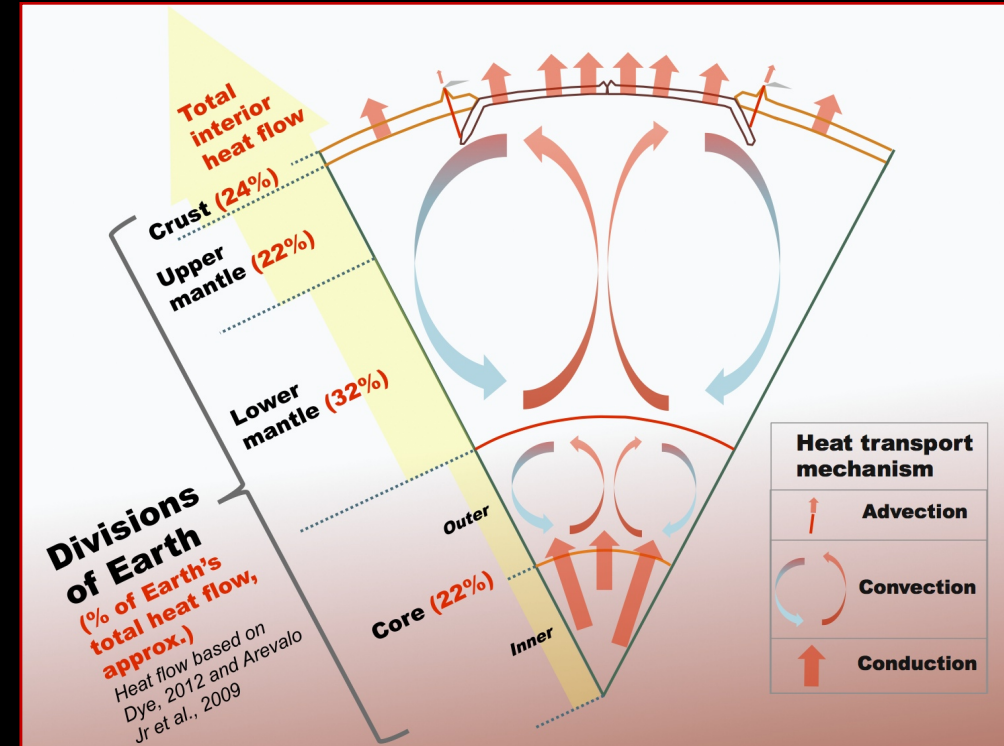
- Ca. ~ 17x der globalen Stromerzeugungskapazität (~ 2.8 TW)

