

# Geothermie im Aar Massiv

## Was die Natur uns lehrt



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

*u<sup>b</sup>*

b  
UNIVERSITÄT  
BERN



- 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



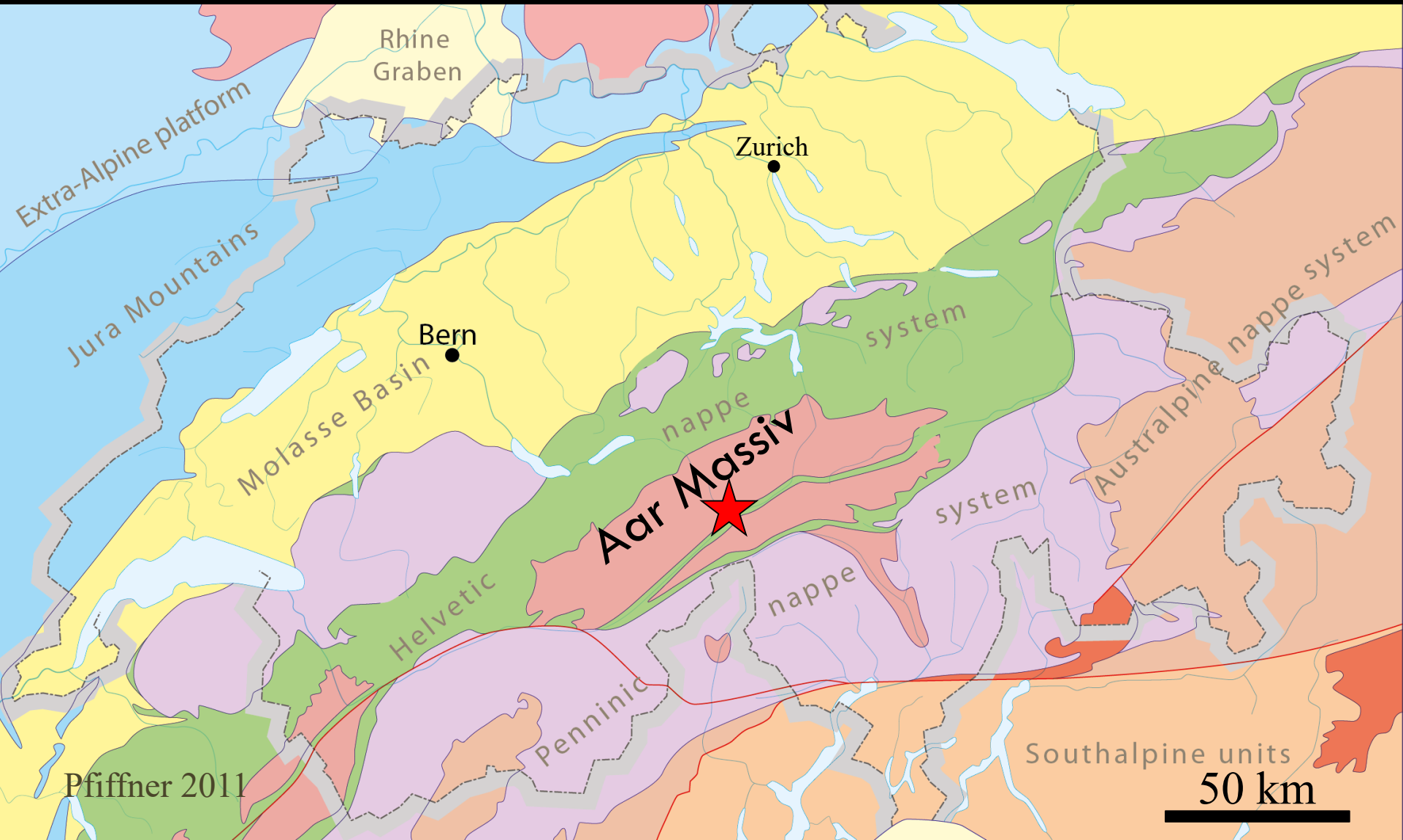
# Old Faithfull Geyser Yellowstone NP





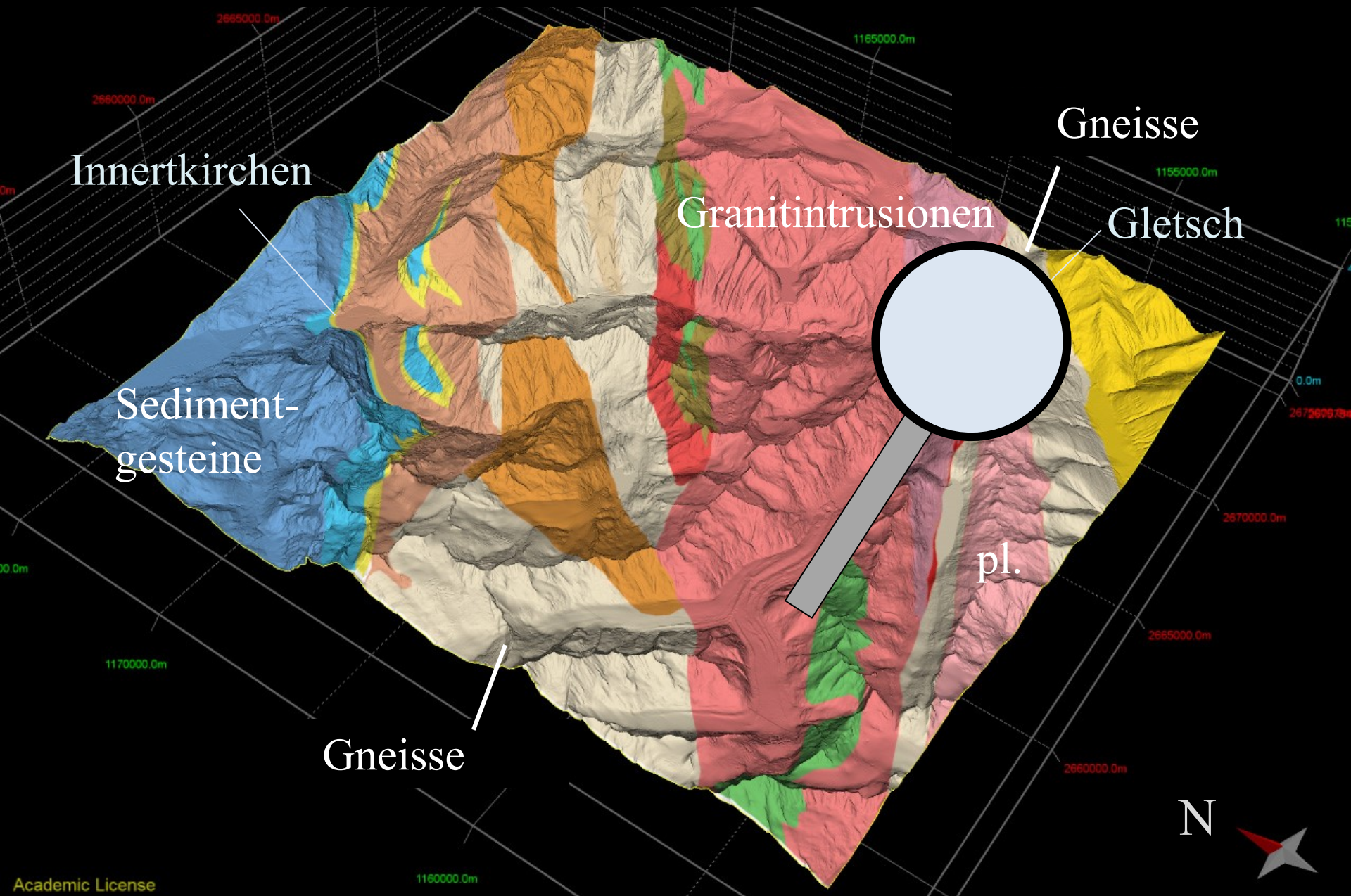
Hydrothermale Wässer – Geothermie - im Aar Massiv

# Hydrothermale Aktivität an der Grimsel Wieso?





# Geologie des Aar Massivs





kl. Sidelhorn

Grimsepass

28° C

Gletsch

18° C





# Austritt 28° C heisser Wässer im Transitgas Stollen



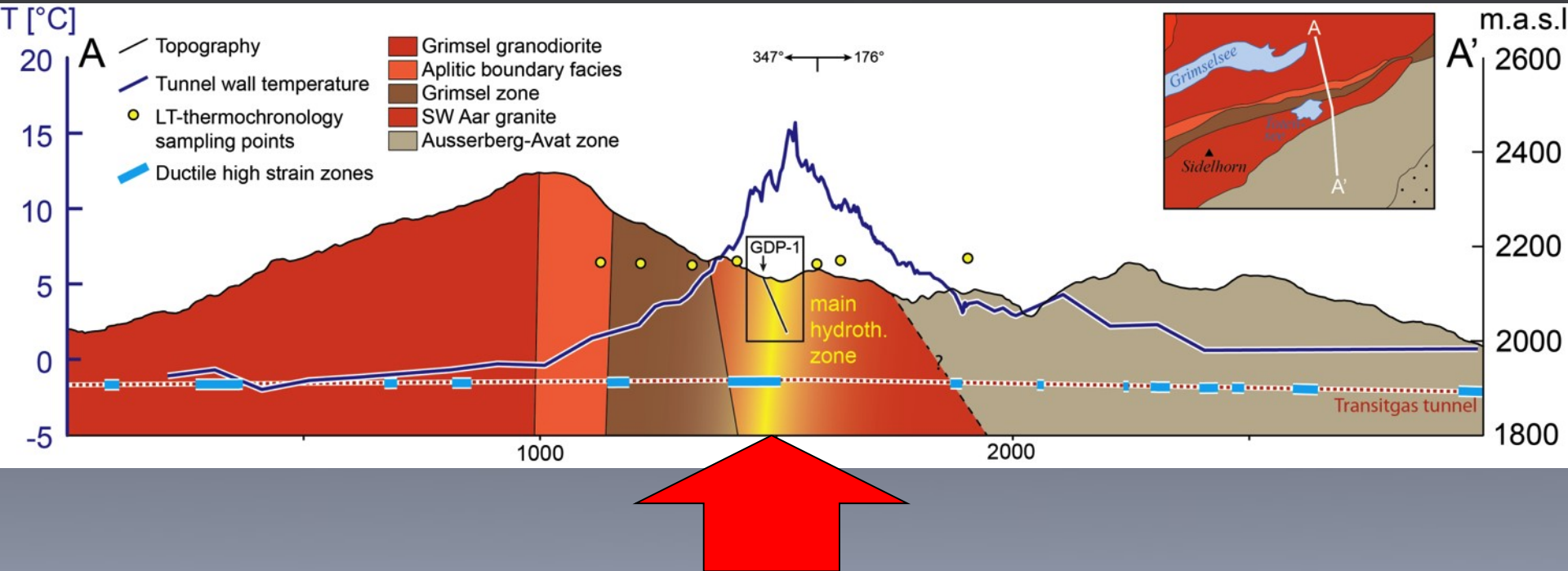




- Wassertemperatur  $28^{\circ} \text{ C}$
- Mit Oberflächenwasser vermischt
- Ohne Oberflächenwasser  $T = 54^{\circ} \text{ C}$  (N. Waber)
- Alter der Wässer  $> 30'000$  Jahre  
(Waber & Schneeberger 2017)



# Temperaturverlauf im Berginnern



- Wieso erhöhte Temperatur?
- Wieso Austritt heisser Wässer?

# Vortragsinhalte

*u<sup>b</sup>*

b  
UNIVERSITÄT  
BERN



- 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

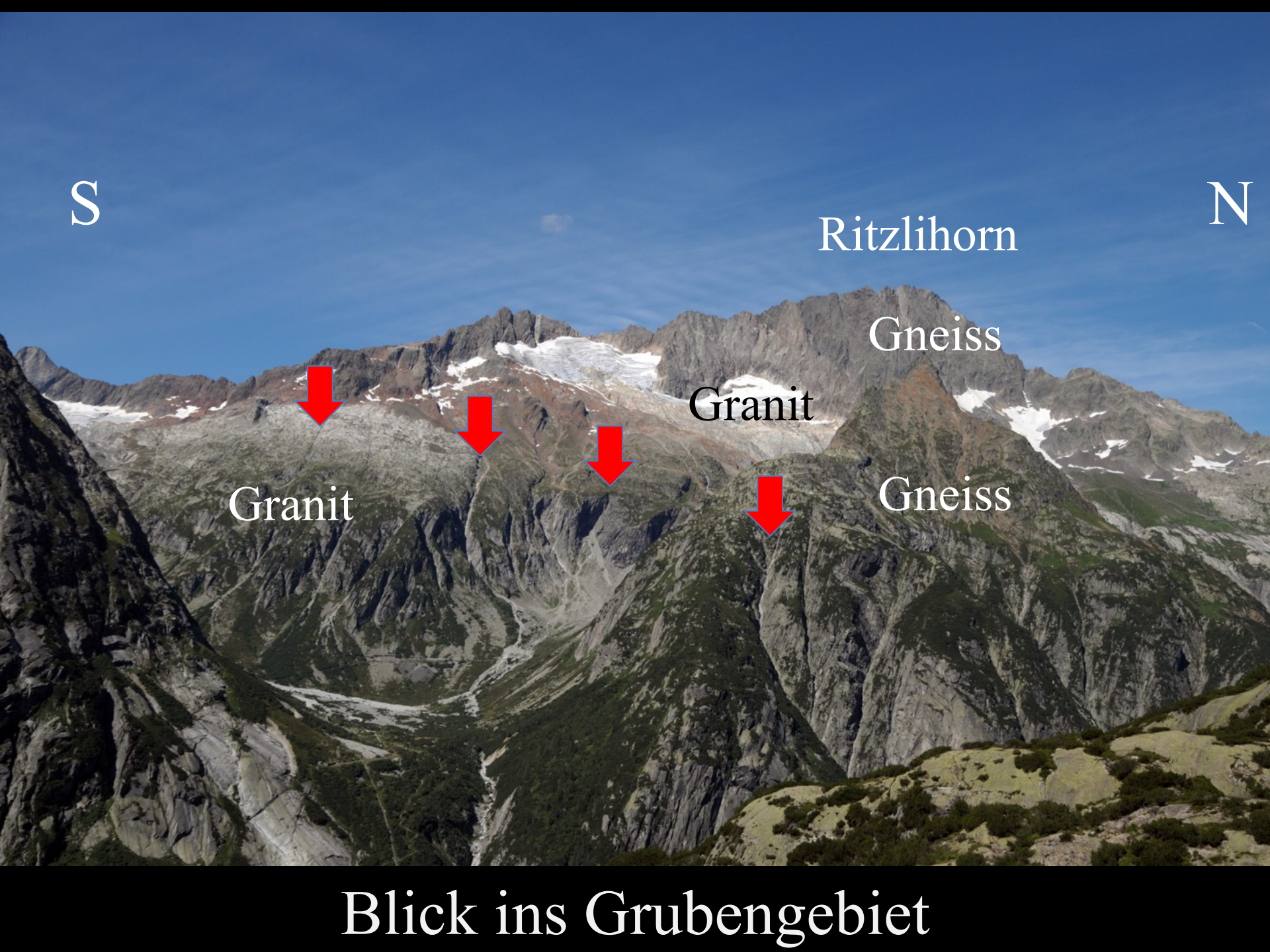
Gneiss

Granit

Granit

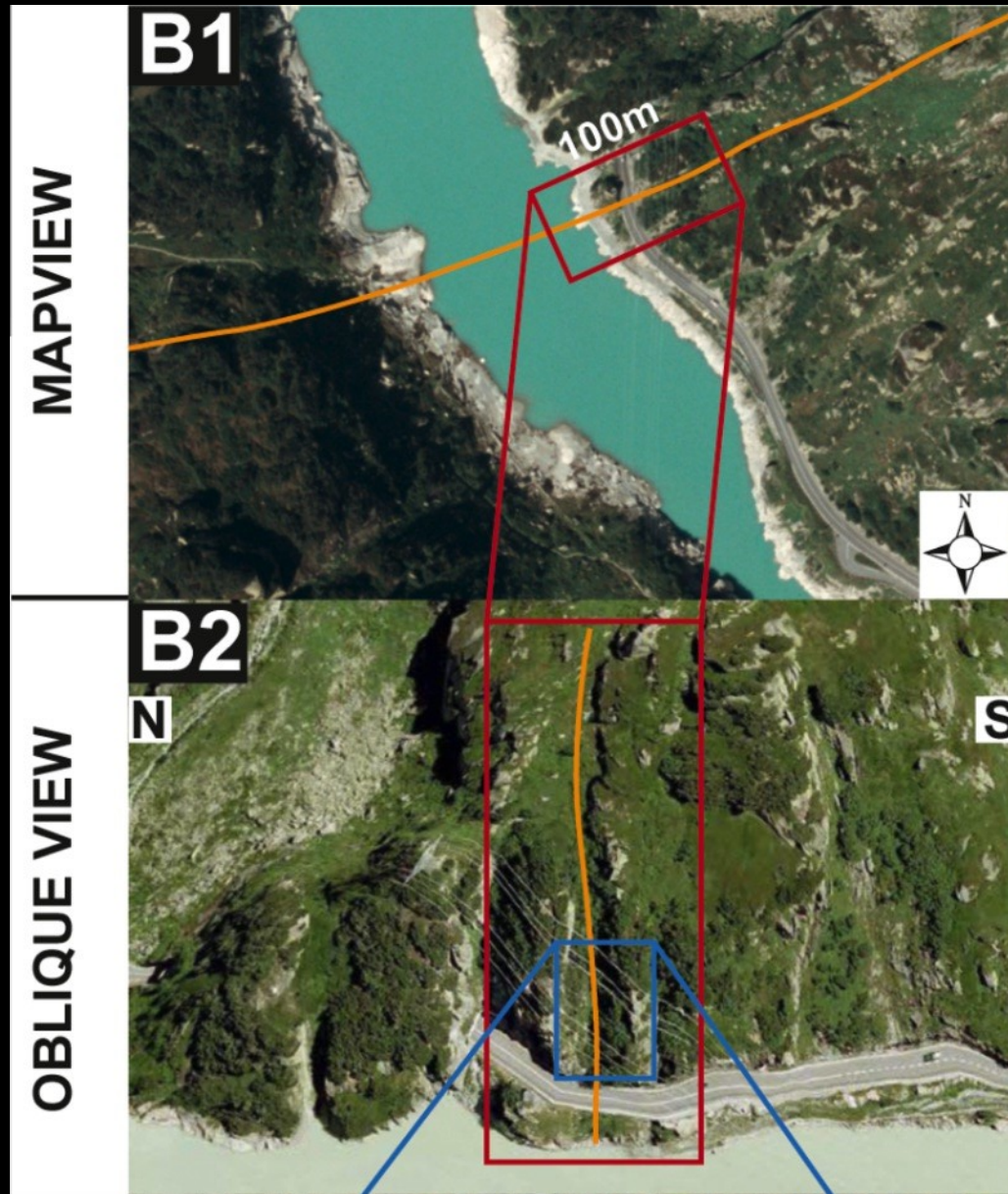
Gneiss

Blick ins Grubengebiet



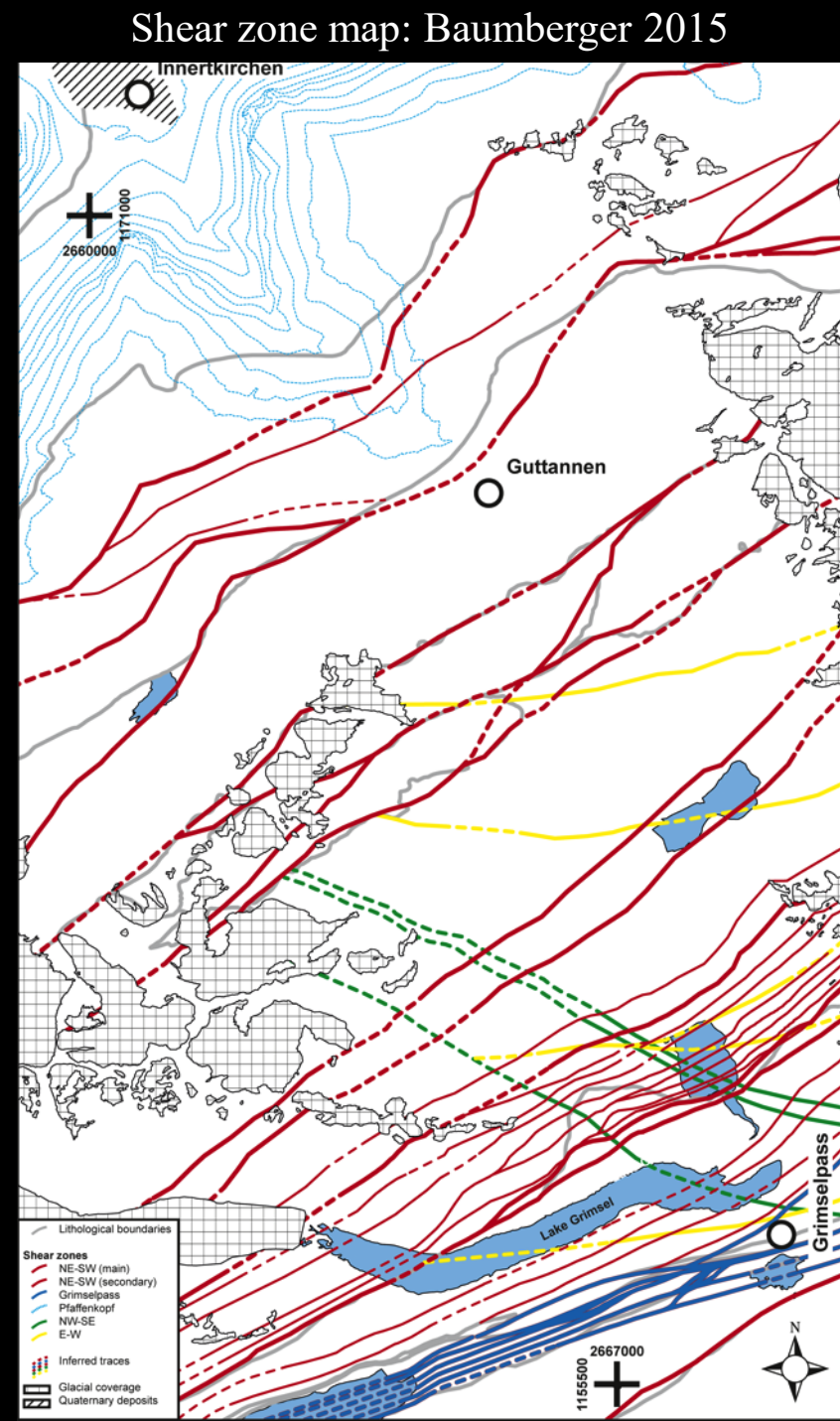
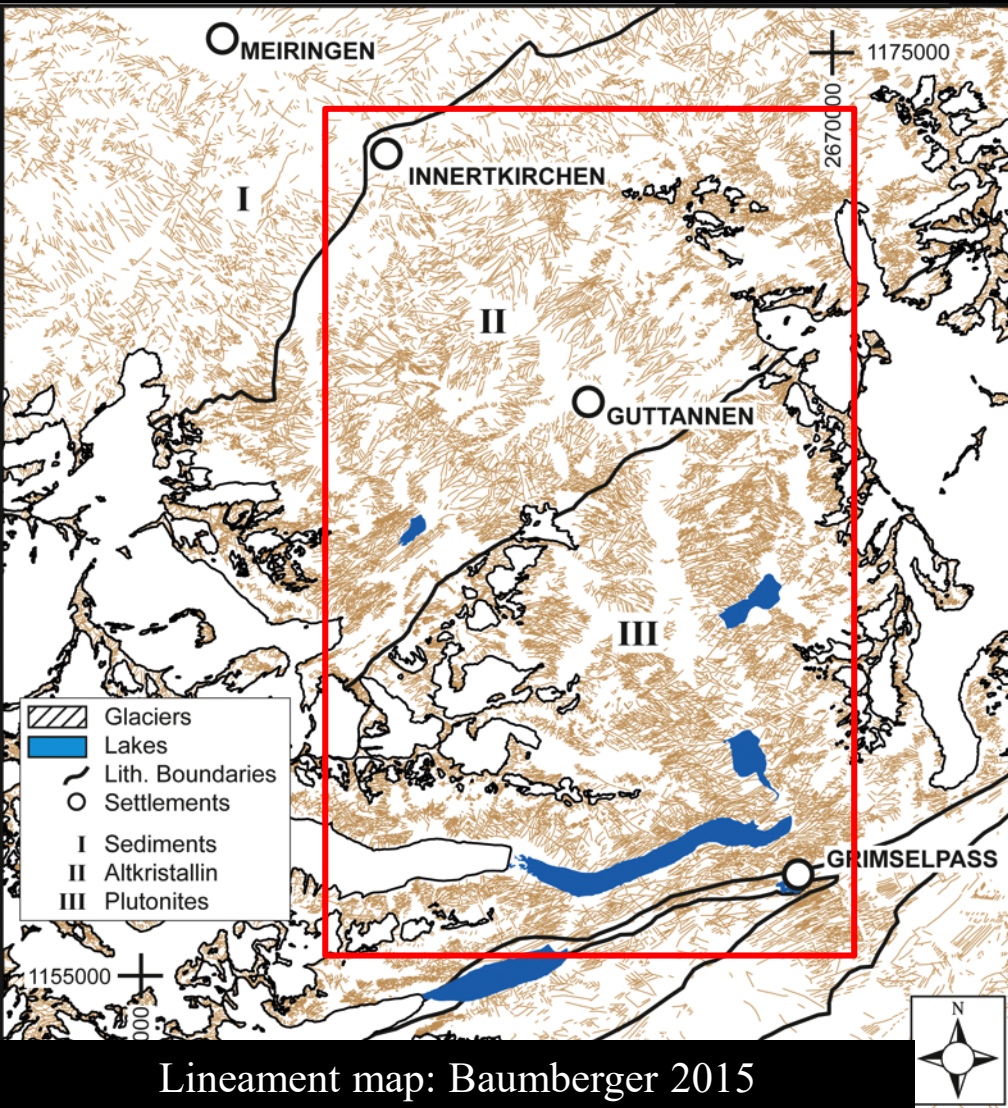


