

# Geothermie im Aar Massiv

## Was die Natur uns lehrt

*u*<sup>b</sup>

*b*  
UNIVERSITÄT  
BERN



Marco Herwegh, Institut für Geologie, Universität Bern

A. Berger, D. Egli, T. Belgrano, R. Baumberger, R. Schneeberger, P. Wehrens, S. Küng, R. Baumann, S. Lustenberger, L. Diamond, Ch. Wanner, R. Zimmerli  
K. Holliger, L. Baron (Uni Lausanne)  
E. Kissling

Uni Bern

Uni Lausanne  
ETHZ

# Vortragsinhalte



- 1) Einführung**
- 2) Tektonische Vorkonditionierung**
- 3) Wo und wie infiltriert kaltes meteorisches Wasser?**
- 4) Wo und wie steigt heißes hydrothermales Wasser auf?**
- 5) Geothermie Potential im Aar Massiv?**



Vulkane auf Heimaey (Island)



Grand Prismatic Spring (Yellowstone NP)



**Gasaustritte Island**



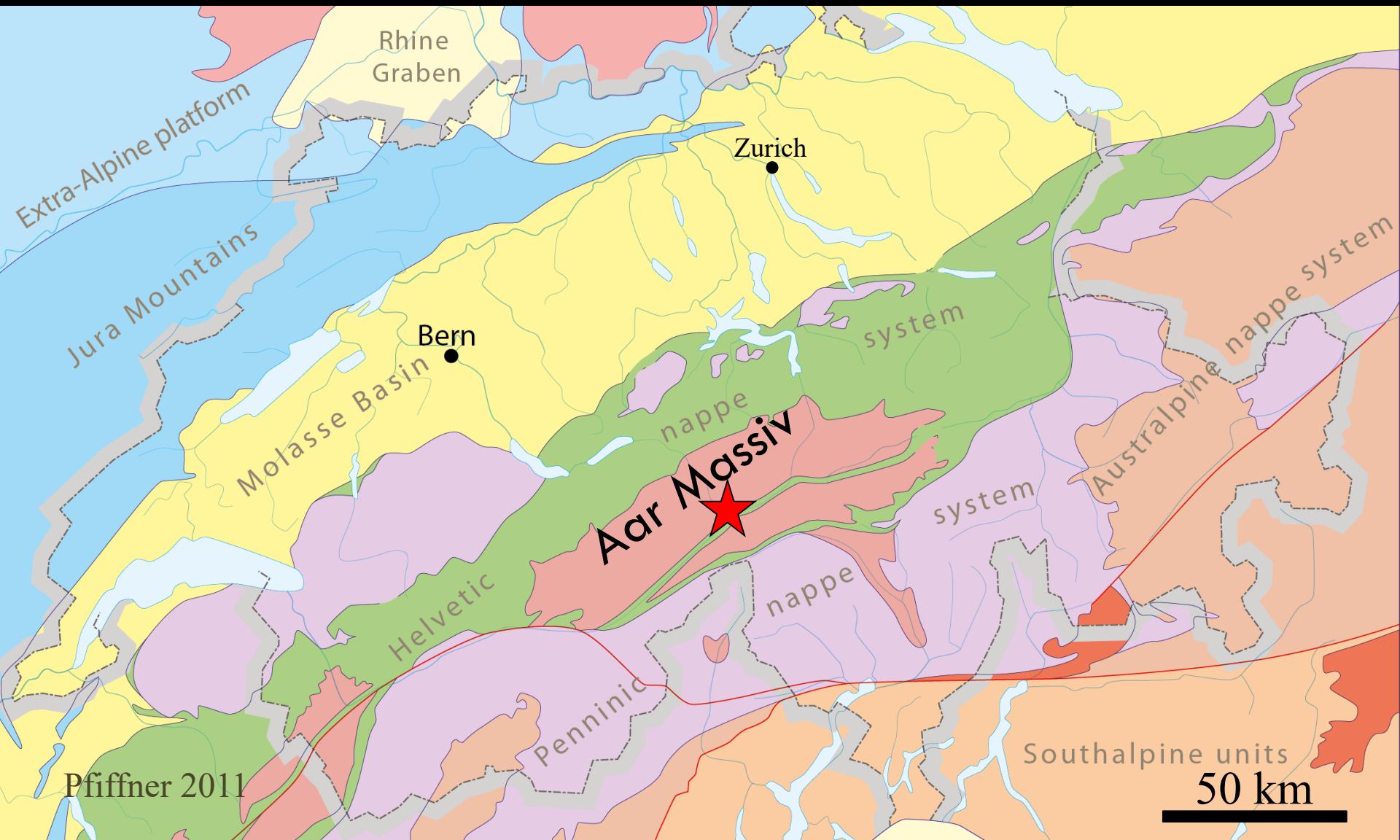
# Old Faithfull Geyser

## Yellowstone NP

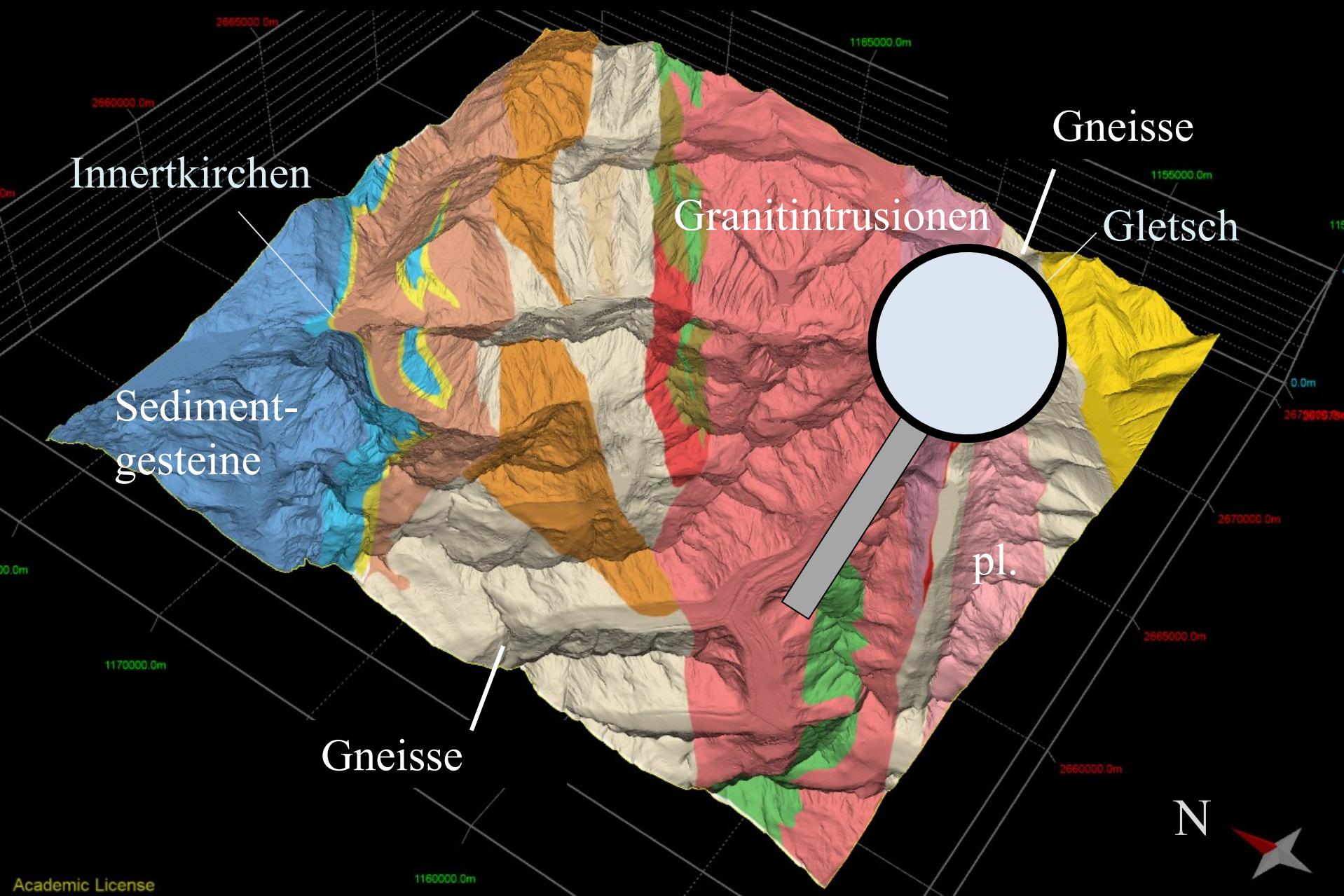


**Hydrothermale Wässer – Geothermie - im Aar Massiv**

# Hydrothermale Aktivität an der Grimsel Wieso?



# Geologie des Aar Massivs





kl. Sidelhorn

Grimselpass

28° C

Gletsch

18° C

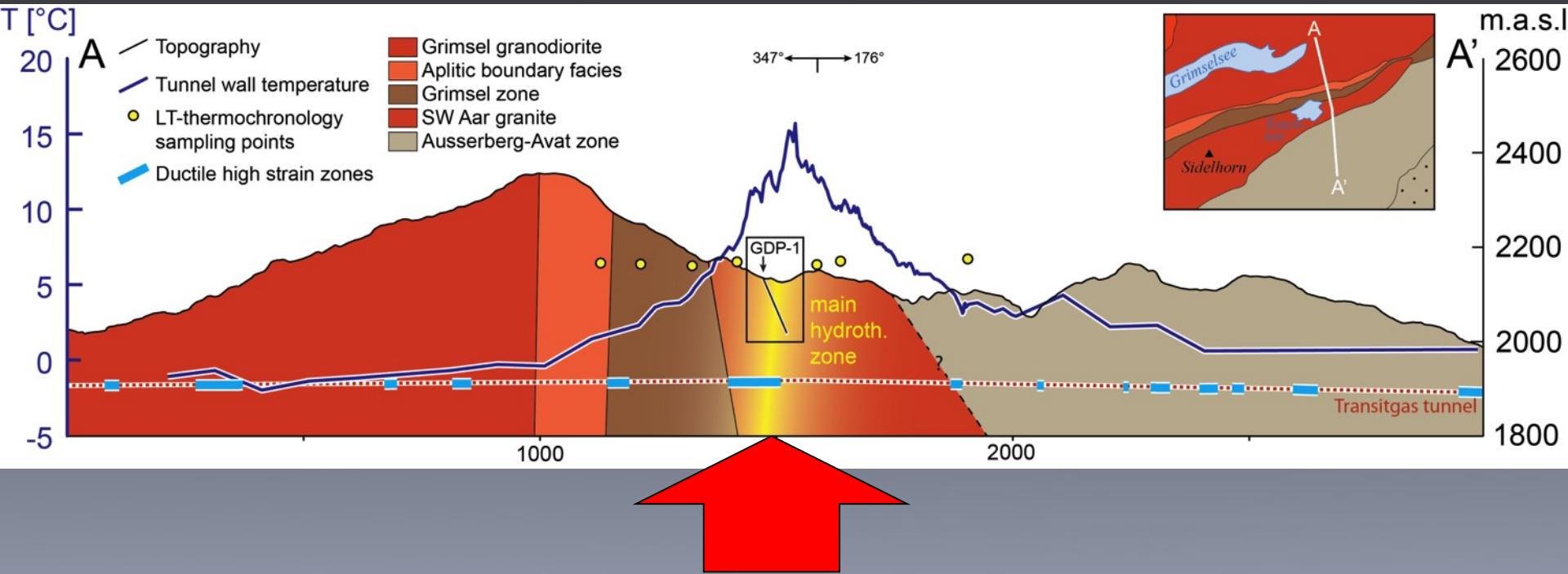
# Austritt 28° C heißer Wässer im Transitgas Stollen





- Wassertemperatur  $28^{\circ} \text{ C}$
- Mit Oberflächenwasser vermischt
- Ohne Oberflächenwasser  $T = 54^{\circ} \text{ C}$  (N. Waber)
- Alter der Wässer  $> 30'000$  Jahre  
(Waber & Schneeberger 2017)

# Temperaturverlauf im Berginnern



- Wieso erhöhte Temperatur?
- Wieso Austritt heißer Wässer?

# Vortragsinhalte



- 1) Einführung**
- 2) Tektonische Vorkonditionierung**
- 3) Wo und wie infiltriert kaltes meteorisches Wasser?**
- 4) Wo und wie steigt heißes hydrothermales Wasser auf?**
- 5) Geothermie Potential im Aar Massiv?**