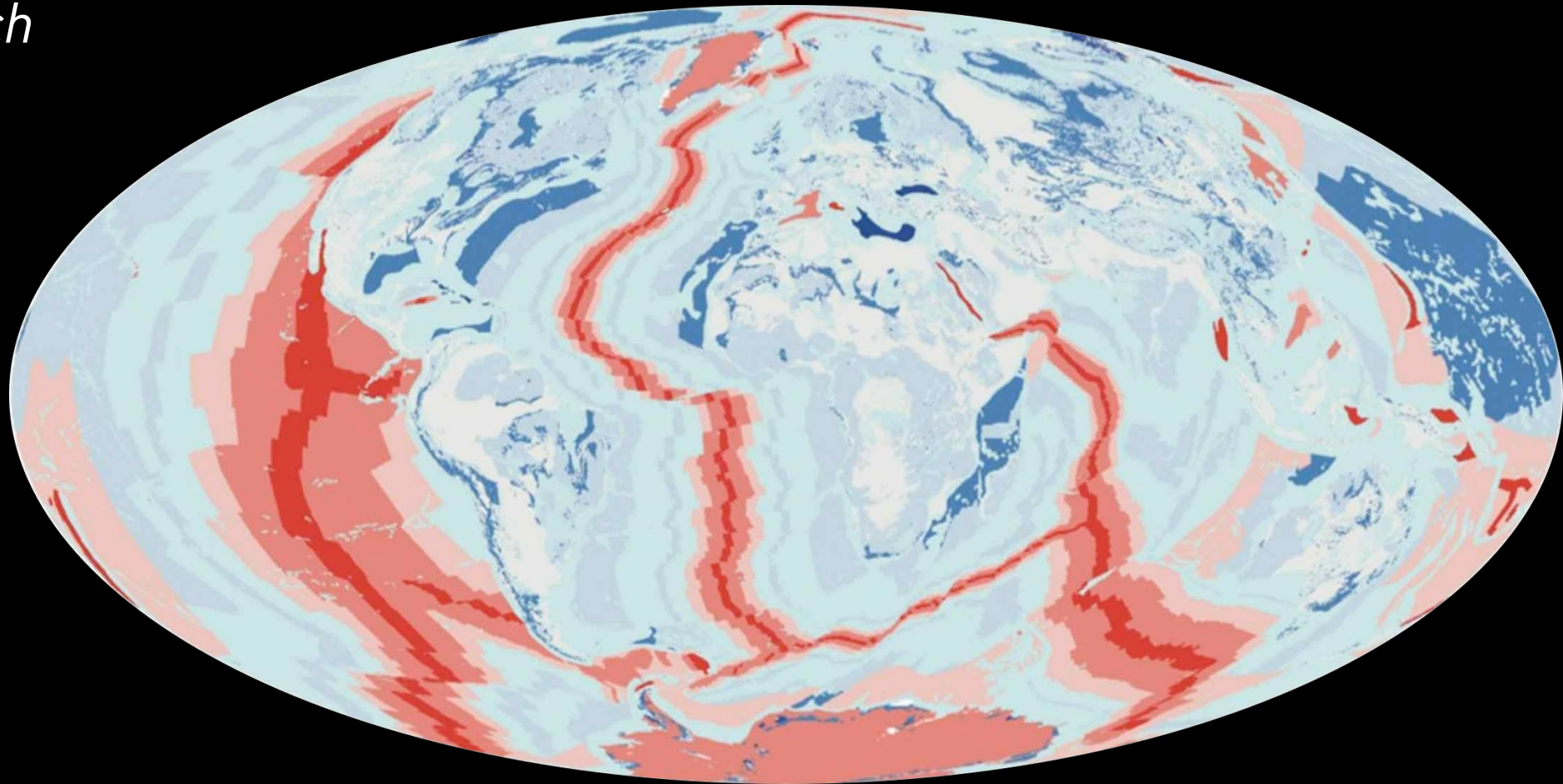
99 % der Erde sind heisser als 1000 Grad



Totale Leistung:  
 ~ 47 +/- 3 TW

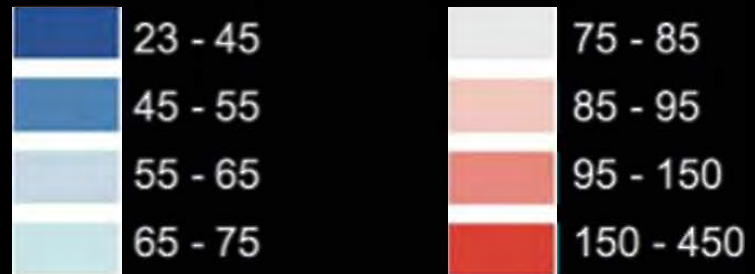
- Primordiale Wärme (~ 41 %)
  - Energie von Masse in Gravitations Senke
  - Kinetische Energie der gesammelten Masse
- Radioaktiver Zerfall (~ 59 %)
  - $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{235}\text{U}$
  - Elemente häufiger im Mantel als im Kern
- Latente Wärme (wenige Prozent)