# Tektonische Oberflächen-Einschnitte (Lineamente)



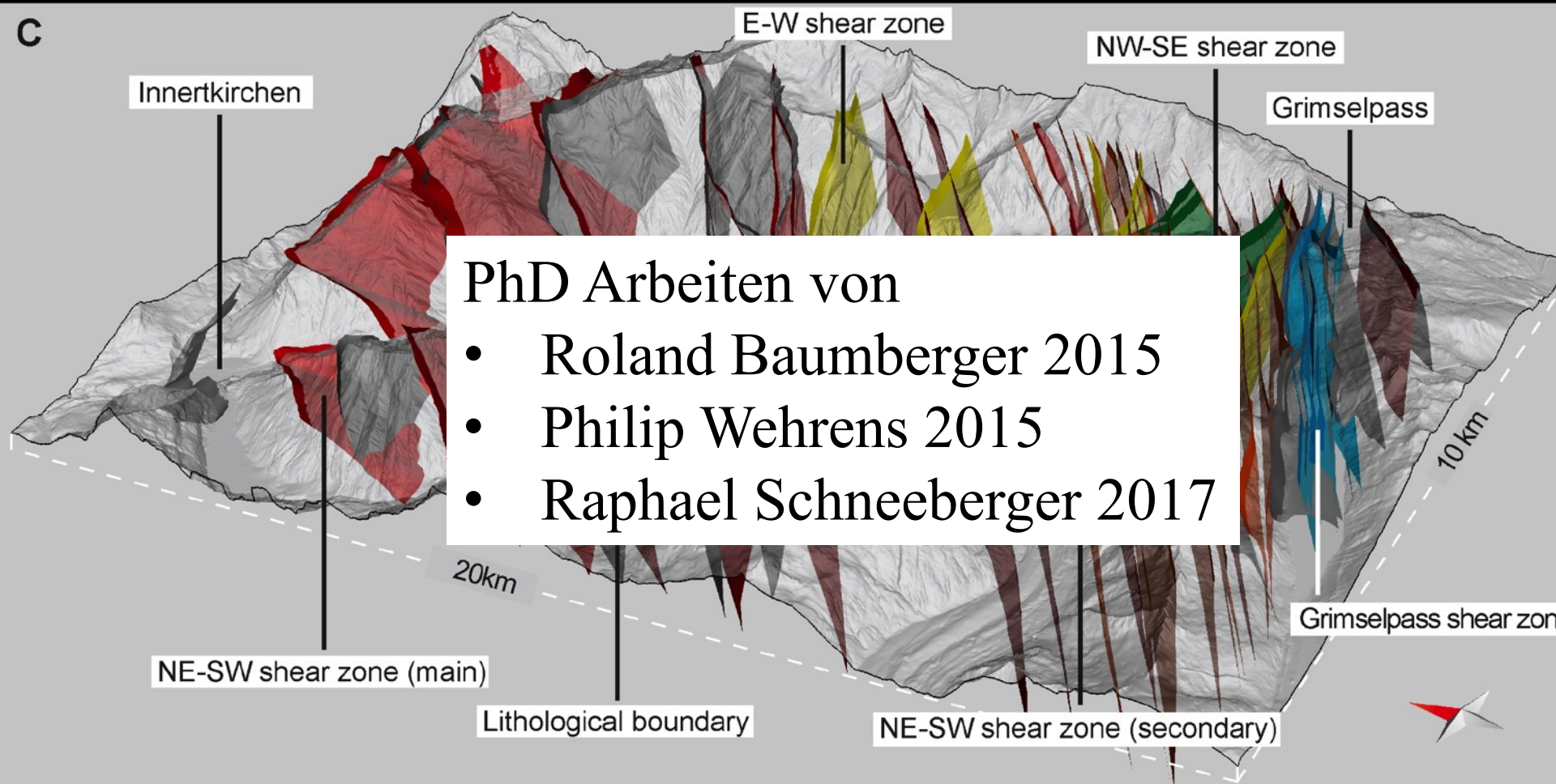


# Von Lineamenten zu Scherzonen

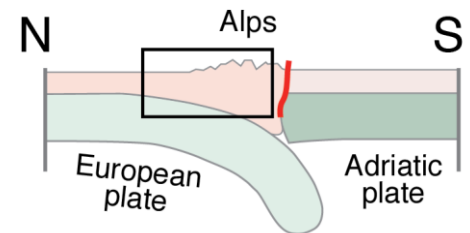
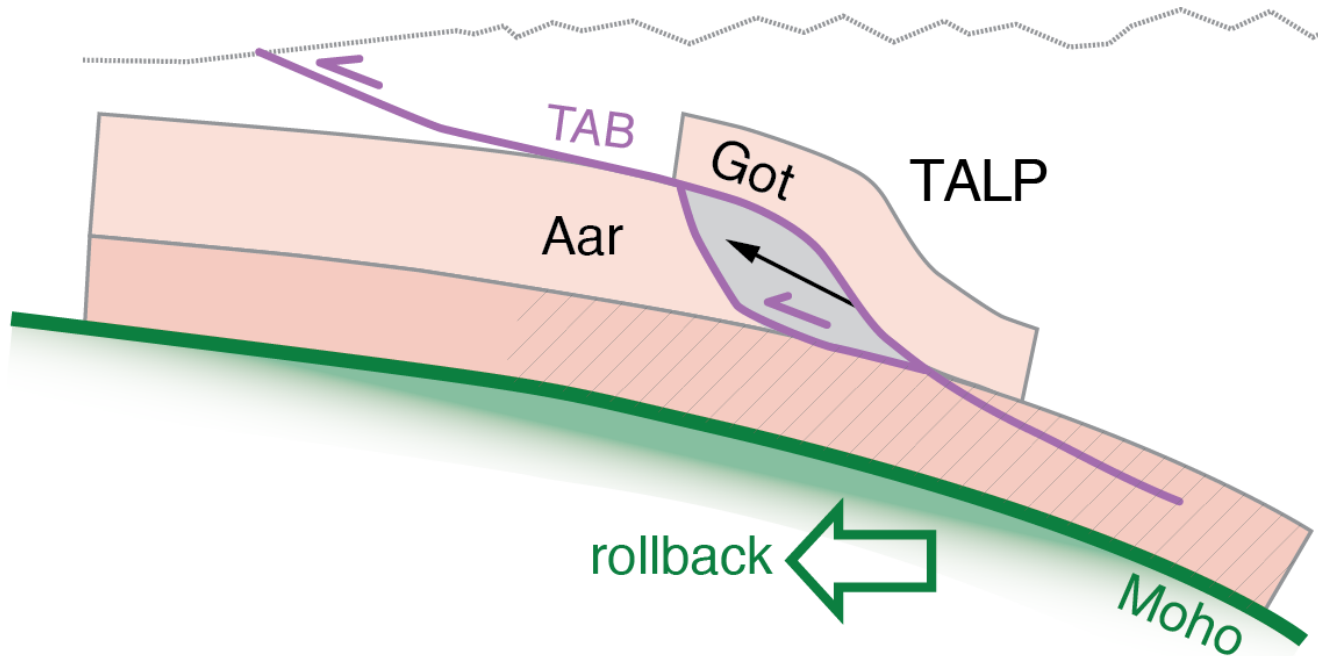




# 3D Störungszonen-Modell

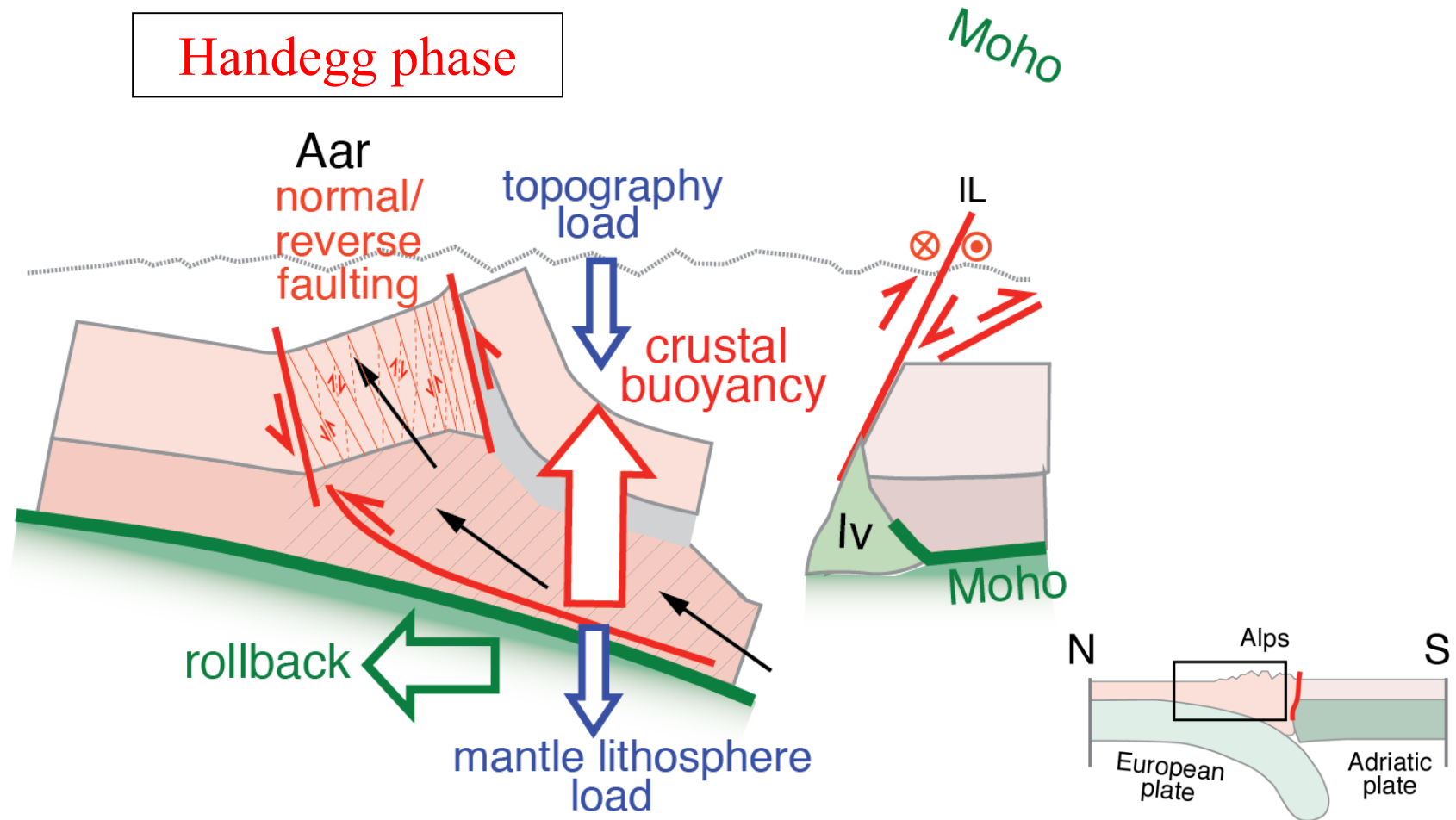


# Geodynamische Entstehung (22-20Ma)

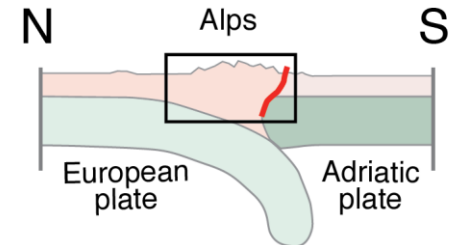
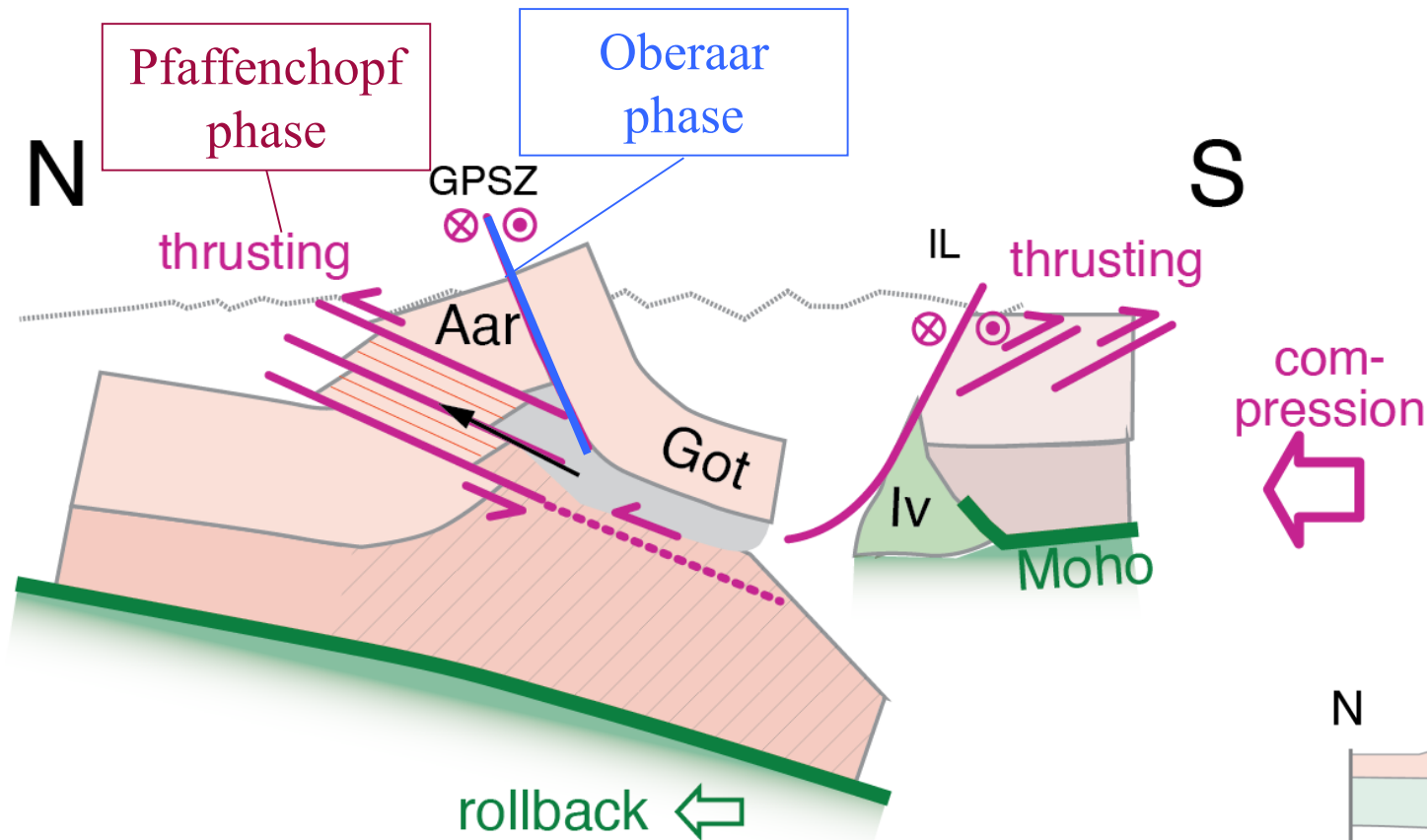