S

N

Ritzlihorn

Gneiss

Granit

Gneiss

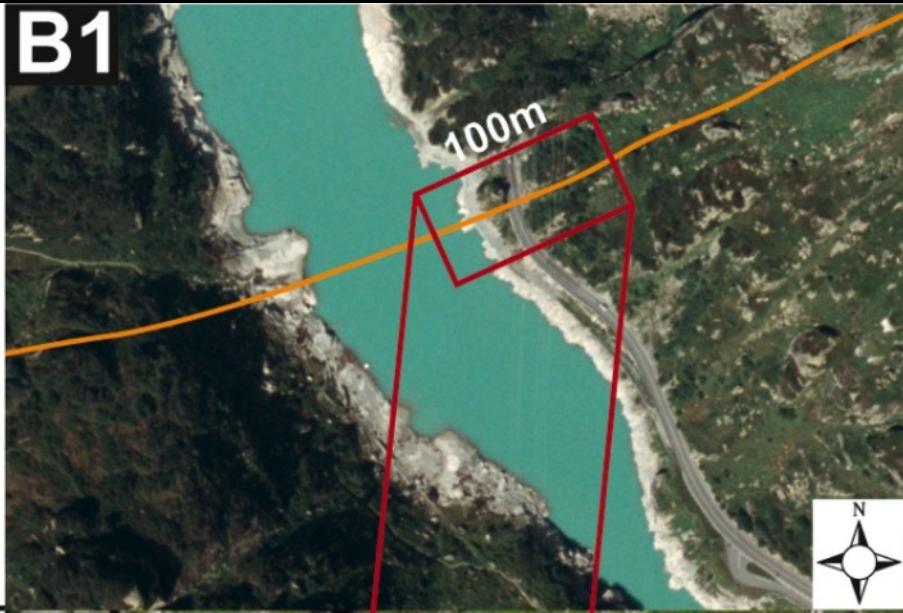
Granit

Blick ins Grubengebiet

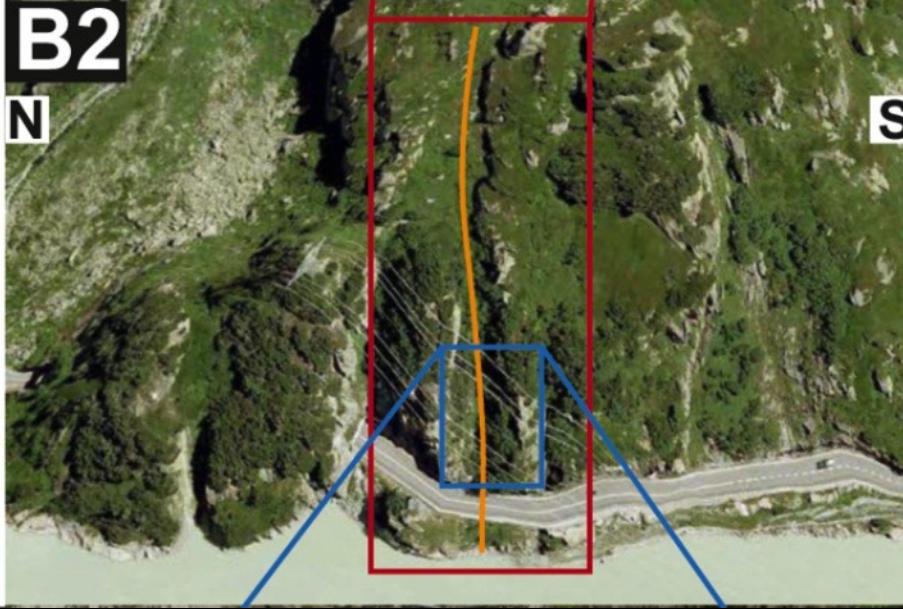


# Tektonische Oberflächen-Einschnitte (Lineamente)

MAPVIEW

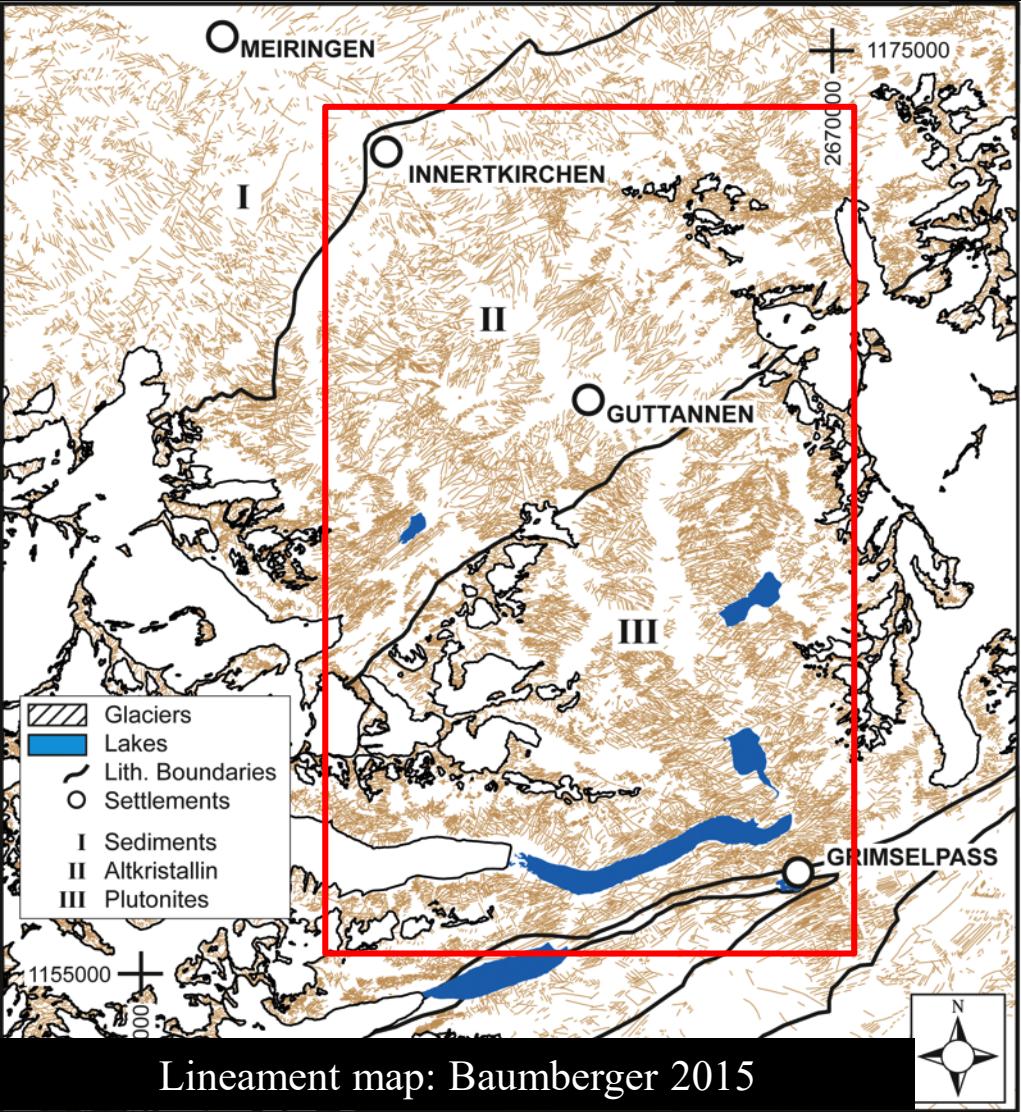


OBlique view

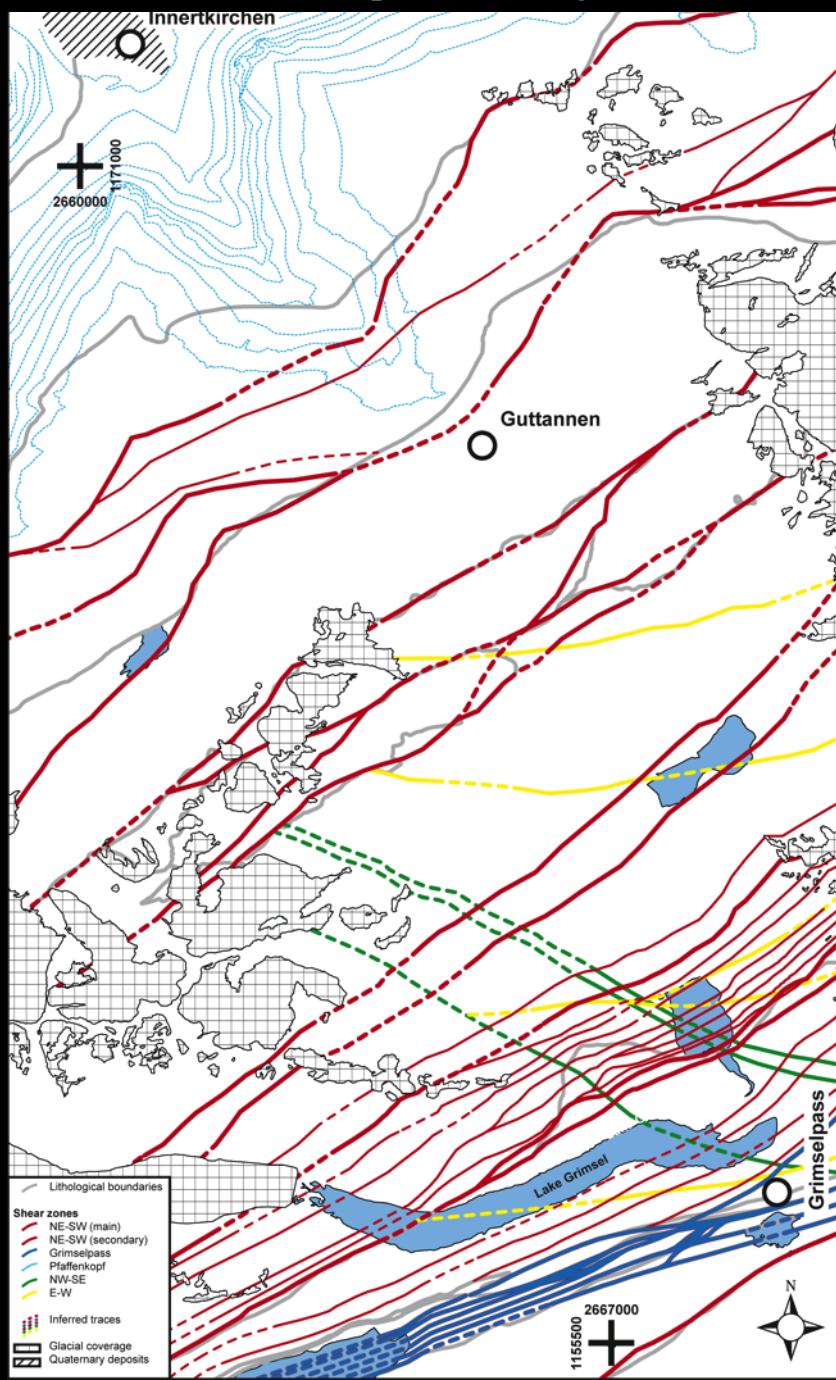


Lineamente: Baumberger 2015

# Von Lineamenten zu Scherzonen

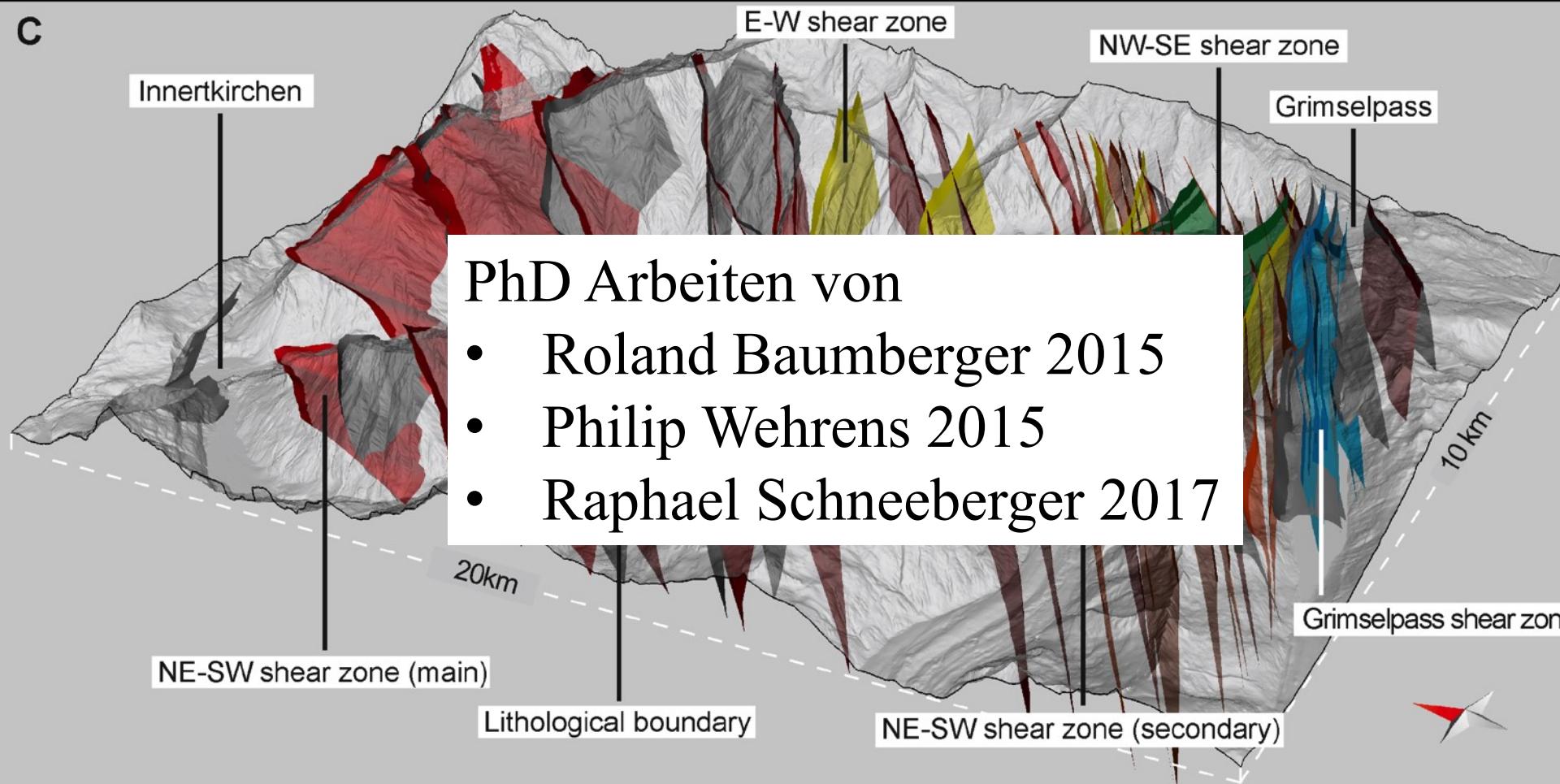


Shear zone map: Baumberger 2015



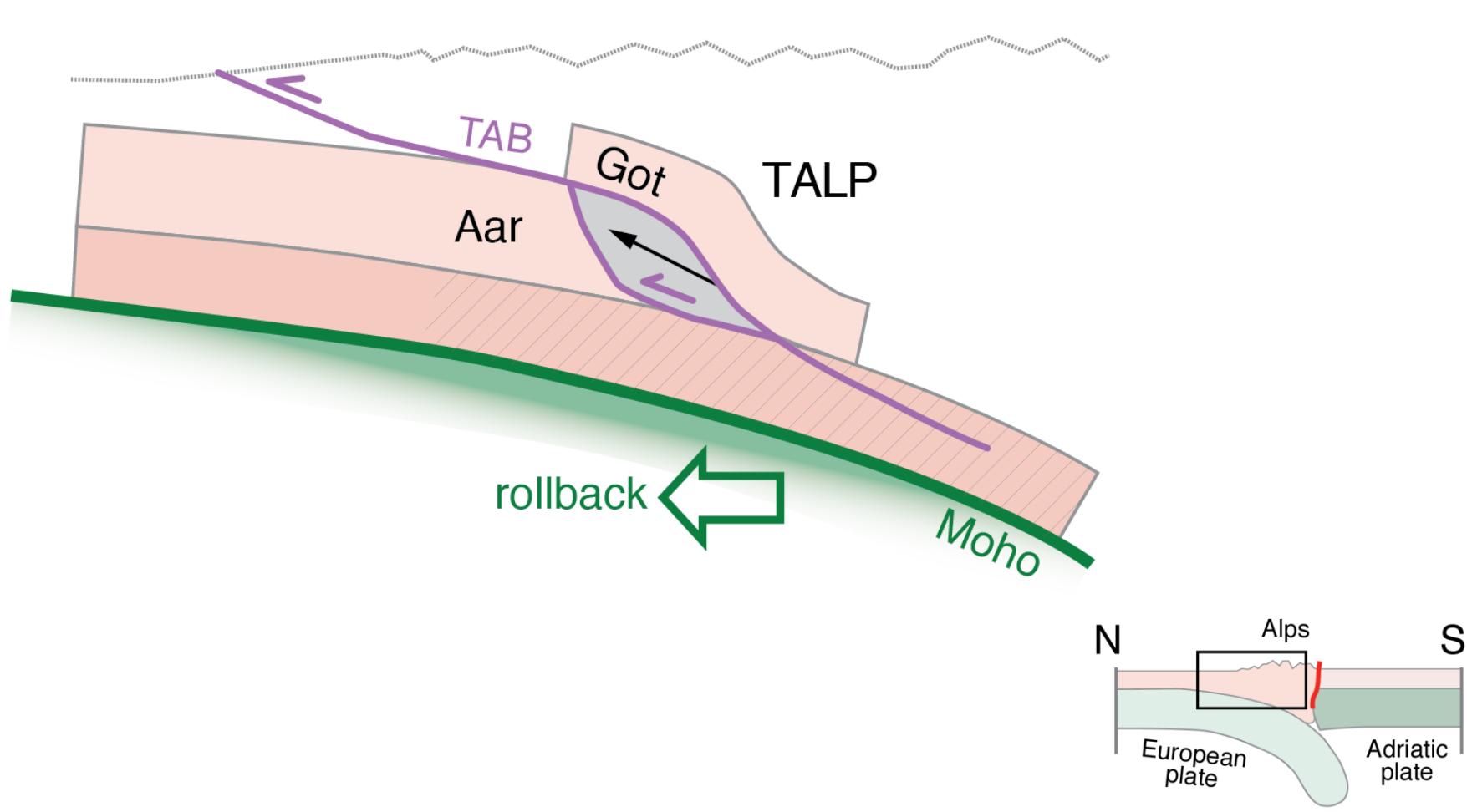
# 3D Störungszonen-Modell

C

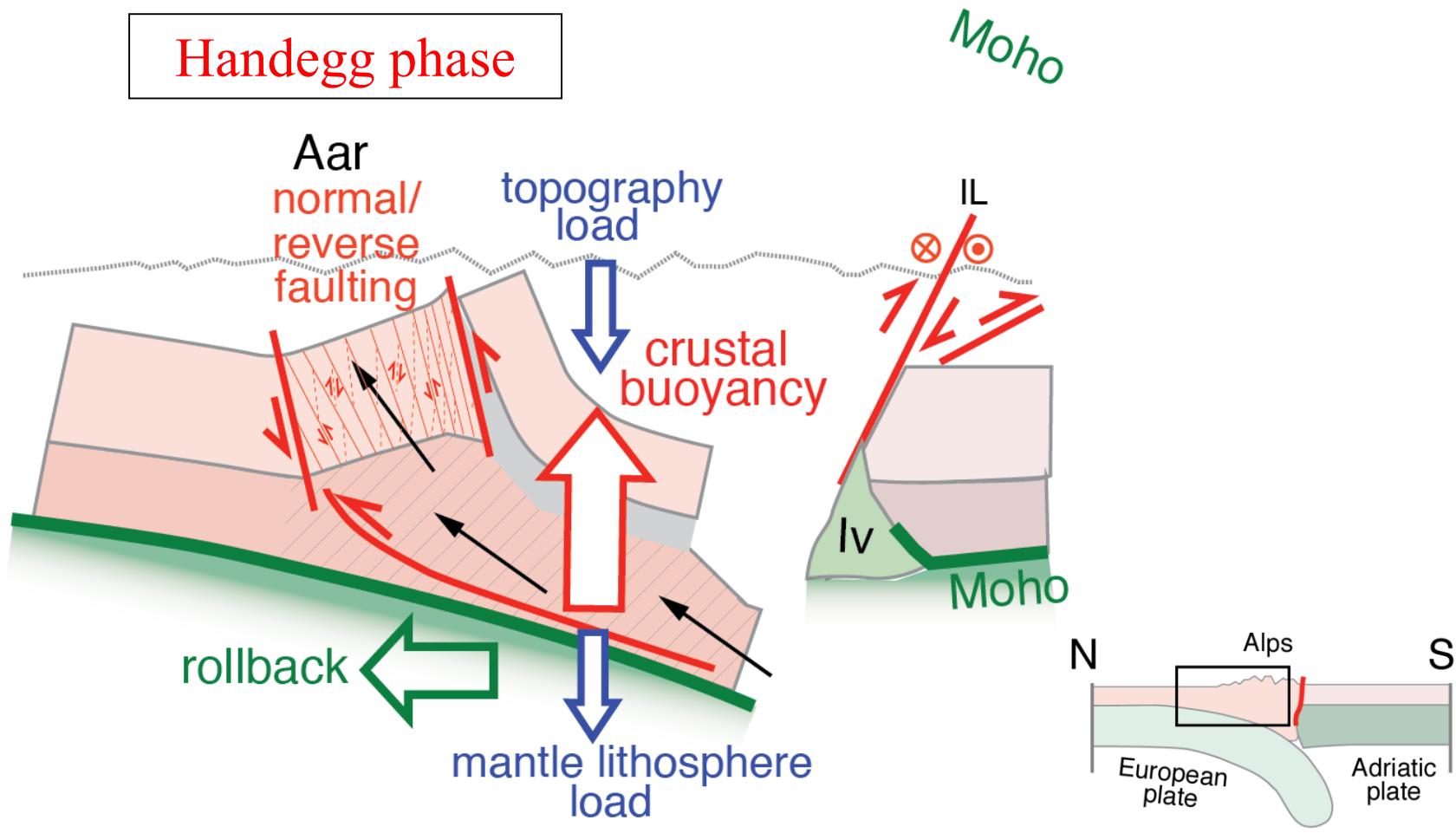


Baumberger et al. (in press)

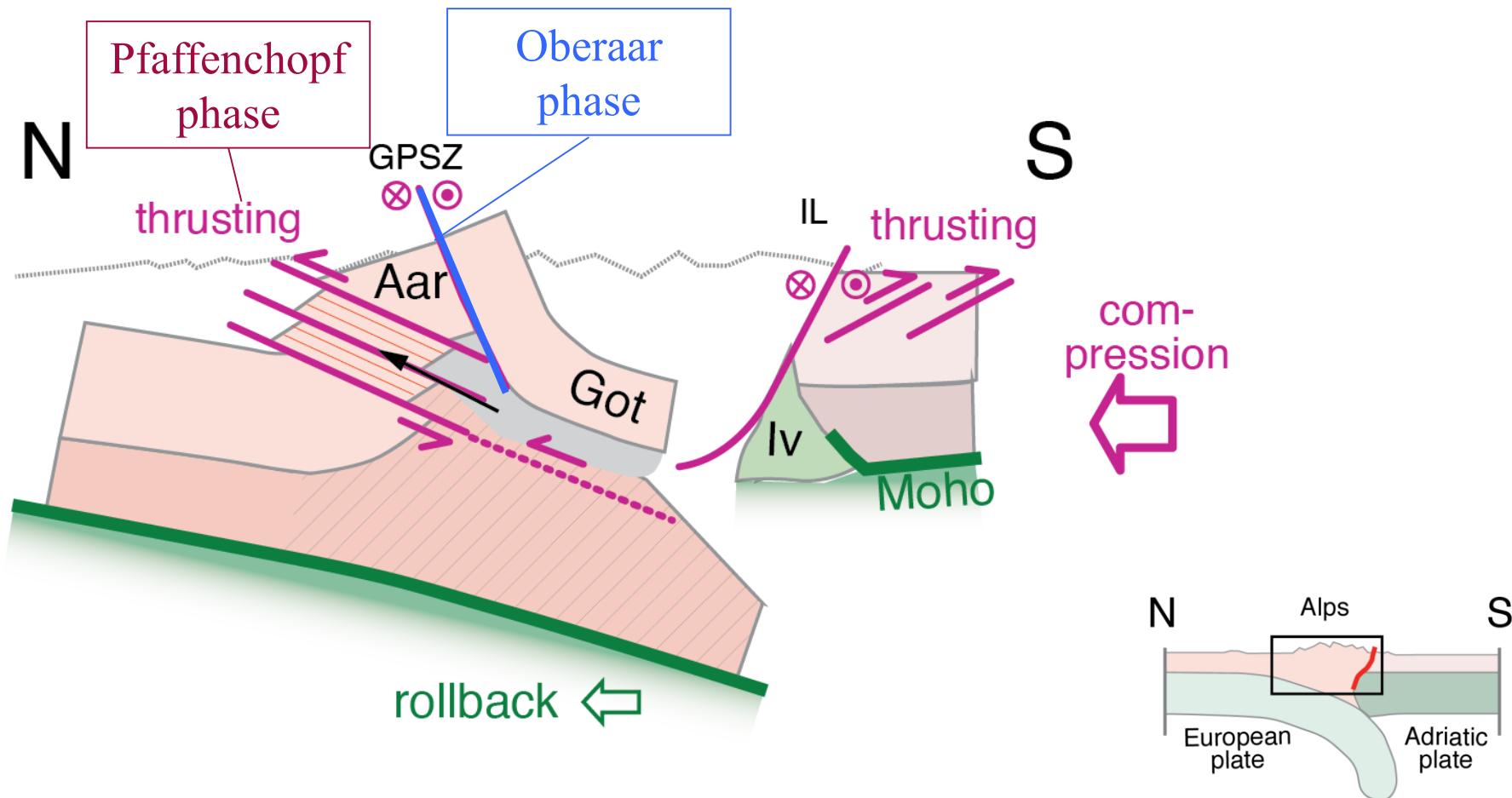
# Geodynamische Entstehung (22-20Ma)



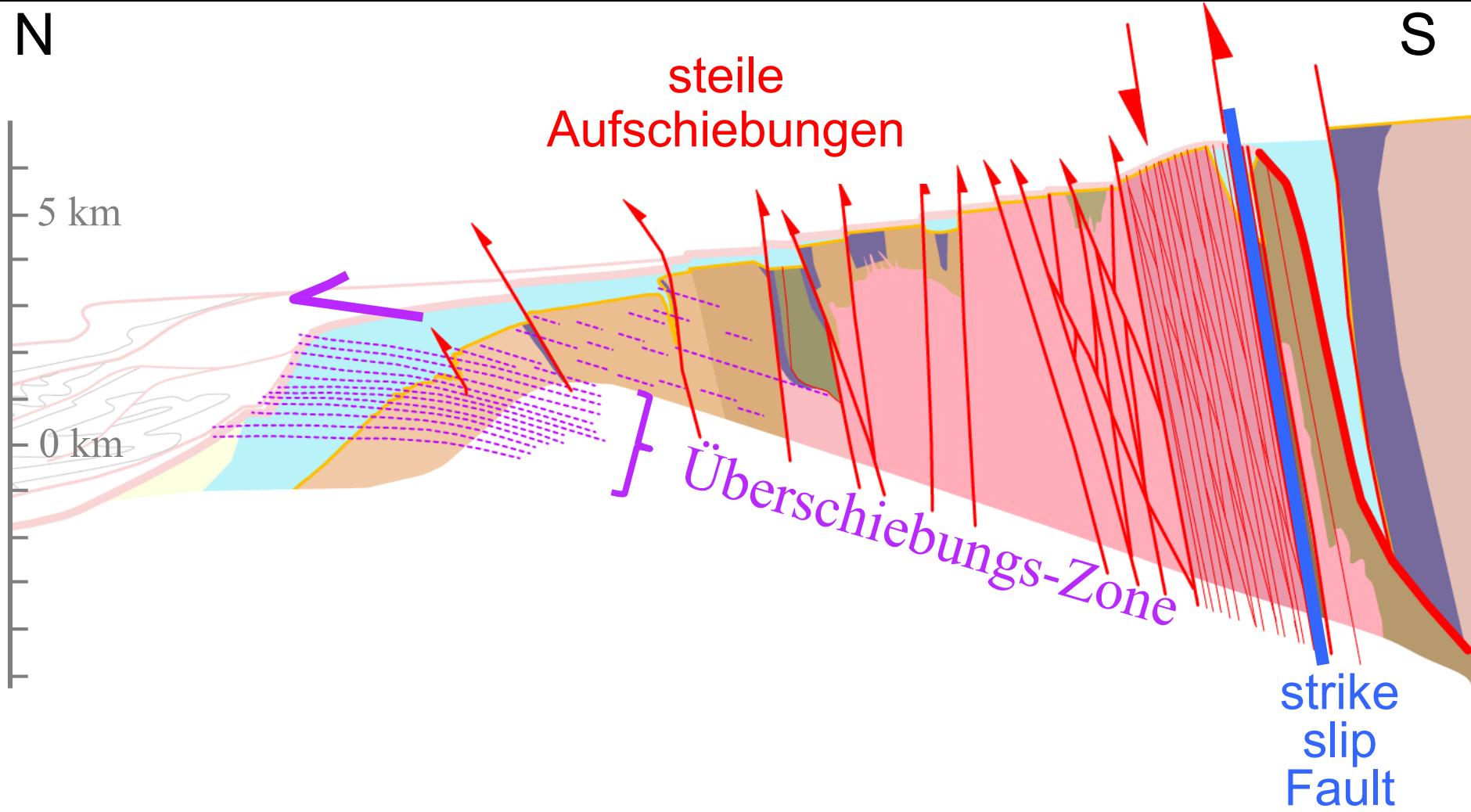
# Geodynamische Entstehung (20-17Ma)



# Geodynamische Entstehung (12-5 Ma)



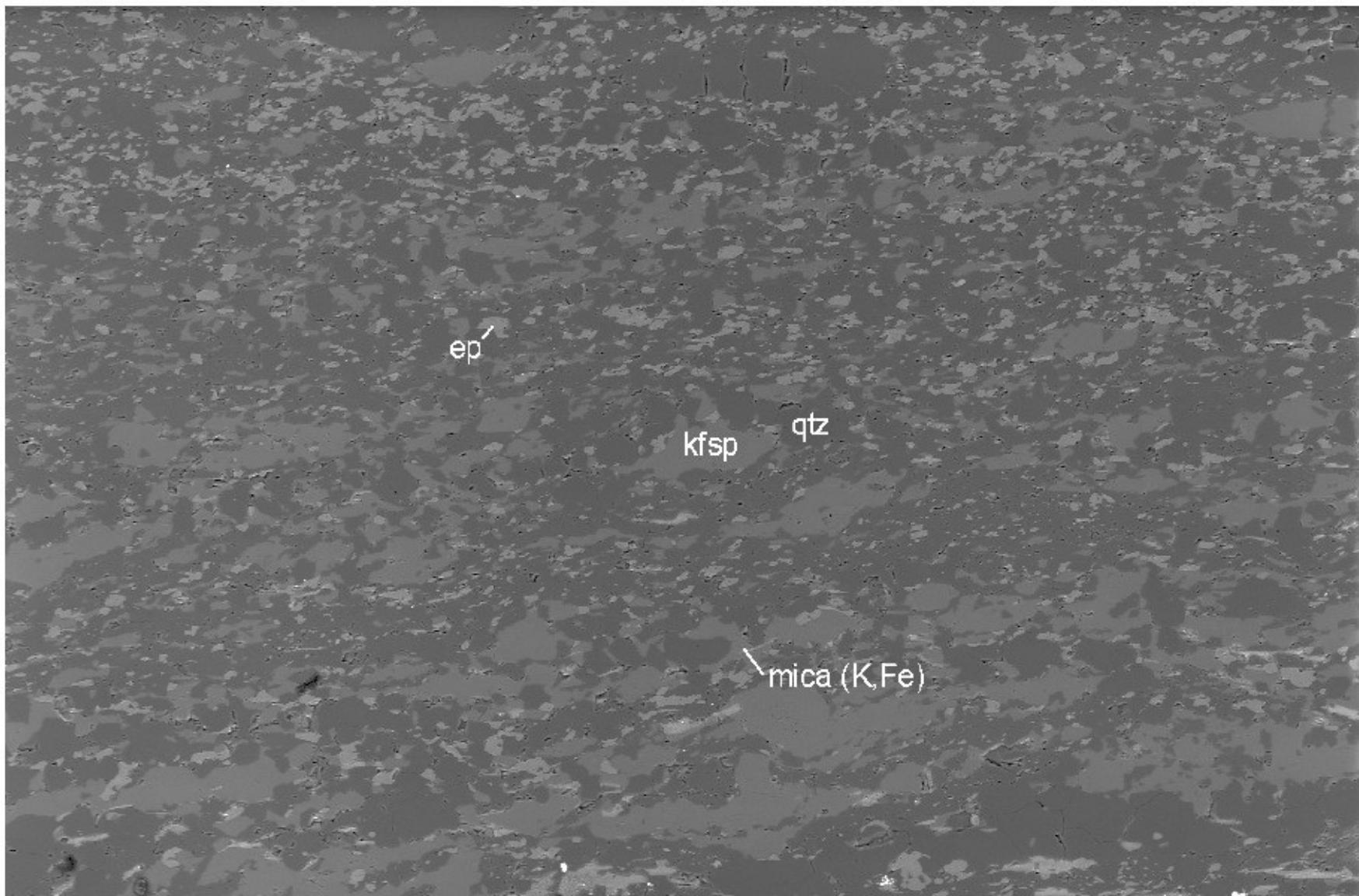
# Strukturen im Querschnitt Haslital





duktile  
Störungszonen





100  $\mu\text{m}$

EHT = 20.00 kV  
WD = 8.5 mm

Signal A = QBSD  
Photo No. = 912

Date : 11 Jan 2008  
Time : 11:40:20



Plastische Störungszonen - Mikrogefüge



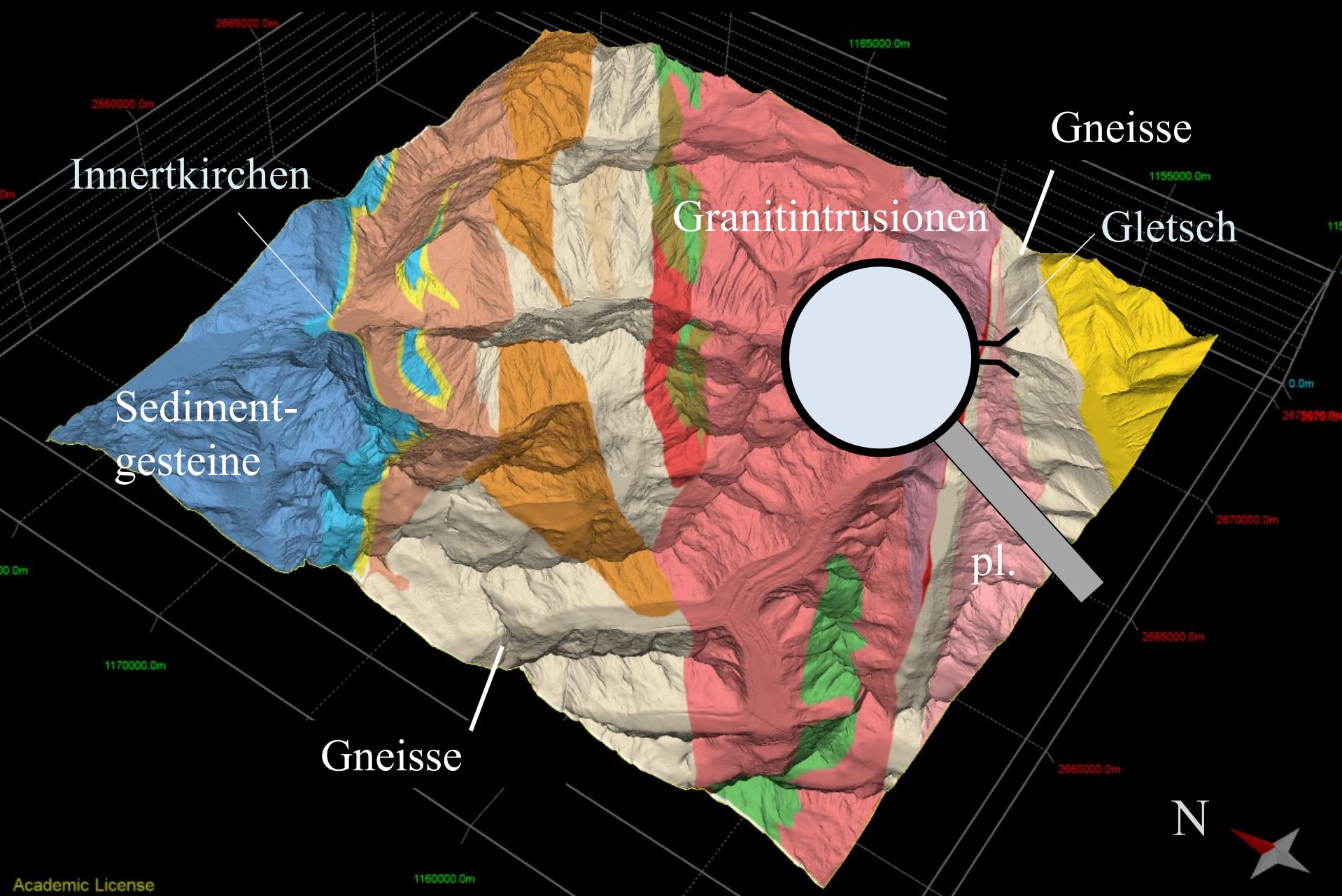
Spröde  
Störungszonen

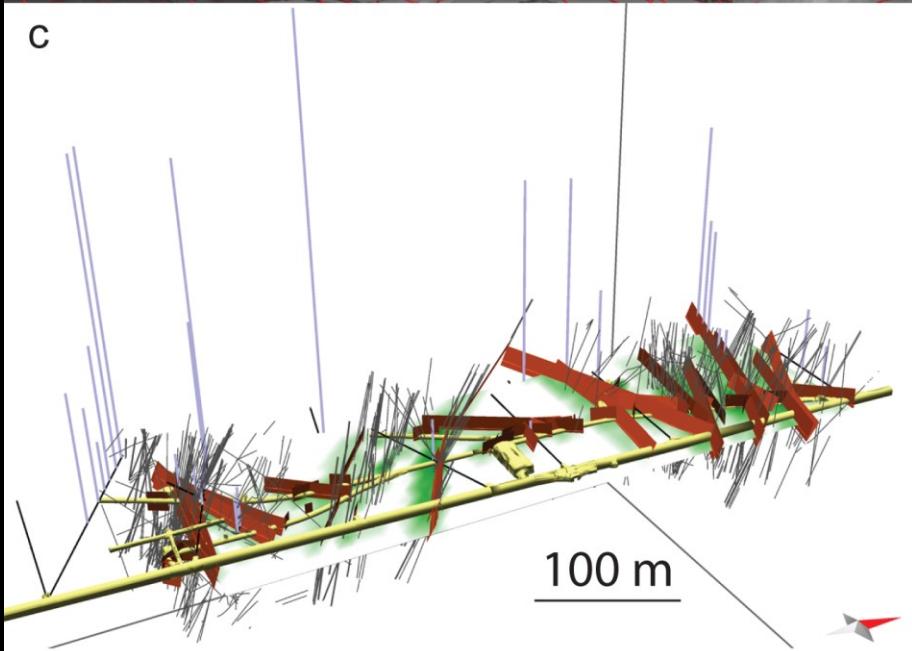
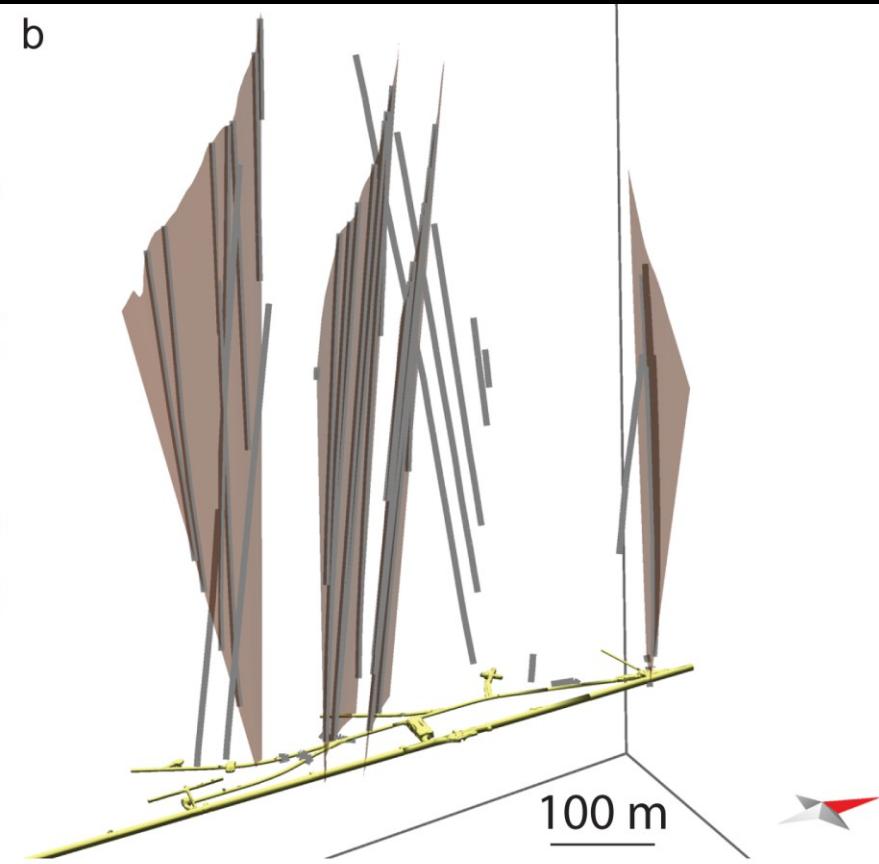
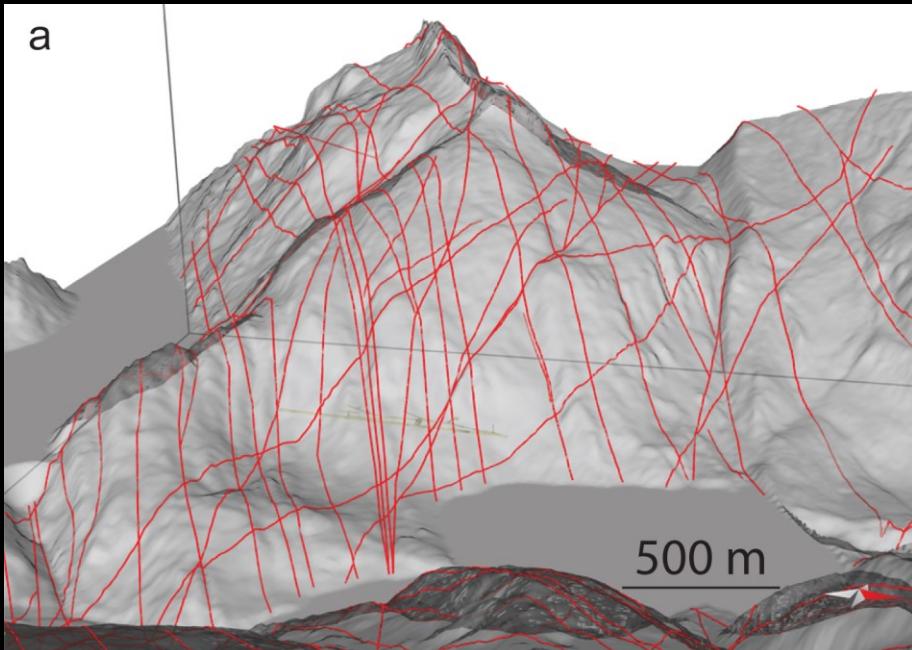
# Vortragsinhalte