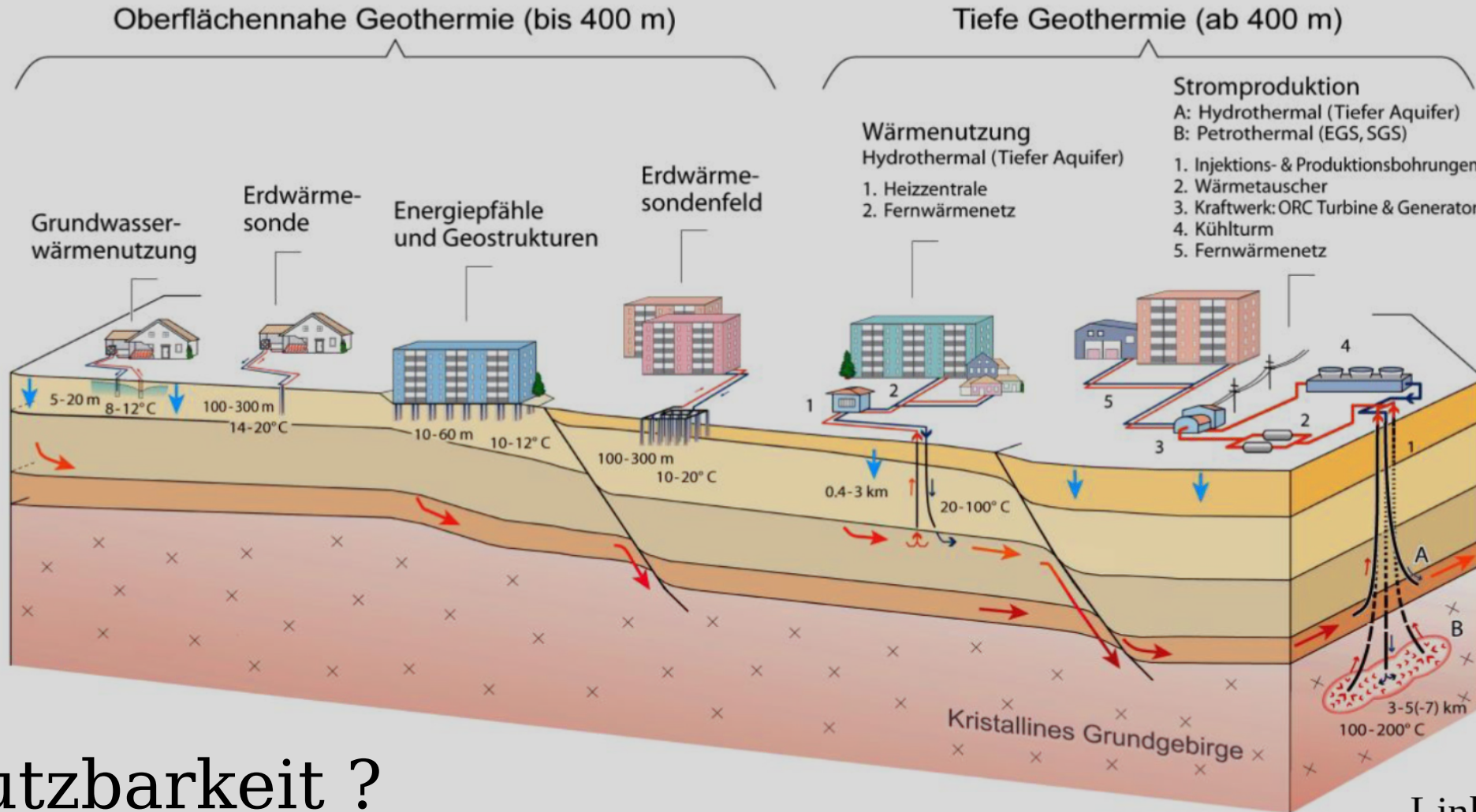




# Wärmefluss an der Erdoberfläche

mW