# Geodynamische Entstehung (20-17Ma)

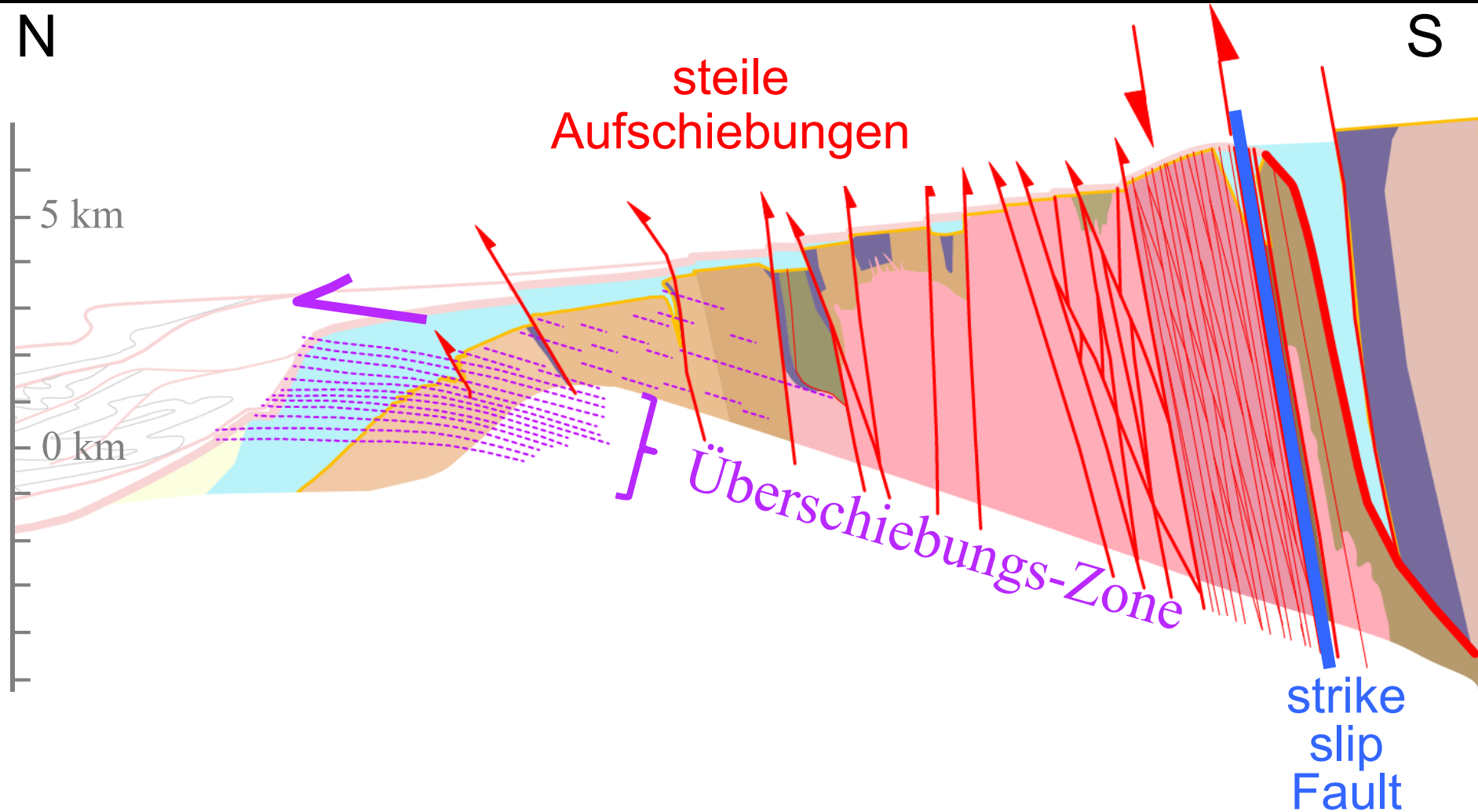


# Geodynamische Entstehung (12-5 Ma)





# Strukturen im Querschnitt Haslital

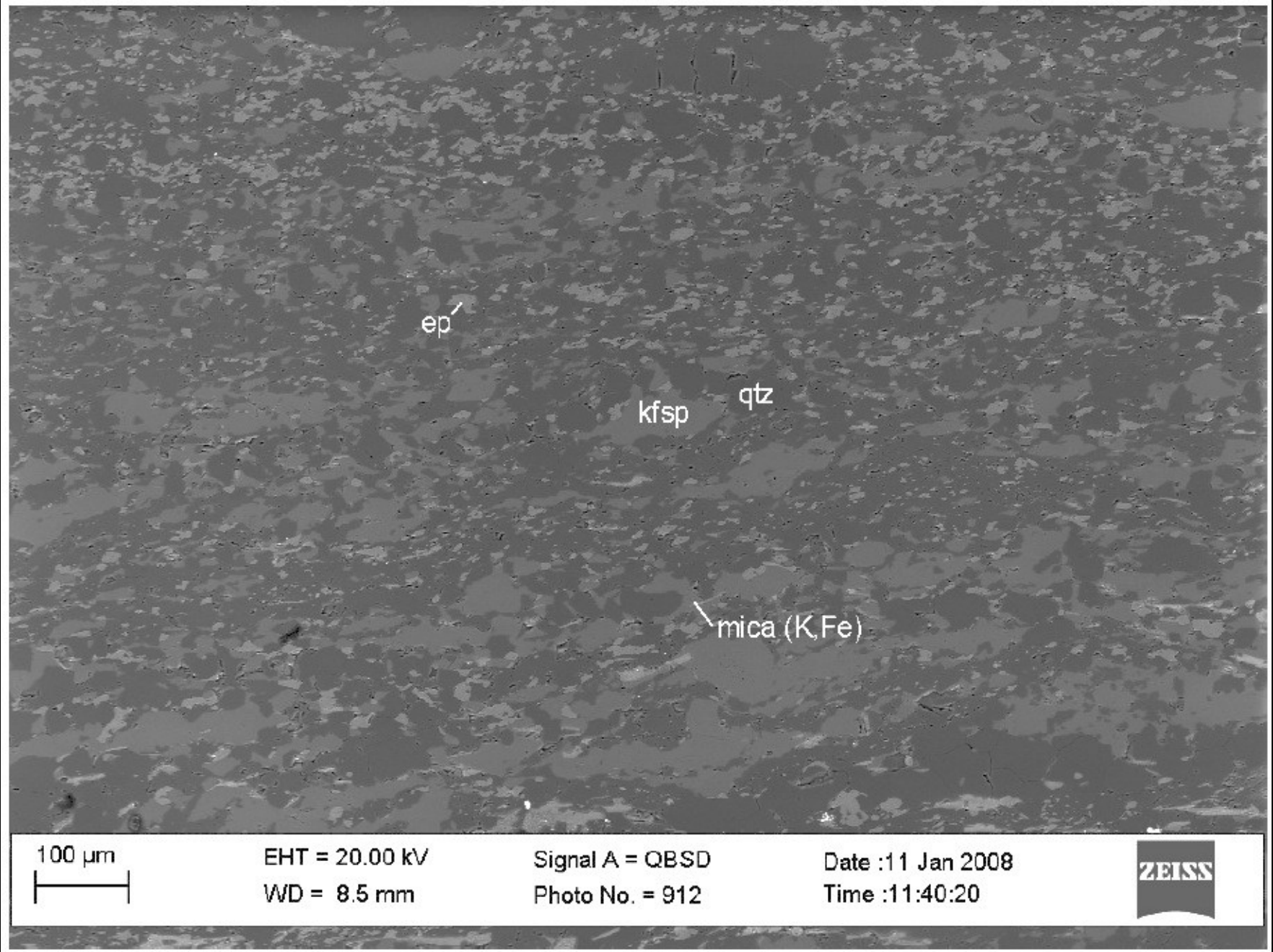






duktile  
Störungszonen





# Plastische Störungszonen - Mikrogefüge





Spröde  
Störungszonen



# Vortragsinhalte

$u^b$

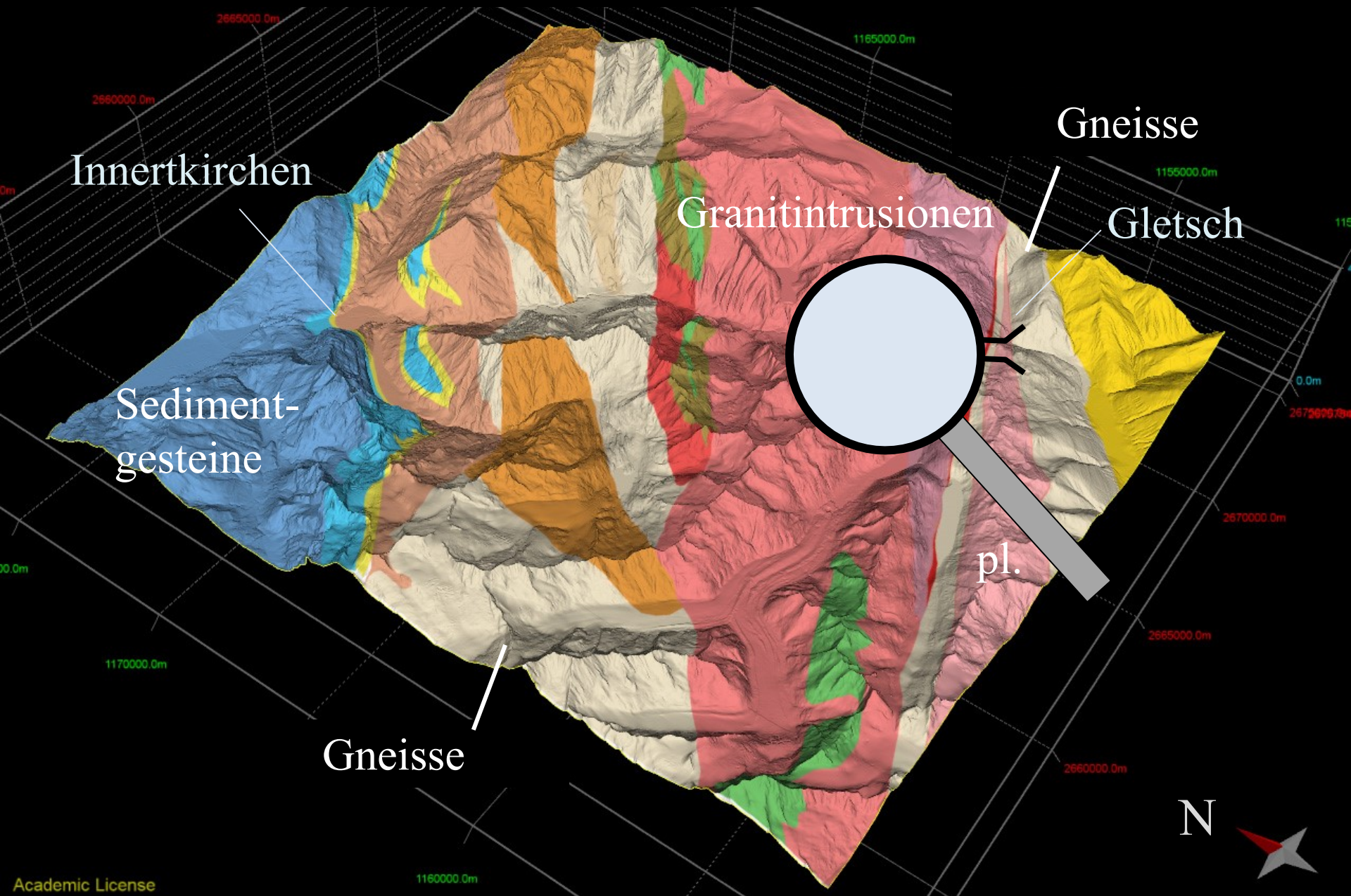
b  
UNIVERSITÄT  
BERN

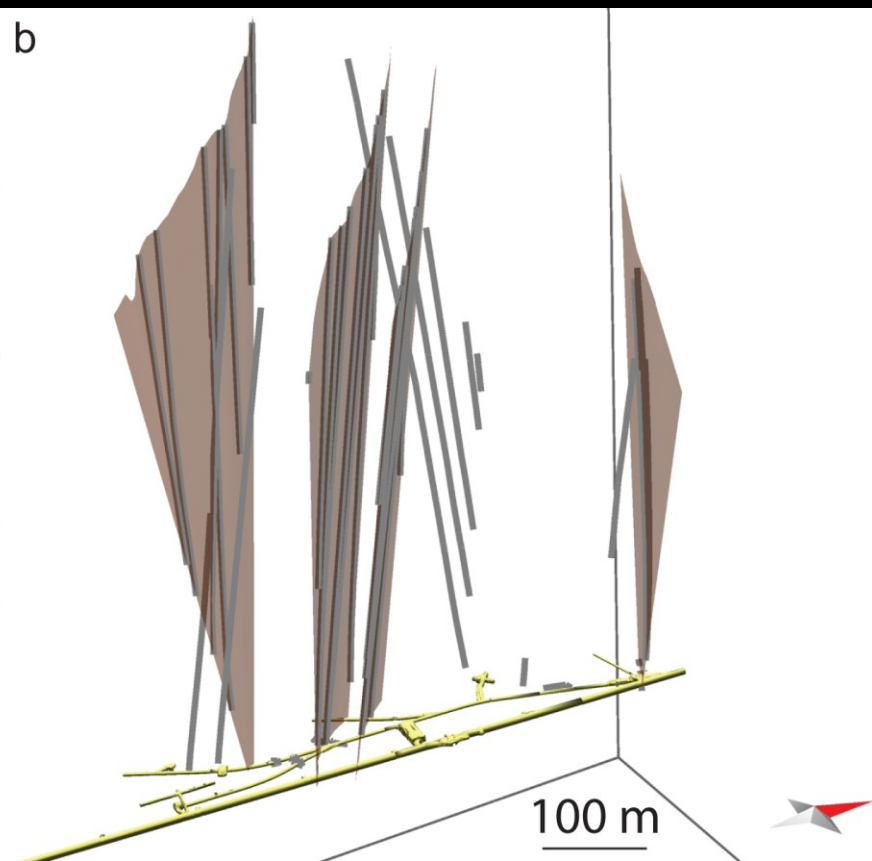
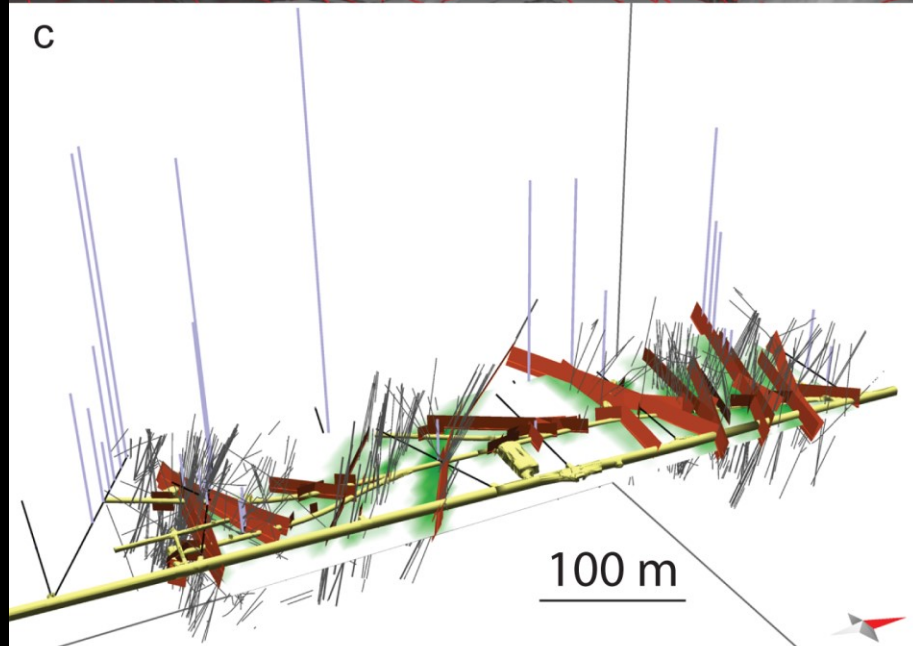
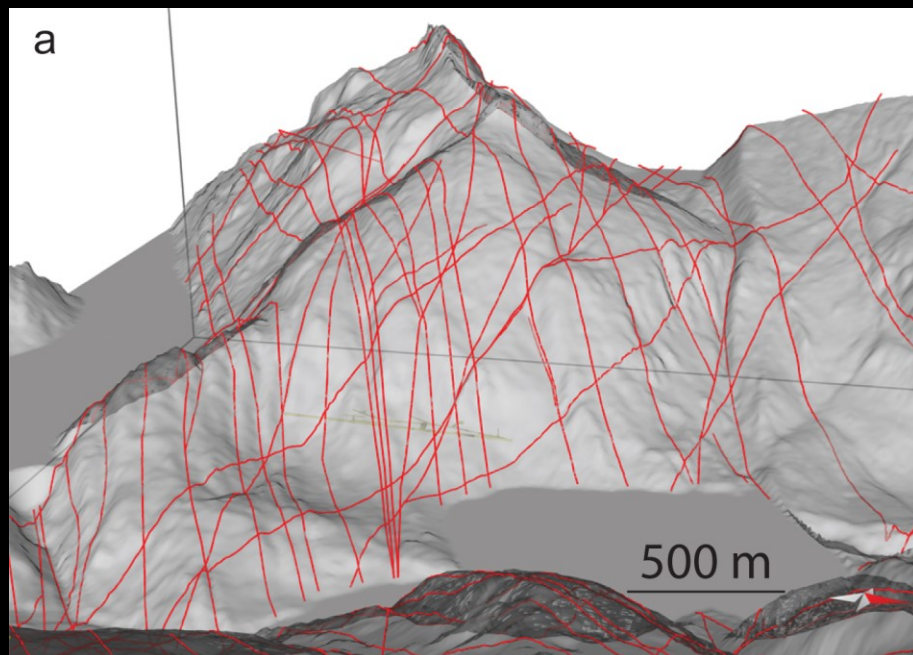


- 1) Einführung
- 2) Tektonische Vorkonditionierung
- 3) **Wo und wie infiltriert kaltes meteorisches Wasser?**
- 4) Wo und wie steigt heisses hydrothermales Wasser auf?
- 5) Geothermie Potential im Aar Massiv?



# Nagra Felslabor

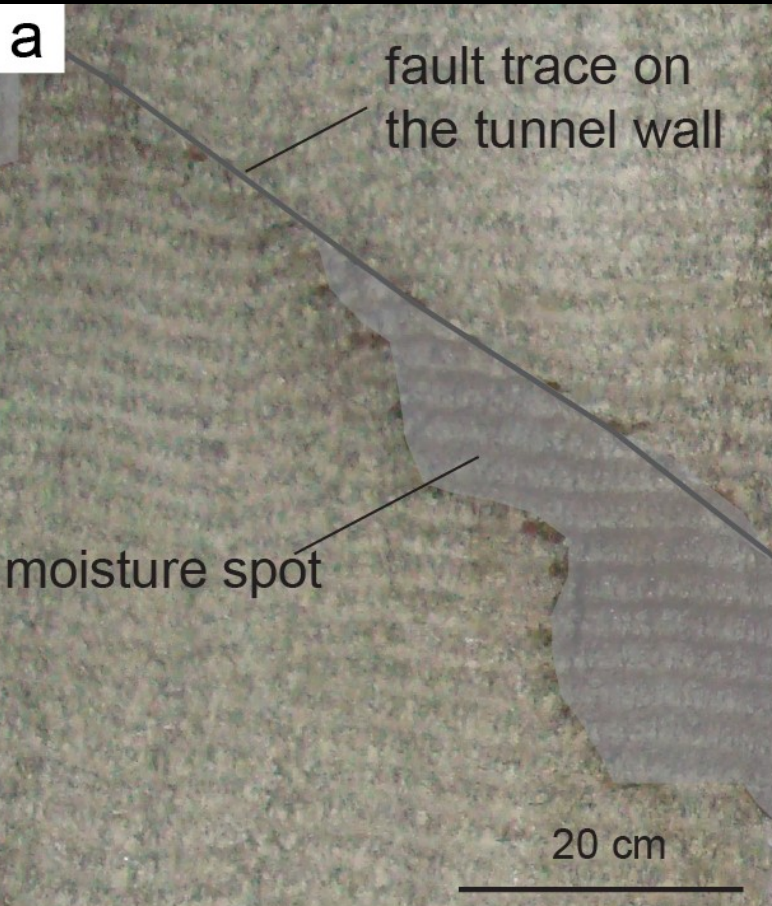




- fault / fault plane
- fault intersection
- hydraulic head
- permeability favourability
- GTS

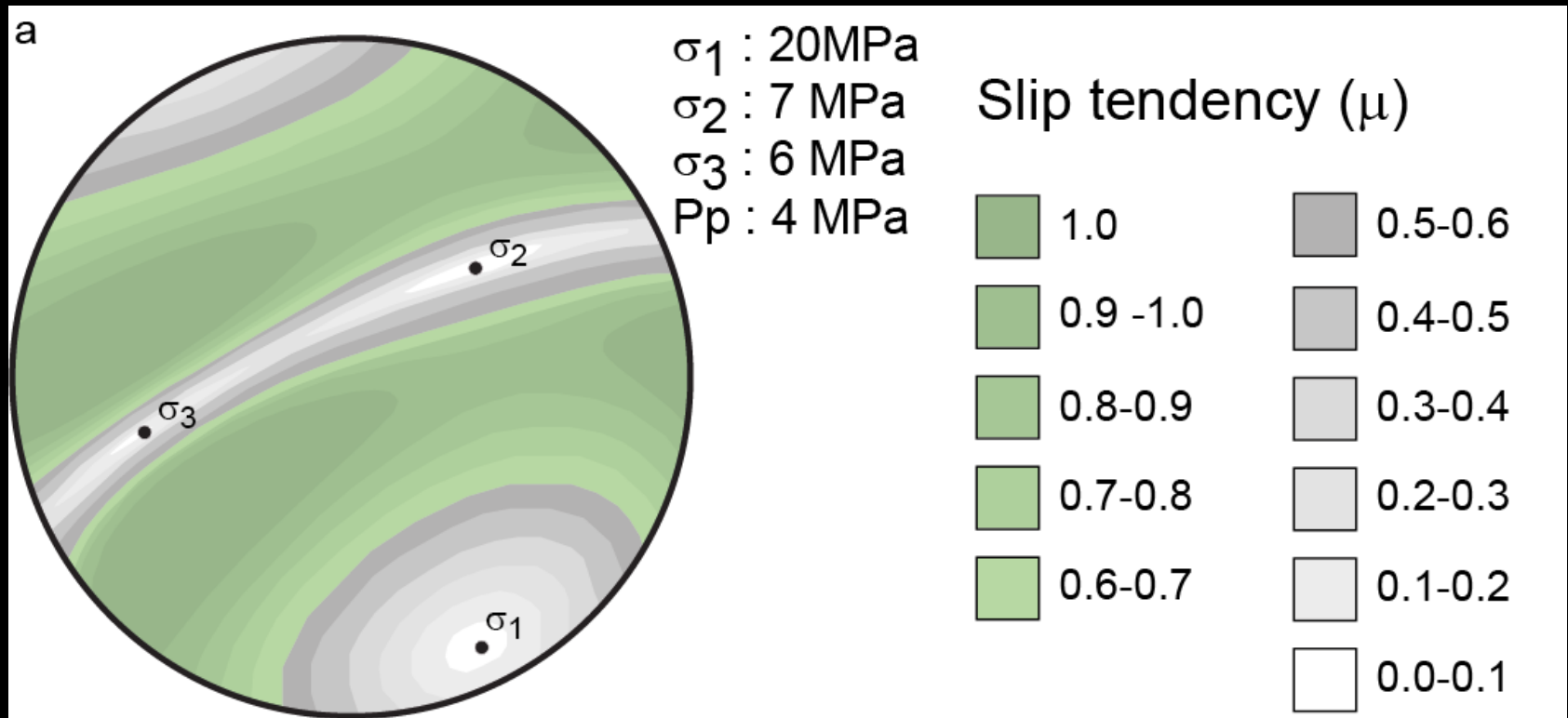


# Wasserführende Störungsflächen im FLG



Schneeberger et al. 2018

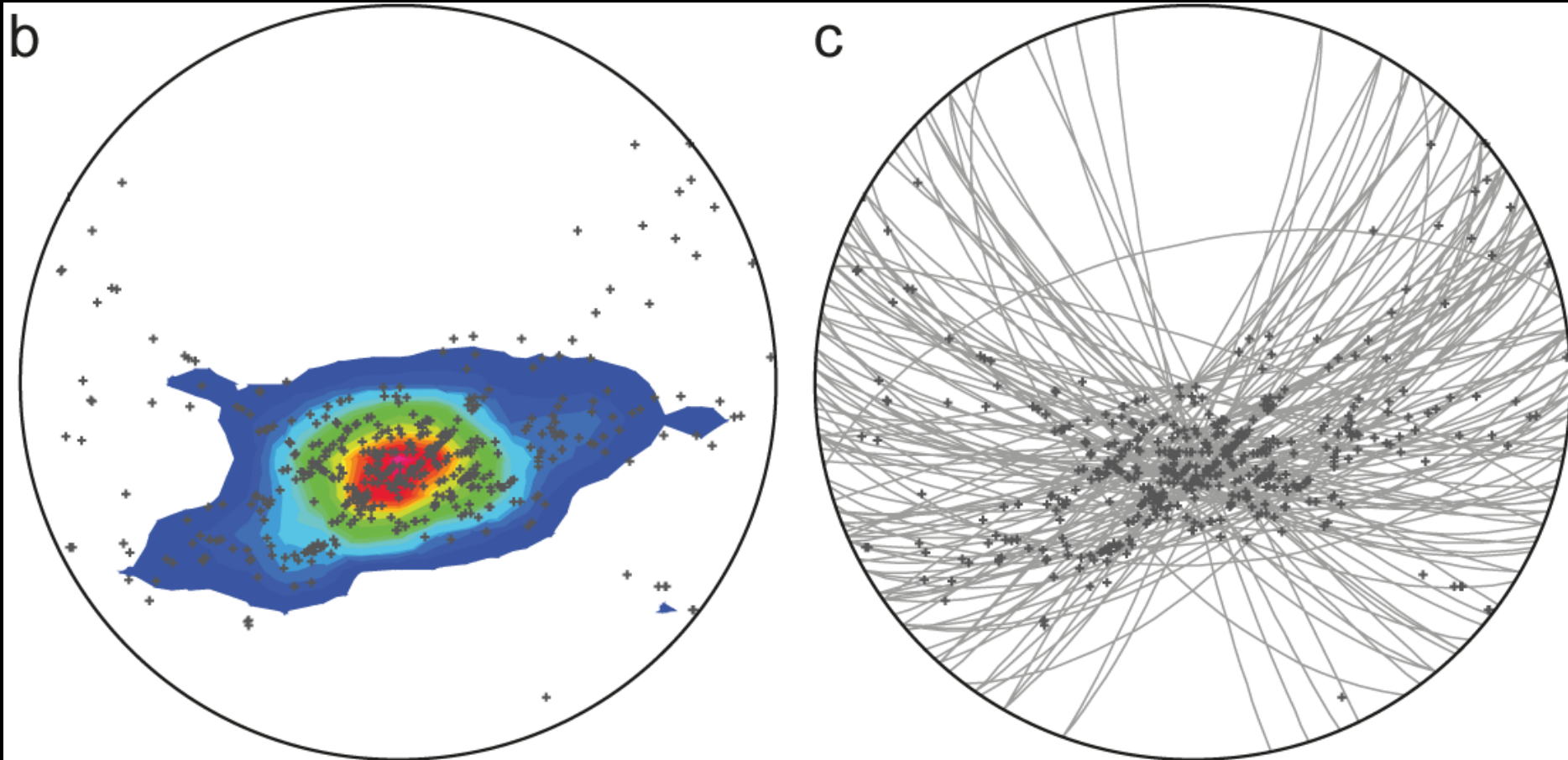
# 1. „Slip Tendency“ von Scherzonen im FLG