- 1) Einführung
- 2) Tektonische Vorkonditionierung
- 3) **Wo und wie infiltriert kaltes meteorisches Wasser?**
- 4) **Wo und wie steigt heißes hydrothermales Wasser auf?**
- 5) **Geothermie Potential im Aar Massiv?**

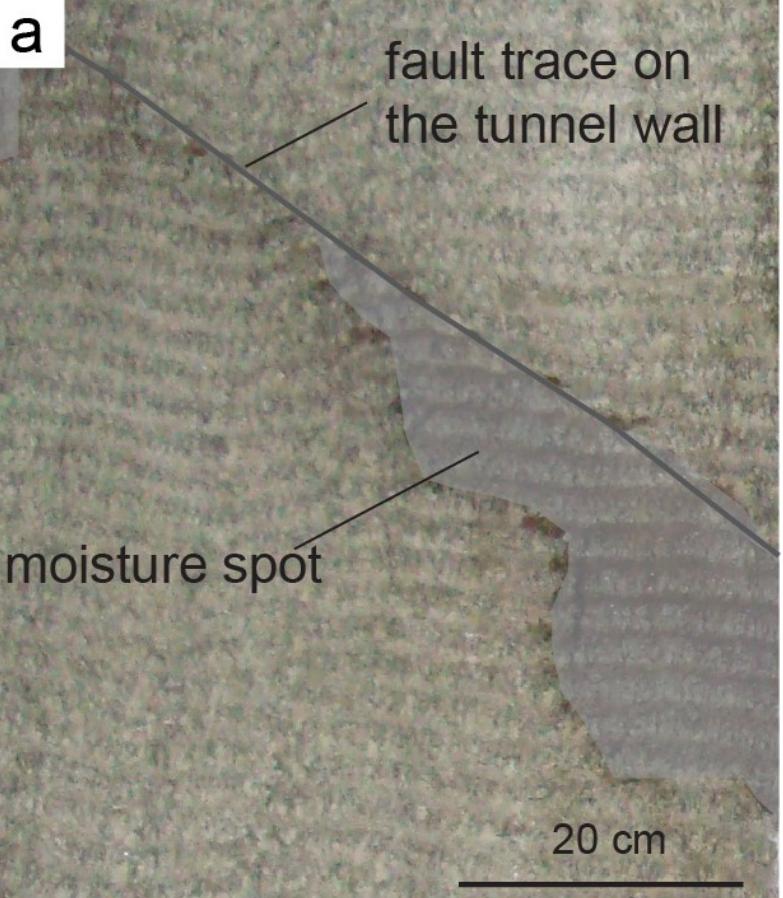
# Nagra Felslabor



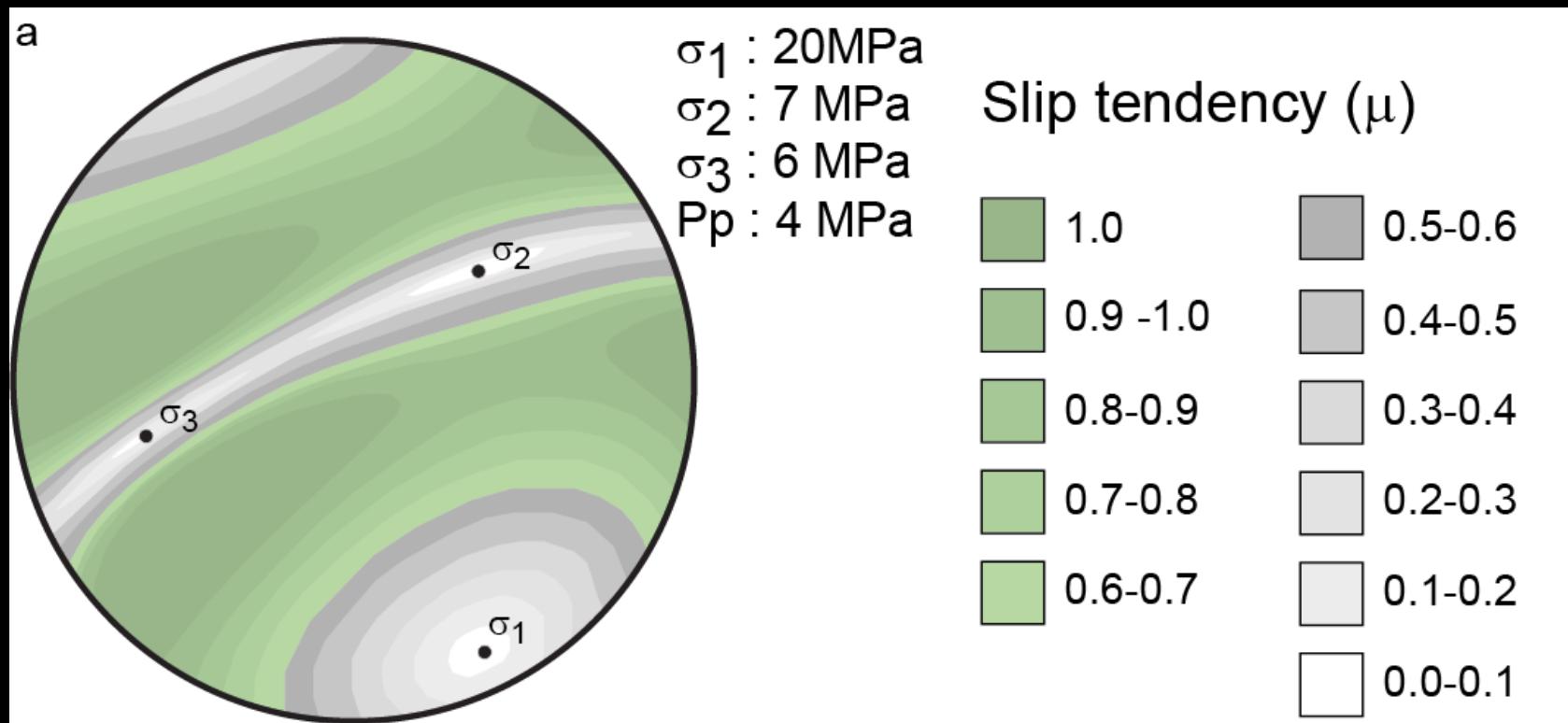


- fault / fault plane
- fault intersection
- hydraulic head
- permeability favourability
- GTS

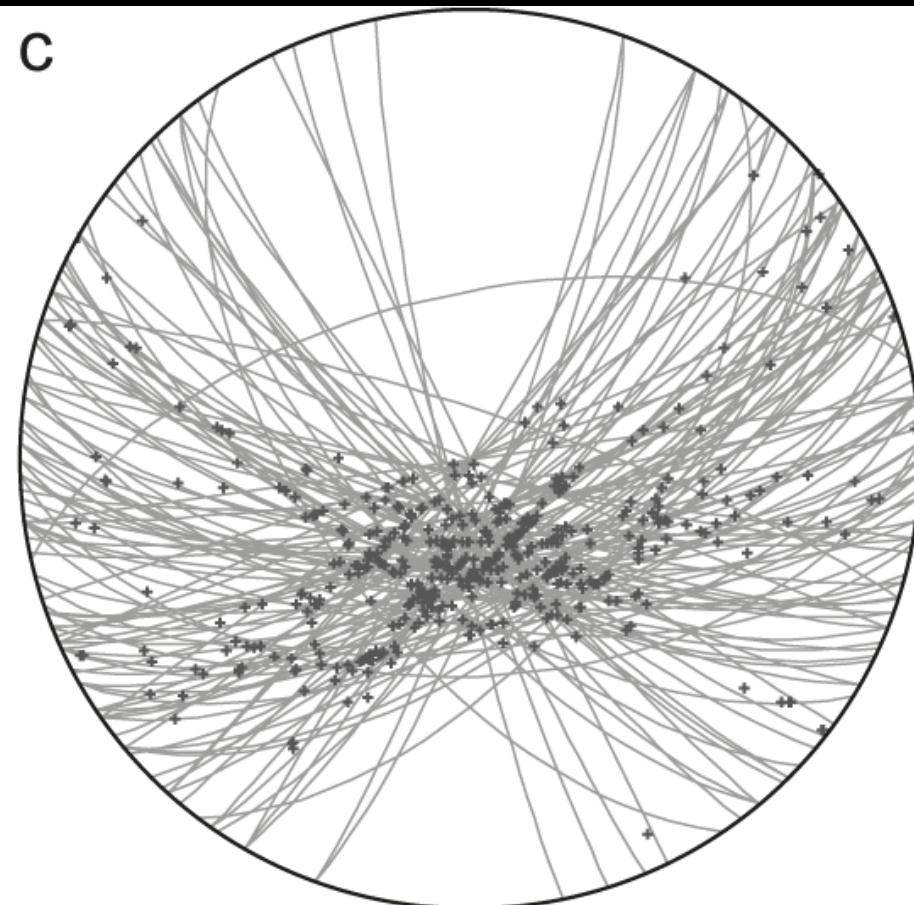
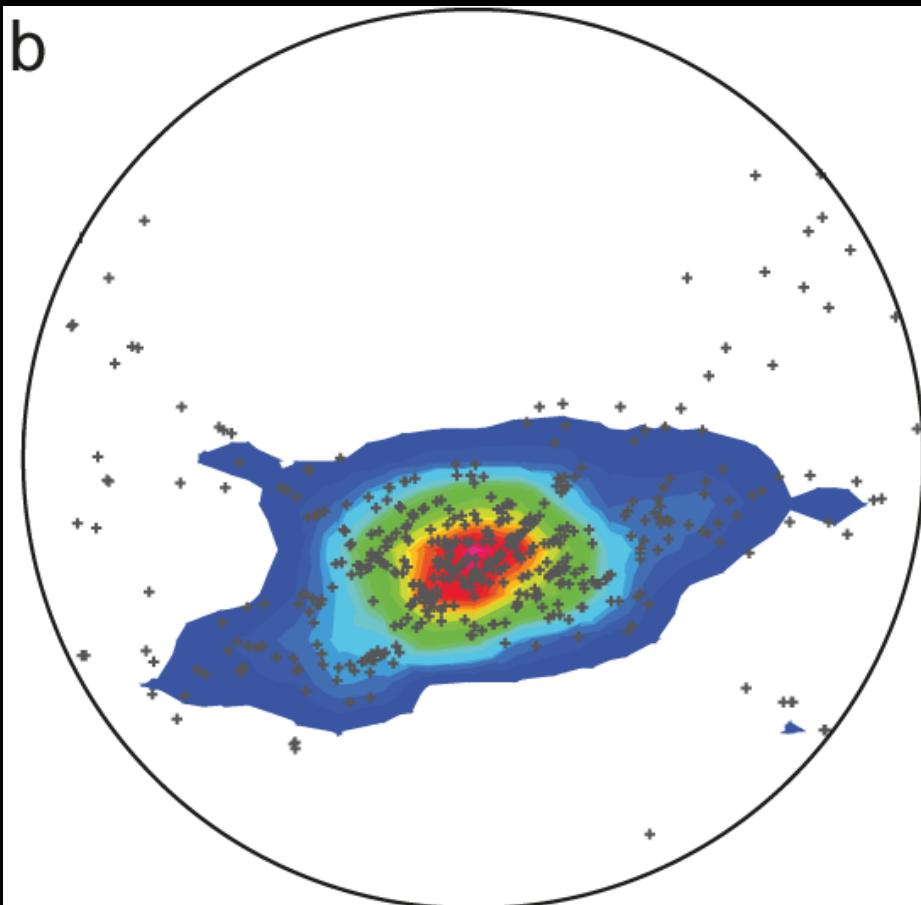
# Wasserführende Störungsflächen im FLG



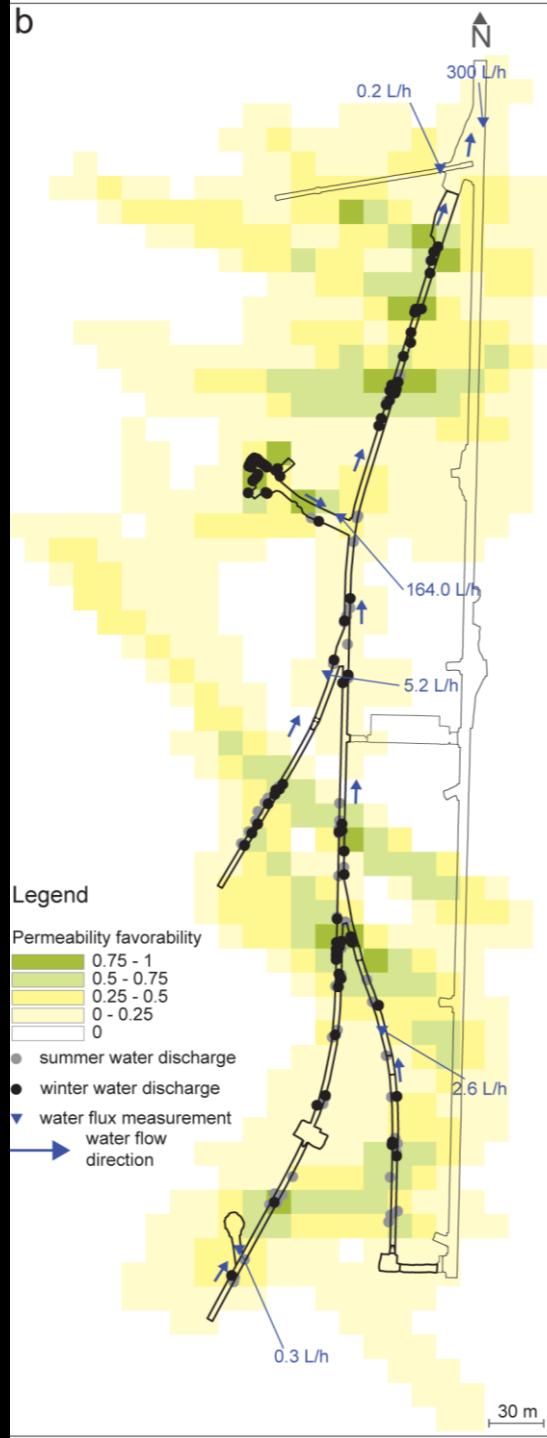
# 1. „Slip Tendency“ von Scherzonen im FLG



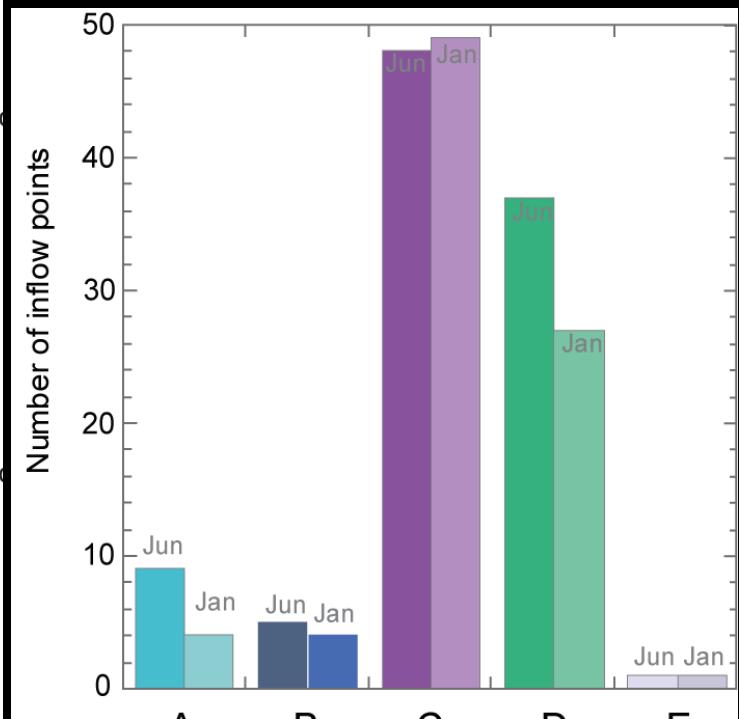
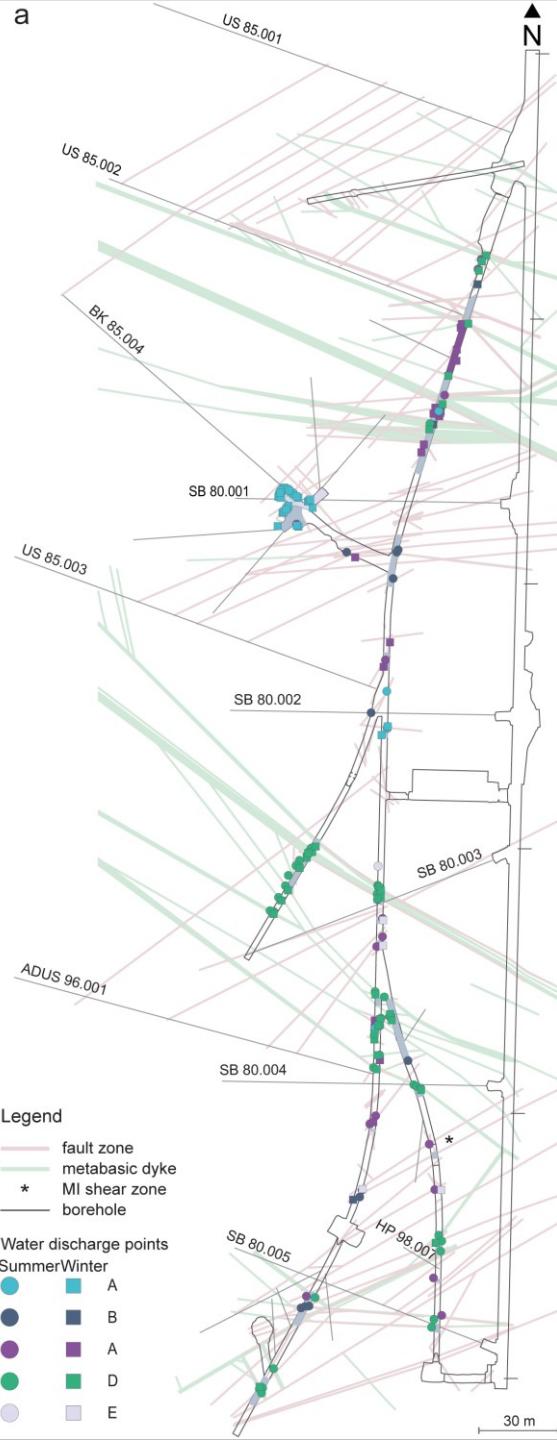
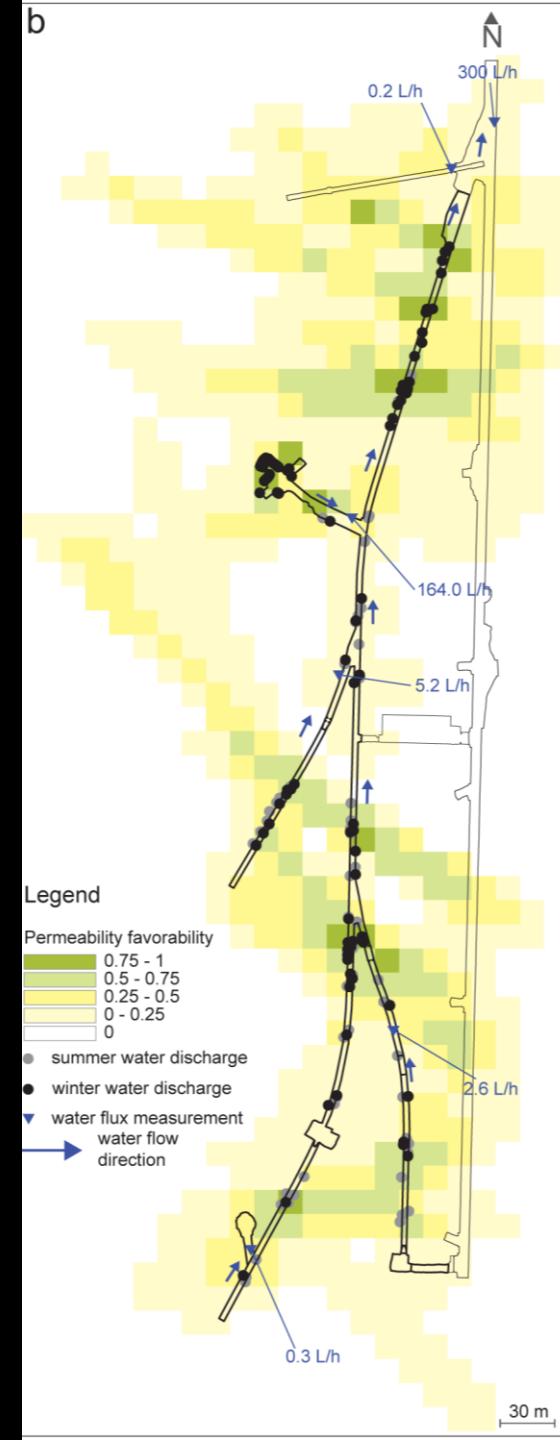
## 2. Intersektionen von Scherzonen im FLG



b



# Wahrscheinlichkeits Karte bevorzugter Permeabilität

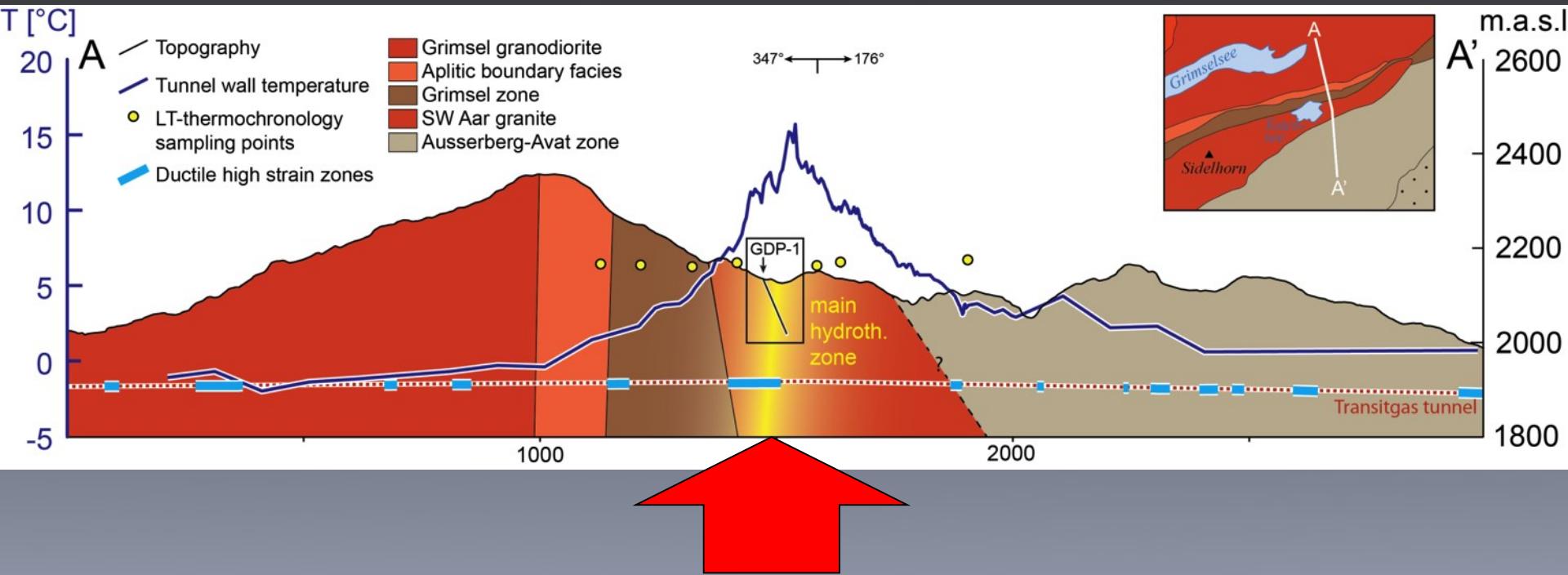


# Vortragsinhalte



- 1) Einführung**
- 2) Tektonische Vorkonditionierung**
- 3) Wo und wie infiltriert kaltes meteorisches Wasser?**
- 4) Wo und wie steigt heißes hydrothermales Wasser auf?**
- 5) Geothermie-Potential im Aar Massiv?**

# Temperaturverlauf im Berginnern

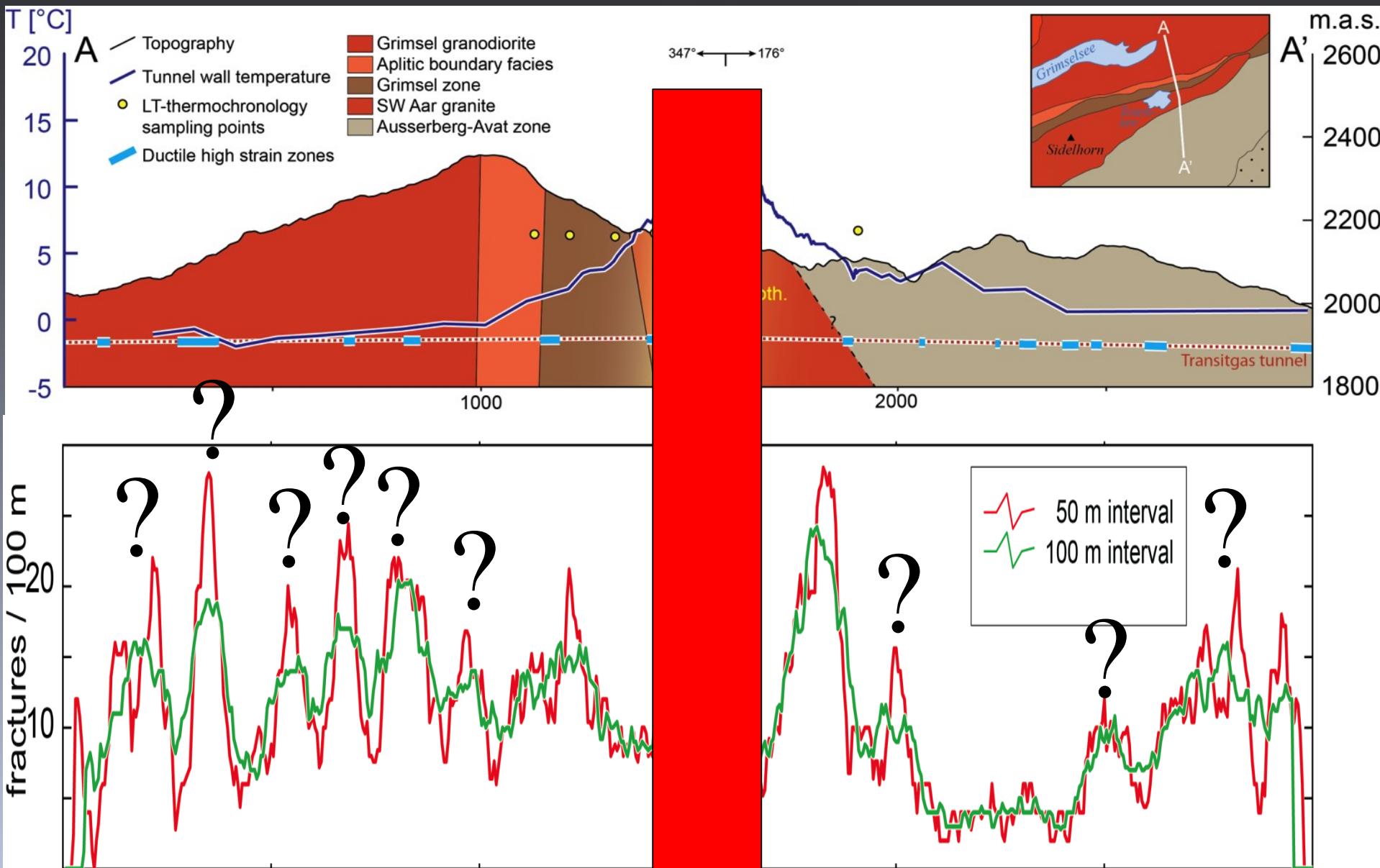


- Wieso erhöhte Temperatur?
- Wieso Austritt heißer Wässer?