m<sup>-2</sup>



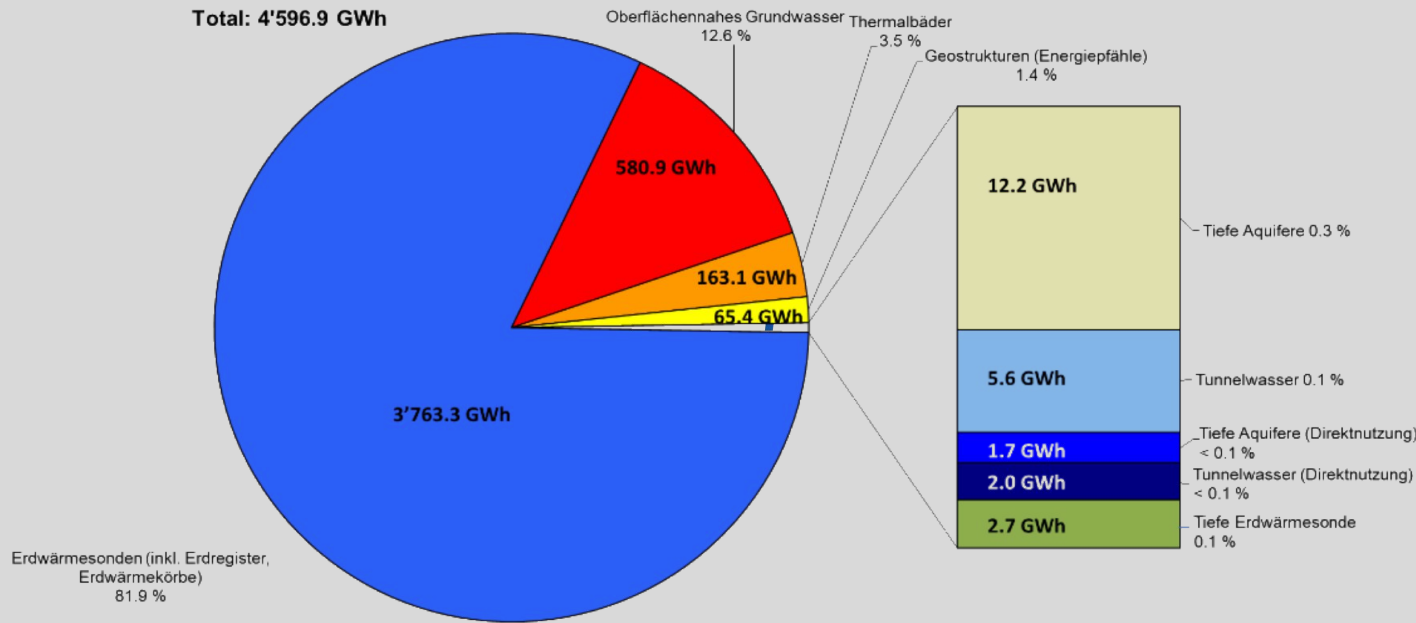


Nutzbarkeit ?

Link (2020)