Schneeberger et al. 2018

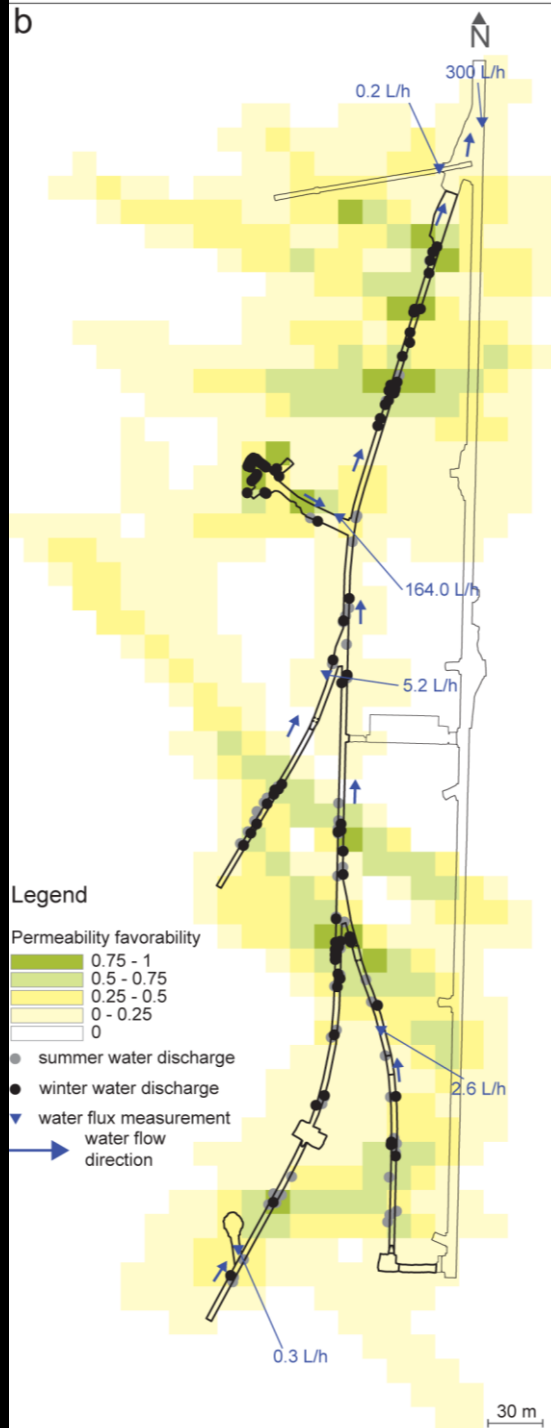


## 2. Intersektionen von Scherzonen im FLG

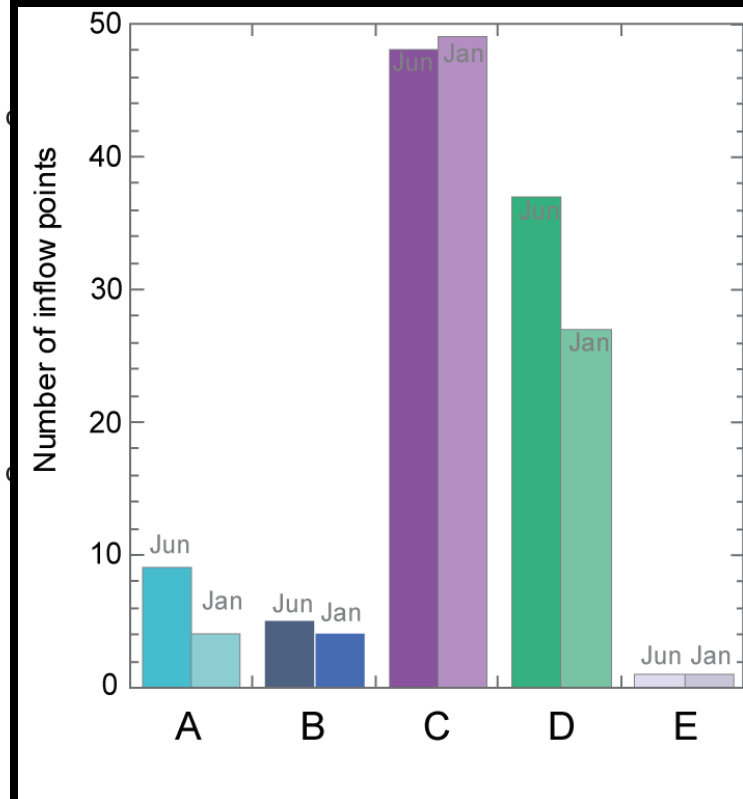
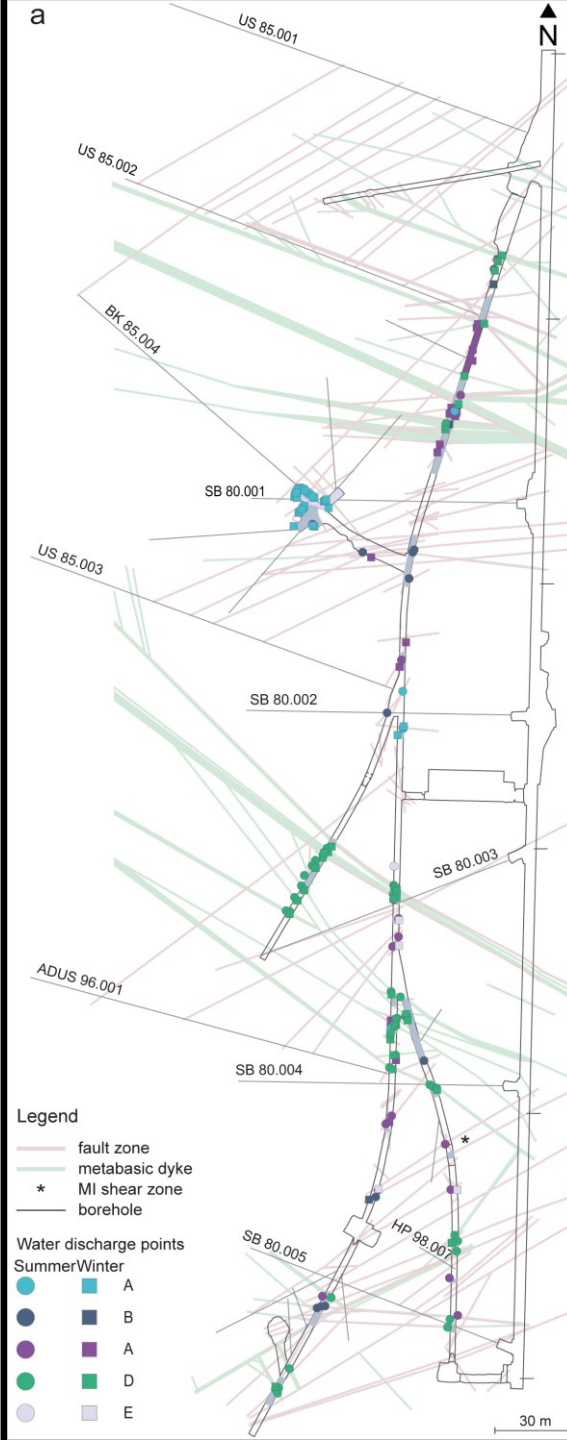
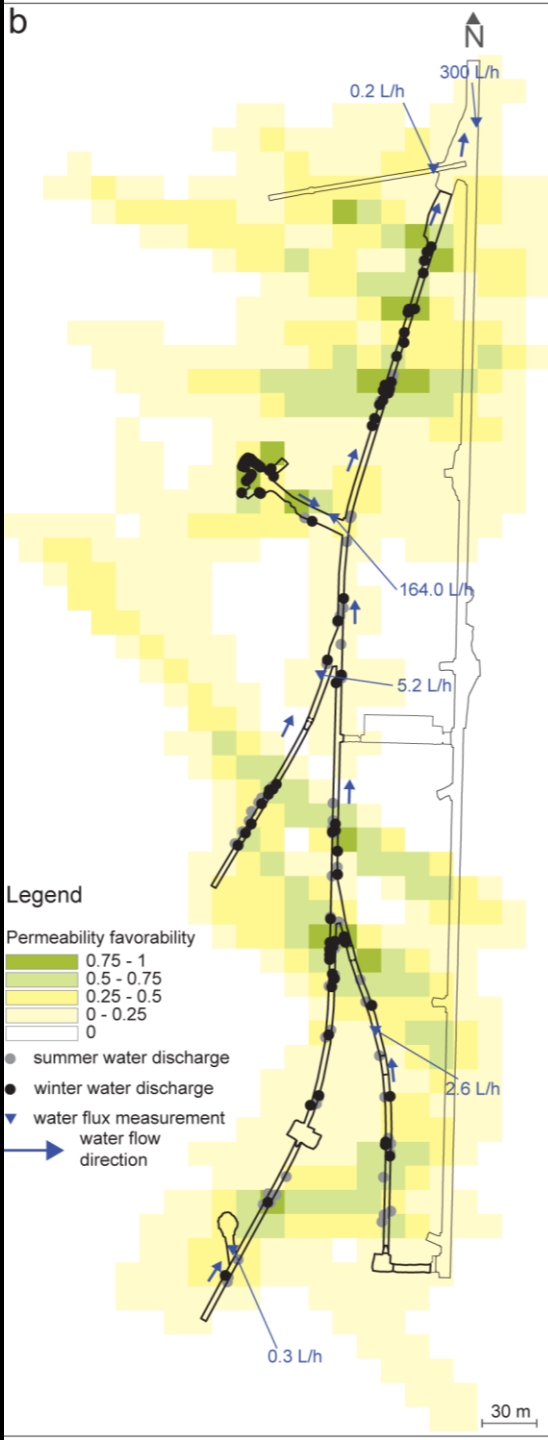


Schneeberger et al. 2018

# Wahrscheinlich- keits Karte bevorzugter Permeabilität







# Vortragsinhalte

$u^b$

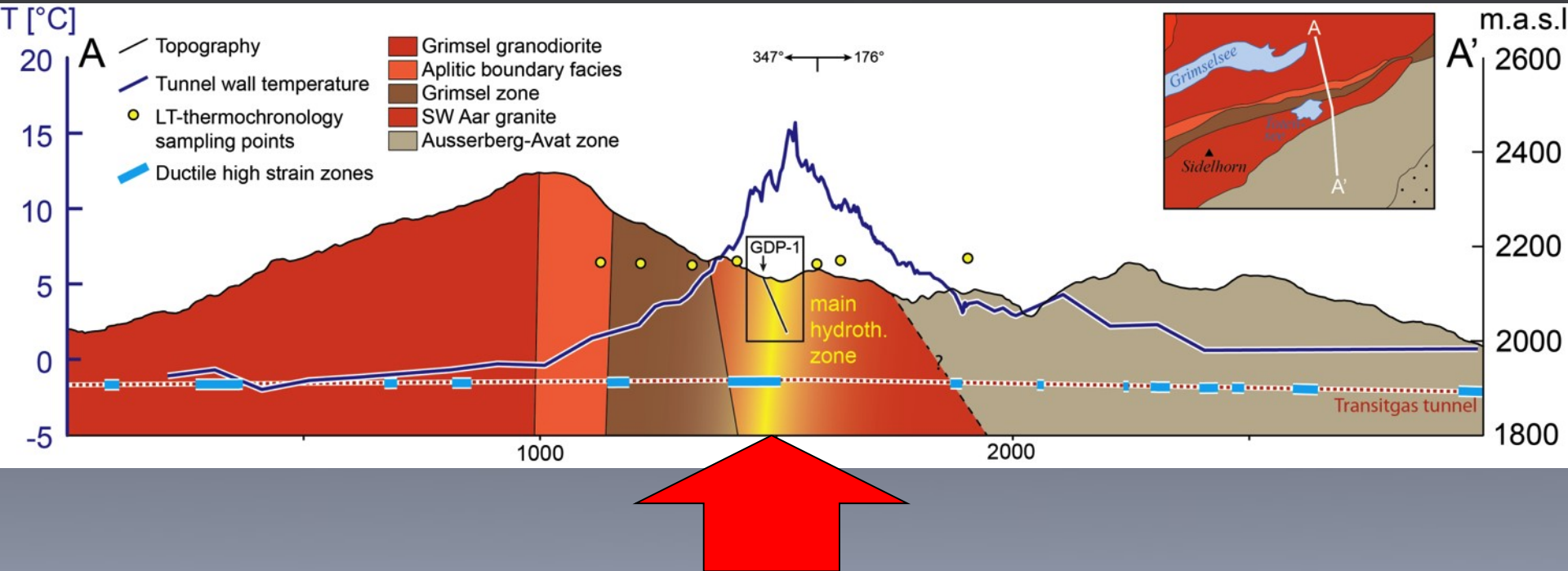
b  
UNIVERSITÄT  
BERN



- 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?

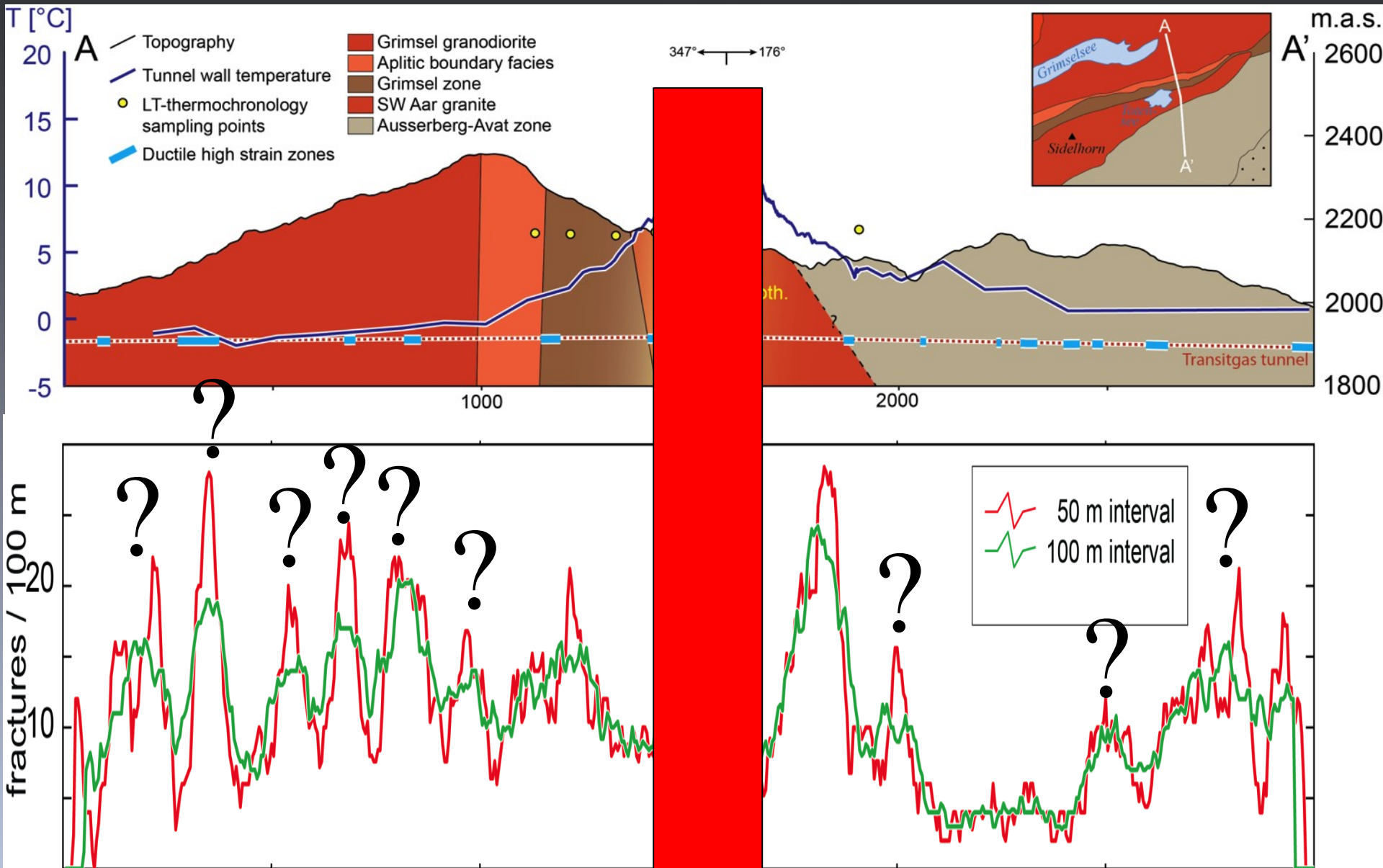




Austritt 28° C heisser Wässer im Transitgas Stollen  
entlang von **Bruchzonen** im Gestein



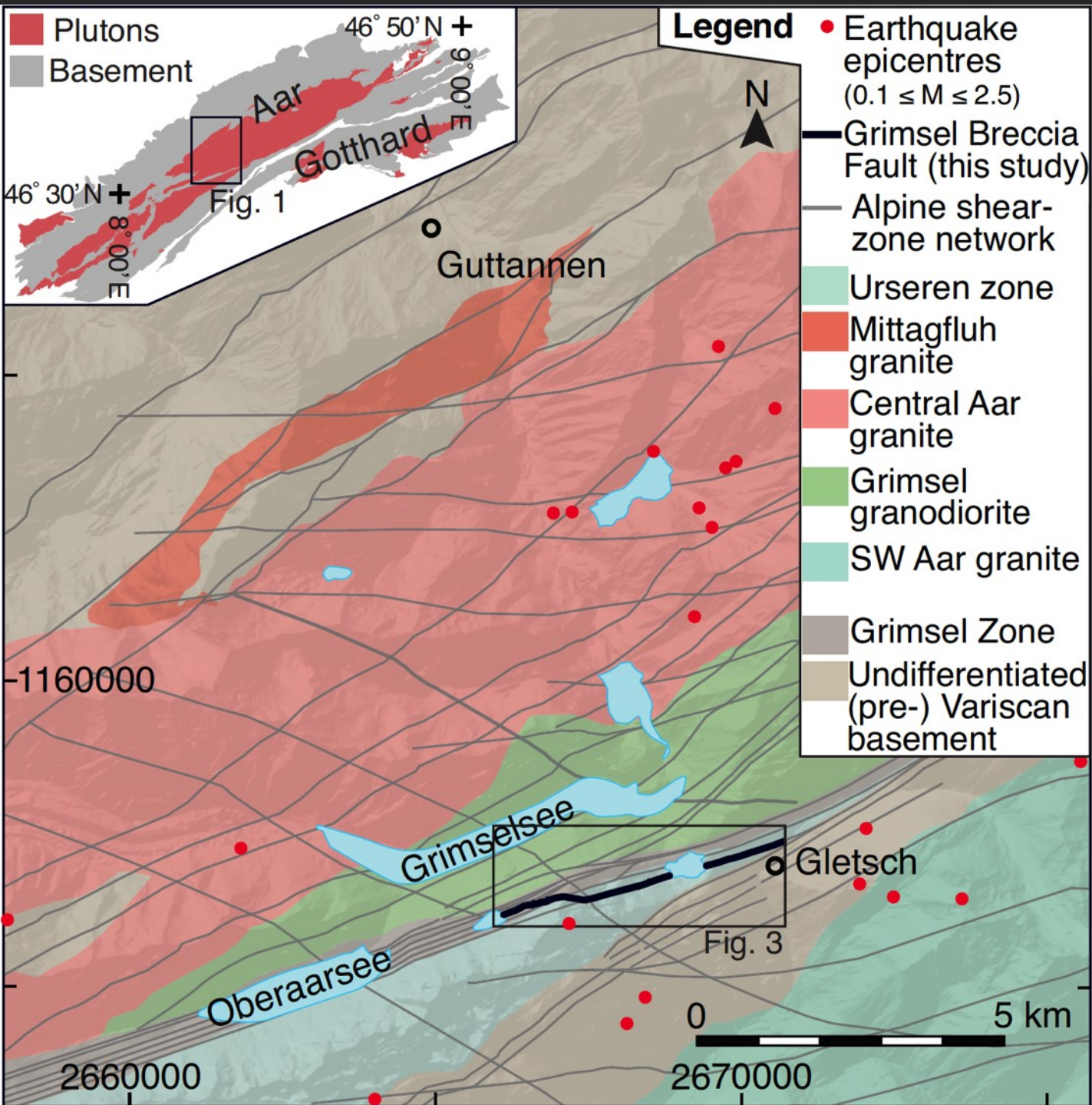
# Temperaturverlauf im Berginnern









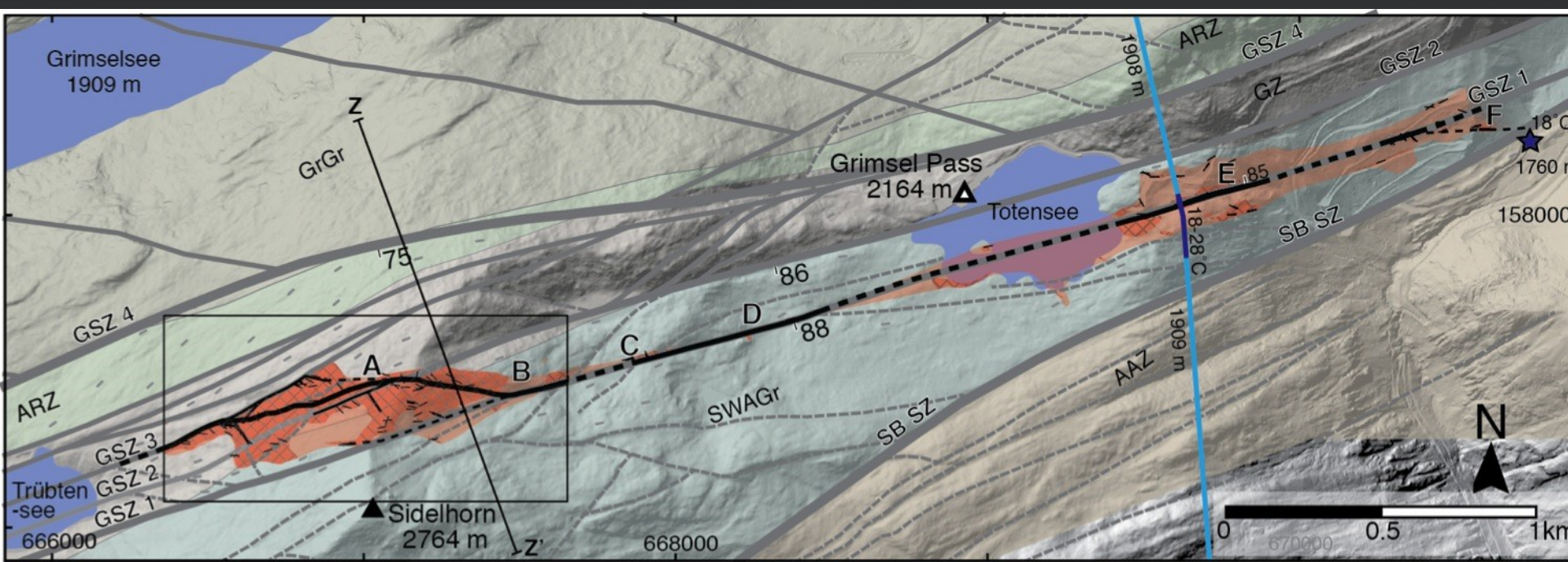


Baumberger in  
press

Wehrens et al.  
2017

Belgrano et al.  
2016

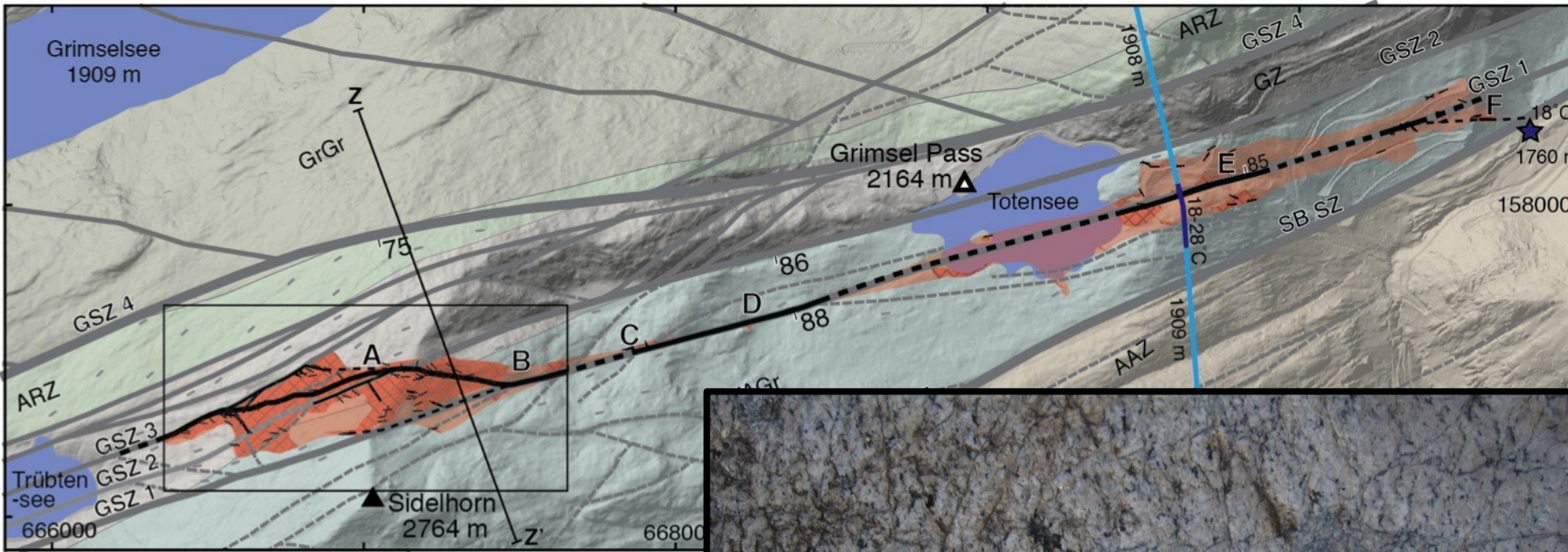
# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel



Belgrano et al. 2016



# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel

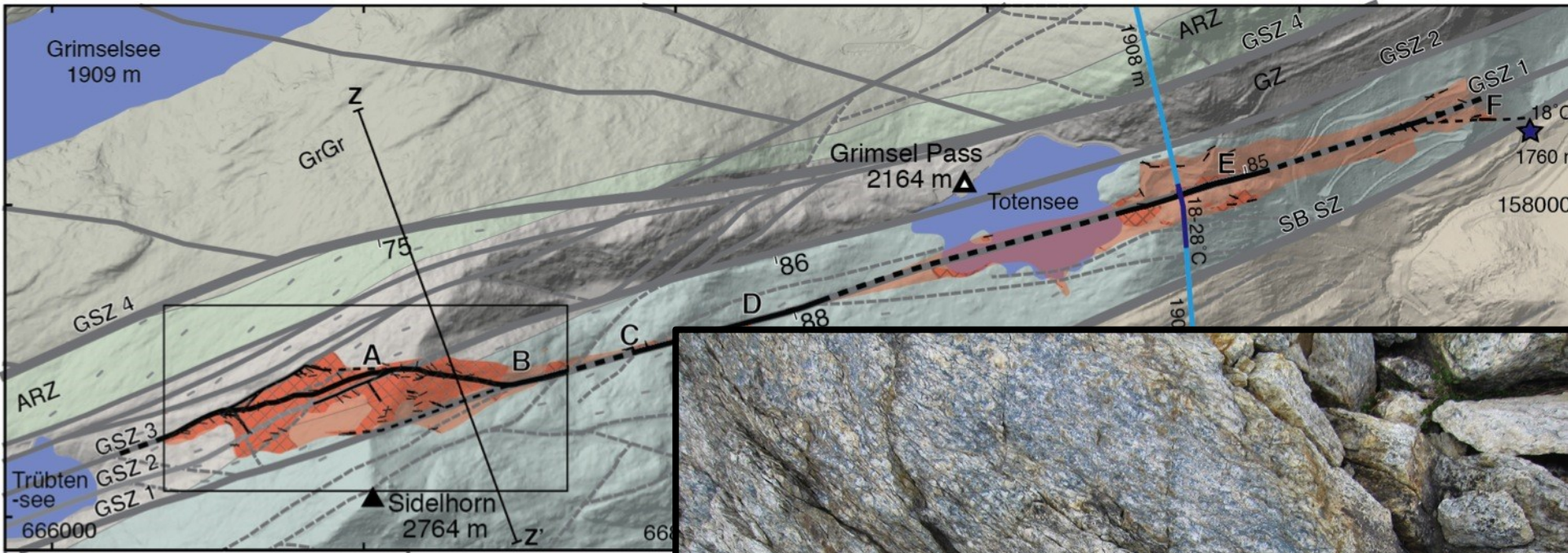


Granit





# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel



# dukile Störungszone

Granit => Gneis  
=> 450° C



## Duktile Deformation => “dichtes Gestein”

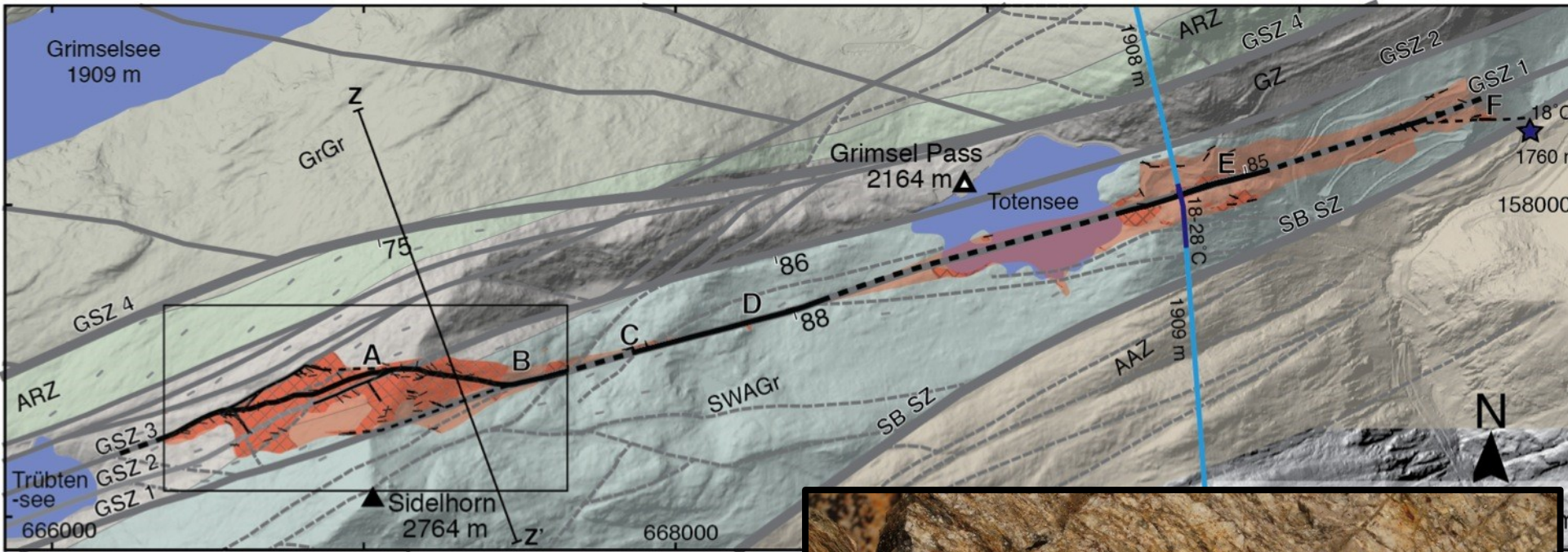


# Alpine Zerrklüfte (offene Kluft Gerstenegg, KWO)





# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel



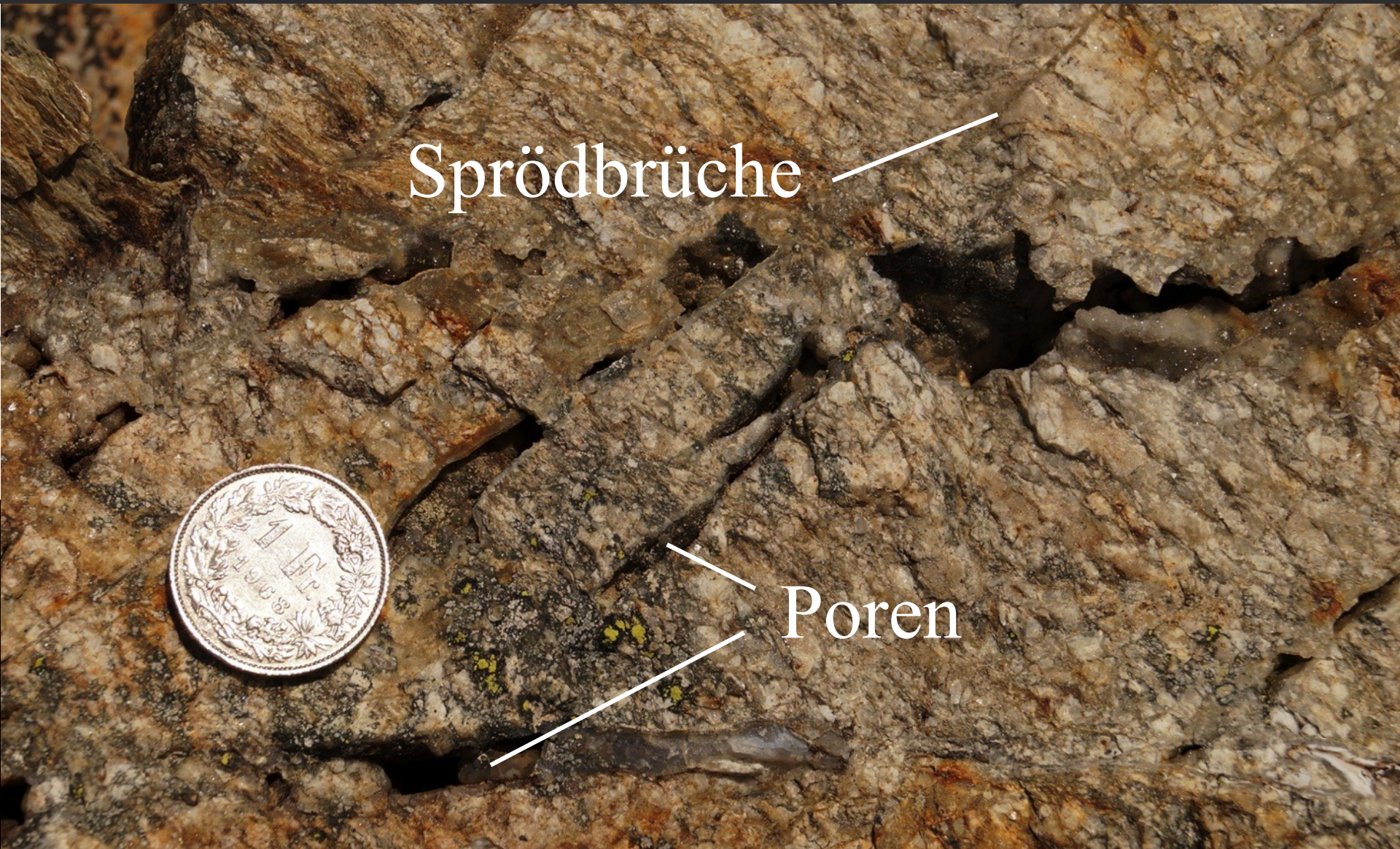
spröde Störungszonen

=> Zerkleinen des Granits





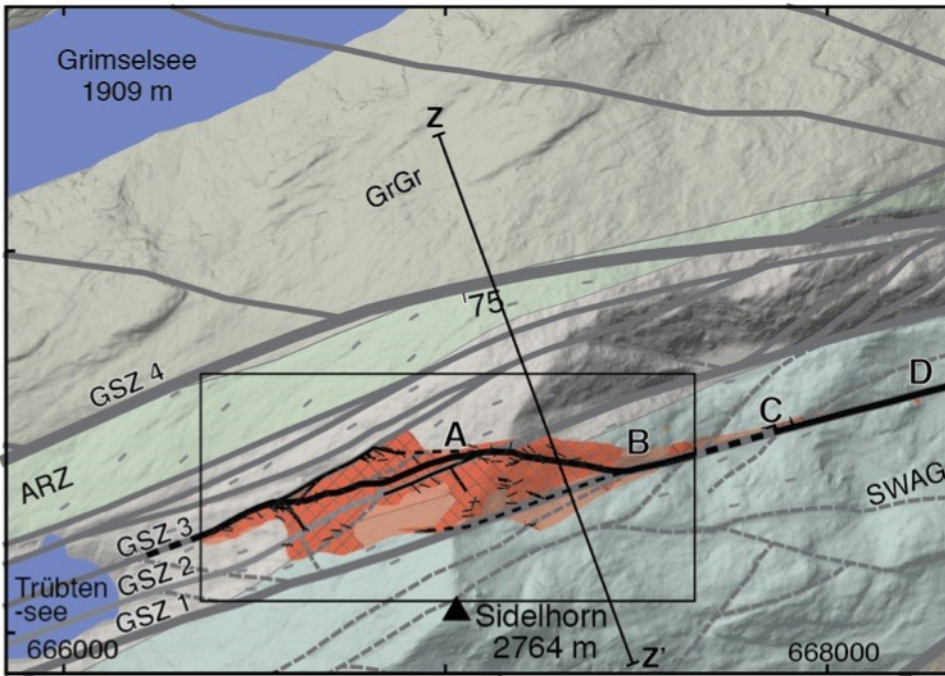
# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel



Spröddeformation => Volumenzunahme => Wasser-Fließwege



# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel

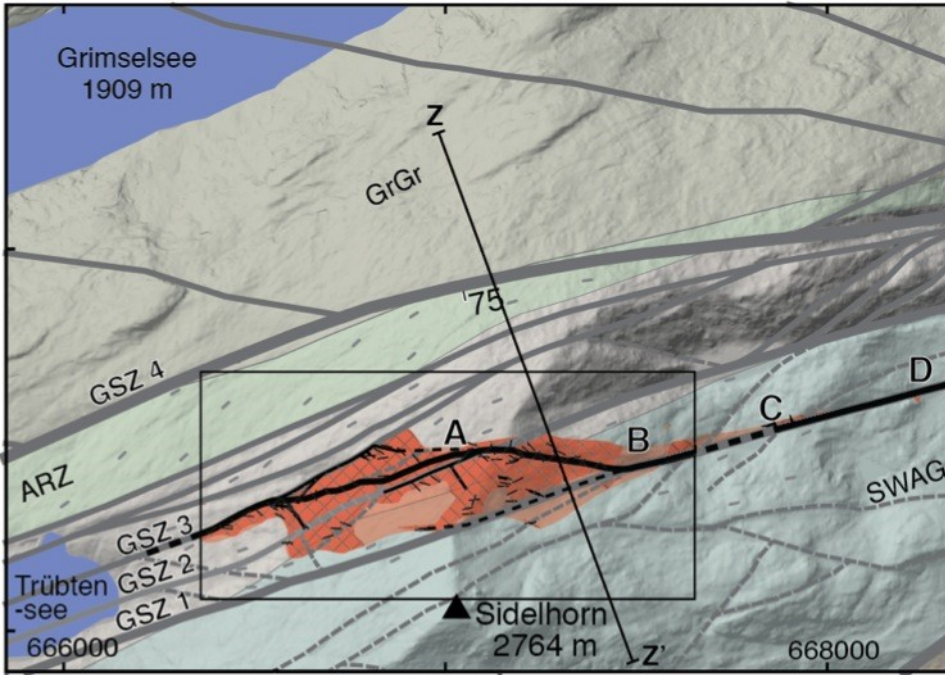


Sekundär-  
Mineralisationen

=> Mineralausfällungen in  
Hohlräumen



# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel

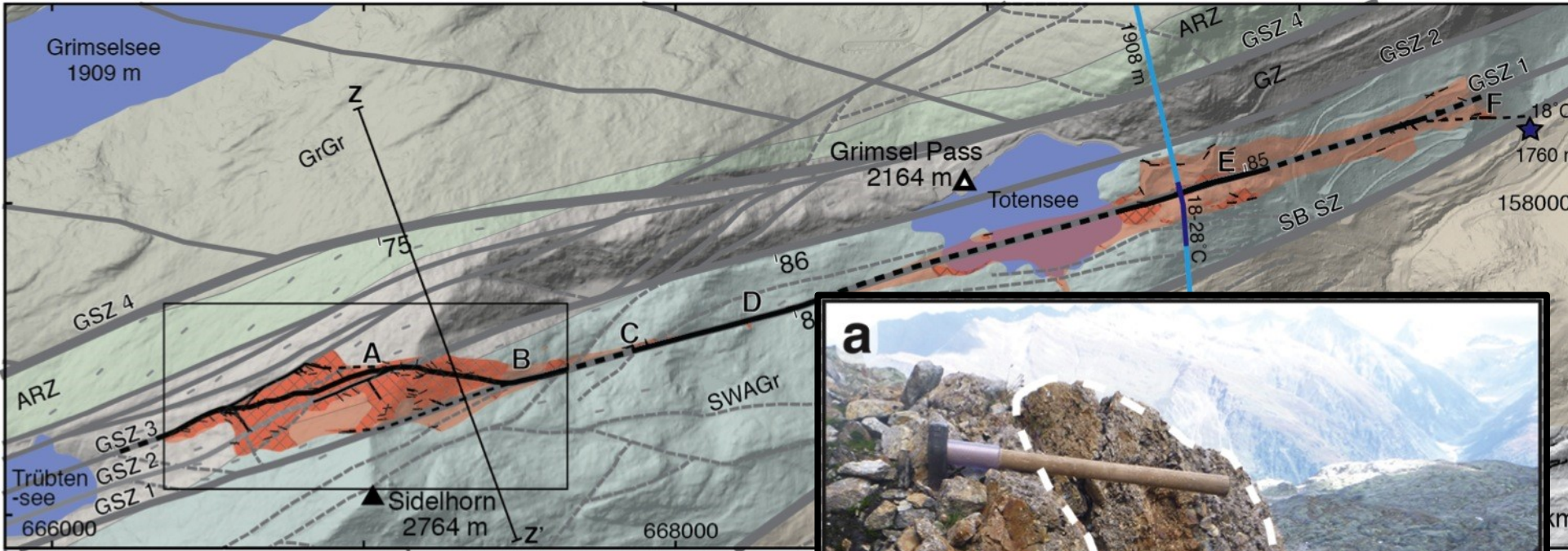


# Sekundär- Mineralisationen

## => Mineralausfällungen in Hohlräumen

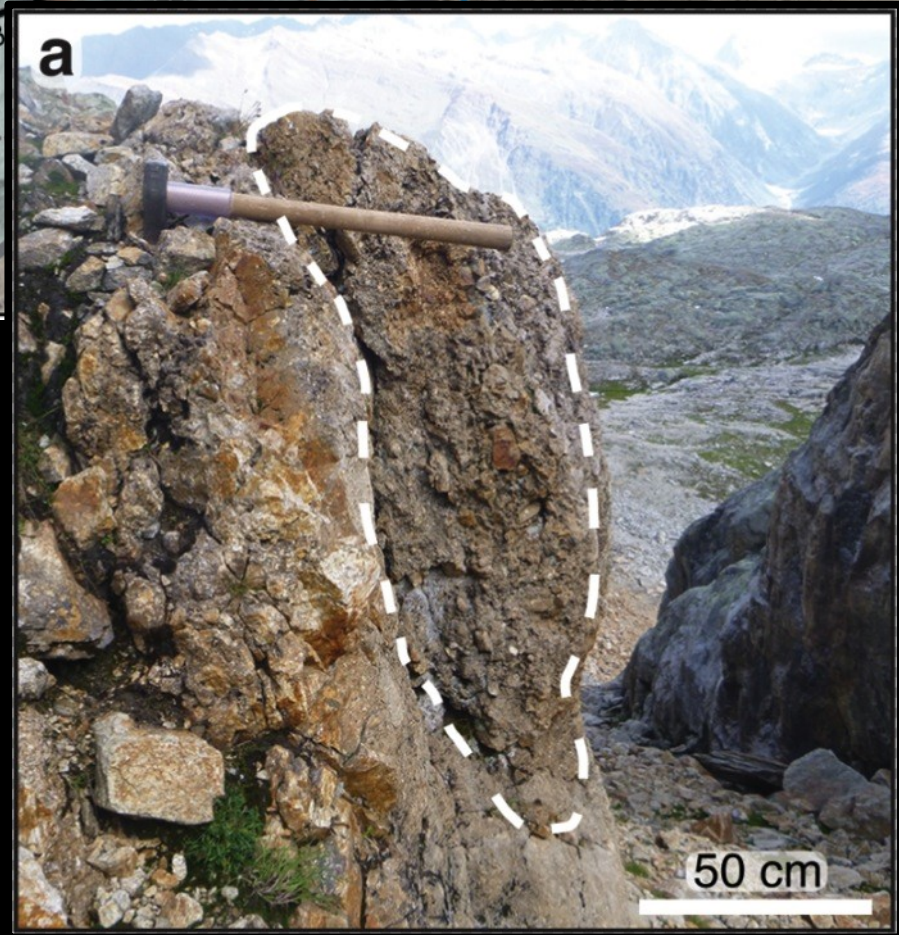


# Gesteine im Hydrothermal-Feld Grimsel



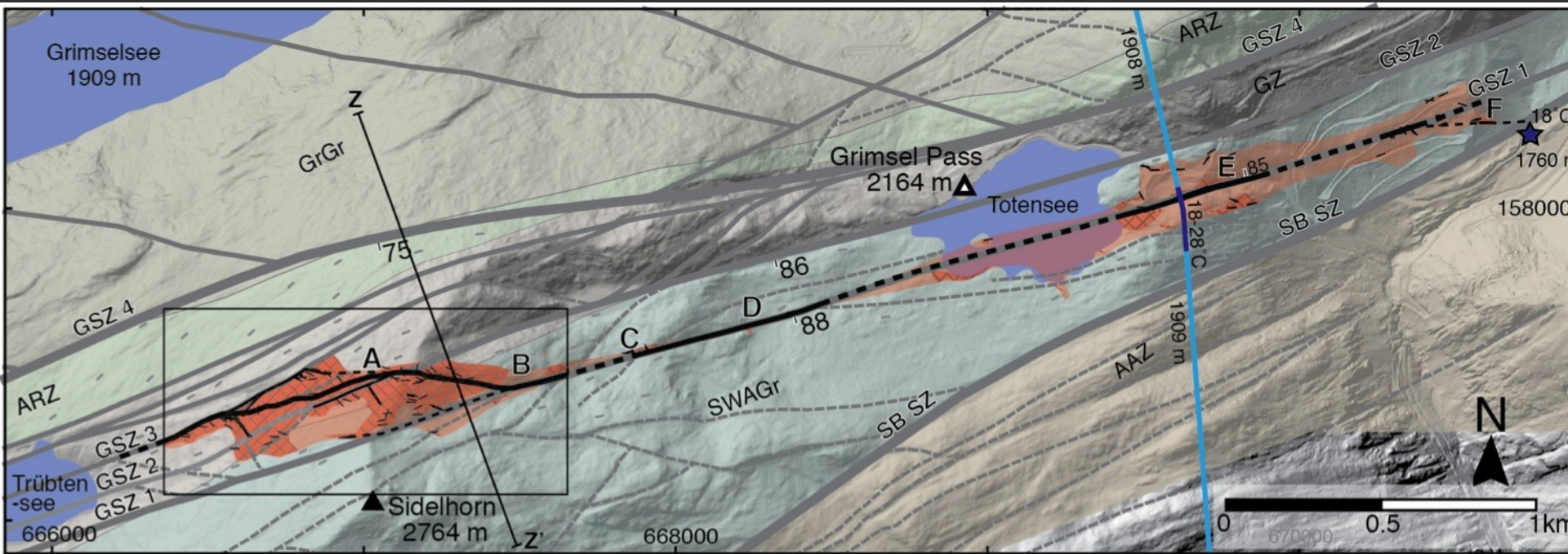
# spröde Scherzonen

## => Zerklecken des Granits



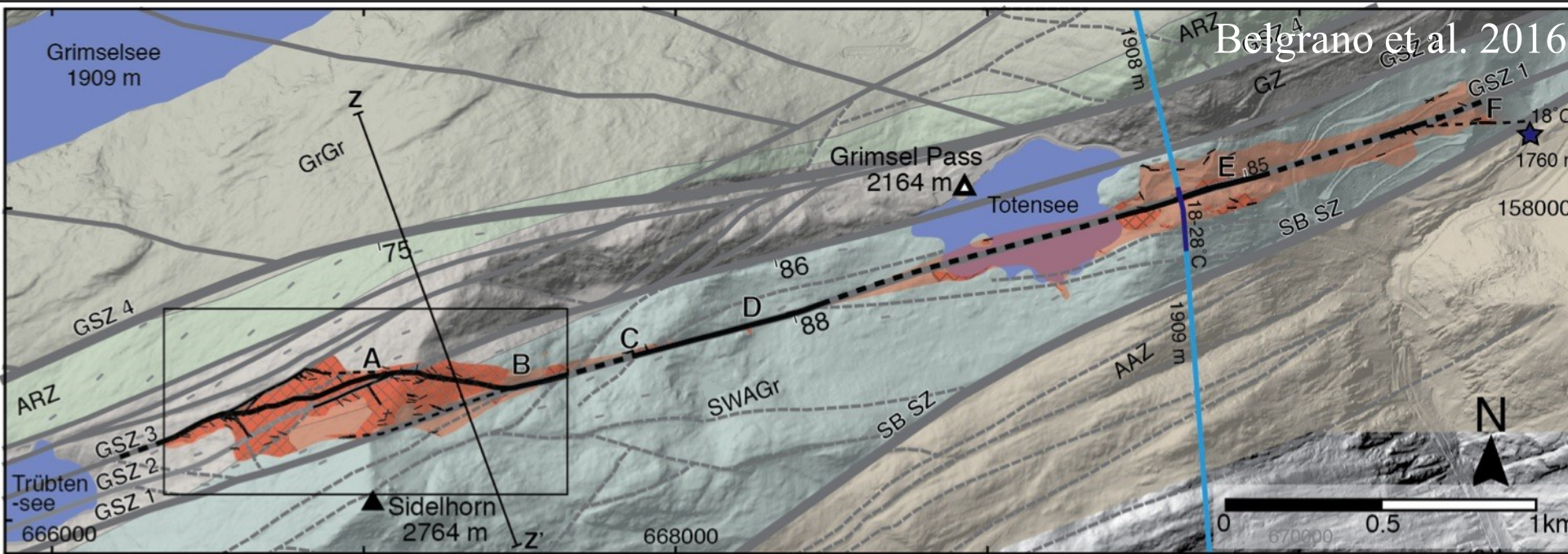


# Entstehung des Hydrothermal-Felds Grimsel



Dutkile Scherzonen  
=> mechanische Diskontinuitäten bei hohen Temp.