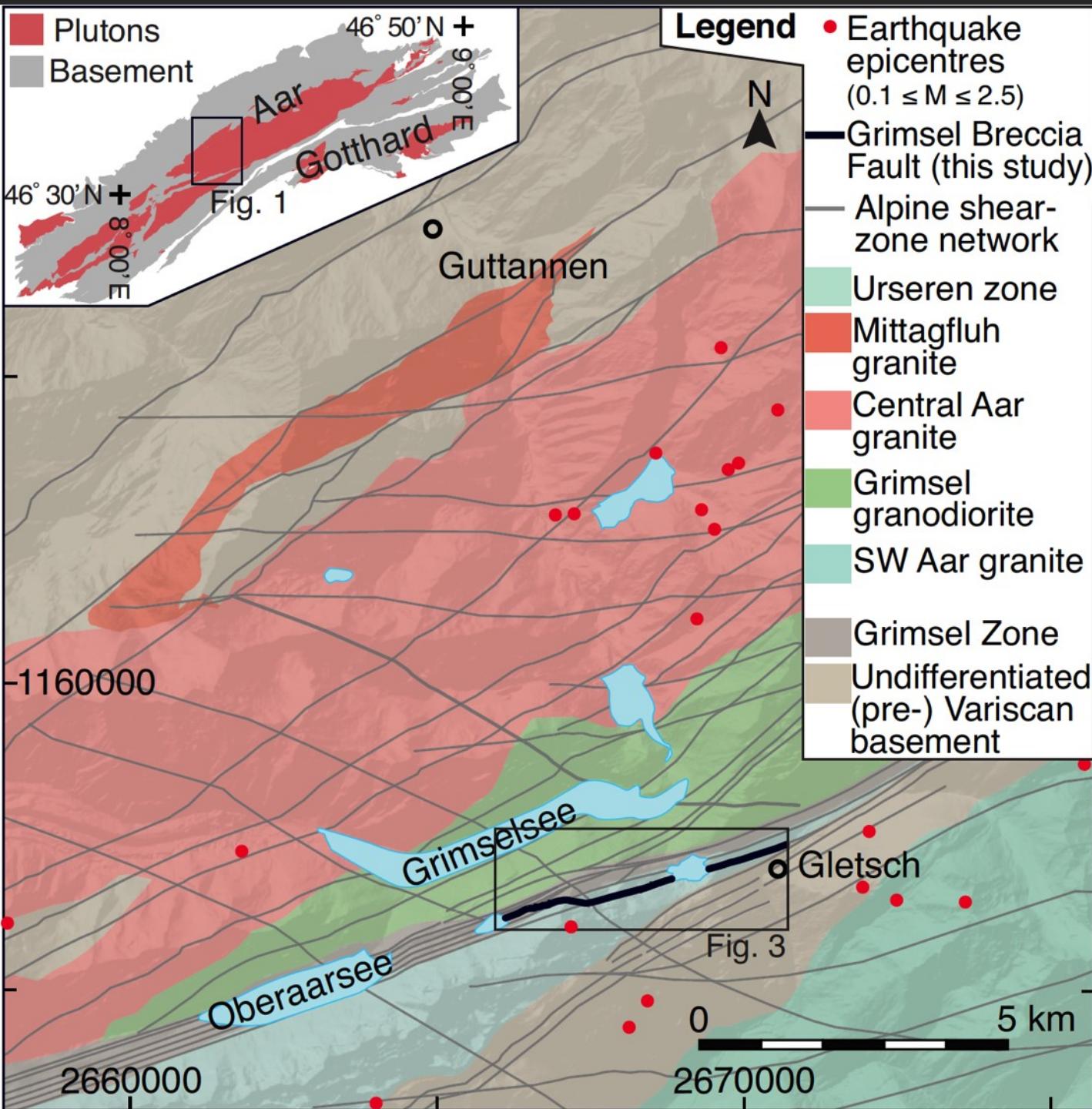


Austritt 28° C heißer Wässer im Transitgas Stollen  
entlang von **Bruchzonen** im Gestein

# Temperaturverlauf im Berginnern





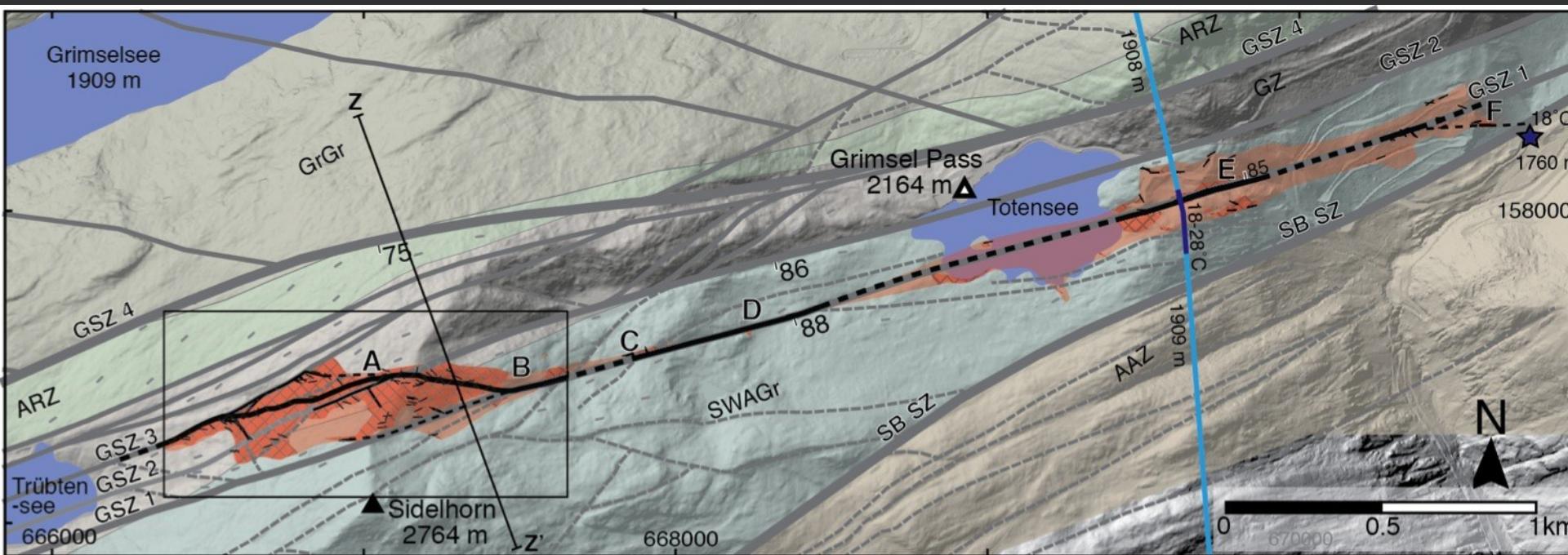


Baumberger in  
press

Wehrens et al.  
2017

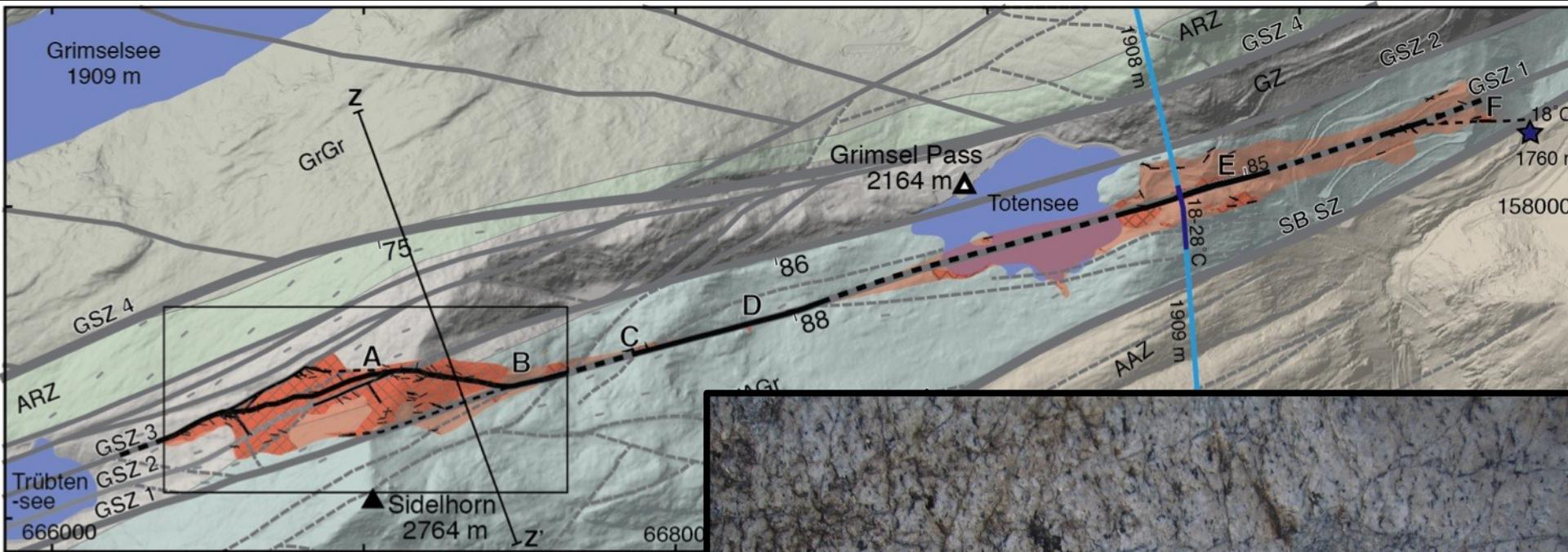
Belgrano et al.  
2016

# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel



Belgrano et al. 2016

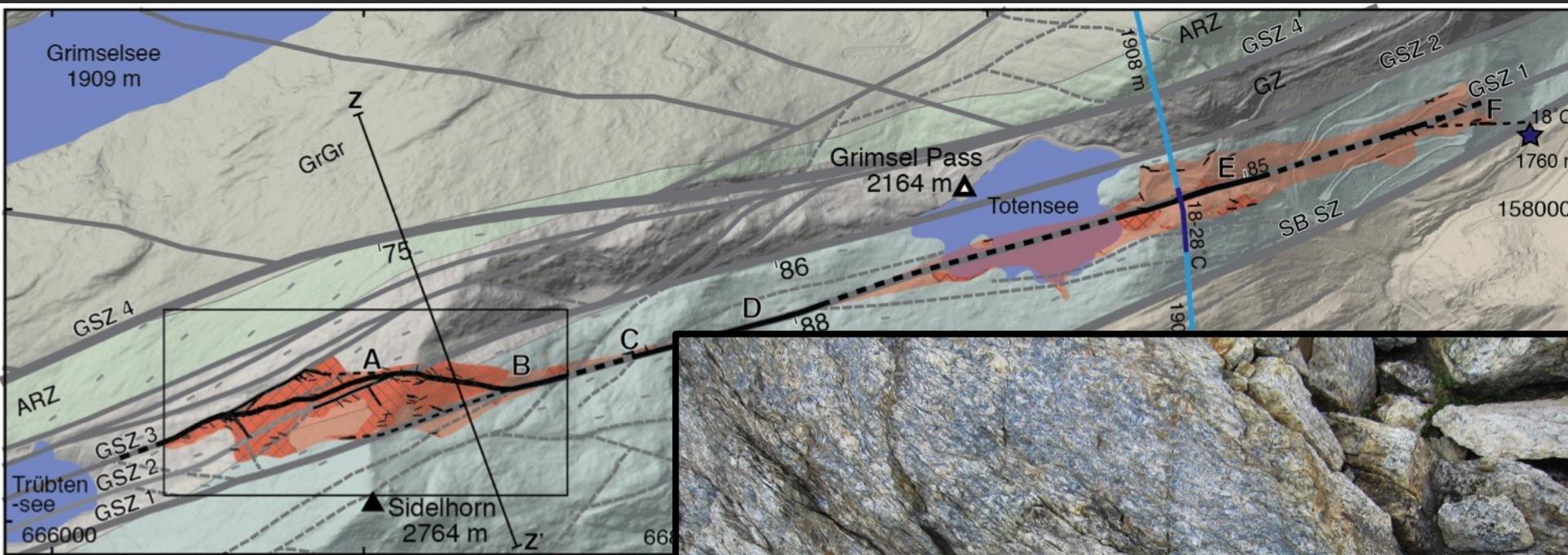
# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel



Granit



# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel



dutkile Störungszonen

Granit => Gneis  
=>  $450^{\circ}$  C

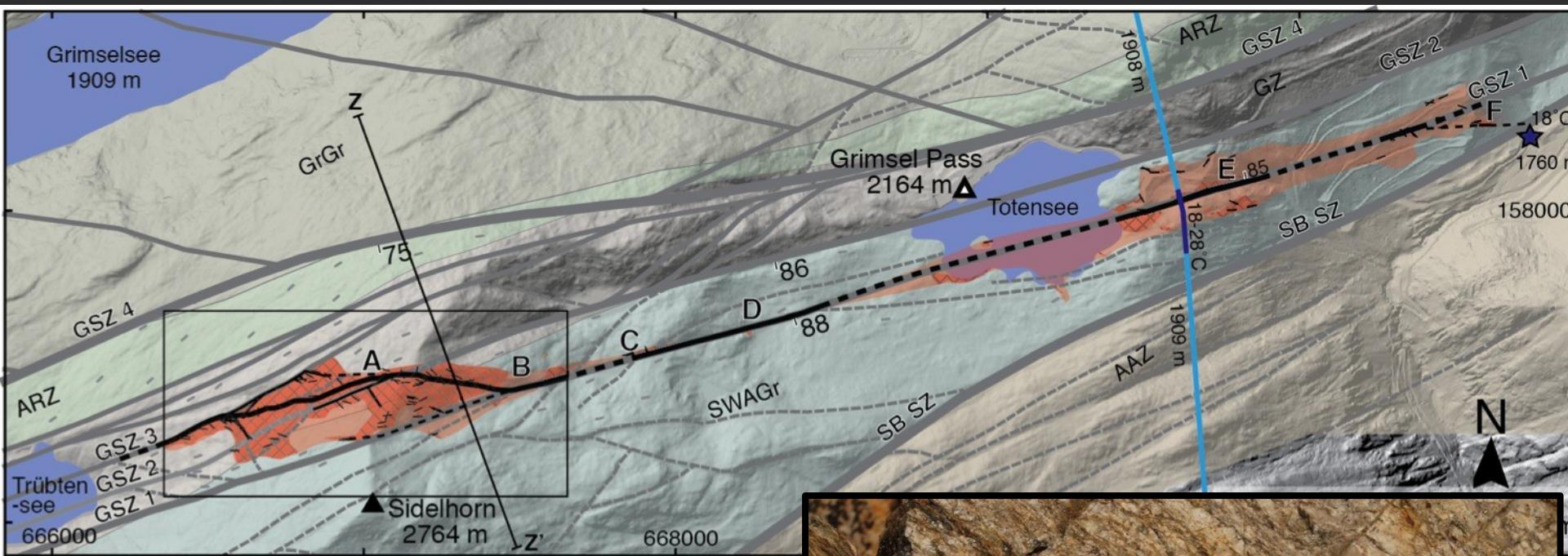


Duktile Deformation => “dichtes Gestein”

# Alpine Zerrklüfte (offene Kluft Gerstenegg, KWO)



# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel

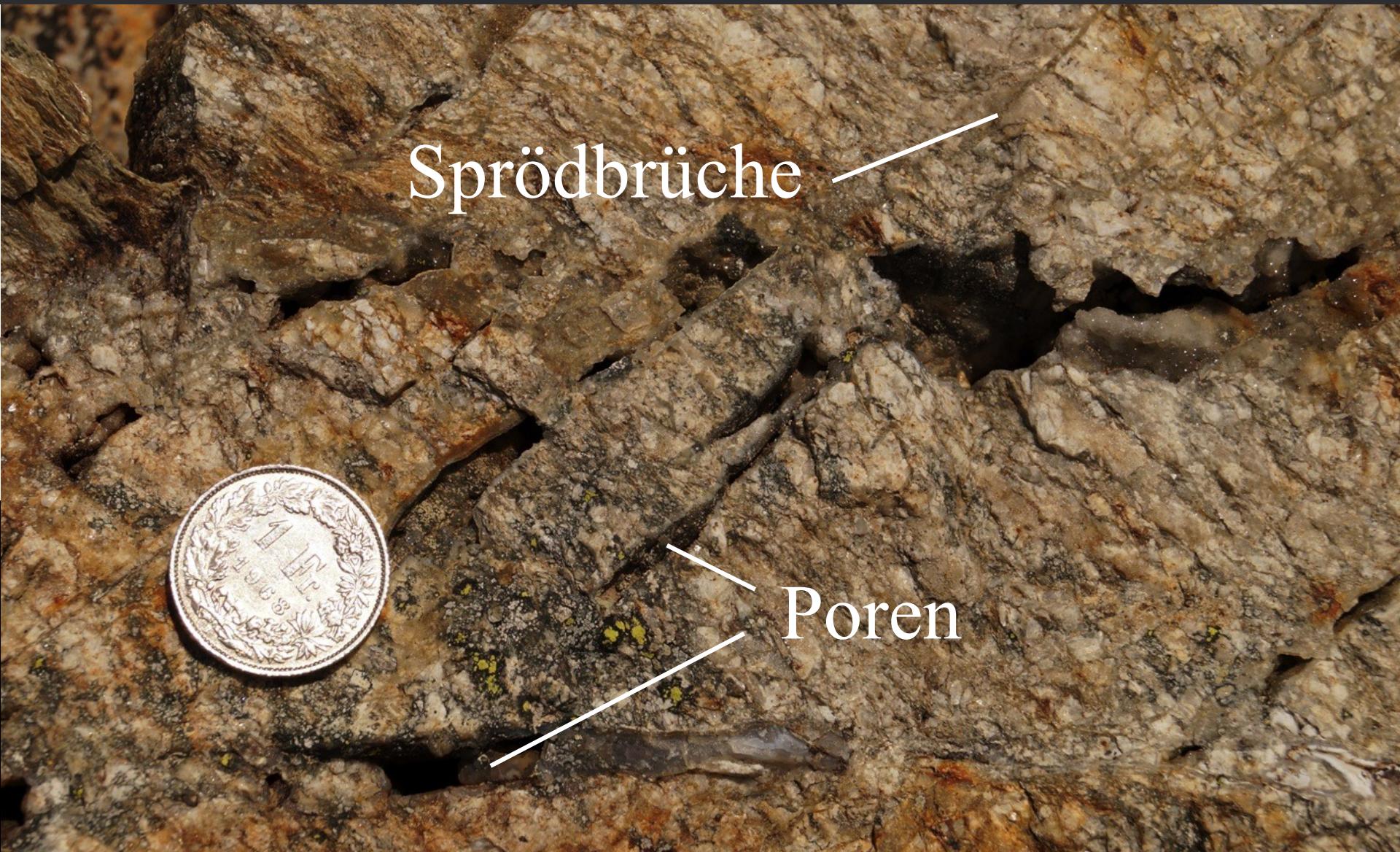


spröde Störungszonen

⇒ Zerbrechen des Granits



# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel

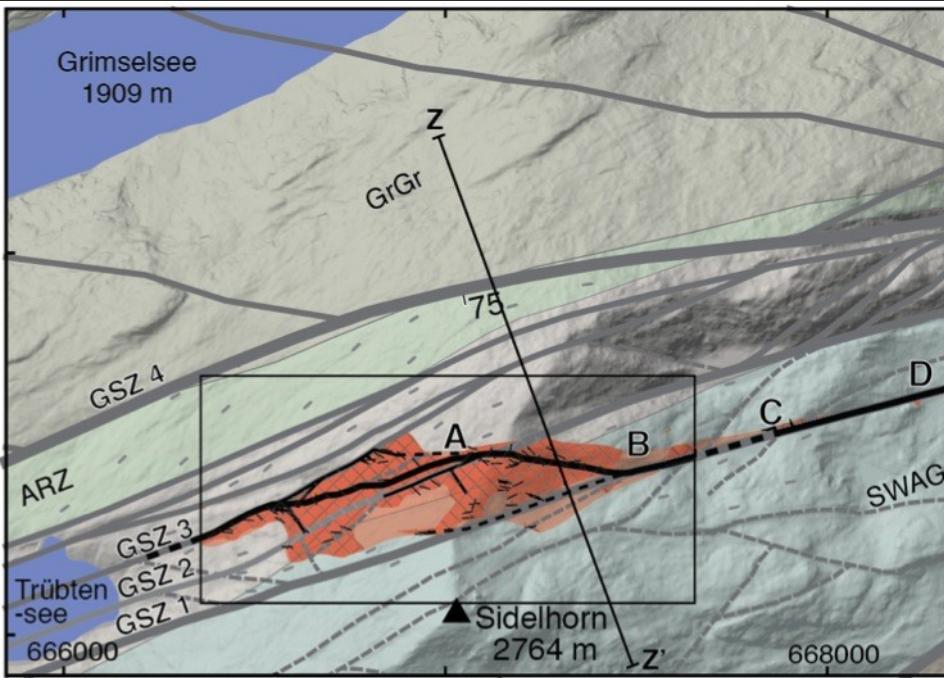


Sprödbrüche

Poren

Spröddeformation => Volumenzunahme => Wasser-Fliesswege

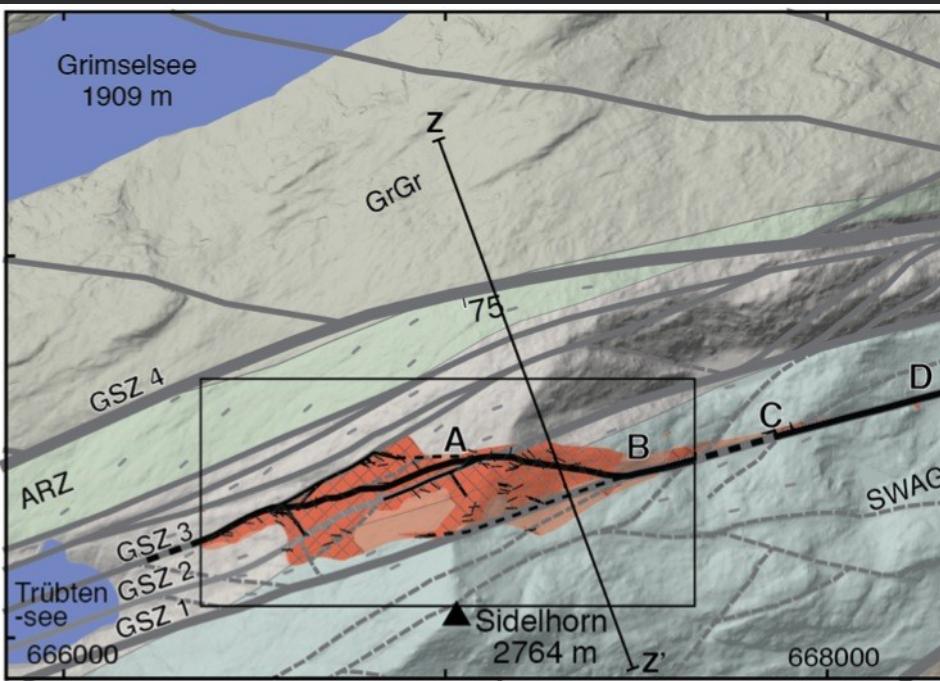
# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel



## Sekundär- Mineralisationen

=> Mineralausfällungen in  
Hohlräumen

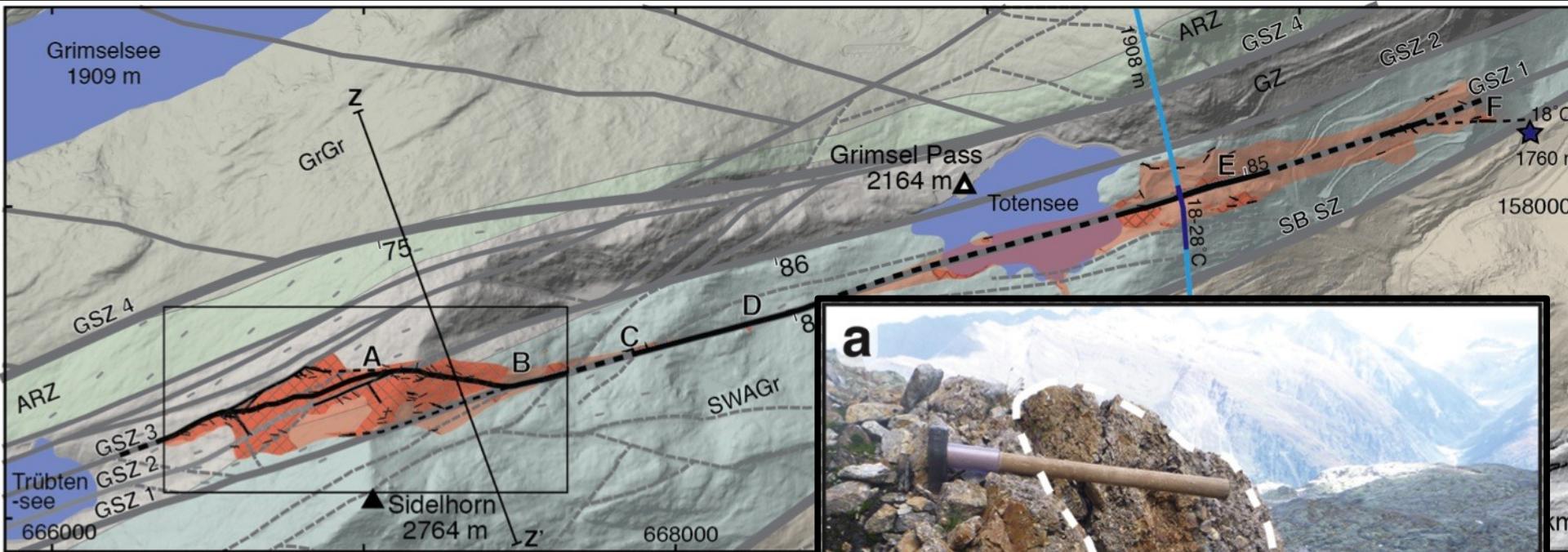
# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel



Sekundär-  
Mineralisationen

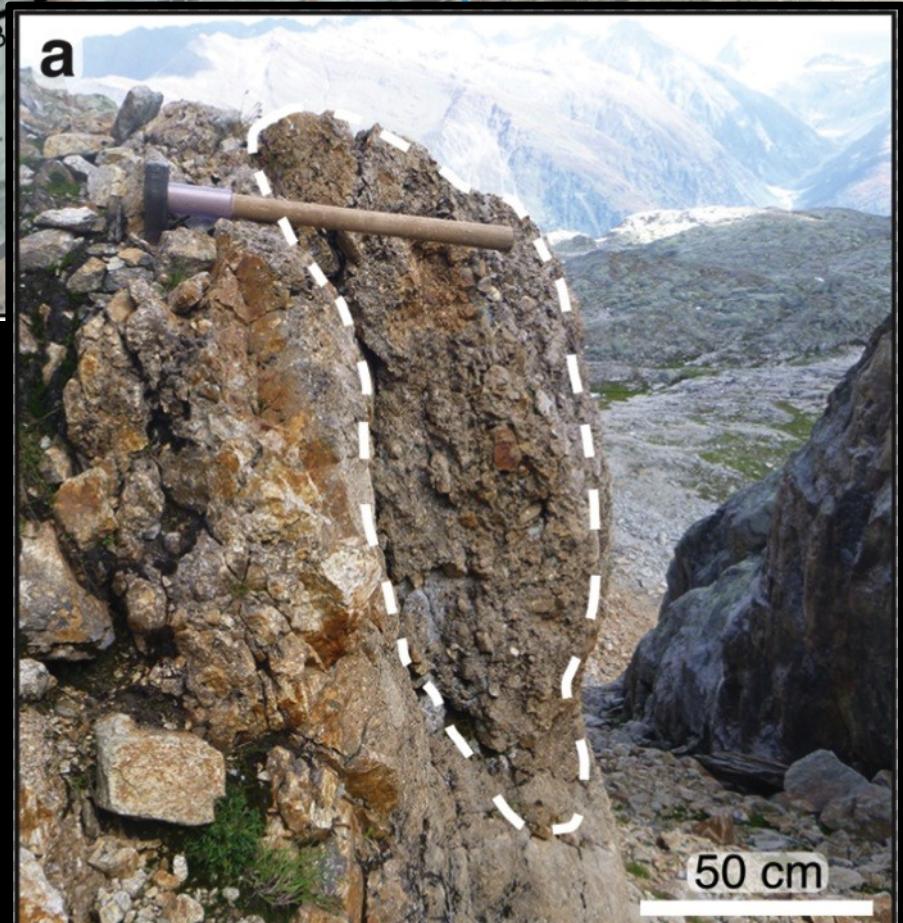
=> Mineralausfällungen in  
Hohlräumen

# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel

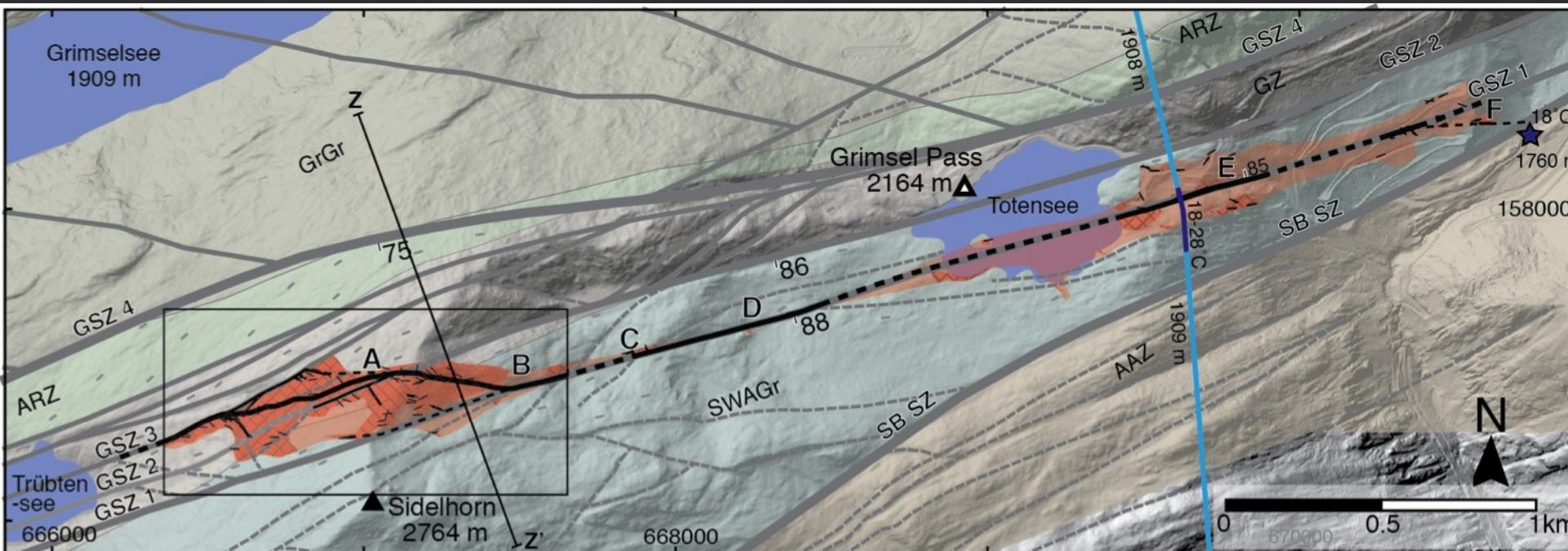


spröde Scherzonen

⇒ Zerbrechen des Granits

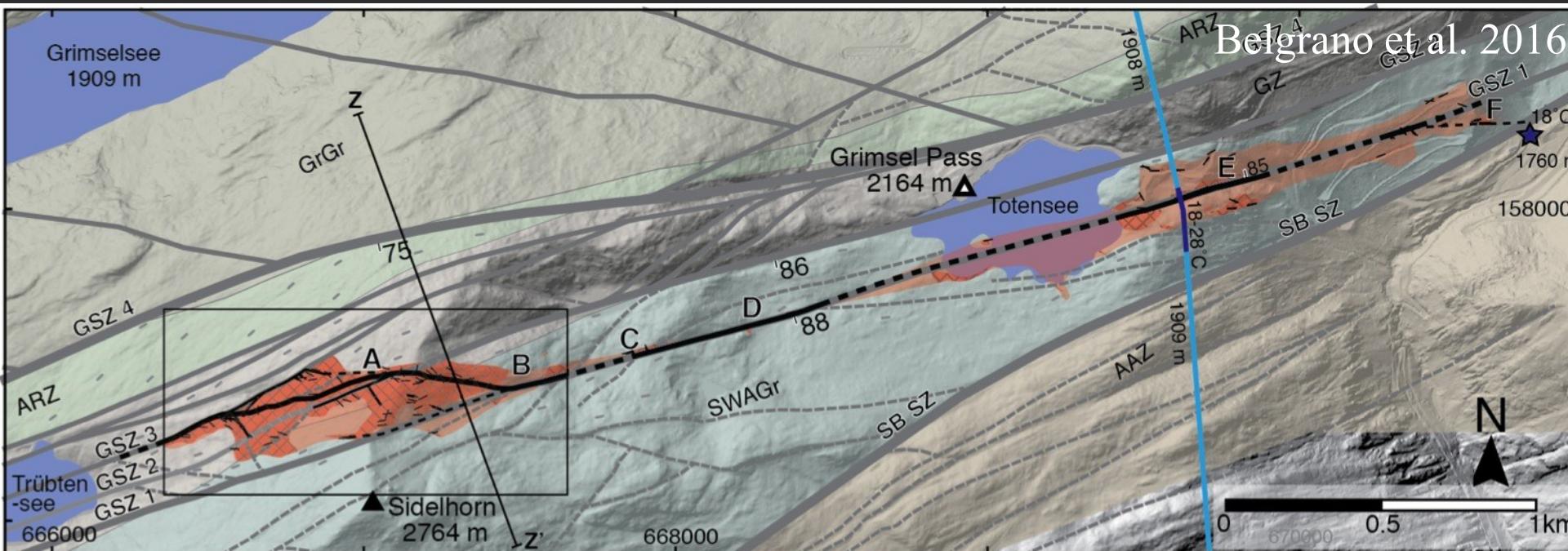


# Entstehung des Hydrothermal-Felds Grimsel



Duktile Scherzonen  
=> mechanische Diskontinuitäten bei hohen Temp.

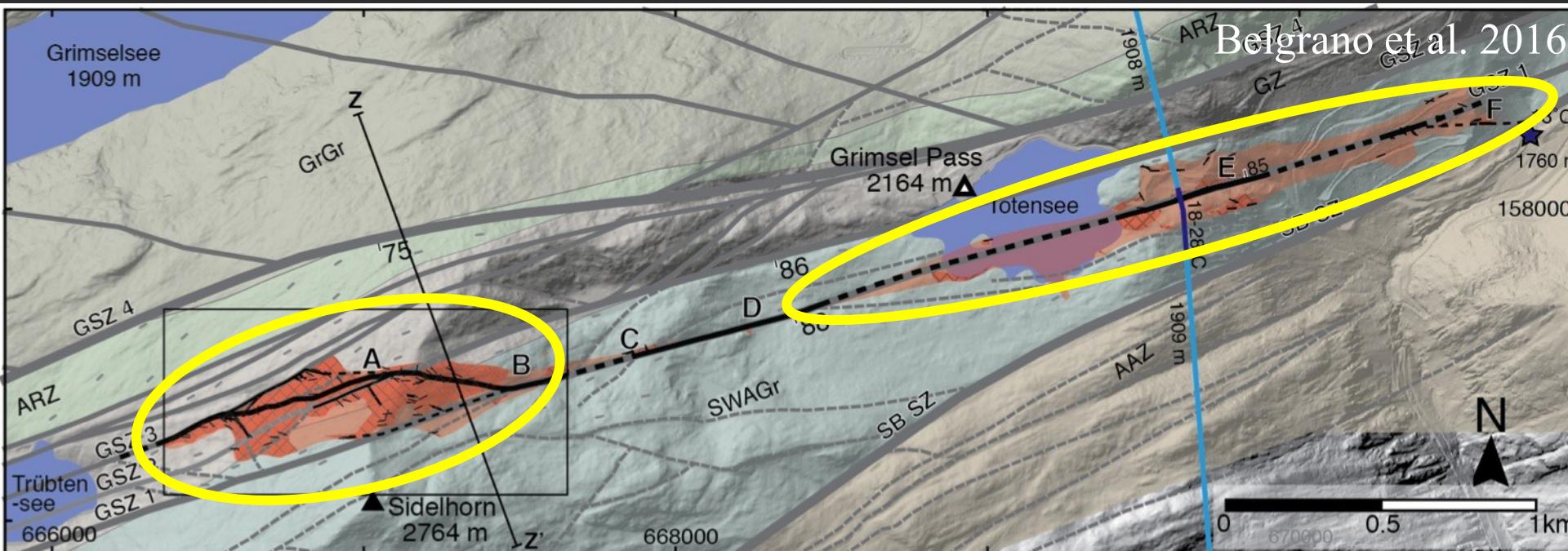
# Entstehung des Hydrothermal-Felds Grimsel



Duktile Scherzonen  
=> mechanische Diskontinuitäten bei hohen Temp.

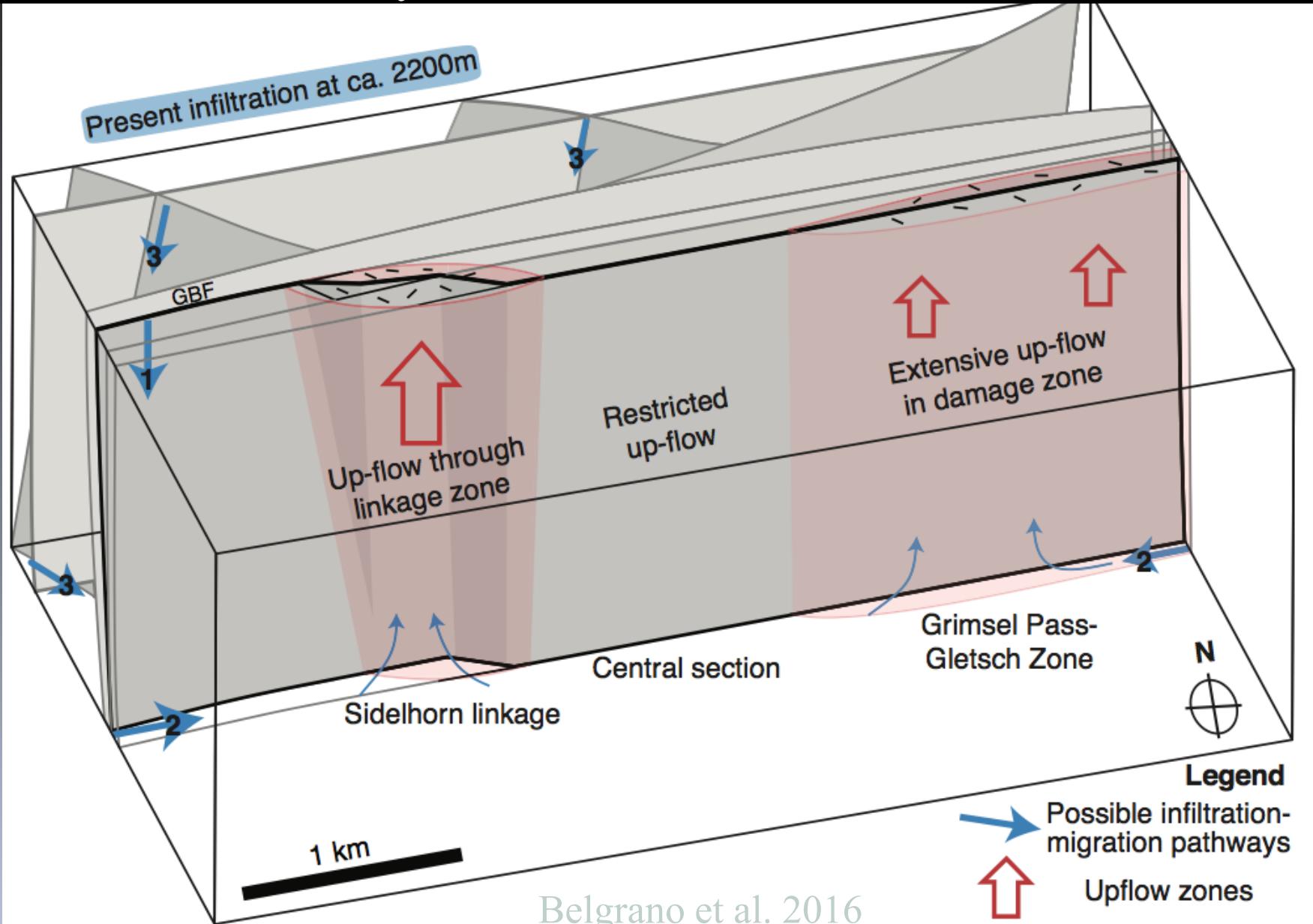
Abkühlung des Gebietes durch Hebung  
=> Ablösen von Hoch-T durch Tief-T-Deformation

# Entstehung des Hydrothermal-Felds Grimsel



Tief-T-Deformation  
=> Spröddeformation  
=> Volumenzunahme  
=> Porenraum  
=> Fliesswege für heisse Wässer  
=> Fliesswege sind räumlich begrenzt!

# Modell für die heutige Zirkulation der heißen Wässer im Hydrothermal-Feld Grimsel



# Grimselbohrung: NFP70-Projekt





Sitten, den 07.05.2015  
Eröffnet am

**Einschreiben**  
Institut für Geologie  
z. Hd. Prof. Dr. Marco Herwigh  
Baltzerstrasse 3  
3012 Bern

## Baubewilligung

gemäß

- Baugesetz vom 8. Februar 1996 (BauG)
- Bauverordnung vom 2. Oktober 1996 (BauV)

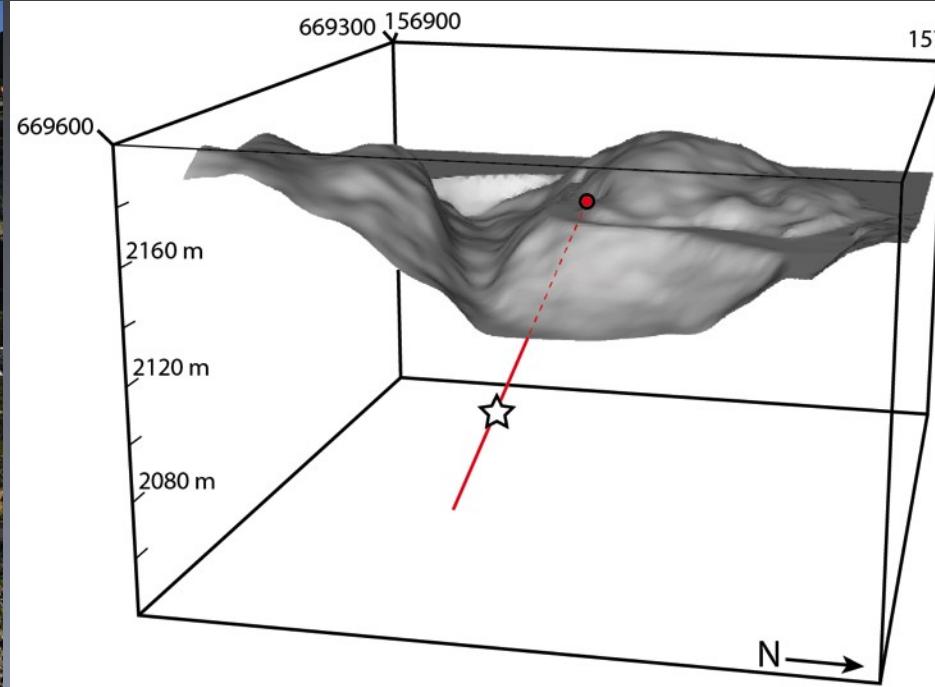
### Die kantonale Baukommission (KBK)

hat in ihrer Eigenschaft als zuständige Baubewilligungs- und Baupolizeibehörde in der Sitzung vom 07.05.2015 betreffend nachfolgender Bauakte entschieden:

Gesuchsteller (in)	Institut für Geologie z. Hd. Prof. Dr. Marco Herwigh
Bauvorhaben	Erlichtung Bohrung
Akkordnummer	2015-0678
Gemeinde	Obergoms
Ort	Obergoms
Im Orte genannt	Obergoms
Plan / Parzelle	8 / 94
Koordinaten	669'469 / 157'021
Zone gemäss ZNPL	Landwirtschaftszone

Gültigkeit  
Die Baubewilligung erlischt, wenn innerhalb von drei Jahren seit ihrer rechtskräftigen Erteilung mit der Ausführung des Bauvorhabens nicht begonnen wird.

# 2015 Grimselbohrung



- 2160 m Höhe über Meer
- Bohrung mit  $67^\circ$  nach SSE
- Bohrungslänge 125.3 m









4 M<sup>3</sup>

vo

vonbe











MR 450 P

Gt.ump

ump

800 kg



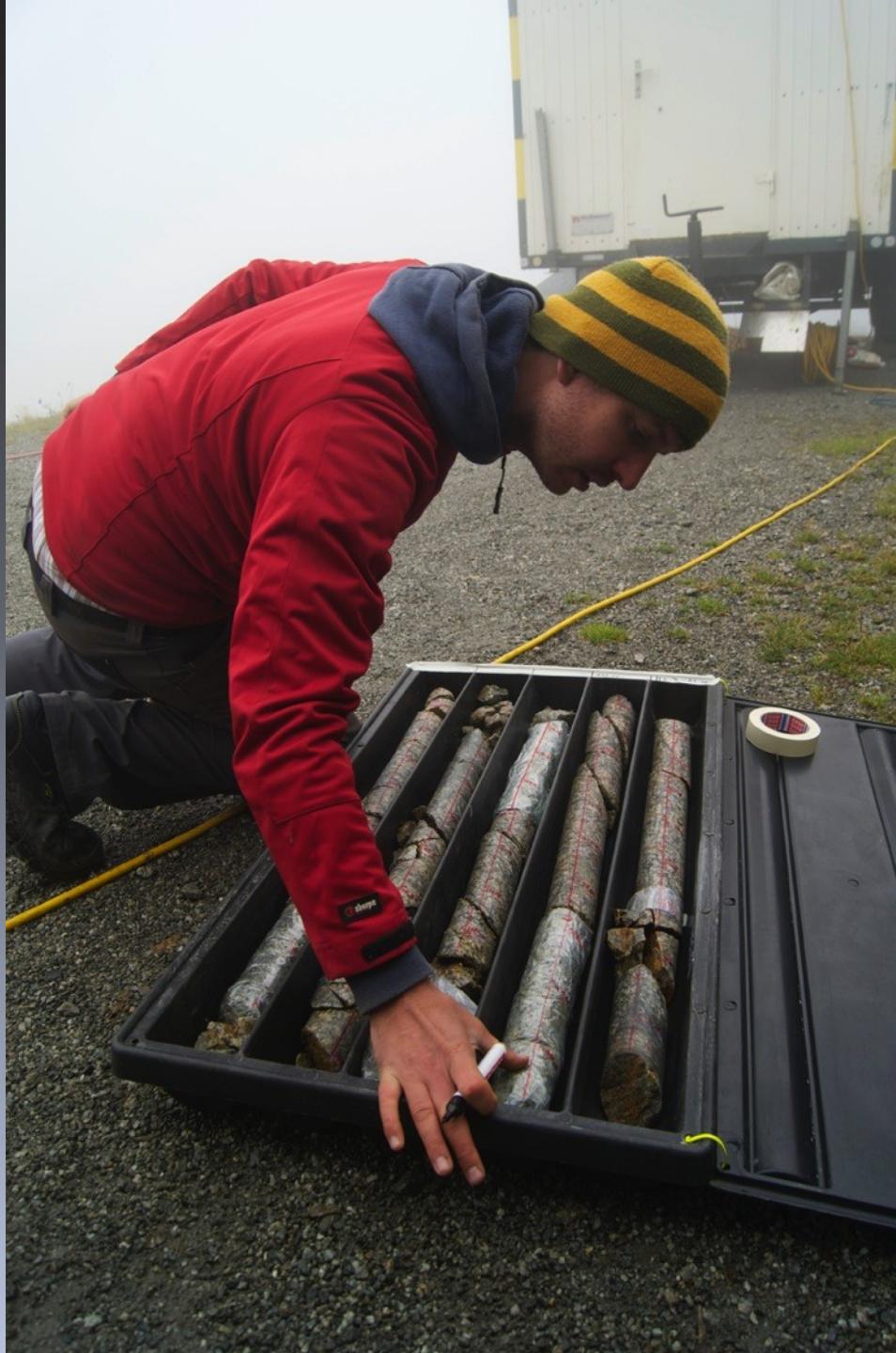
80.50  
90.50  
36.50



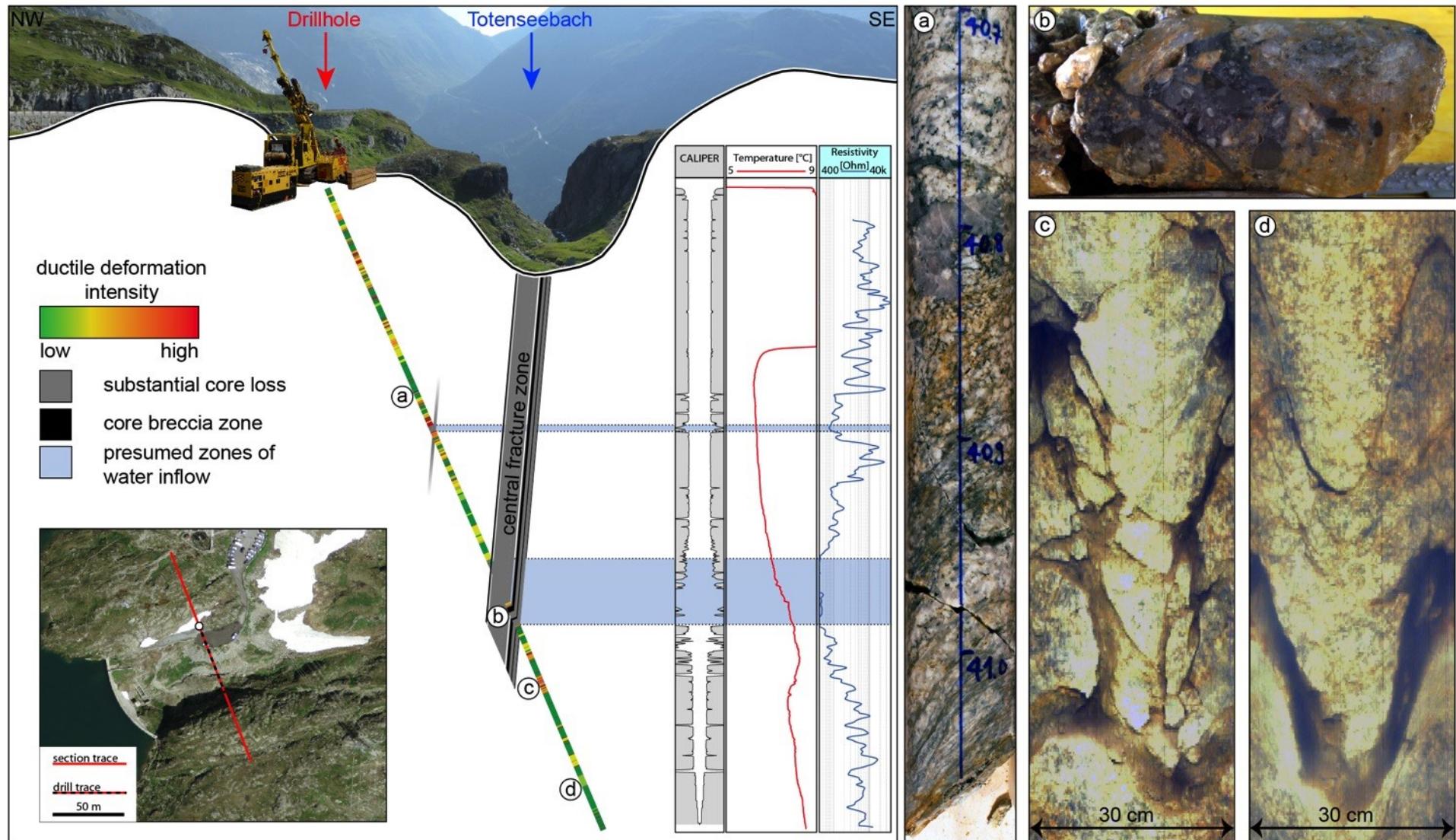








# 2015 Grimselbohrung



# Bohrkern Resultate: Makroporosität



Intakter Granit, teilweise “rostig” mit Brüchen durchzogen

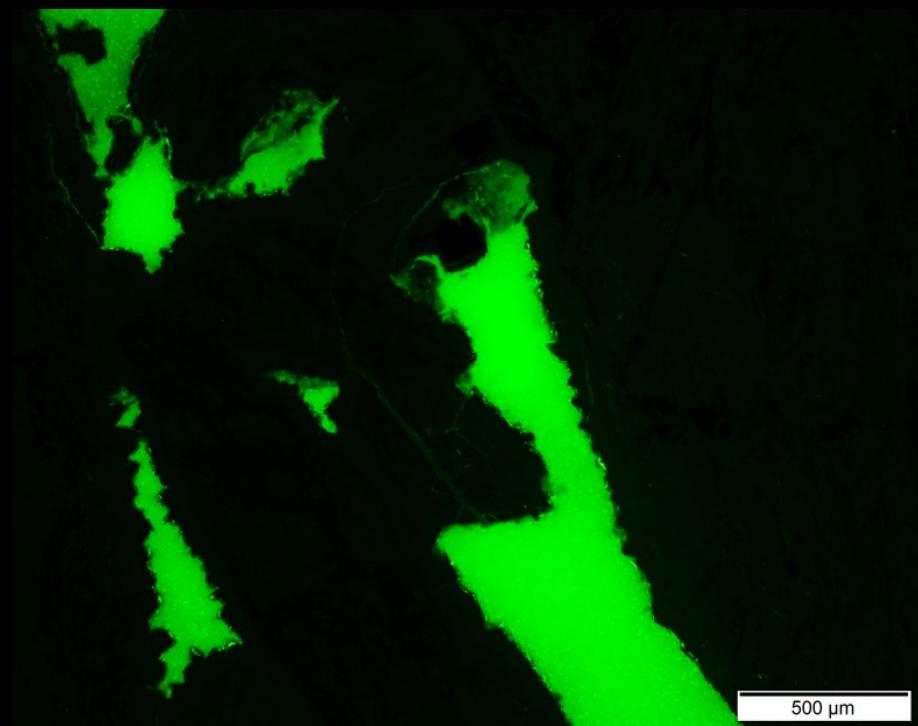
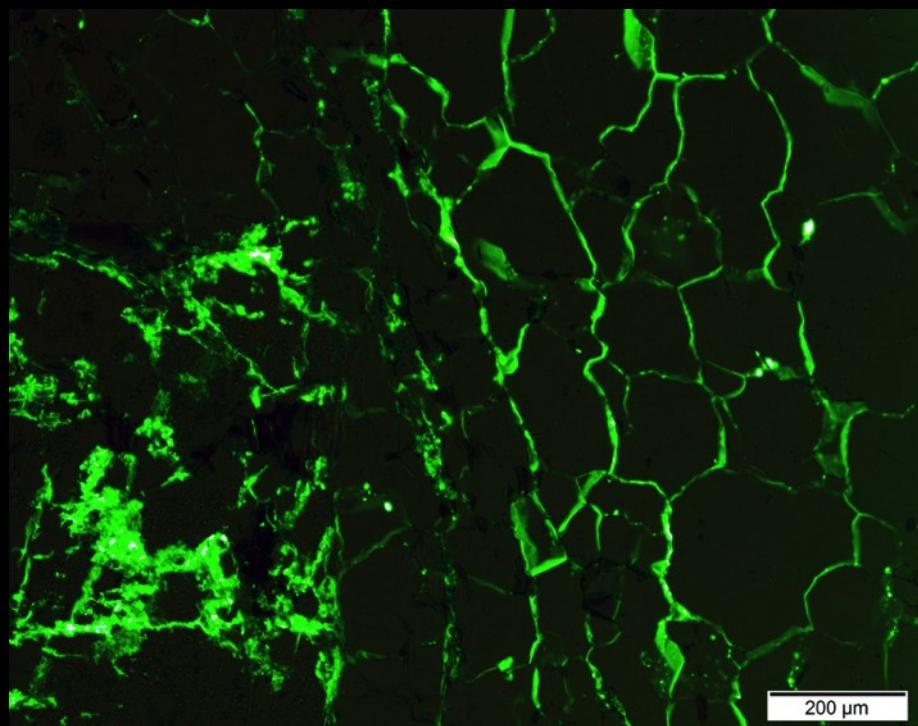