# Schweiz geothermale Heizenergie (2021)

4.6 TWh entspricht der Heizleistung von 340k Haushalte (à 13.5 MWh /a)



Wohngebäude nach primärem Heizsystem

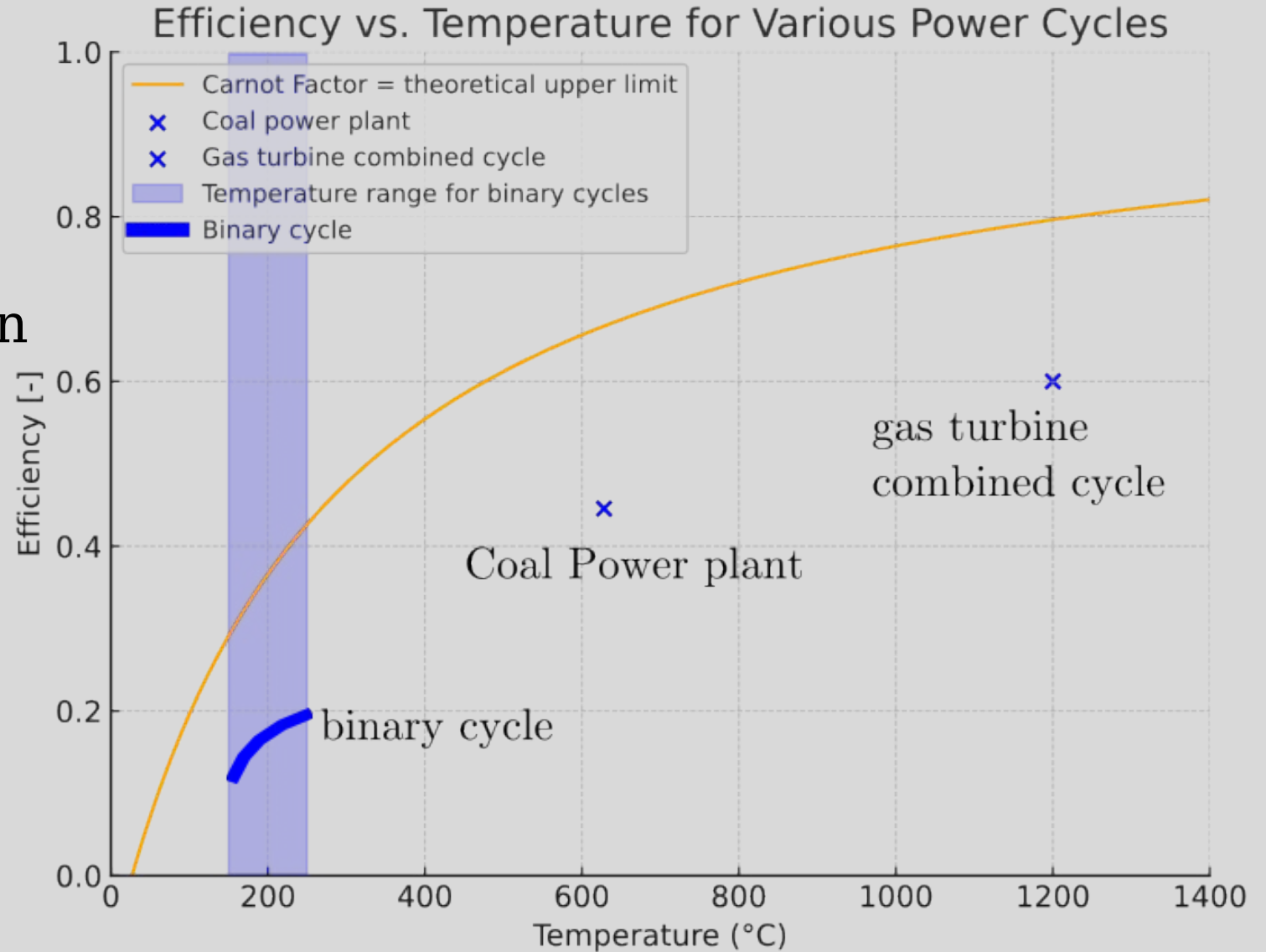
	2021	2022
	in %	in %
Heizkessel	64,3	62,8
Wärmepumpe	17,0	18,5
Elektroheizung	8,0	7,9
Ofen	6,2	6,1
Wärmetauscher	3,6	3,8
Thermische Solaranlage	0,3	0,3
Anderes Heizsystem	0,2	0,2
Kein Heizsystem	0,3	0,3

Quelle: BFS, Gebäude- und Wohnungsstatistik

Link, Minnig (2022)

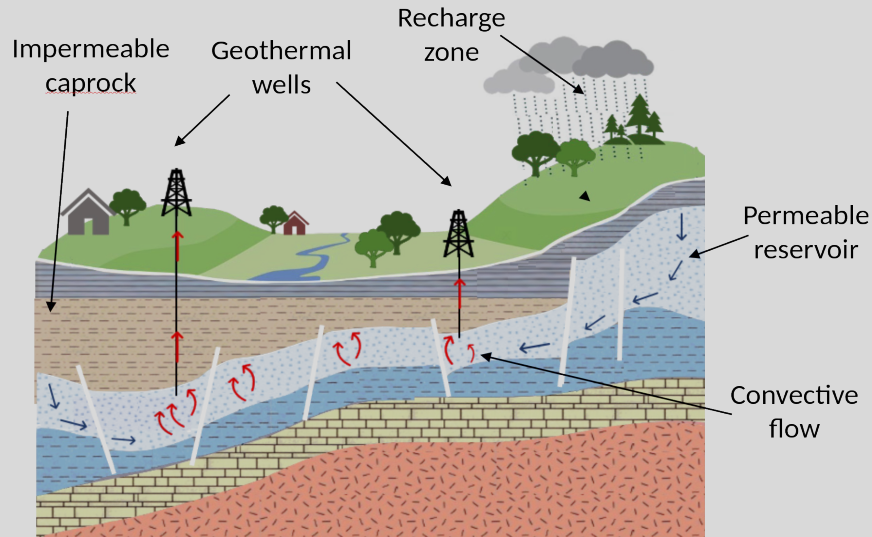
# Stromerzeugung:

- Effiziente Stromerzeugung braucht hohe Temperaturen
- Temperaturen von 300 °C in 10 km Tiefe
- Nicht wirtschaftlich erreichbar mit mechanischem Bohren



Generiert nach Mergner et al (2013)

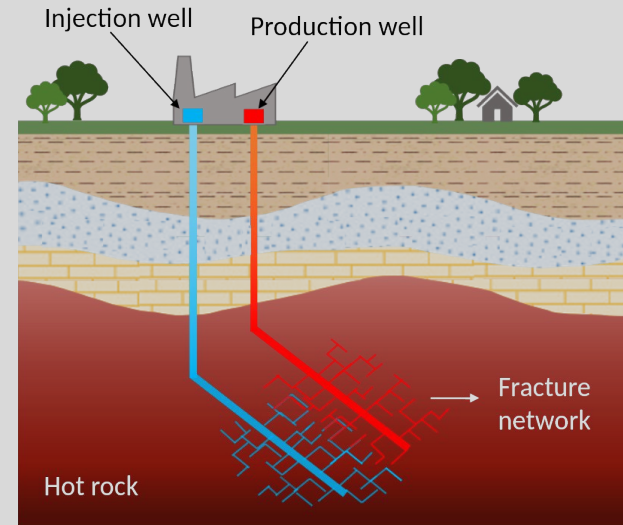
# Erbaut: Tiefen -Geothermie-Kraftwerke



## Hydrothermal (2-4 km)

- braucht Durchlässigkeit
- braucht Wärme oberflächennah

Fündigkeitsrisiko  
gross

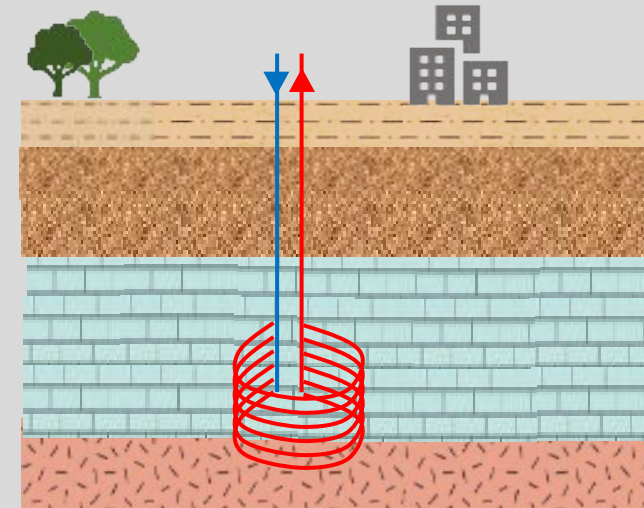
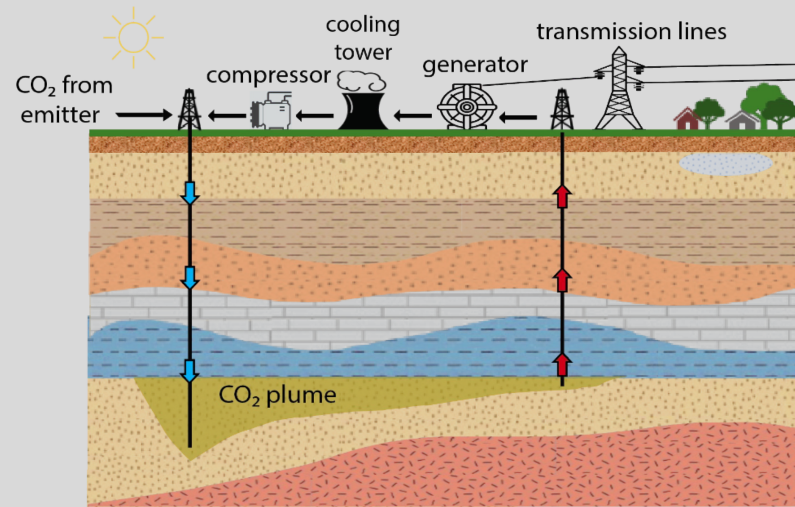