# Entstehung des Hydrothermal-Felds Grimsel



Dutkile Scherzonen

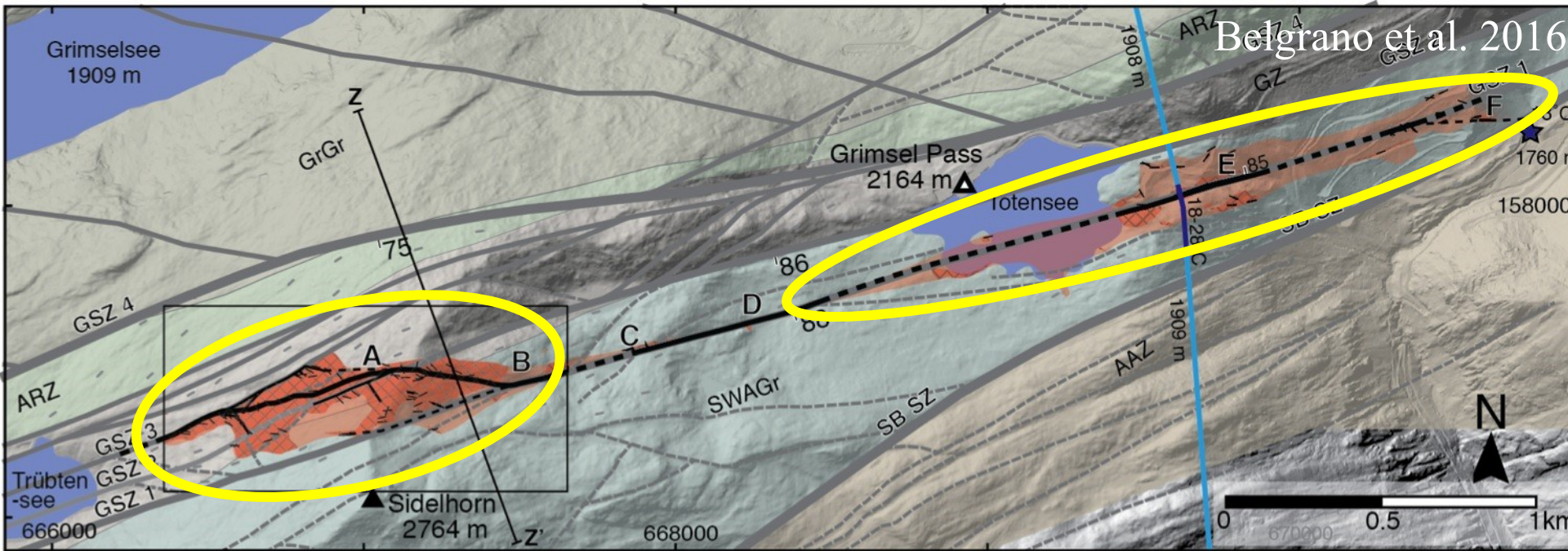
=> mechanische Diskontinuitäten bei hohen Temp.

Abkühlung des Gebietes durch Hebung

=> Ablösen von Hoch-T durch Tief-T-Deformation



# Entstehung des Hydrothermal-Felds Grimsel



Tief-T-Deformation

=> Spröddeformation

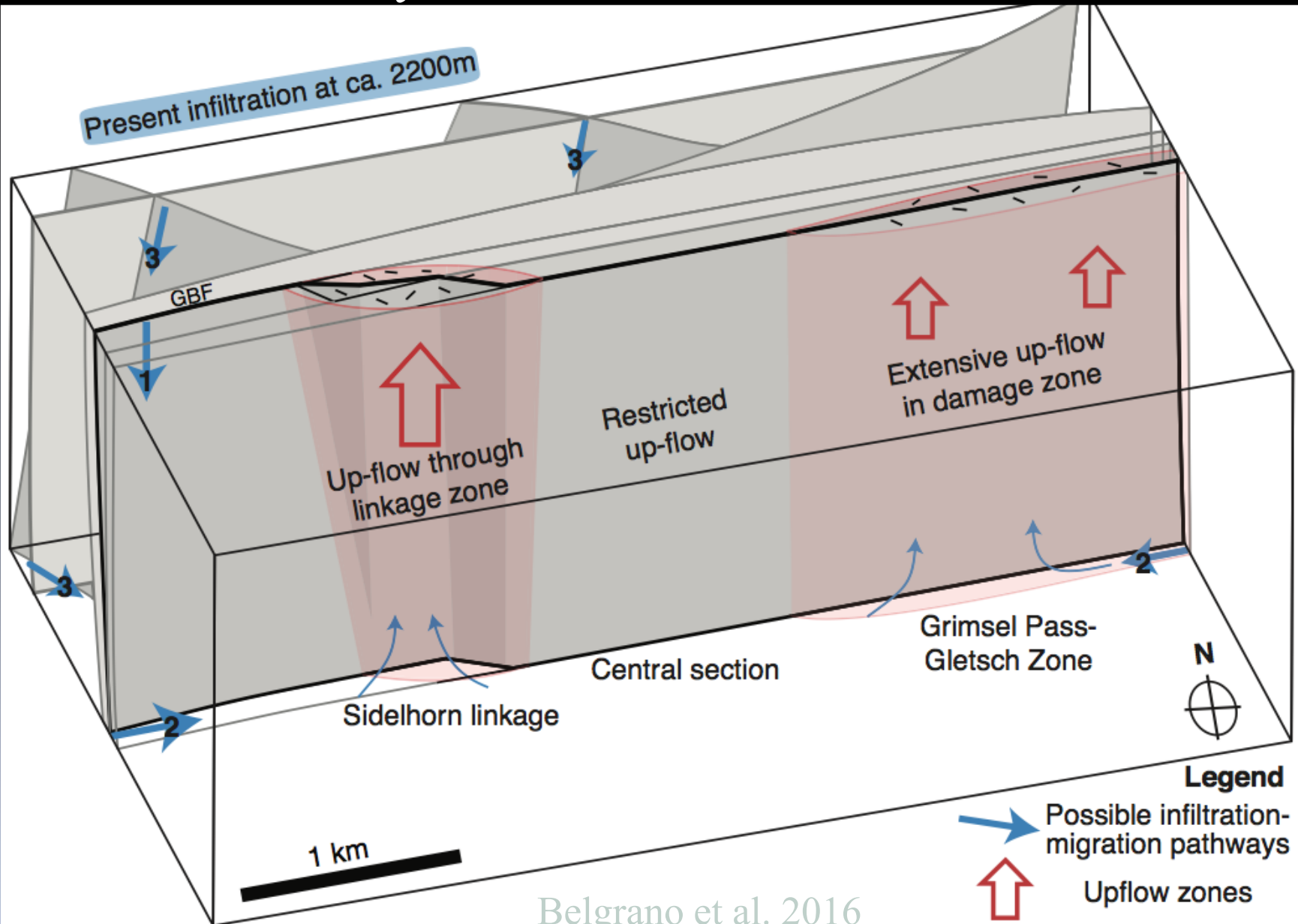
=> Volumenzunahme

=> Porenraum

=> Fliesswege für heisse Wässer

=> Fliesswege sind räumlich begrenzt!

# Model für die heutige Zirkulation der heissen Wässer im Hydrothermal-Feld Grimsel





# Grimselbohrung: NFP70-Projekt





Kantonale Baukommission  
Baurekretariat und Baupolizei

KANTON DU VALAIS  
KANTON VALAIS

Postfach 478  
1951 Sitten

Sitten, den 07.05.2015  
Erüfnet am

Einschreiben  
Institut für Geologie  
z. Hd. Prof. Dr. Marco Herwegh  
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 Herwegh
Bauvorhaben	Errichtung Bohrung
Aktennummer	2015-0678
Gemeinde	Obergoms
Ort	Obergoms
Im Orte genannt	Obergoms
Plan / Parzelle	8 / 94
Koordinaten	669'469 / 157'021
Zone gemäss ZNP	Landwirtschaftszone

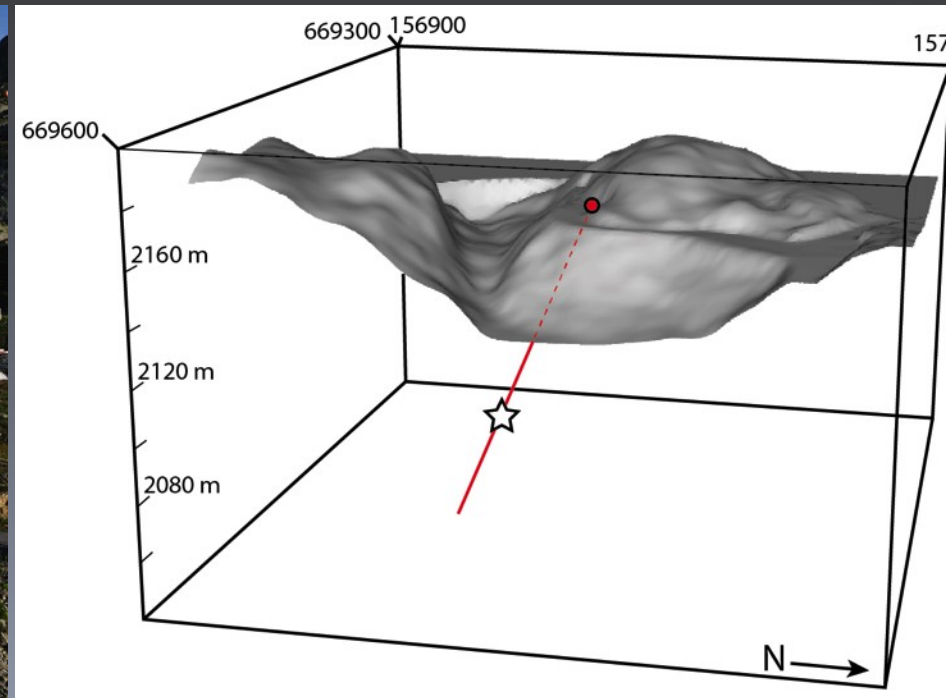
Gültigkeit

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















4M3

UO  
vonbo

Atlas Copco  
QAS 13  
17 WVA  
Eco Pump



















Mr 450 P

Gump



800 kg

33.50  
33.15  
36.50









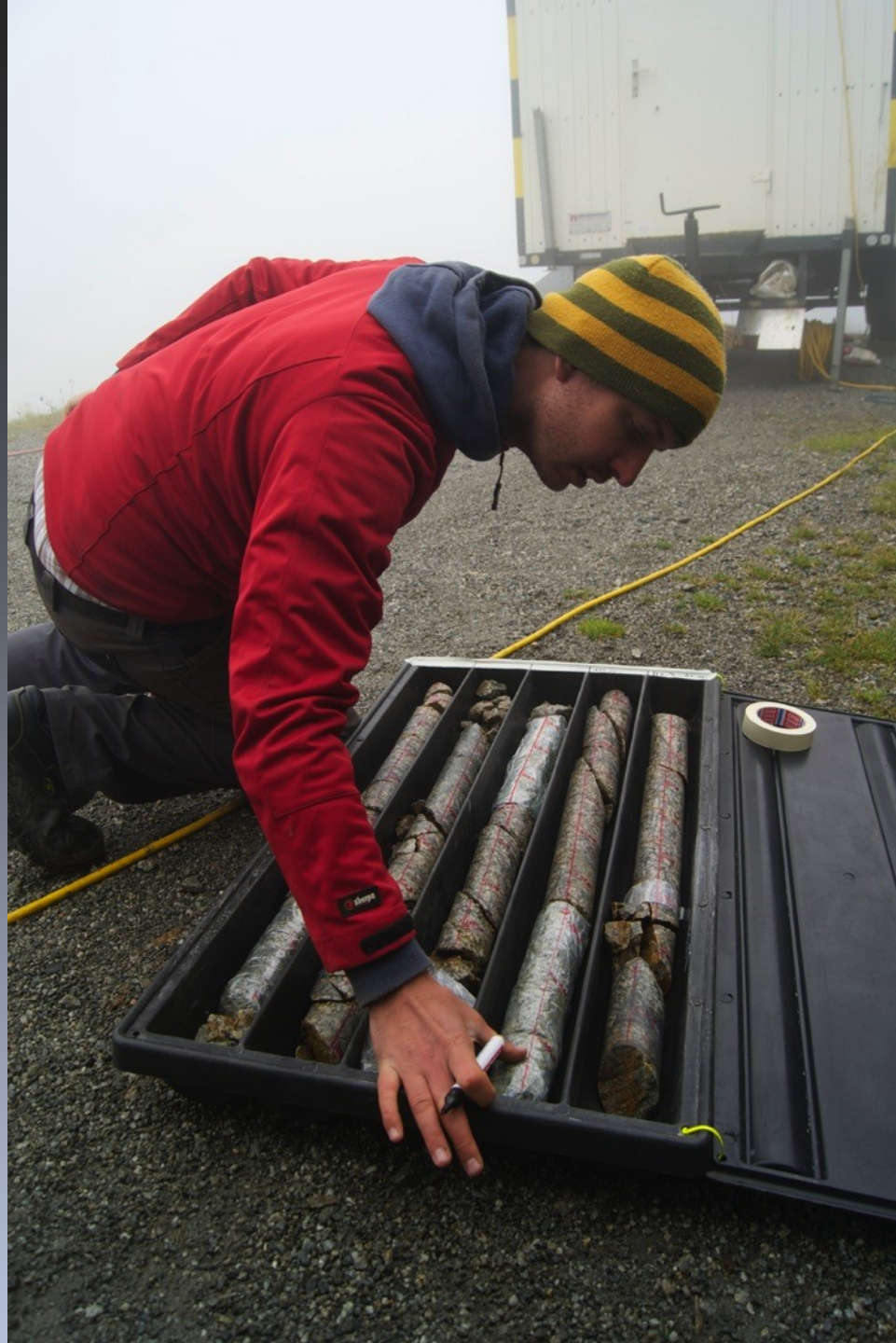






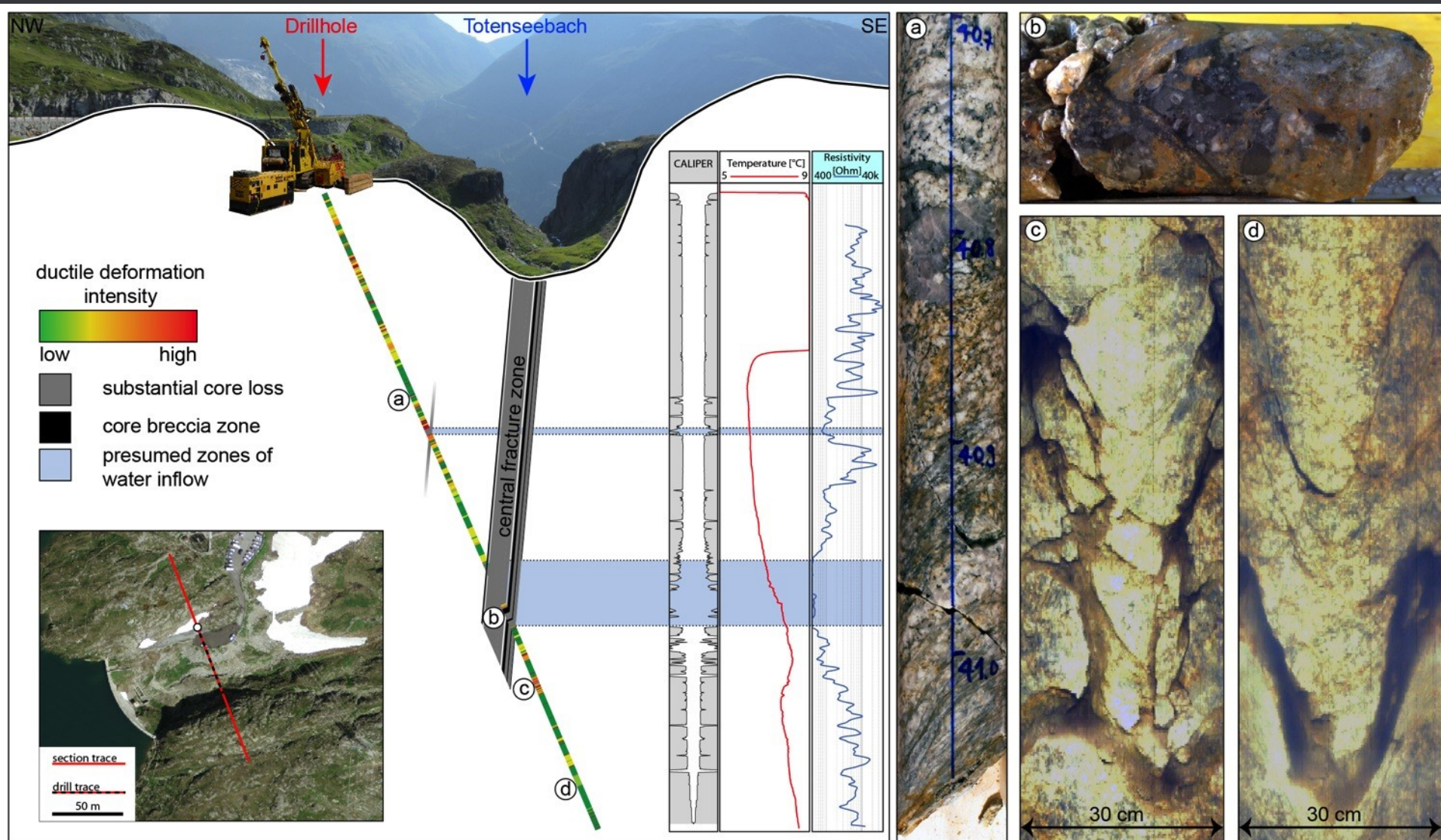








# 2015 Grimselbohrung





# Bohrkern Resultate: Makroporosität



Intakter Granit, teilweise “rostig” mit Brüchen durchzogen



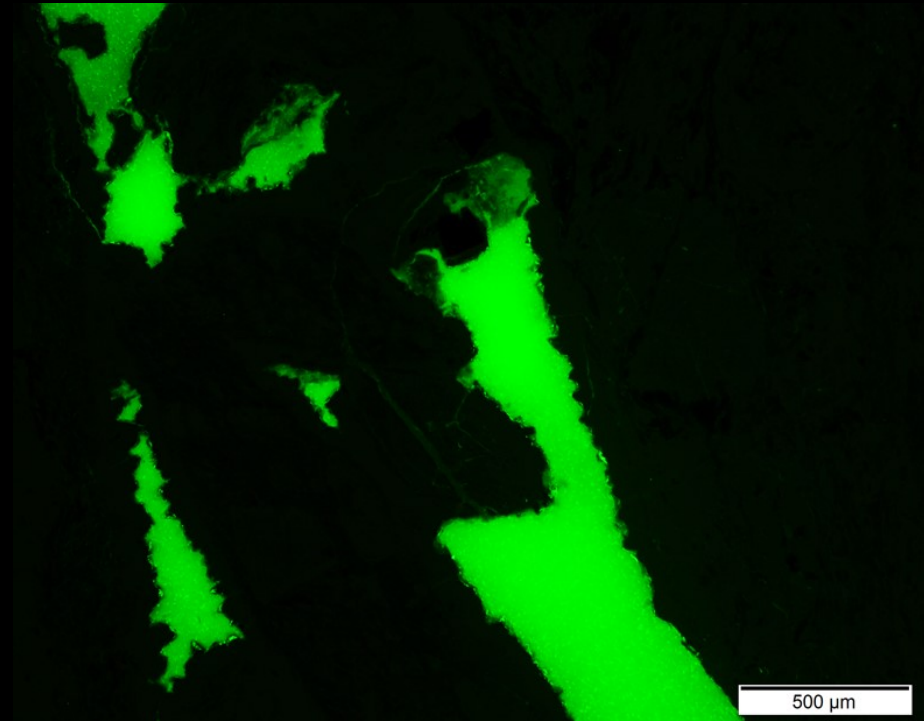
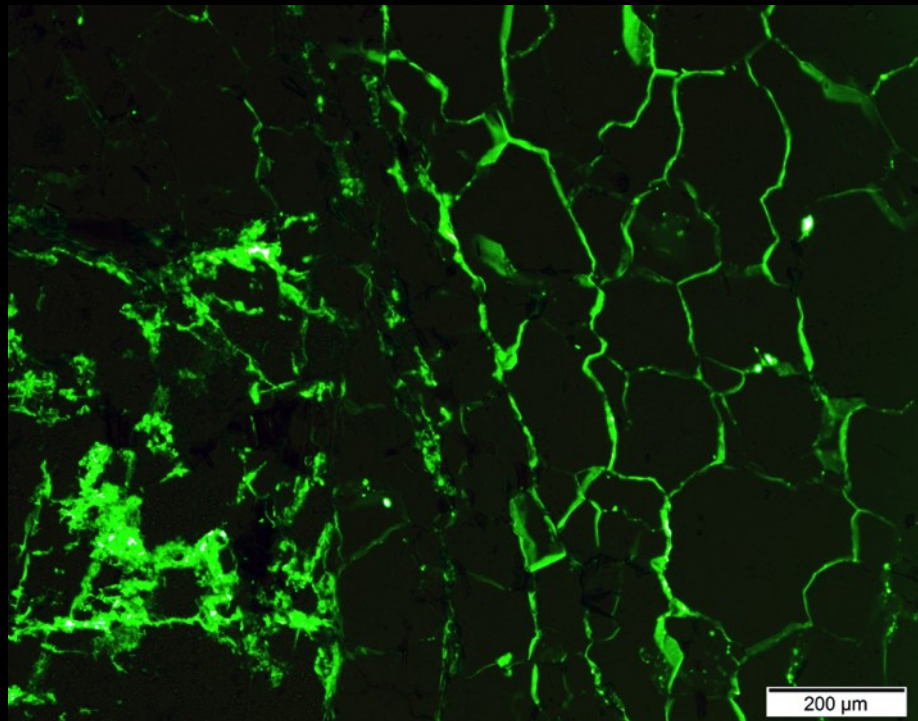
duktile Scherzonen