duktile Scherzonen

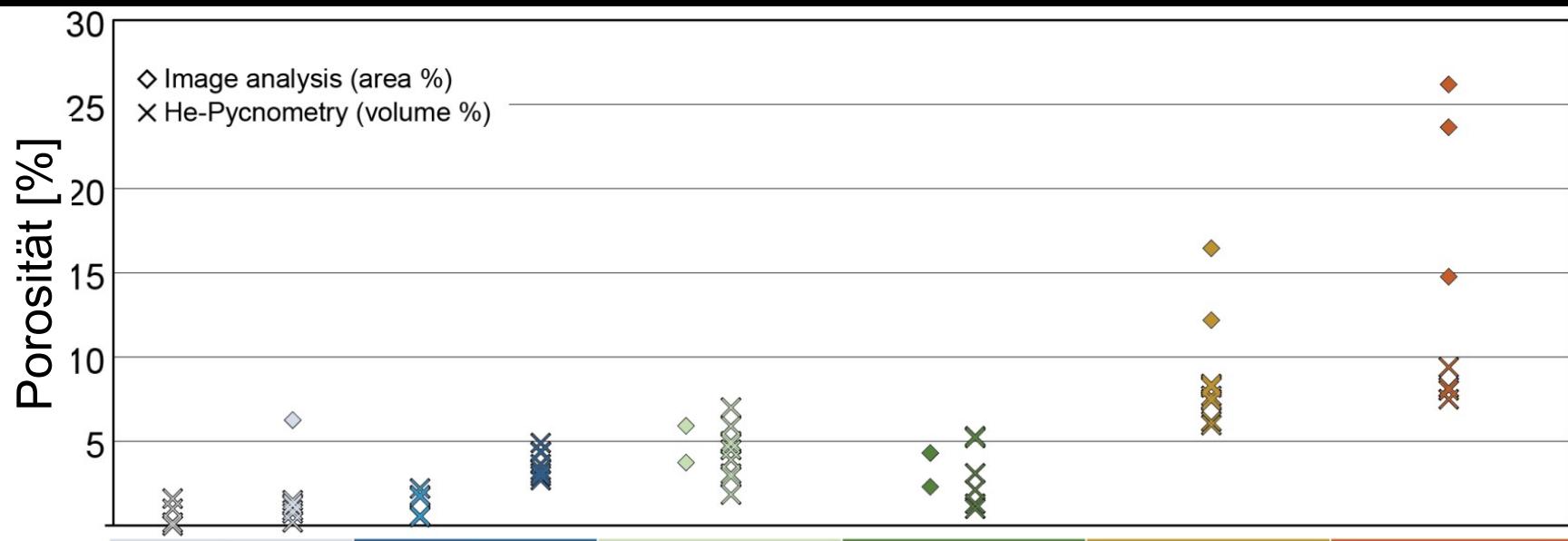


spröde Scherzonen

# Bohrkern Resultate: Mikroporosität

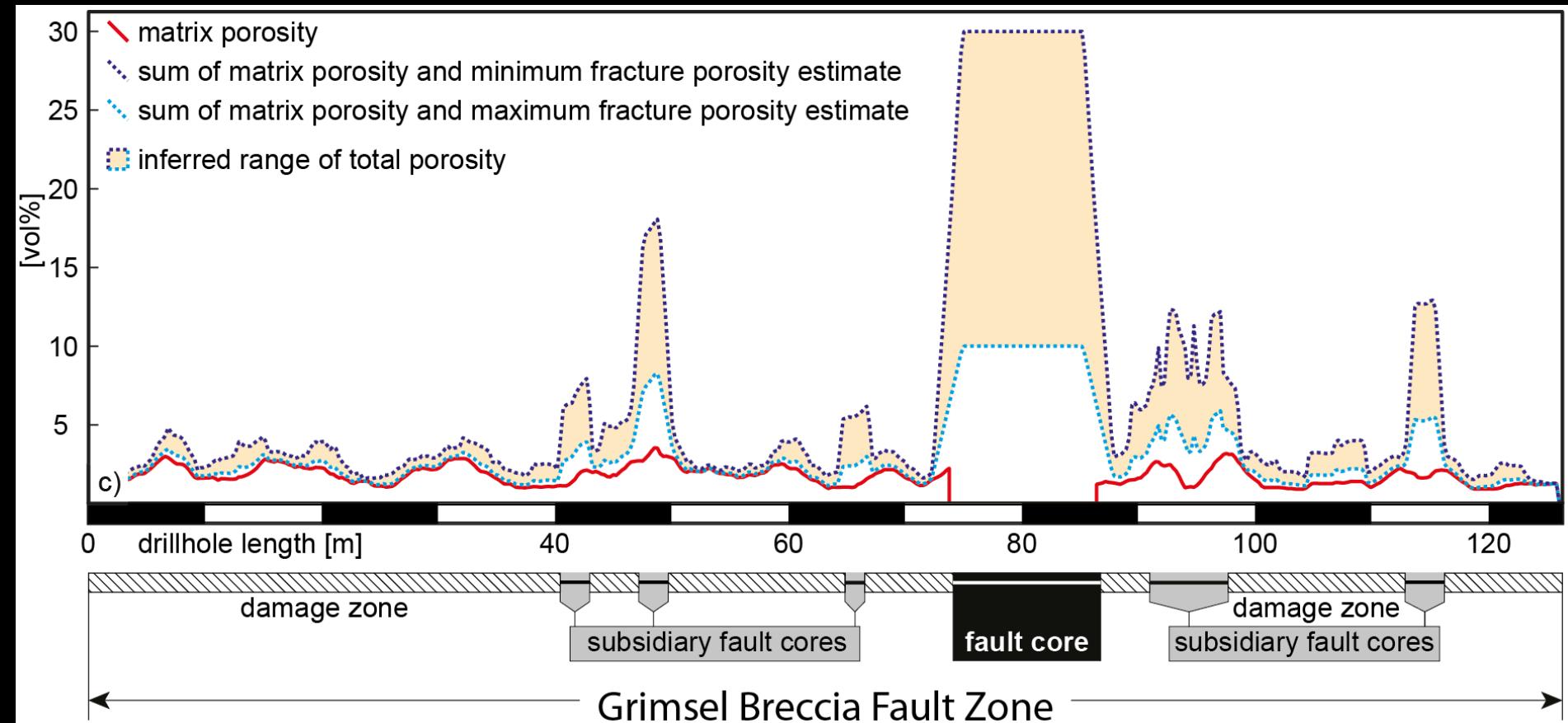


Küng 2017

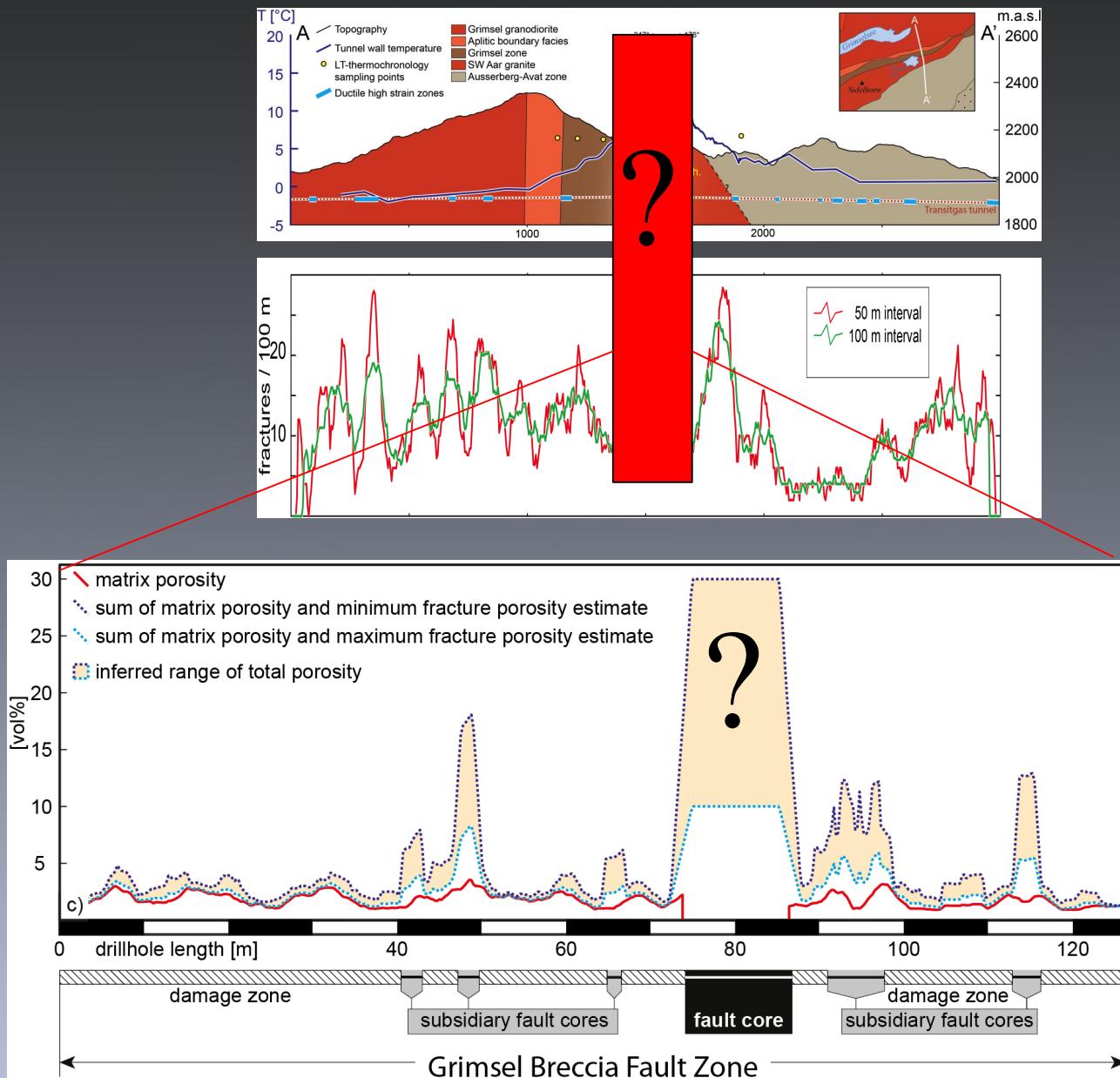


Küng 2017, Egli et al. 2018

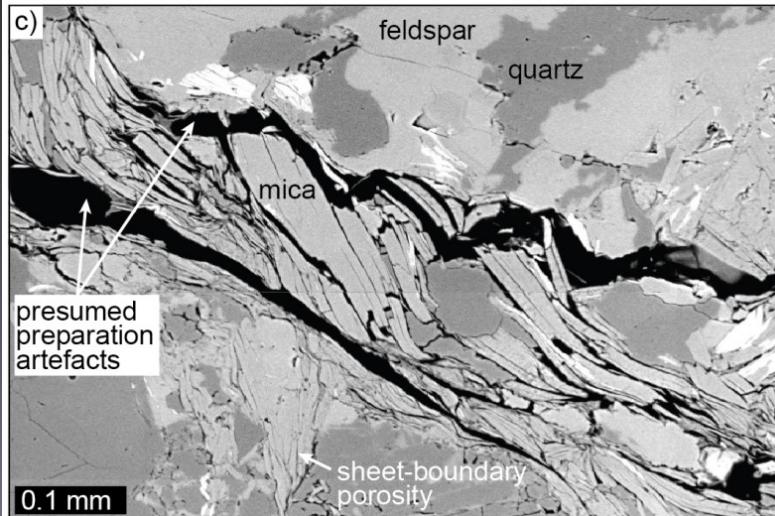
# Porositätsverteilung



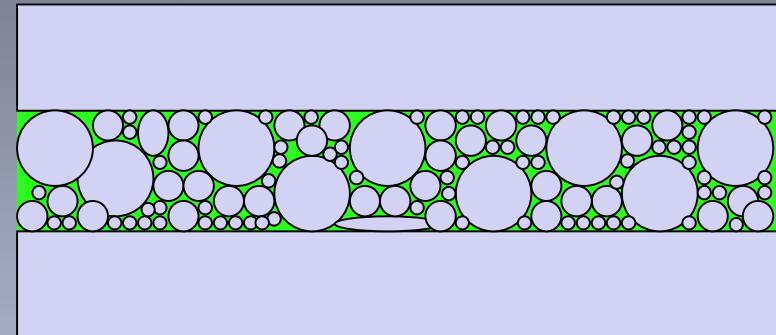
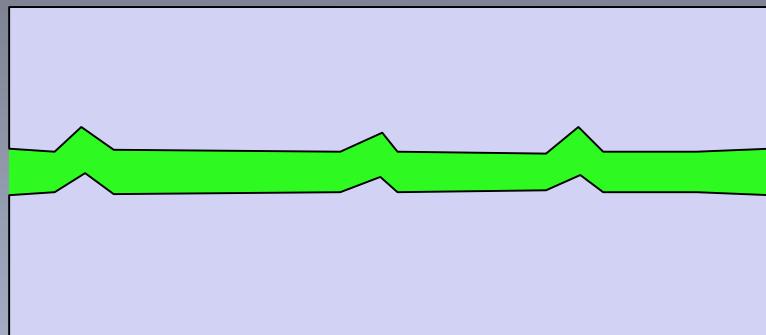
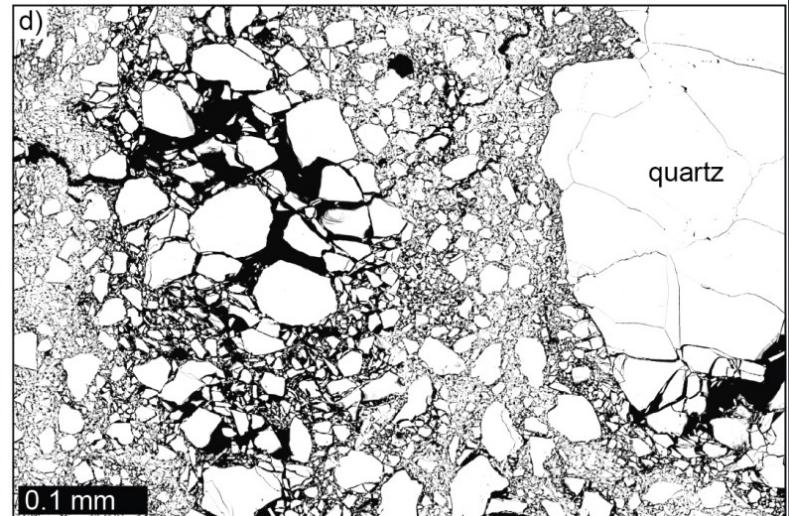
# Hydrothermale Zirkulation?



## Bruchporosität

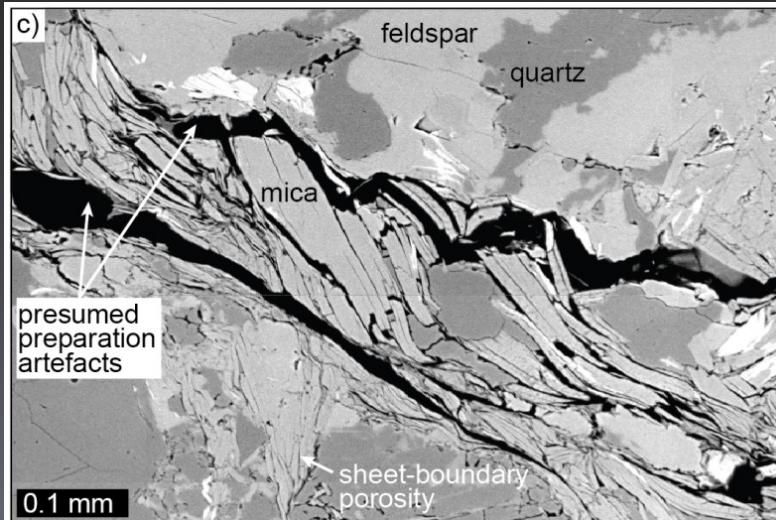


## Matrixporosität

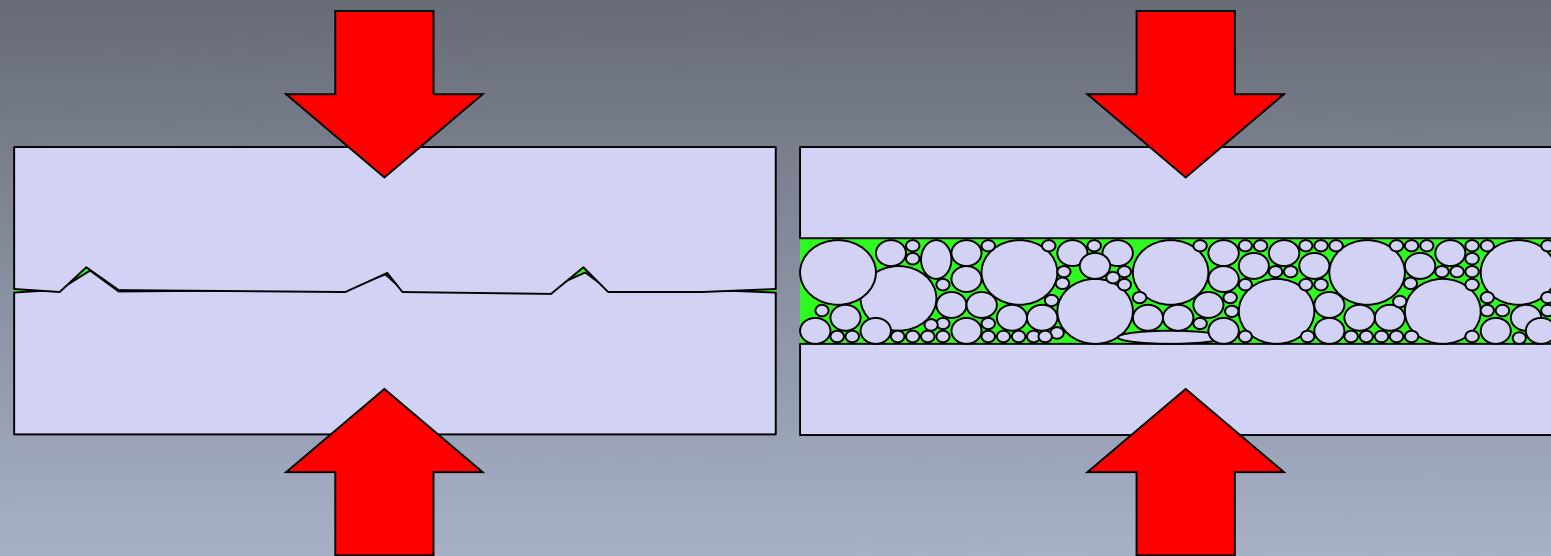
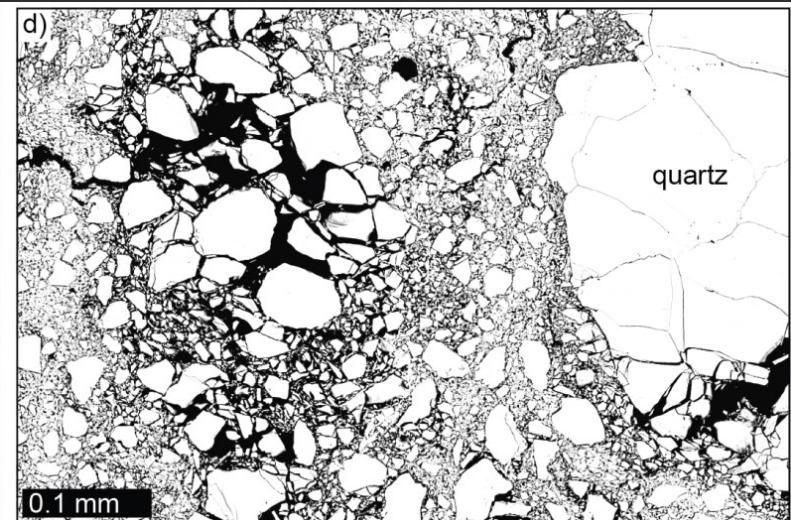


Matrixporosität effizienter für Wasserfluss

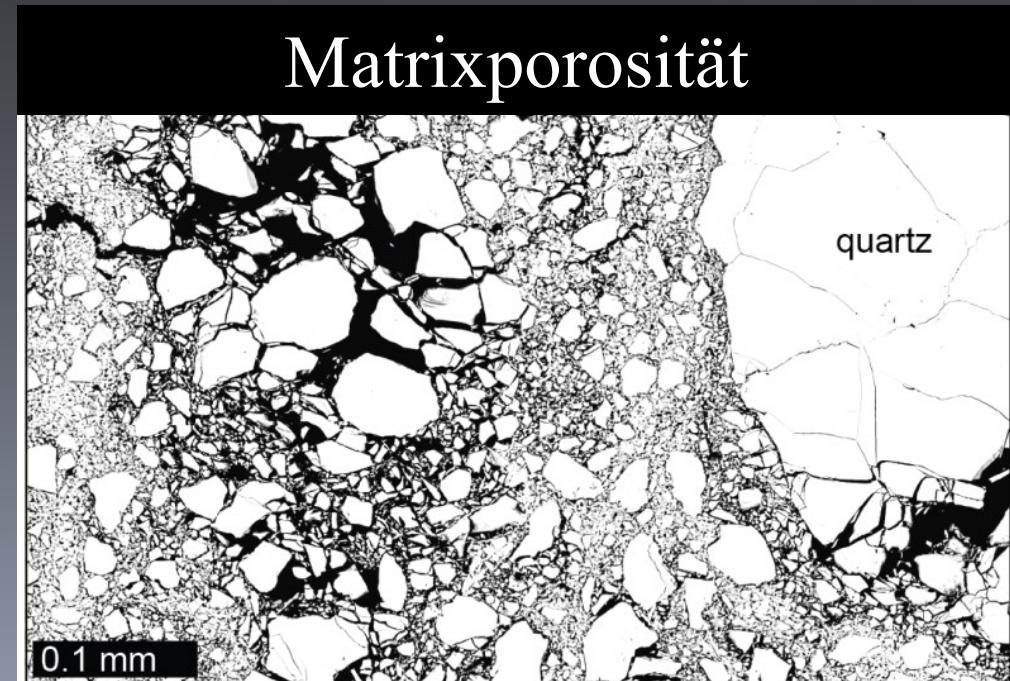
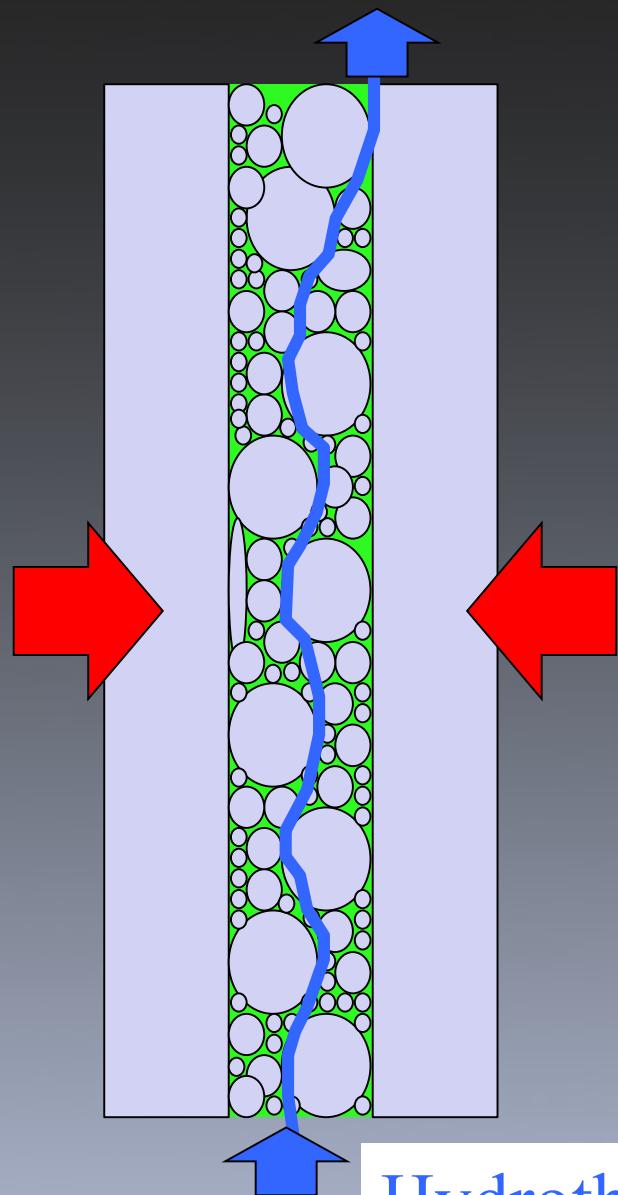
# Bruchporosität