## Petrothermal (EGS, 2 - 5 km)

- braucht hydraulische Stimulation
- Möglichkeit zur Remineralisierung

Seismisches Risiko letztlich nicht  
auszuschliessen, Durchlässigkeit

# Konzepte: Tiefen -Geothermie-Kraftwerke



## CO<sub>2</sub> Plume Geothermie (CPG, 2 - 4 km)

- braucht CO<sub>2</sub> - Sequestrierung (CCS)
- braucht dichtes Reservoir
- braucht Wärme / Durchlässigkeit

Preis für CO<sub>2</sub> - Abscheidung muss fallen

## Deep closed loop AGS (> 5 km)

- braucht viele Kilometer Bohrloch (> 60 km) für wenig Leistung (~ 2 MW)
- kein Verschluss
- geringes seismisches Risiko

Bohrtechnologie (noch?) zu teuer



# Ausblick

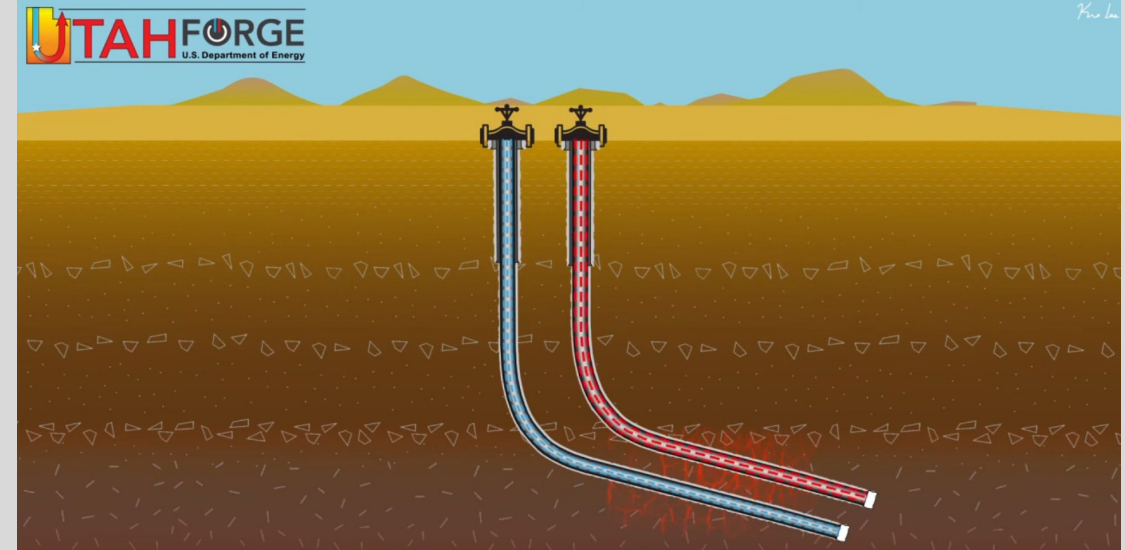
- "Project Cape" (Beaver County, Utah)

"400-MW<sub>el</sub> expect to come

online in 2026" (in einem Kraftwerk)

<https://www.utilitydive.com/news/geothermal-fervo-energy-devon-funding-cape-station-utah/709280/>

- Heute 4 GW der Stromkapazität in den USA aus Geothermie
- US-Energieministeriums: Nutzung durch EGS bis 2050 > 90 GW an stabilem, sauberem & flexiblem Strom
- Genug für > 65 Millionen Haushalte



Utah Forge, USA,

# Neugierig auf mehr?

<https://geg.ethz.ch/>

---

[dariosc@ethz.ch](mailto:dariosc@ethz.ch)

Dario Schwendener

**DEAPS**