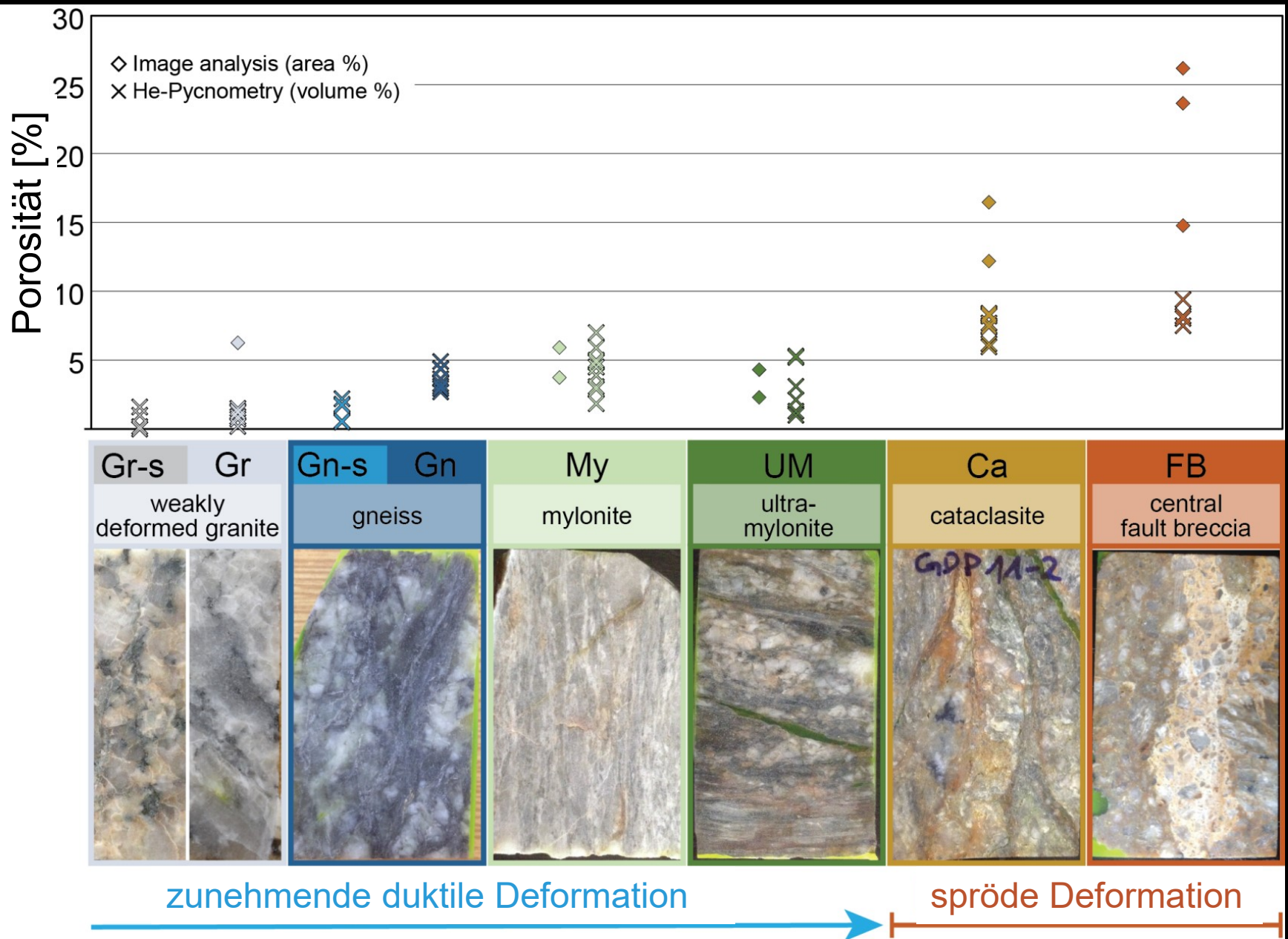
spröde Scherzonen



# Bohrkern Resultate: Mikroporosität

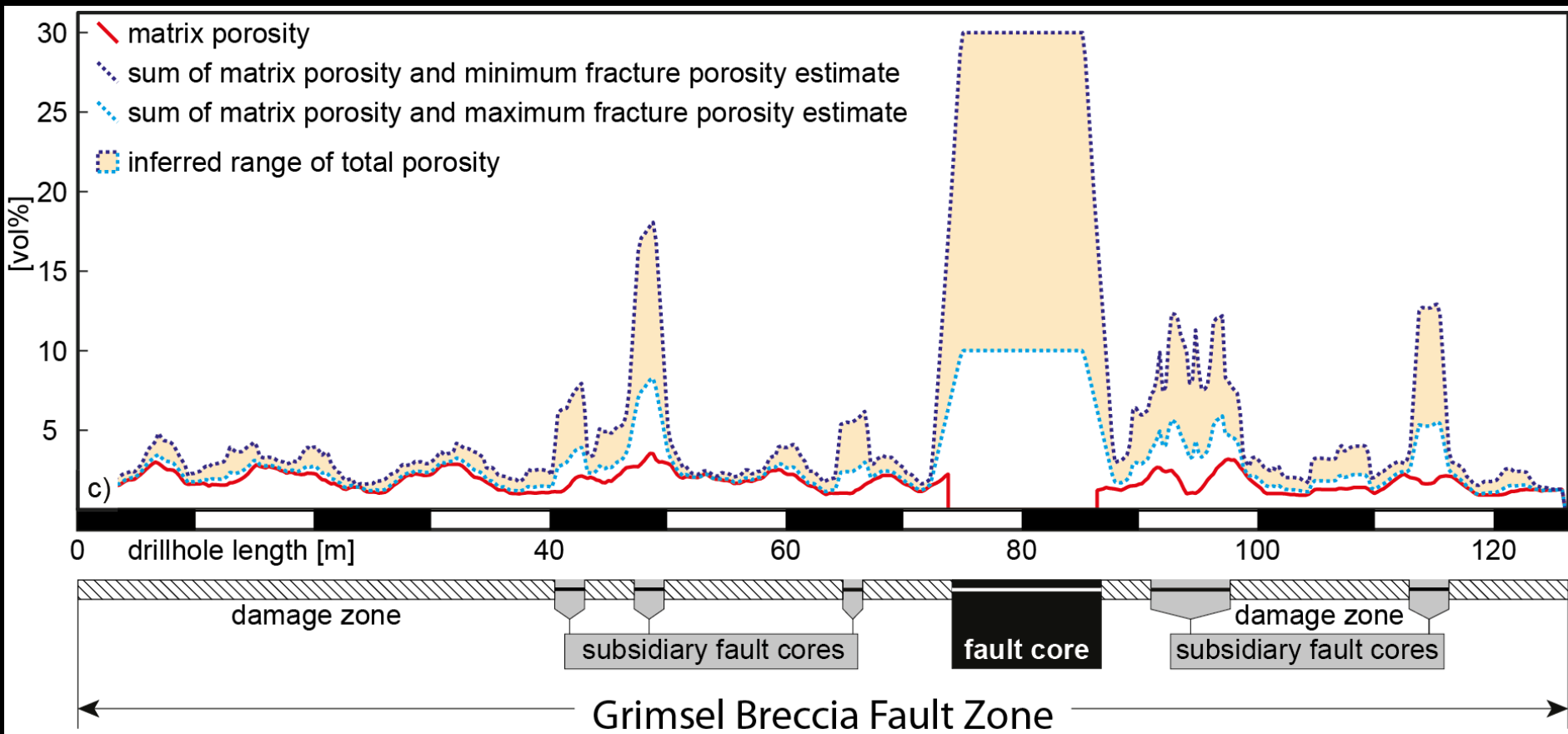






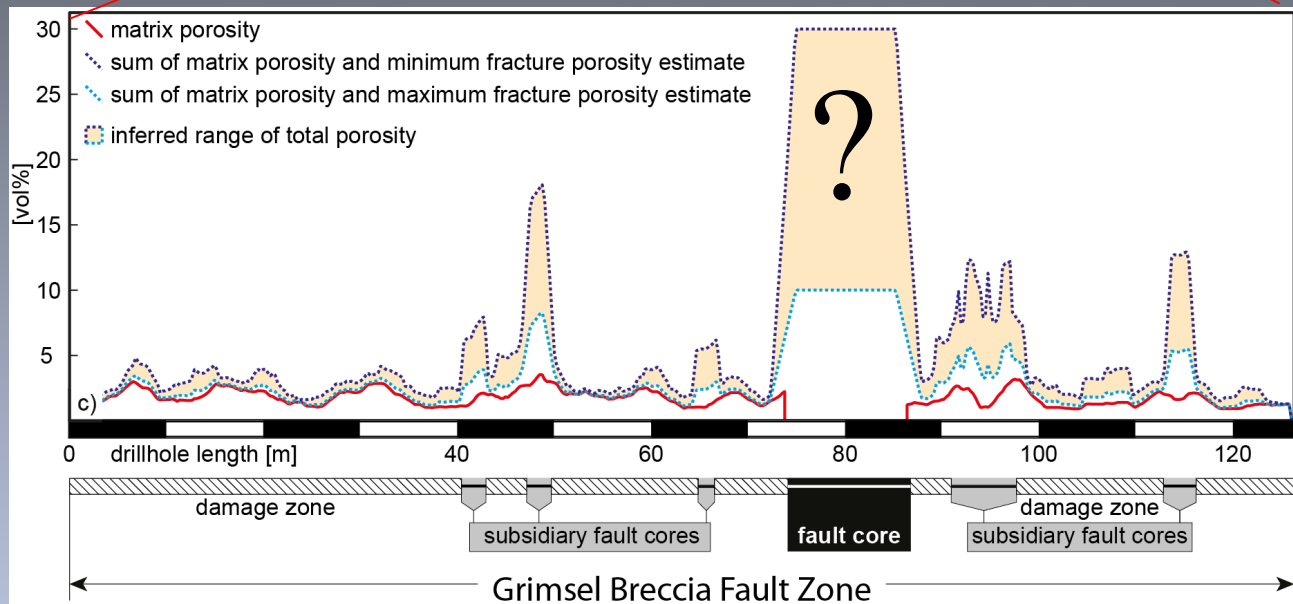
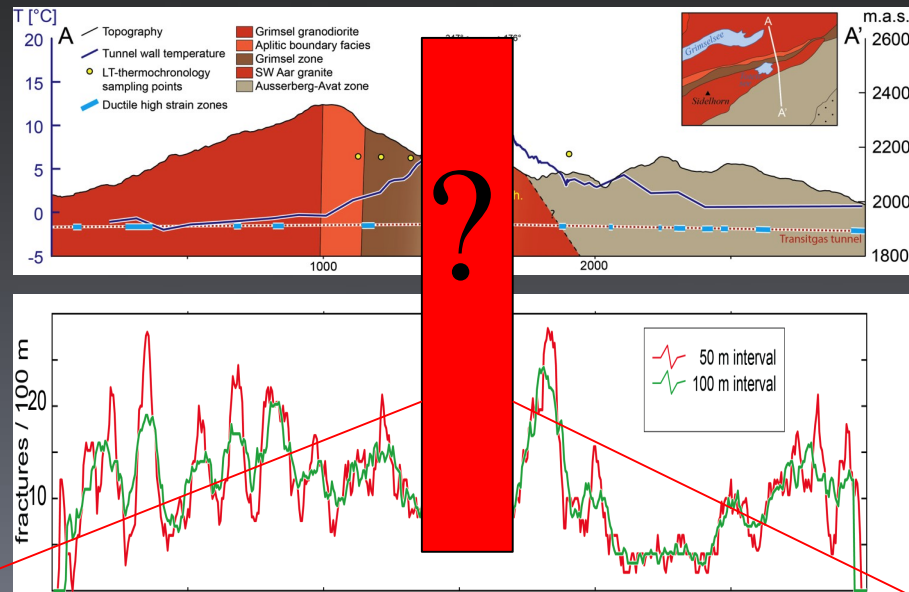


# Porositätsverteilung

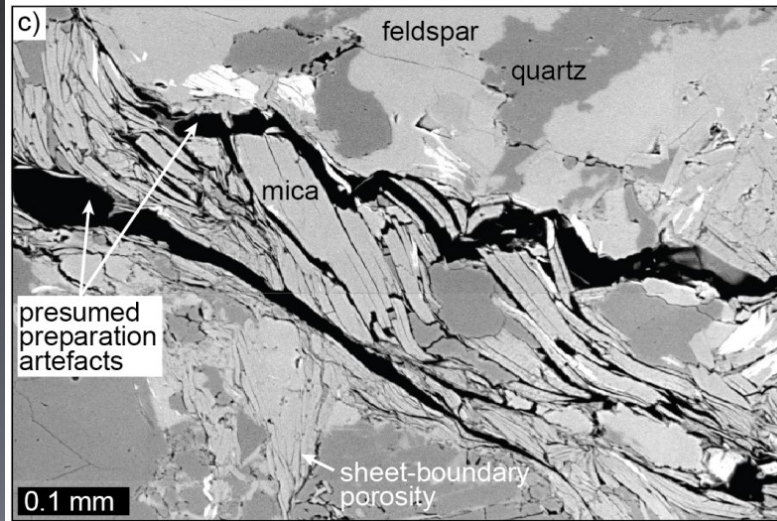




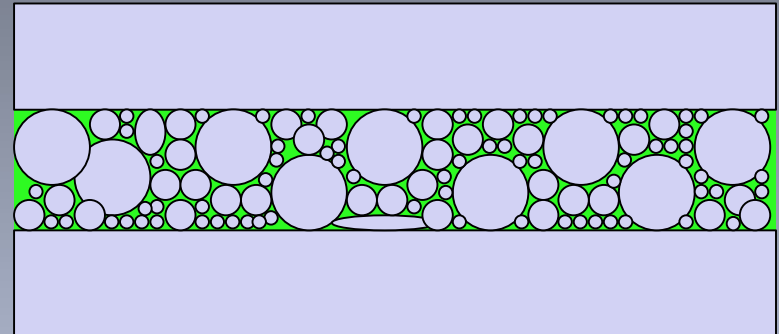
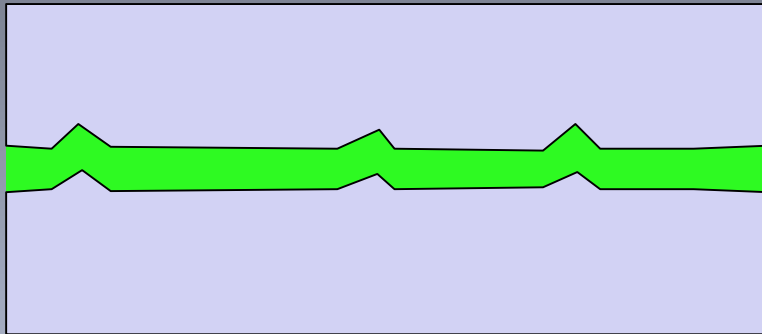
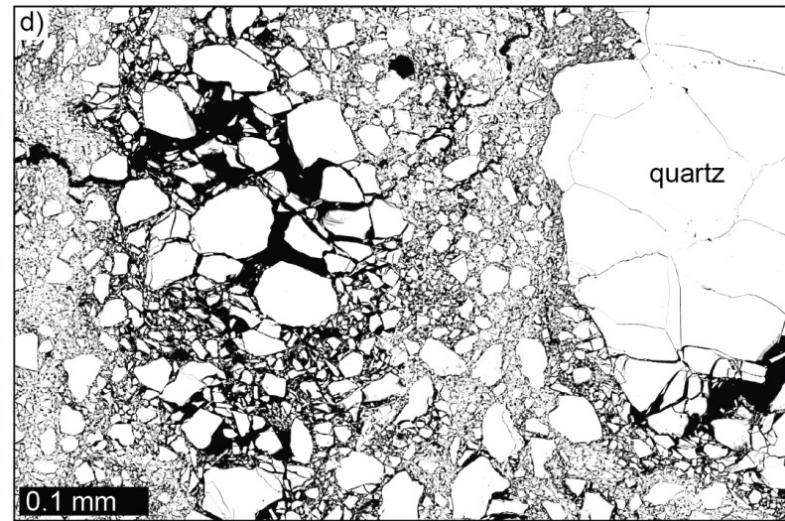
# Hydrothermale Zirkulation?



## Bruchporosität



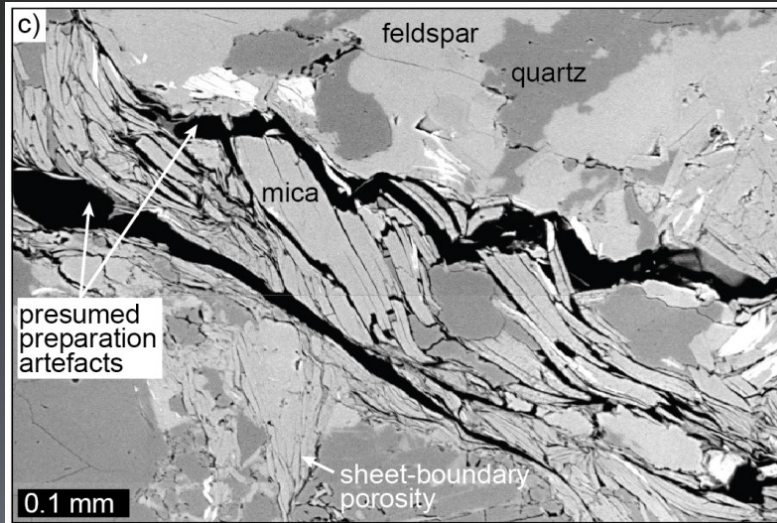
## Matrixporosität



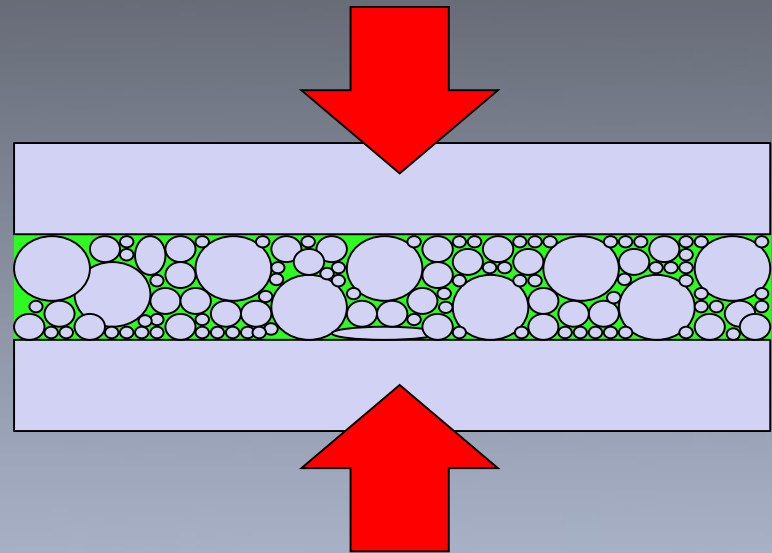
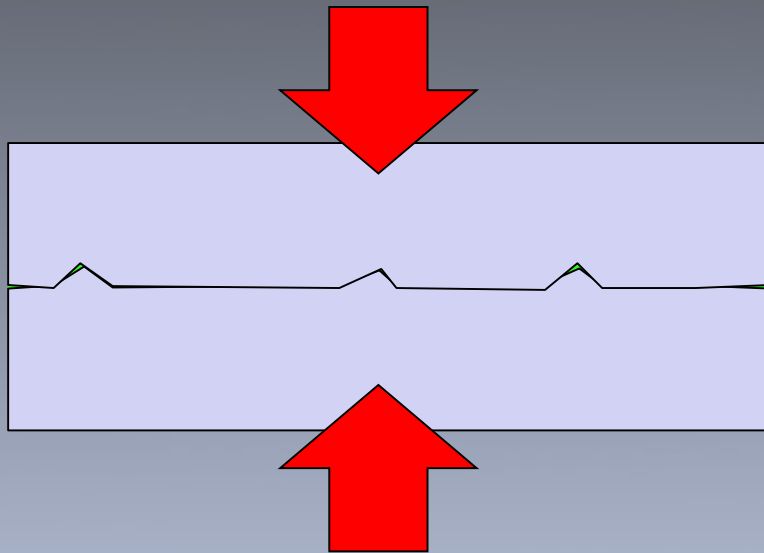
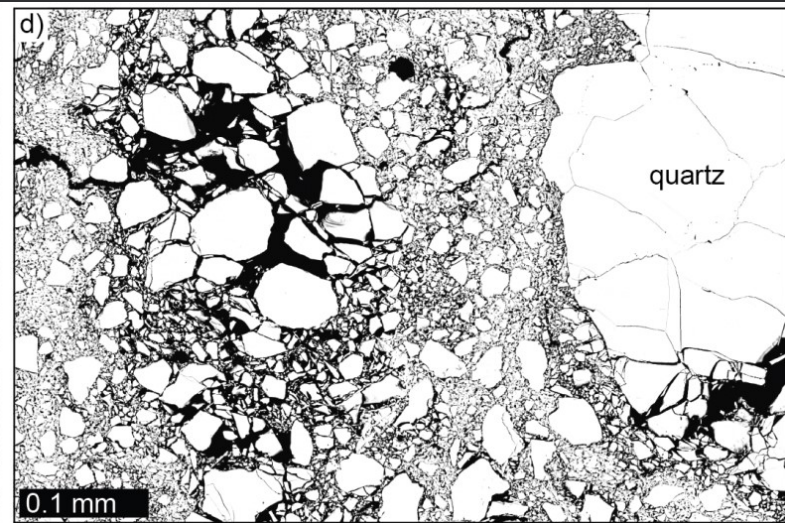
Matrixporosität effizienter für Wasserfluss