# Matrixporosität

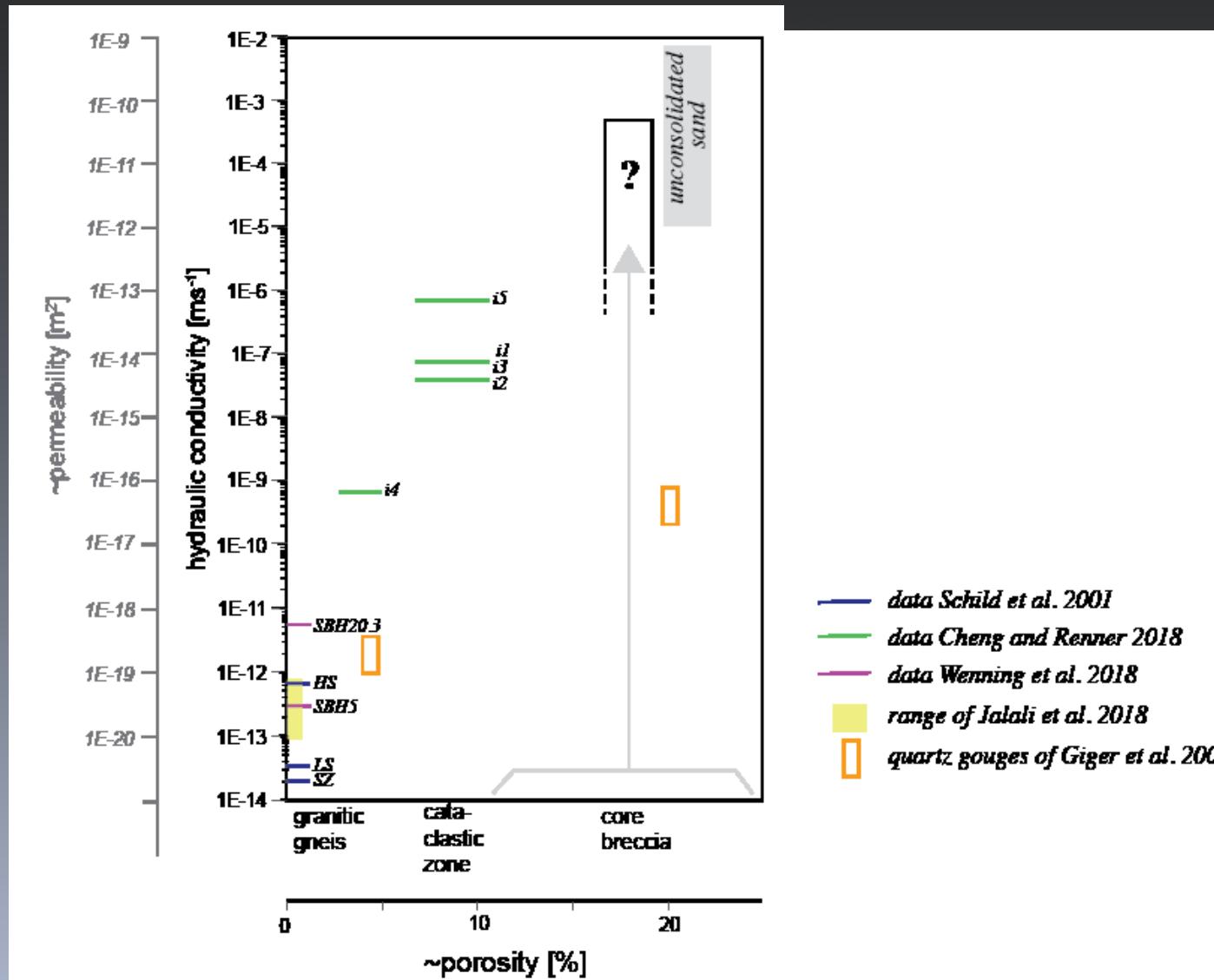


Inkomplettes Schliessen von Porenraum



Zirkulation heißer Wässer im offenen Porenraum

# Hydraulische Konduktivität/Permeabilität



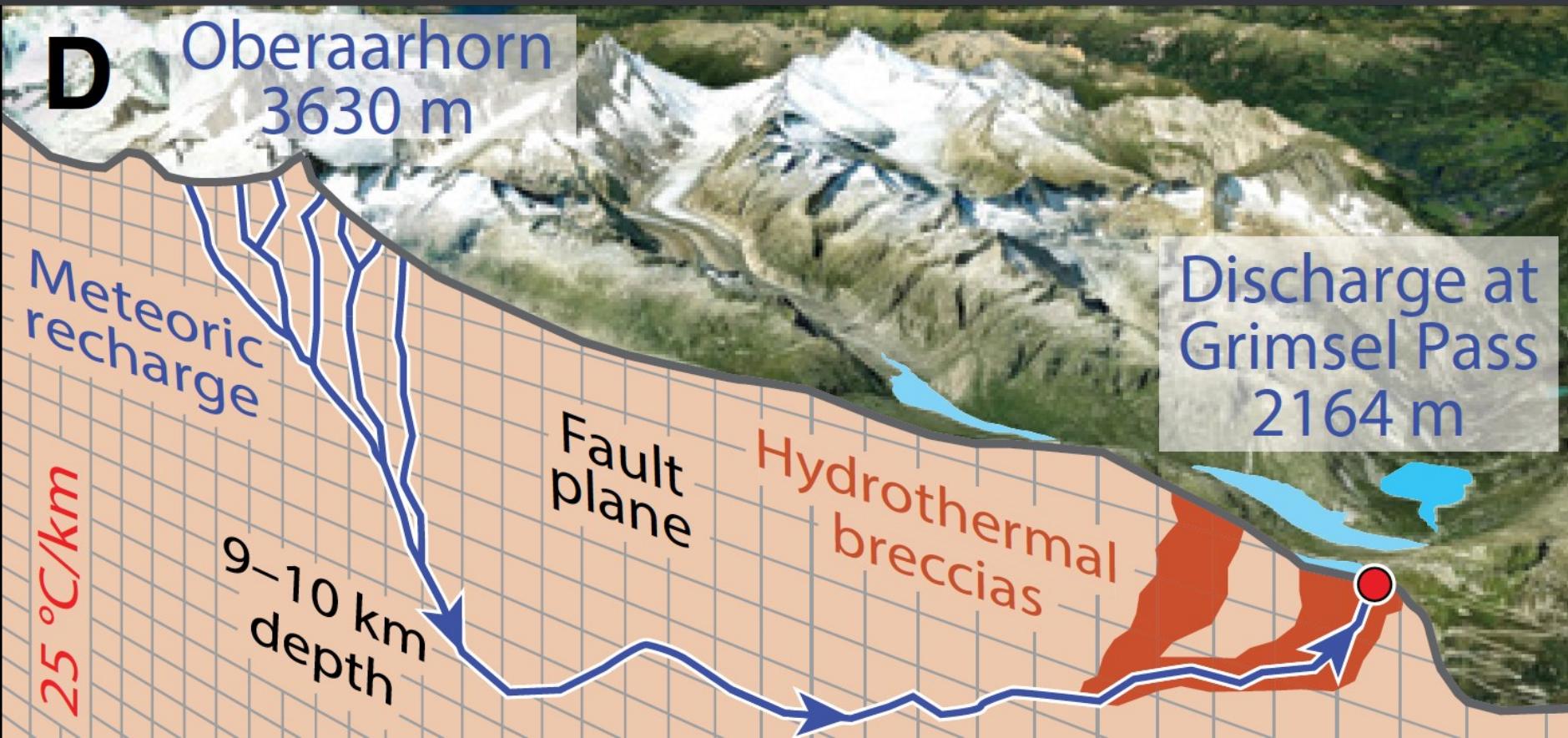
Hohe hydraulische Konduktivitäten zu erwarten

# Vortragsinhalte

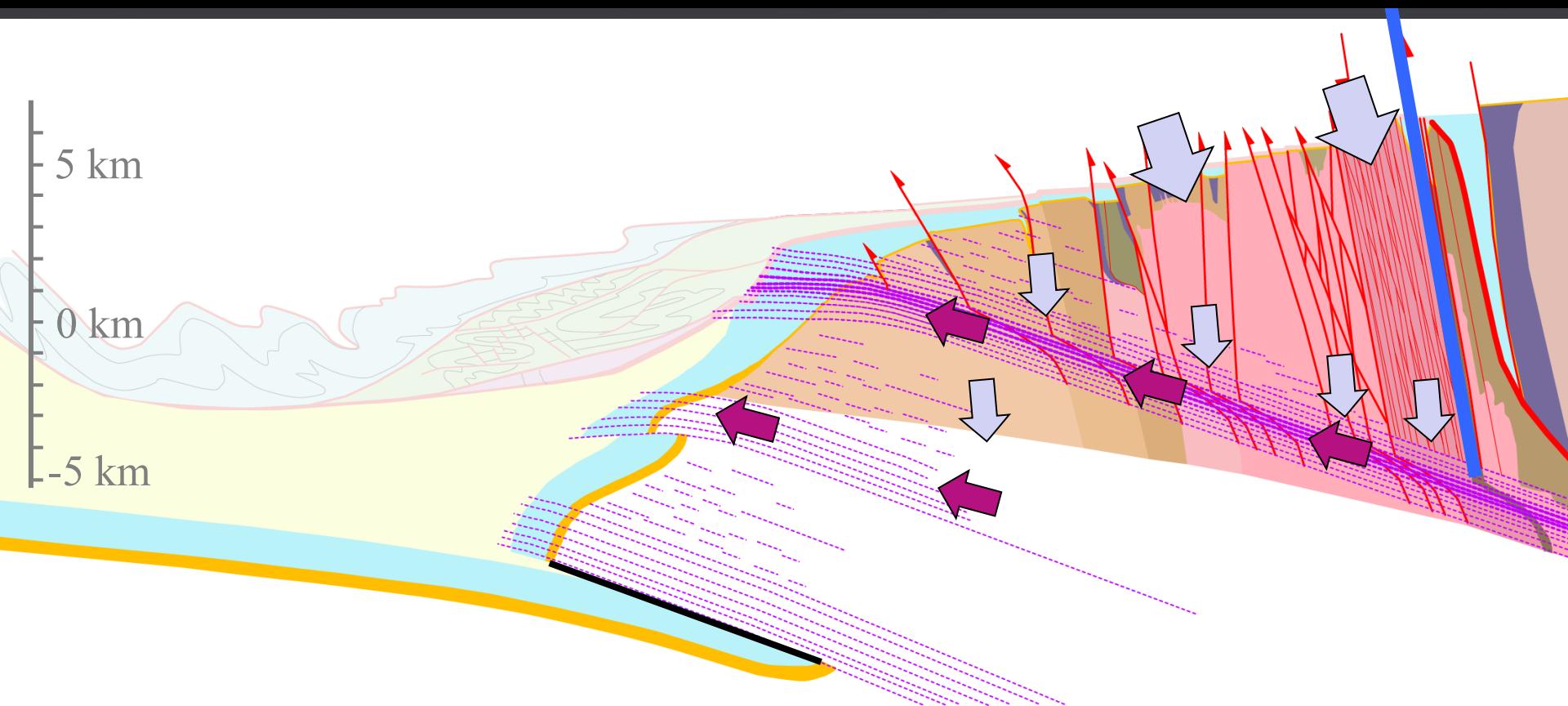


- 1) Einführung**
- 2) Tektonische Vorkonditionierung**
- 3) Wo und wie infiltriert kaltes meteorisches Wasser?**
- 4) Wo und wie steigt heißes hydrothermales Wasser auf?**
- 5) Geothermie-Potential im Aar Massiv?**

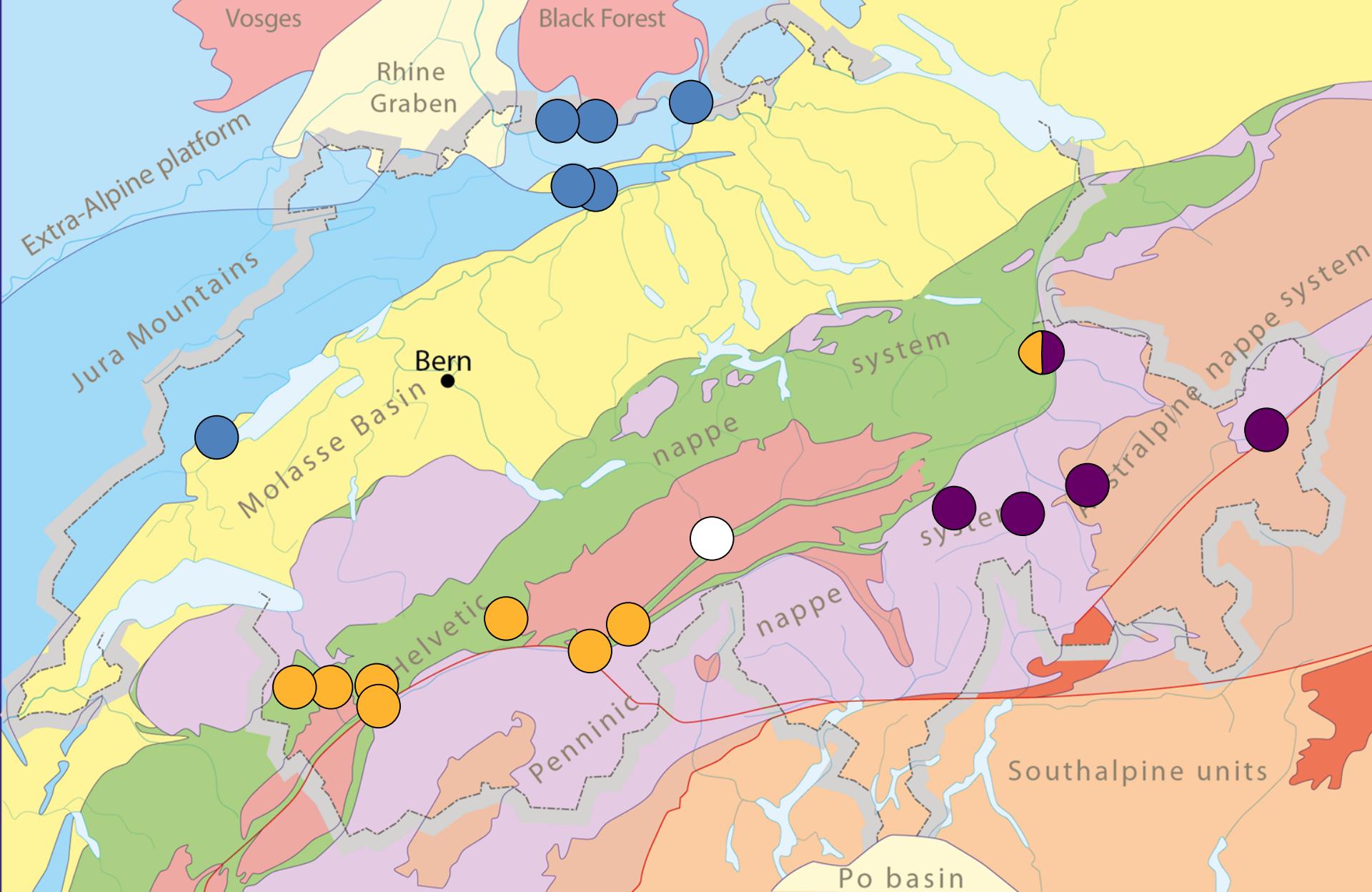
# Hydrothermale Zirkulation?



# Potentiell erhöhtes Potential für Tiefengeothermie im Aar Massiv?



1. Seitenverschiebungen am Südrand des Aar Massivs
2. Auf-(Seitenver-)schiebungen am Nordrand des Aar Massivs



Thermal-Quellen = Zeugen von hydrothermaler Aktivität

# Keine heissen Tiefenwässer in der Natur ohne Erdbeben



Thermal Springs in CH

● related to  
external massifs



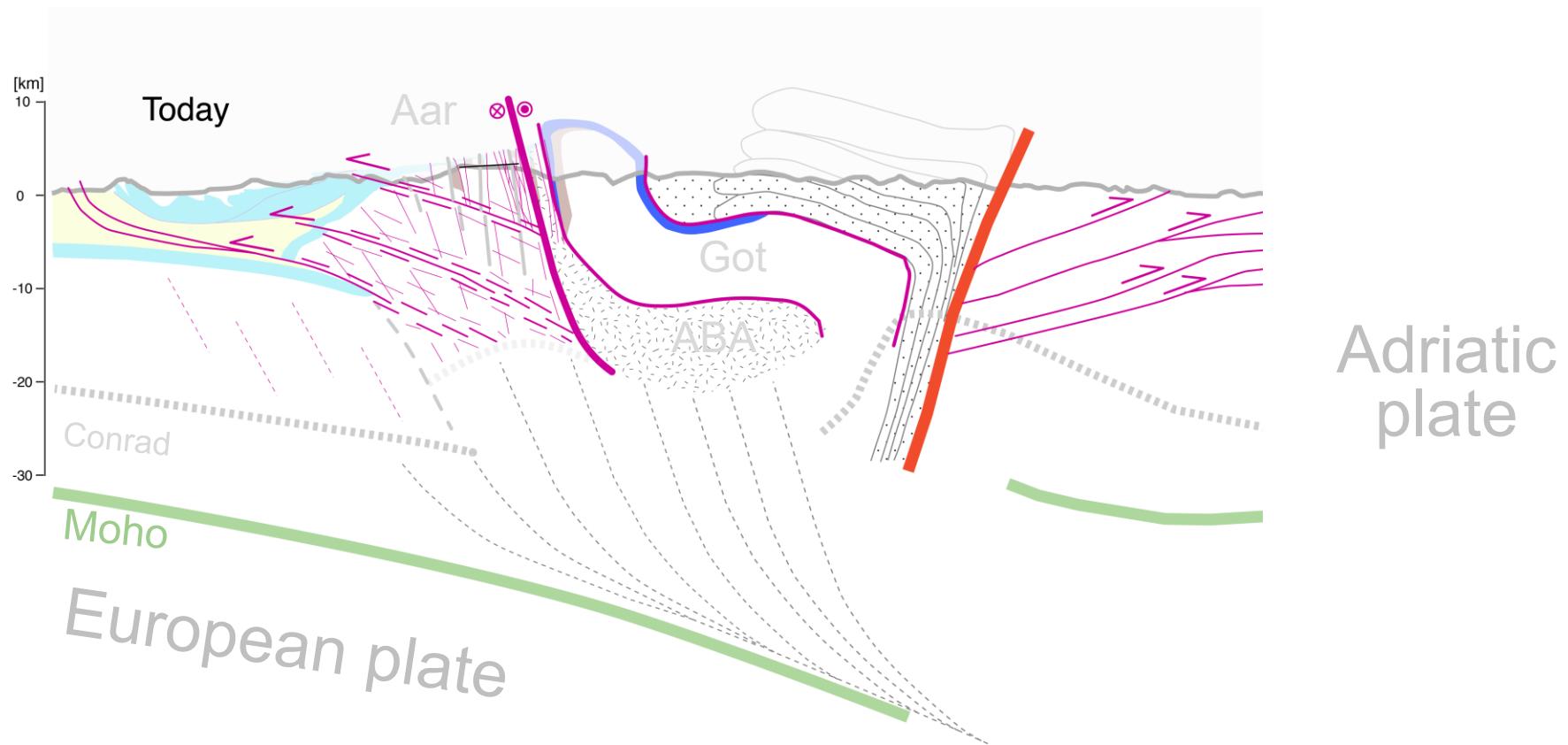
swisstopo  
SNF  
BFE  
KWO  
nagra  
Gemeinde Obergoms  
Kanton Wallis



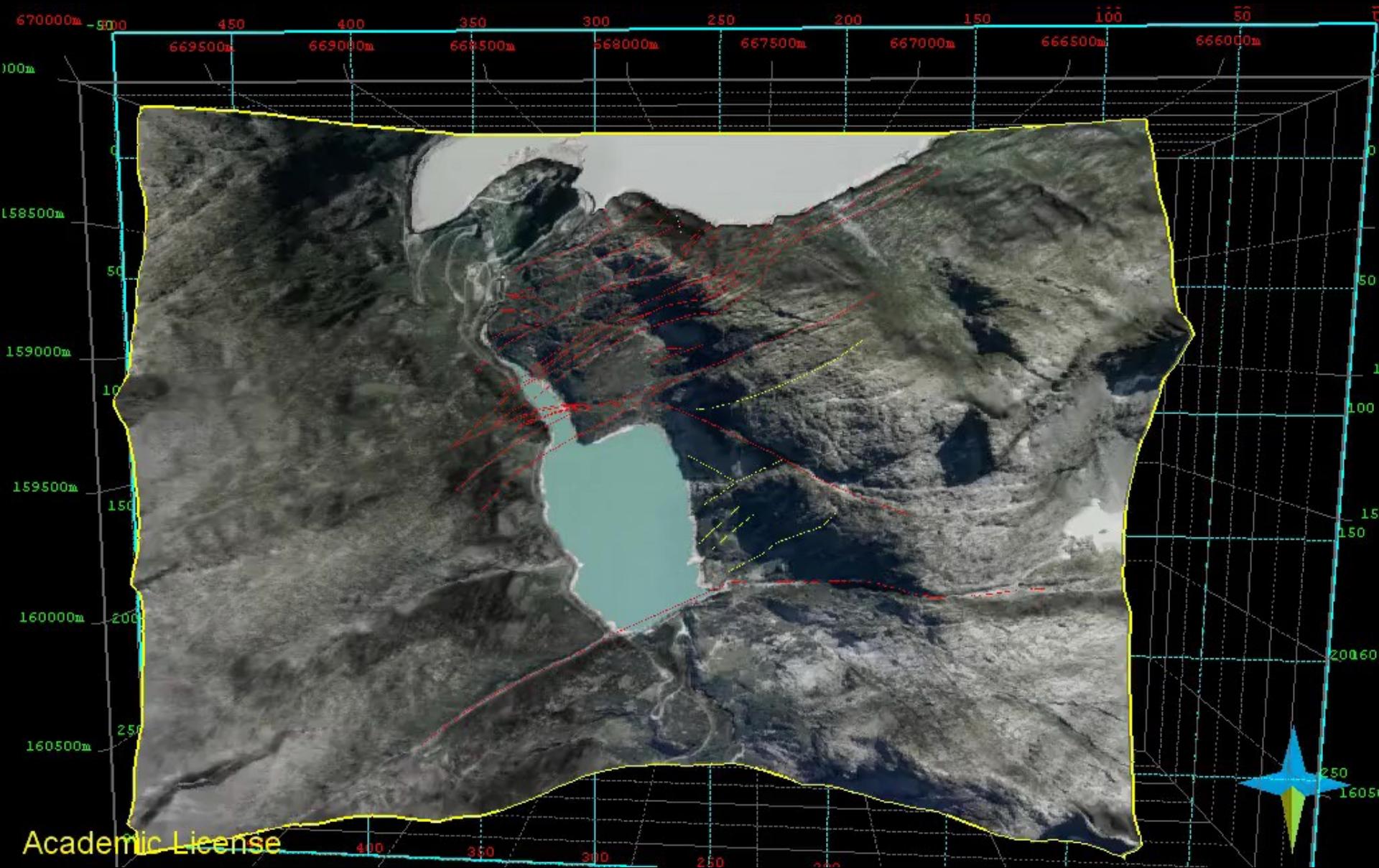
SCCER SoE  
S COMPETENCE CENTER for ENERGY RESEARCH  
S OF ELECTRICITY



# Tektonisches Profil (heute)



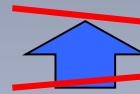
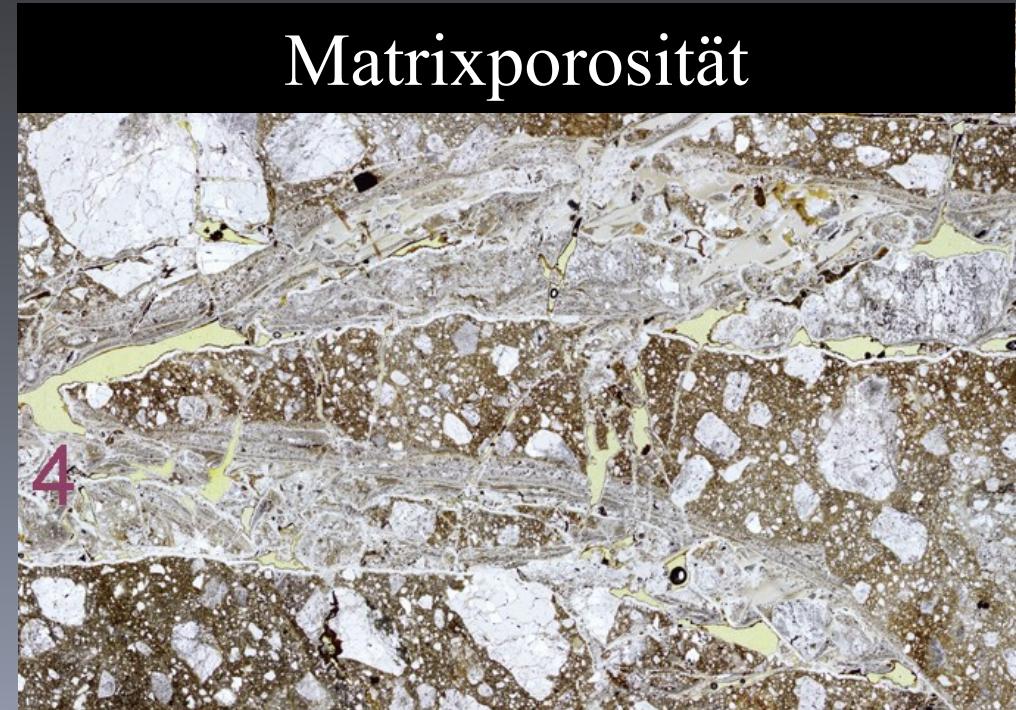
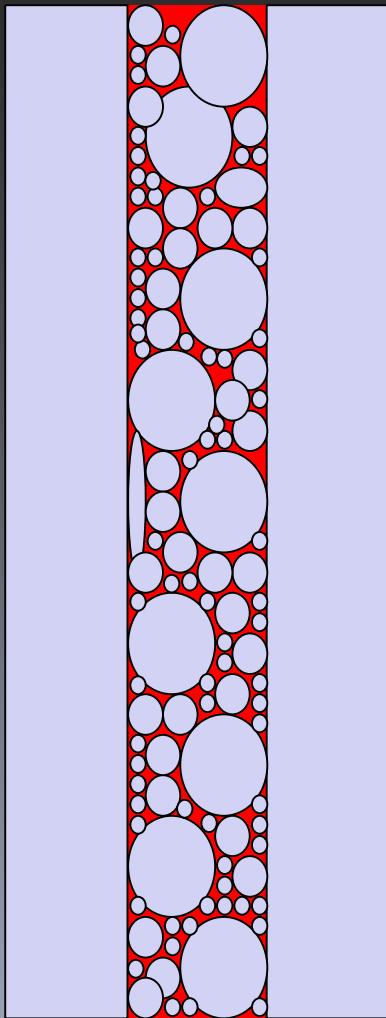
Sind diese Strukturen wasserführend?





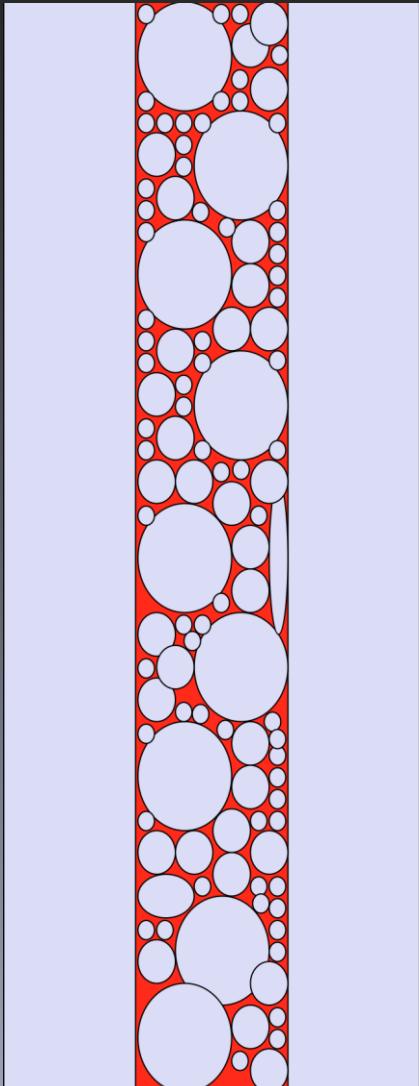
1 cm

Problem Mineralausfällungen = Zementation



~~Hydrothermalwasser~~

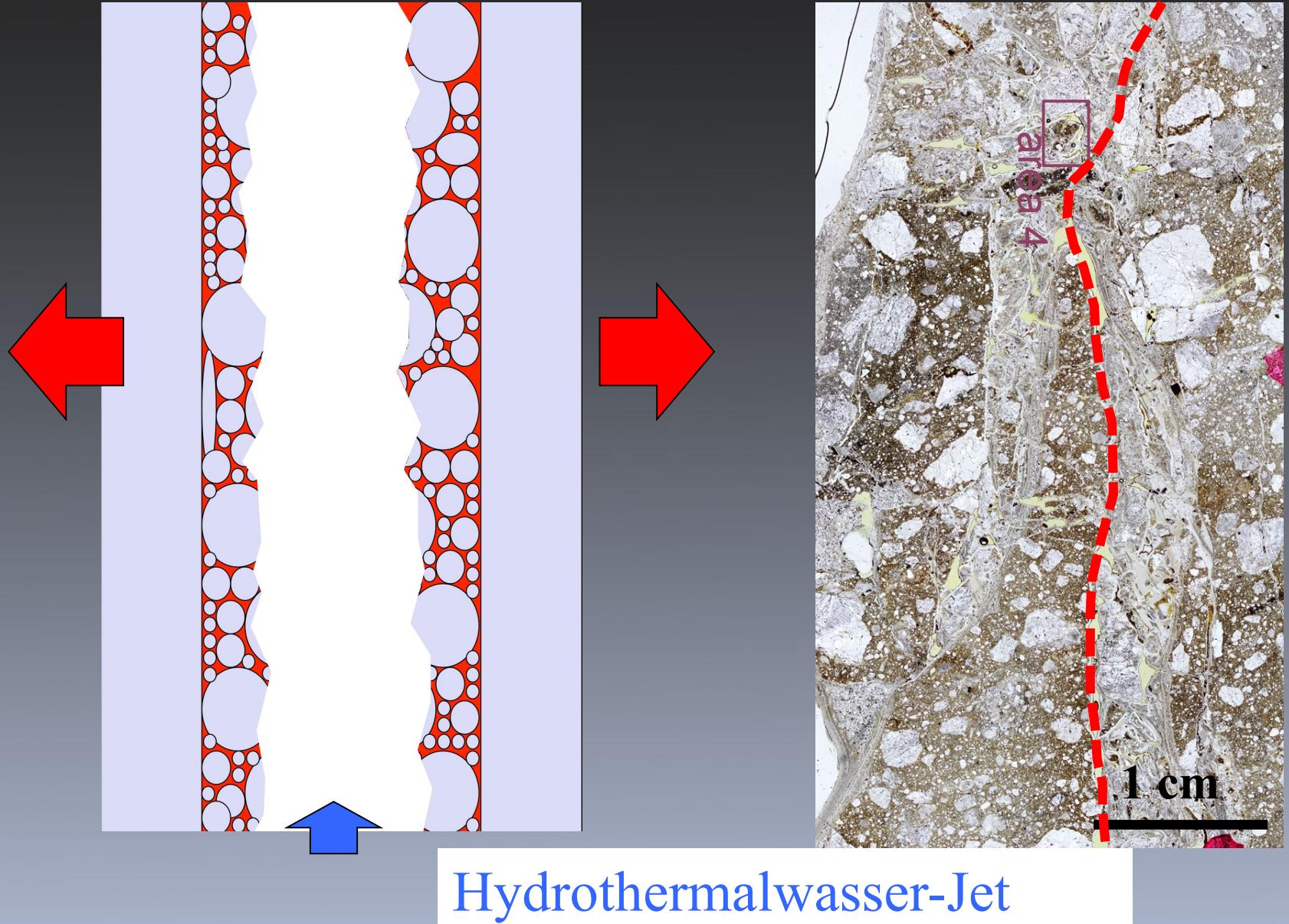
Zementation => kein Porenraum => keine Zirkulation



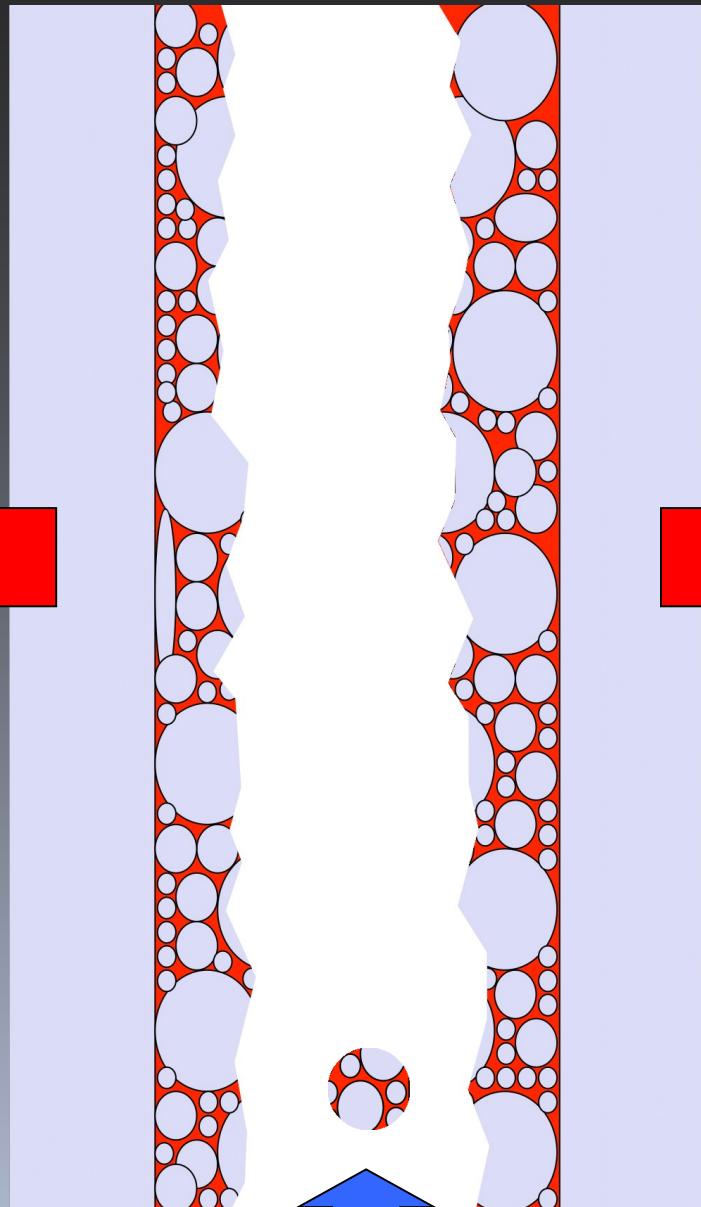
Wasserstau



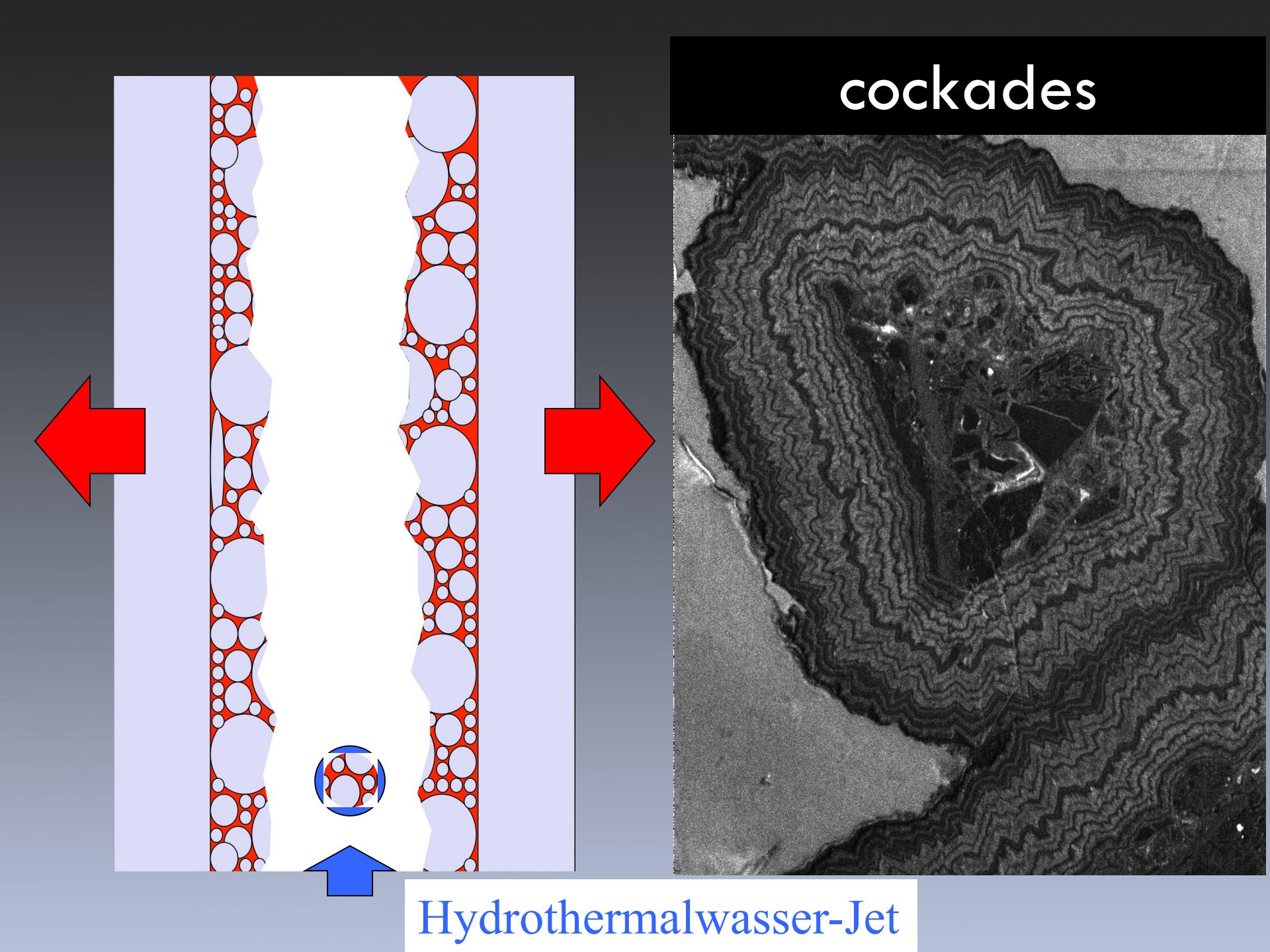
Sich aufbauender Wasserstau => erhöhter Porendruck



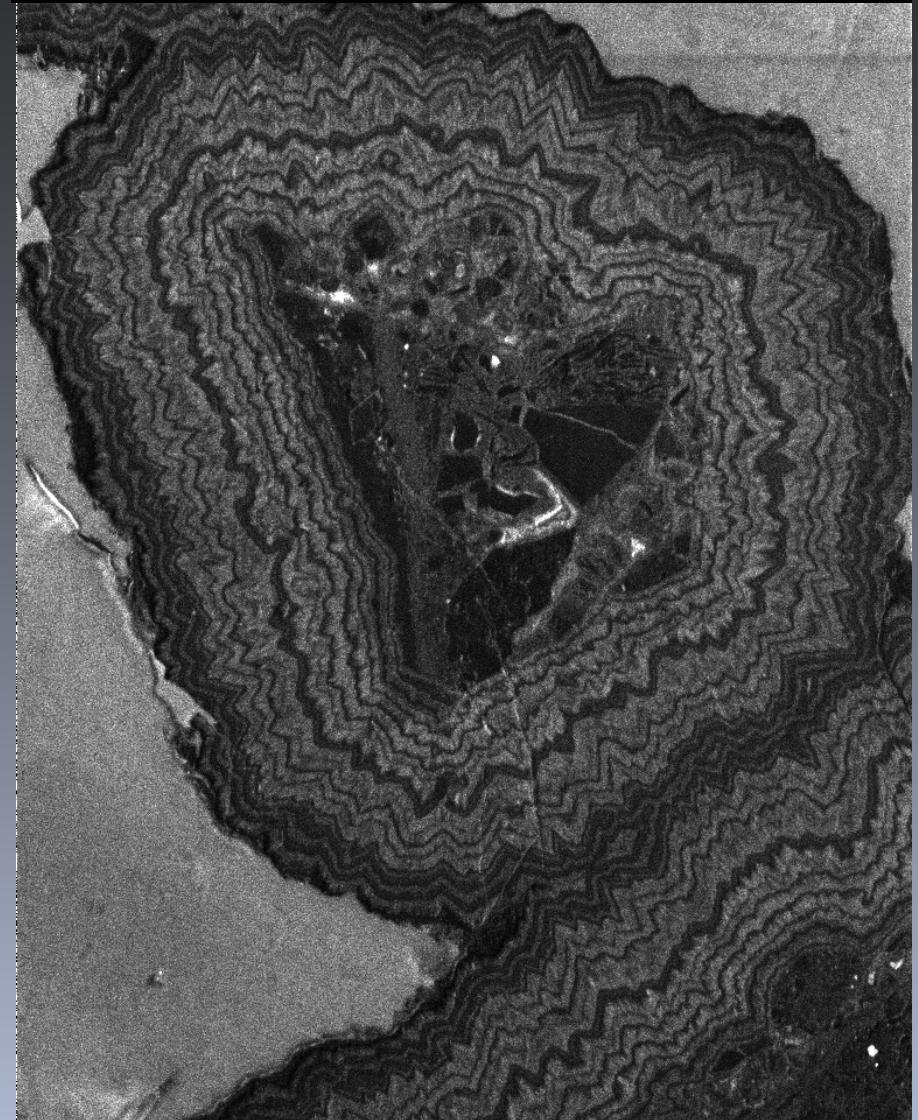
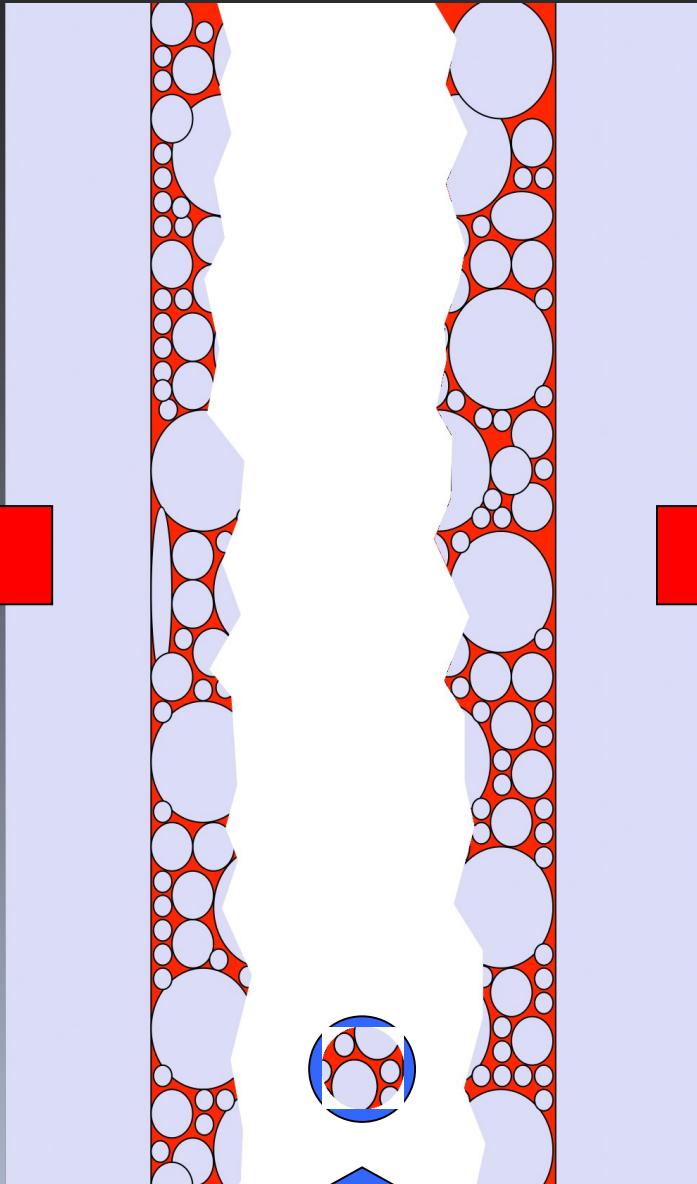
Hydrofracturing => Erdbeben



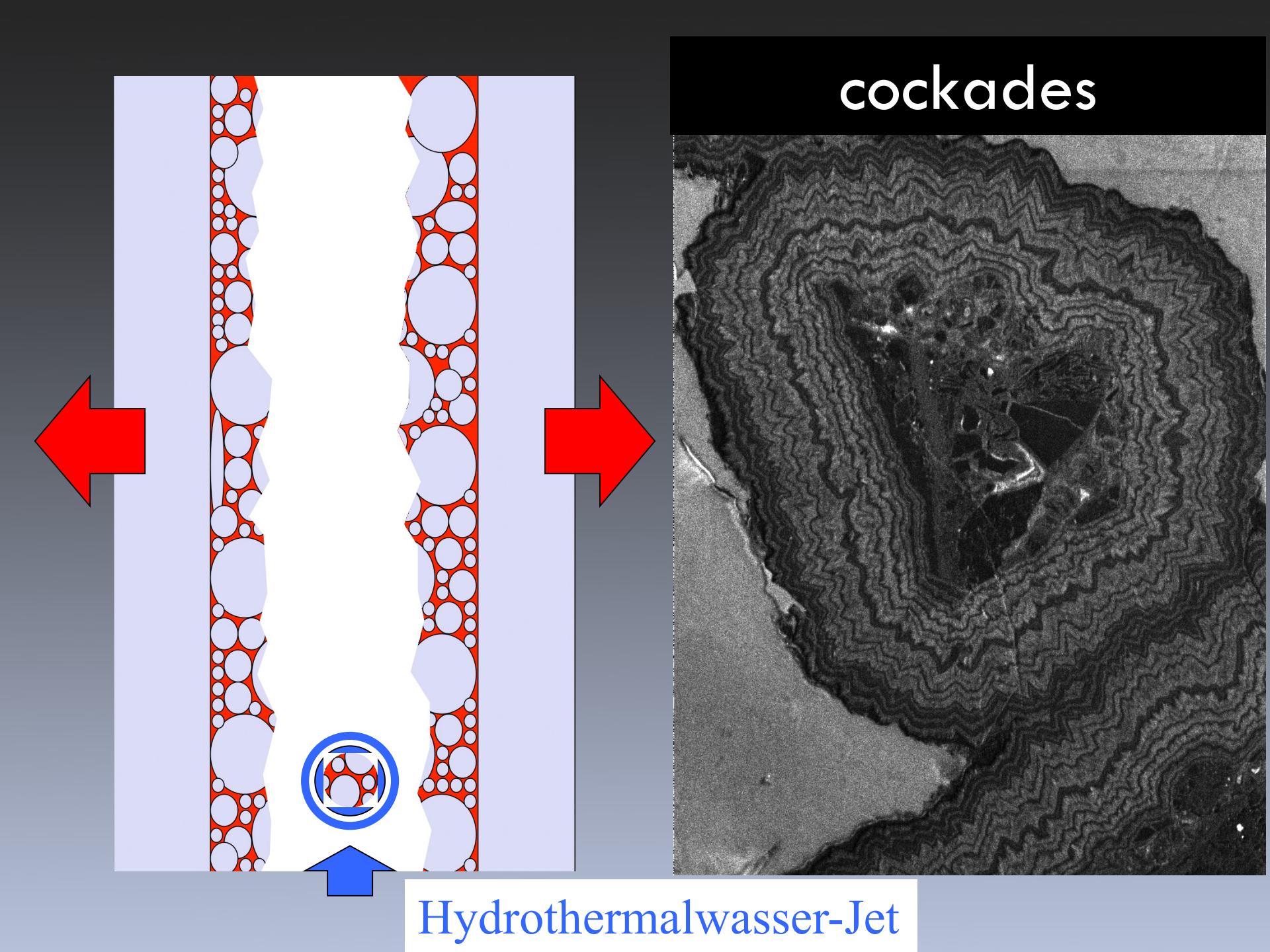
Hydrothermalwasser-Jet



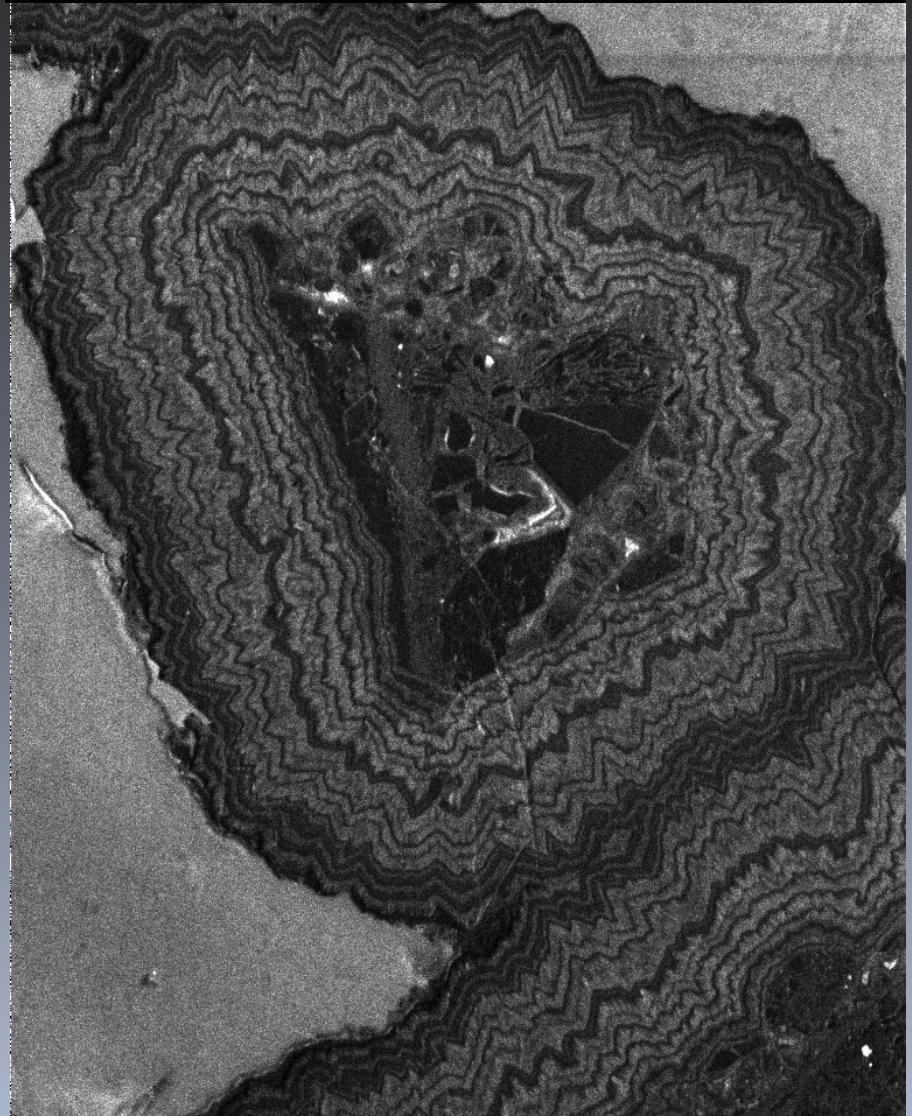
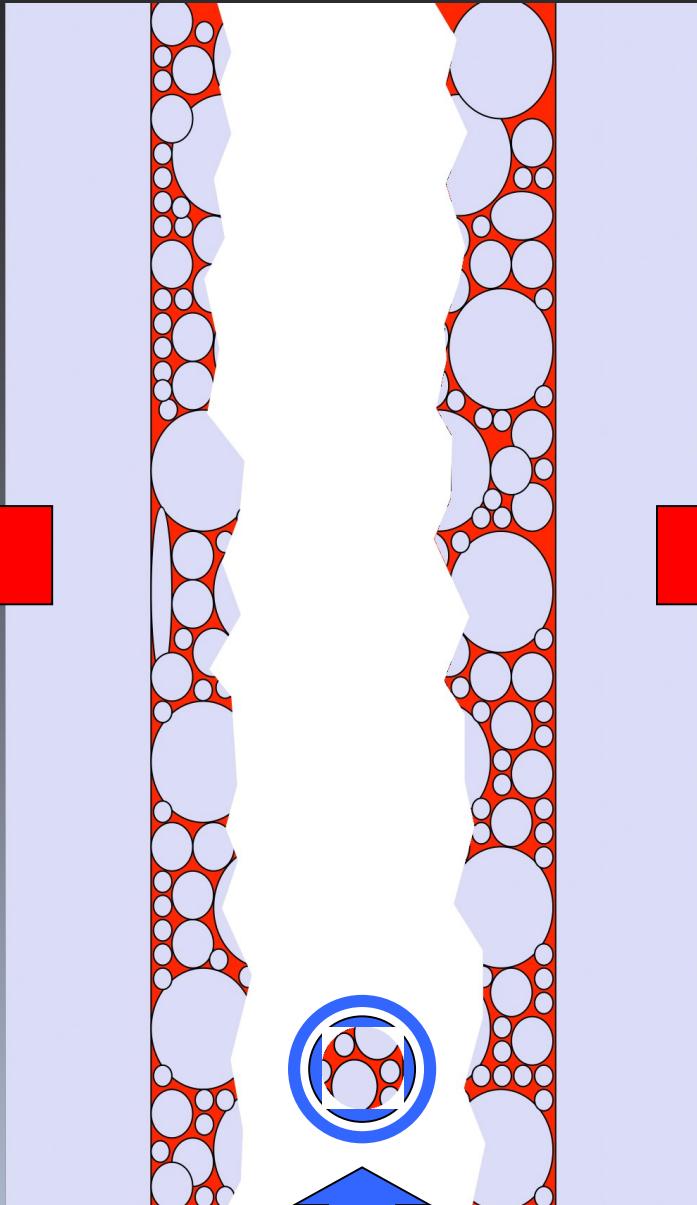
cockades



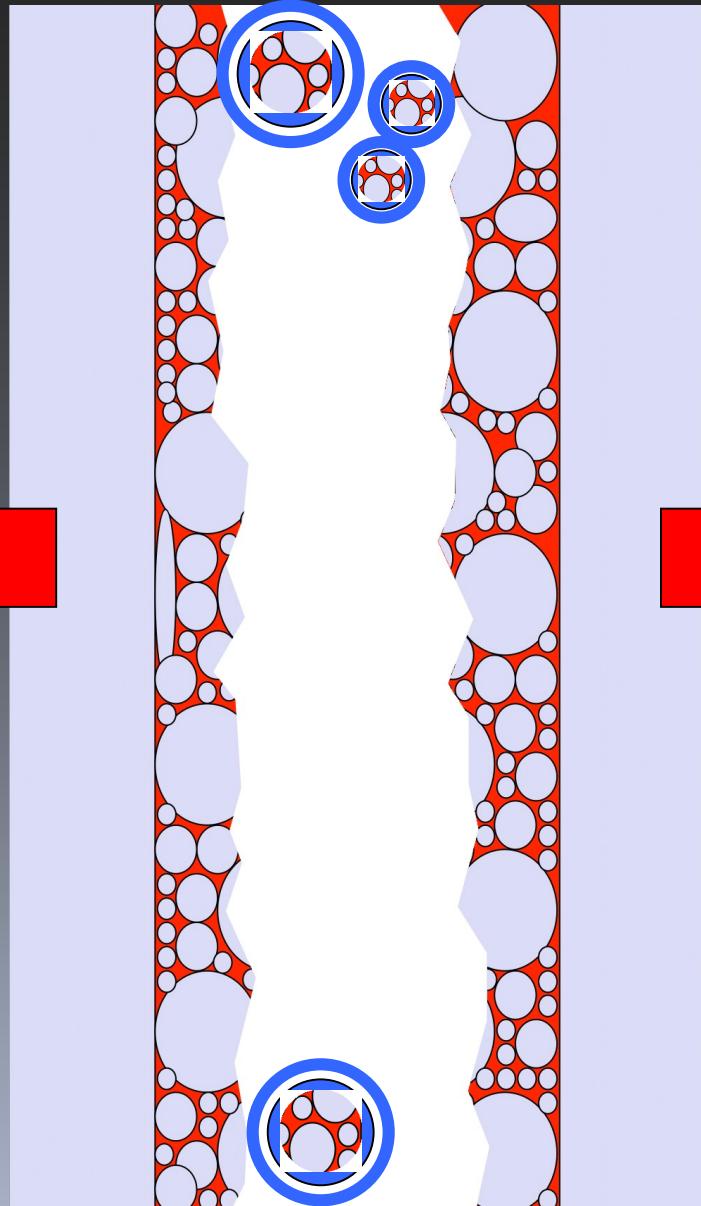
Hydrothermalwasser-Jet

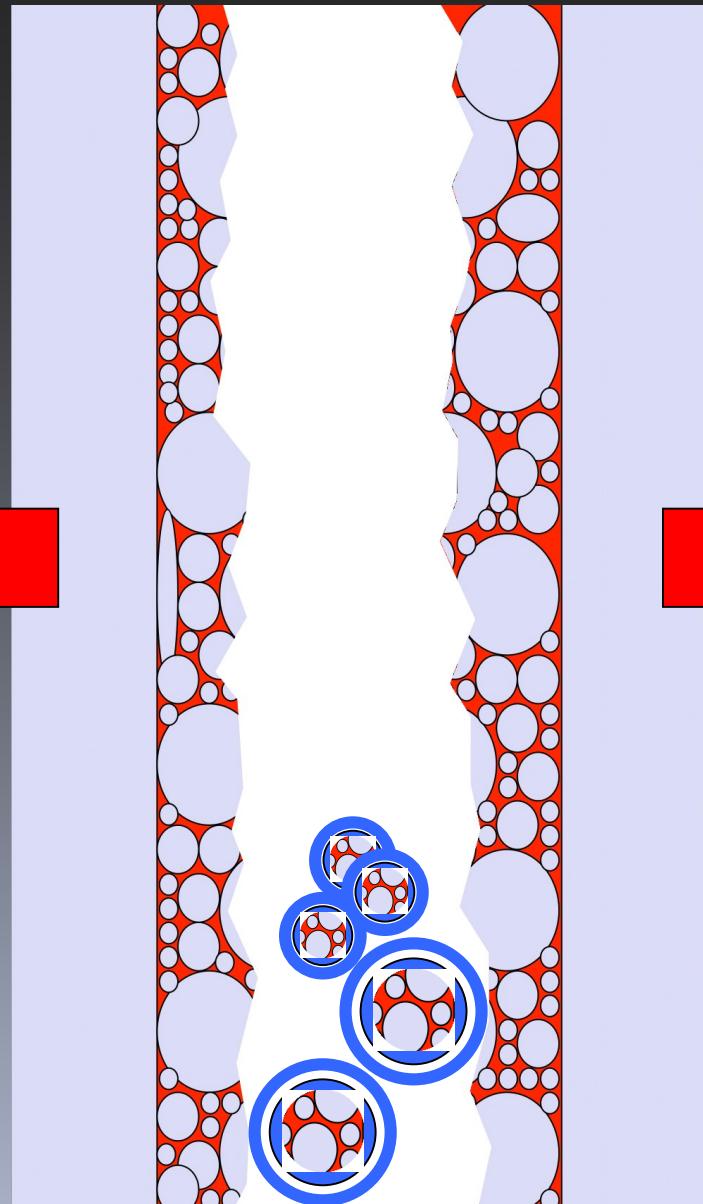


cockades



Hydrothermalwasser-Jet





Cockades  
in cockades