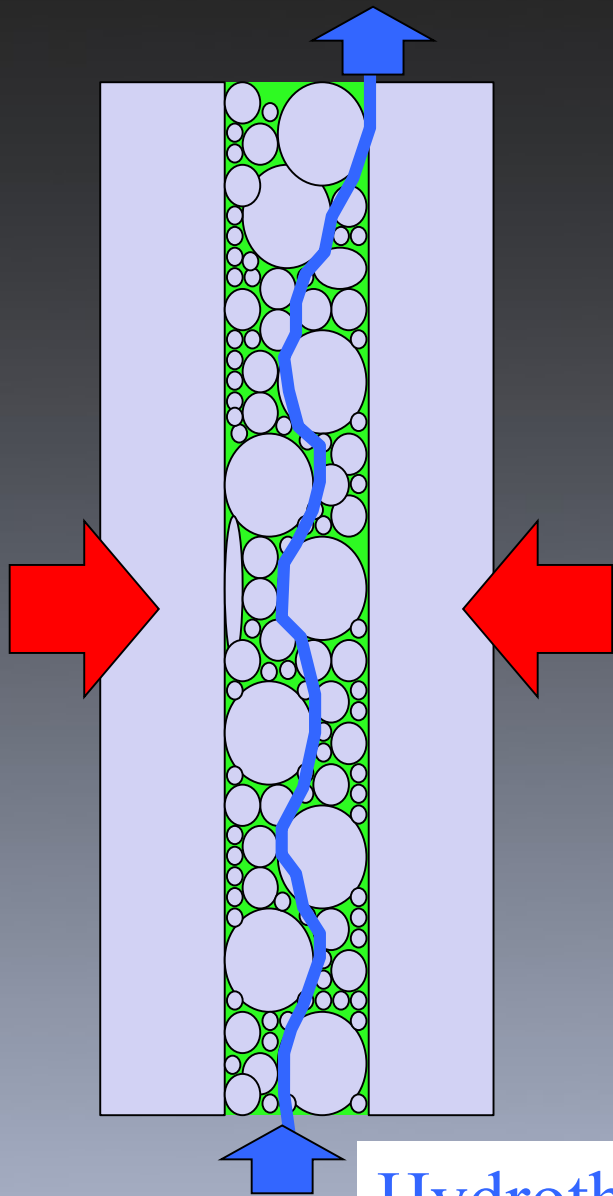
## Bruchporosität



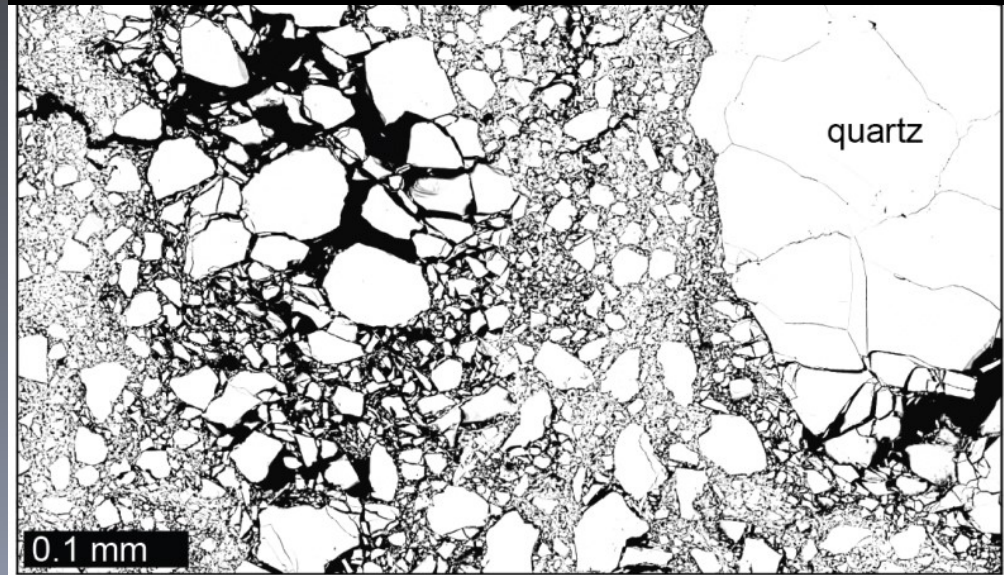
## Matrixporosität



Inkomplettes Schliessen von Porenraum



Matrixporosität

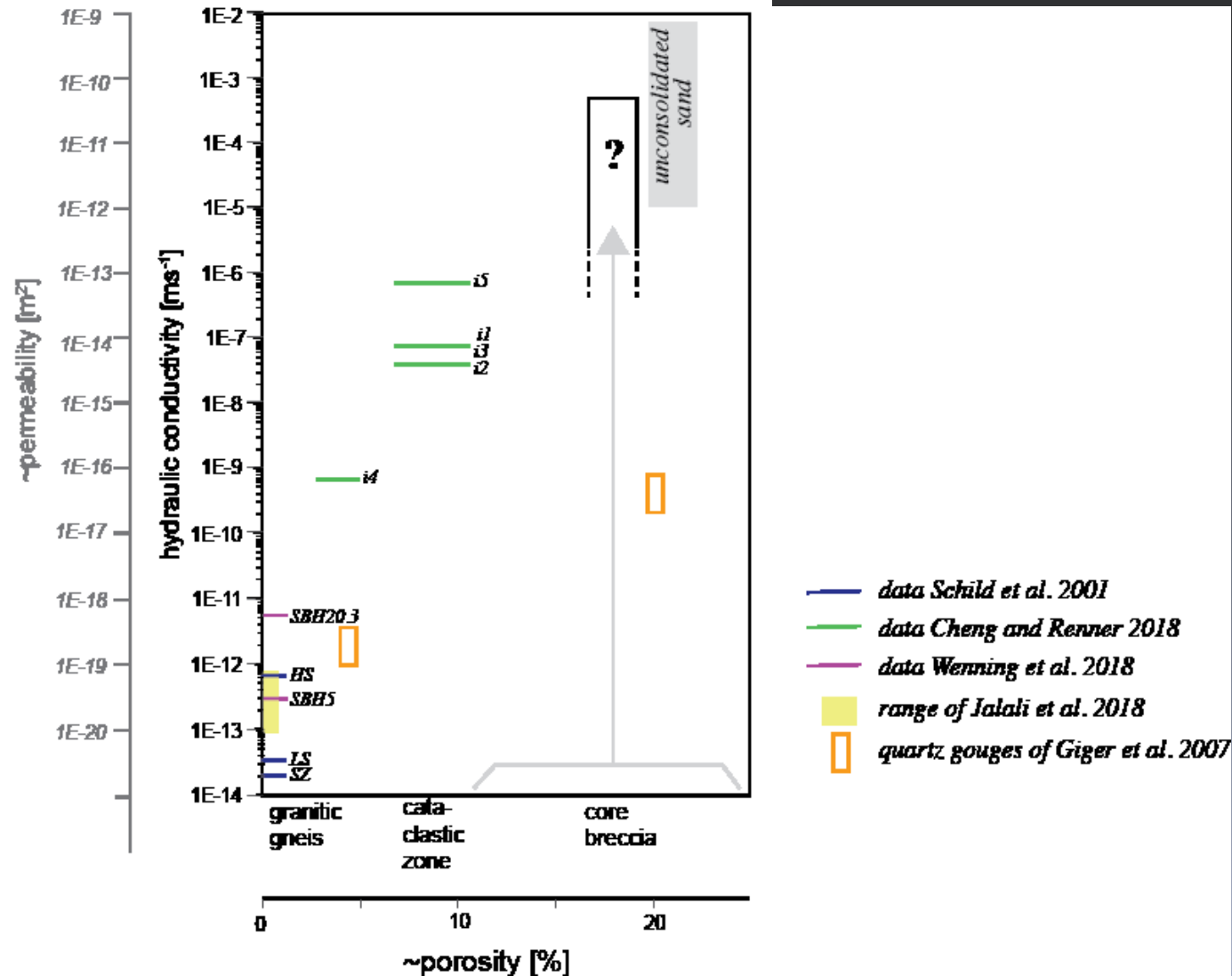


Hydrothermalwasser

Zirkulation heisser Wässer im offenen Porenraum



# Hydraulische Konduktivität/Permeabilität



Hohe hydraulische Konduktivitäten zu erwarten

# Vortragsinhalte

*u<sup>b</sup>*

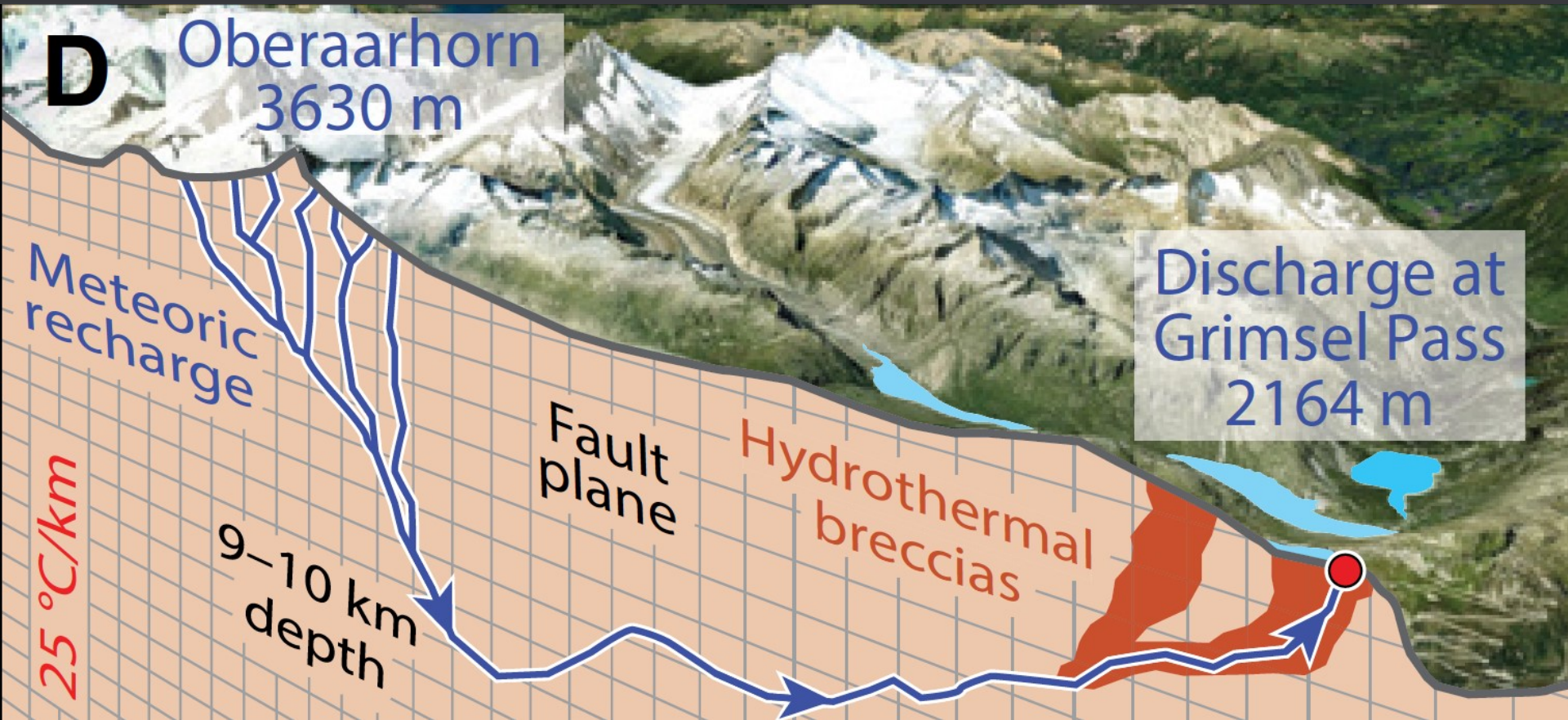
b  
UNIVERSITÄT  
BERN



- 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?**

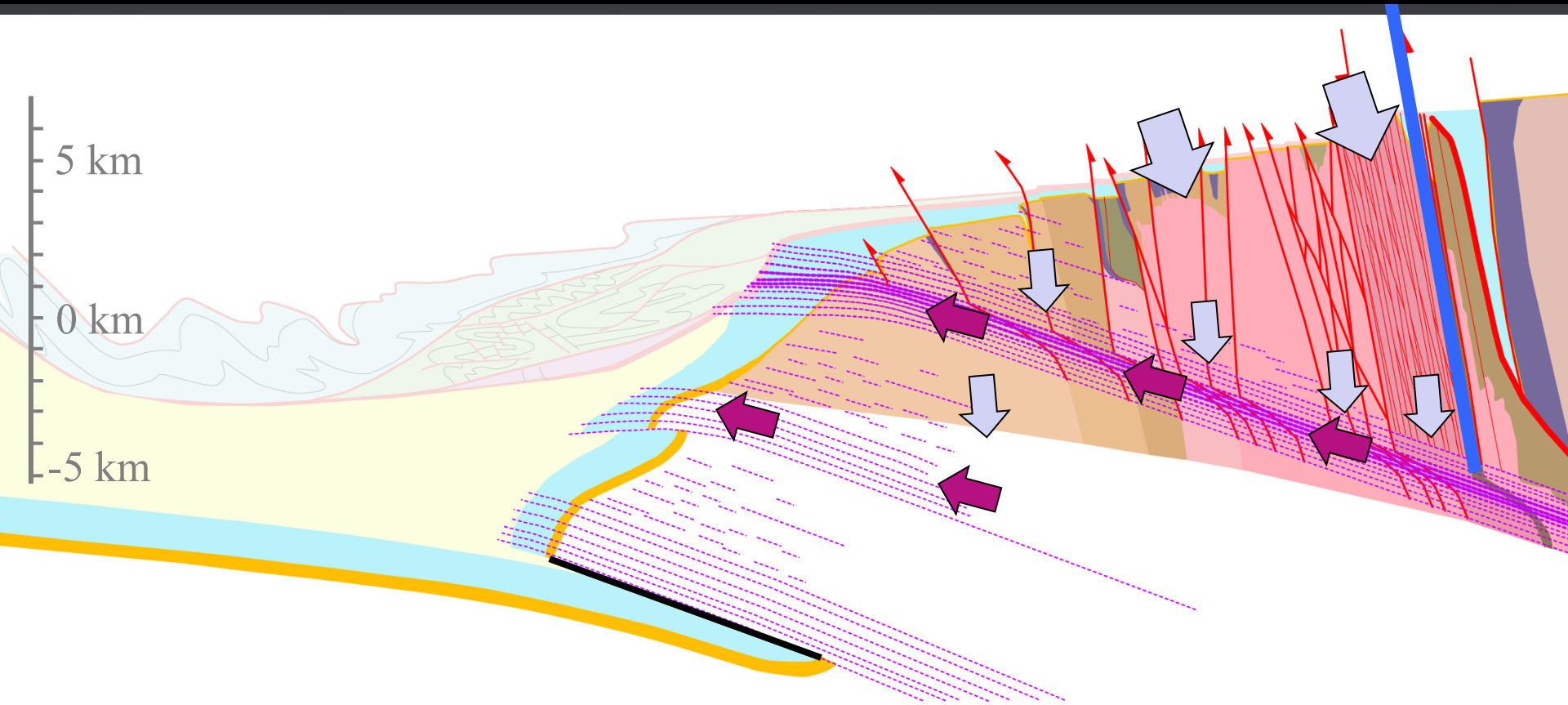


# Hydrothermale Zirkulation?



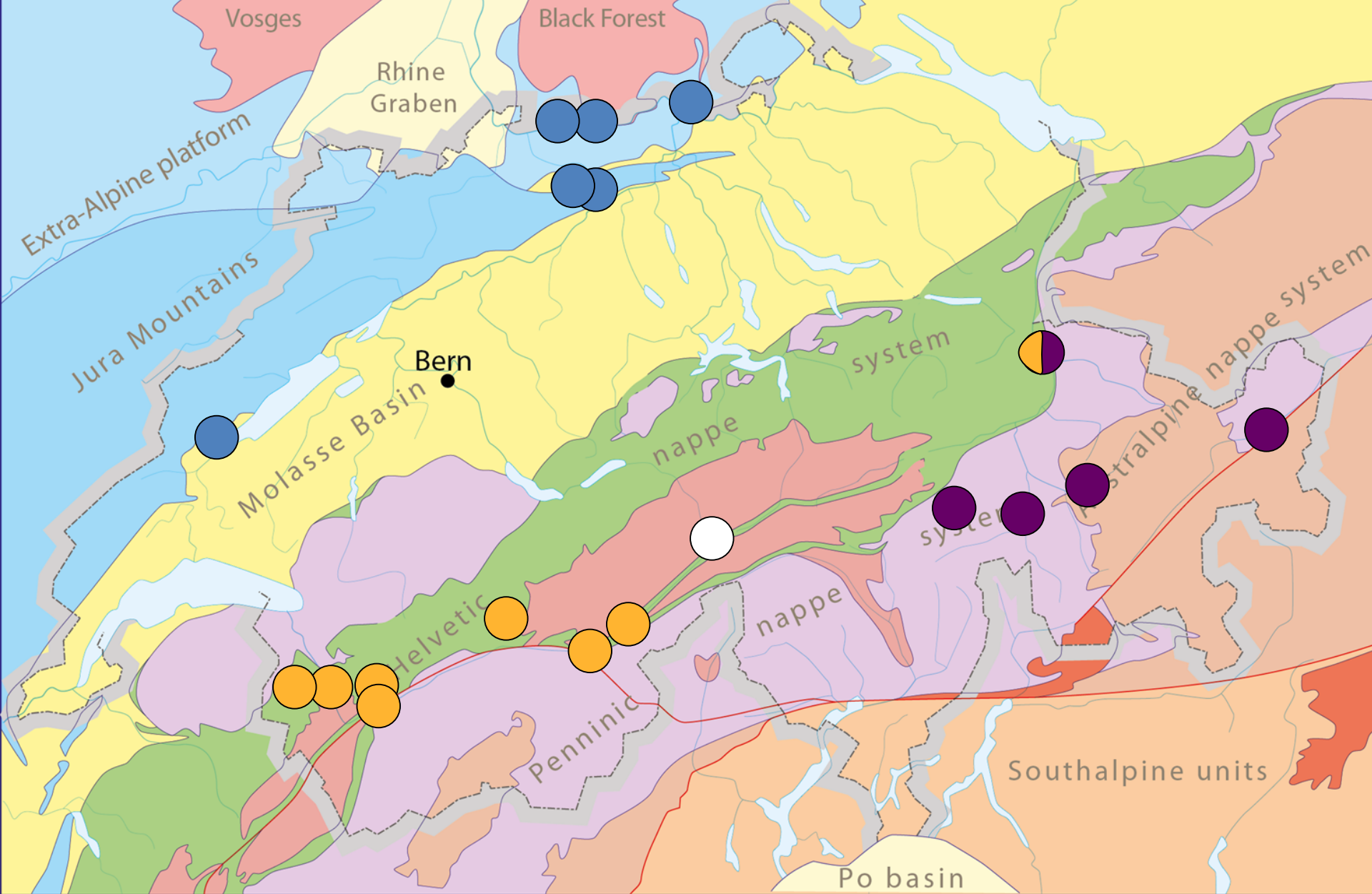
Diamond et al. 2018

# 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

Magnitude

2

3

4

5



Thermal Springs in CH

● related to  
external massifs



swisstopo

SNF

BFE

KWO

nagra

Gemeinde Obergoms

Kanton Wallis



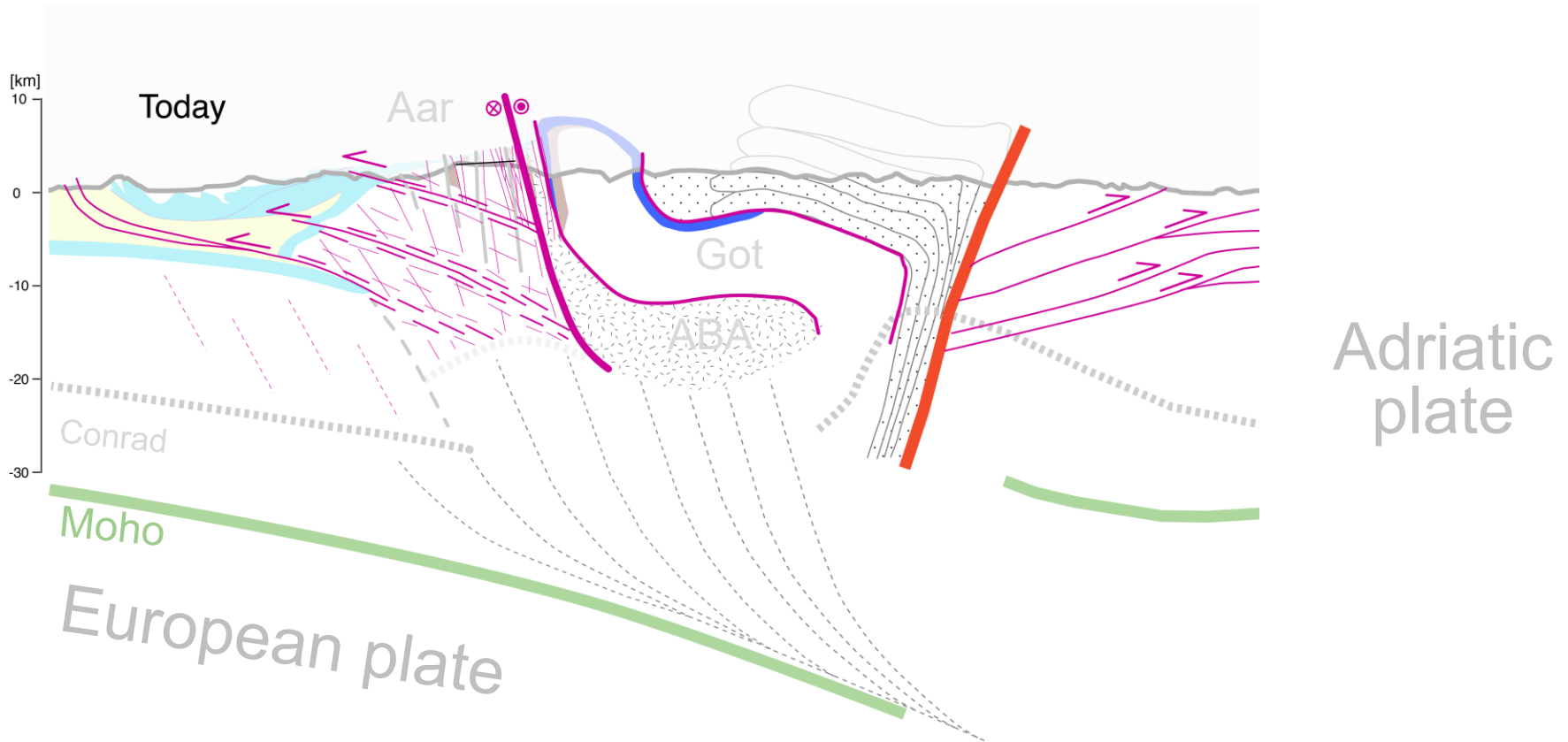
SWISS NATIONAL SCIENCE FOUNDATION



SWISS COMPETENCE CENTER for ENERGY RESEARCH  
IN the FIELD of ELECTRICITY

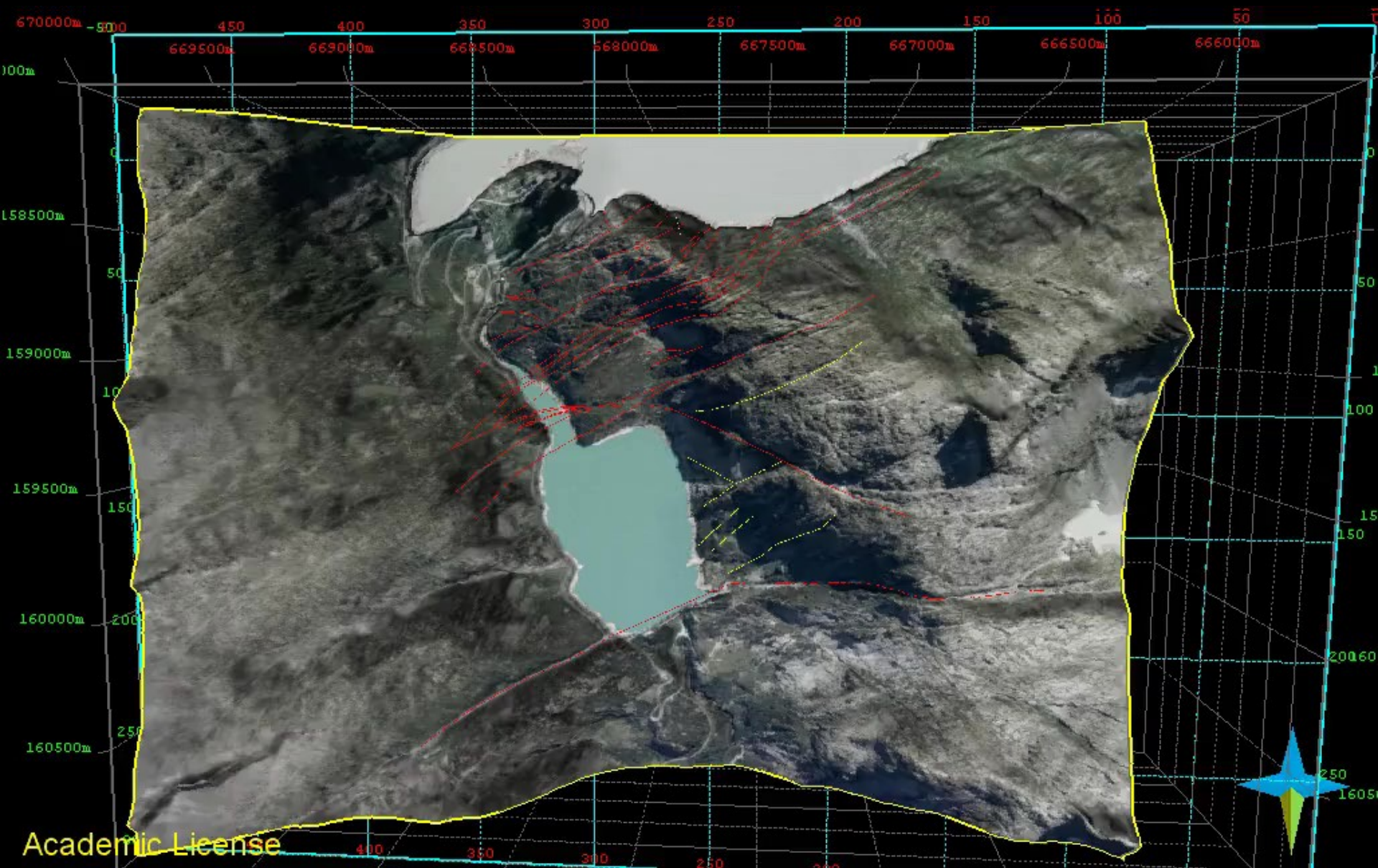


# Tektonisches Profil (heute)



Sind diese Strukturen wasserführend?





Academic License

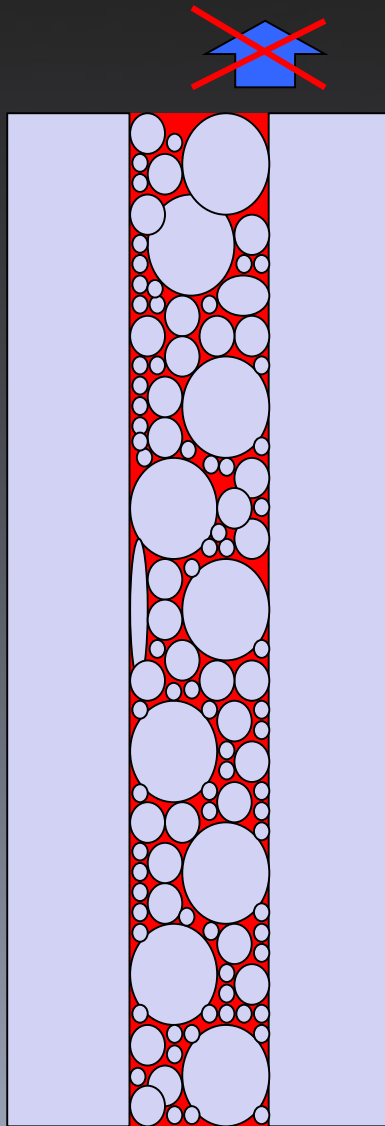




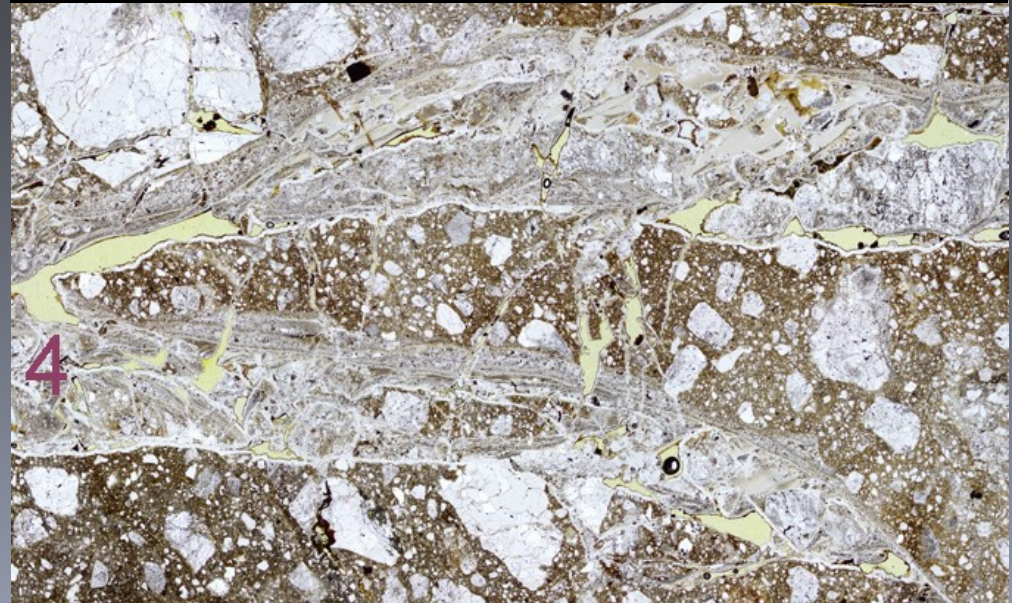
1 cm

Problem Mineralausfällungen = Zementation



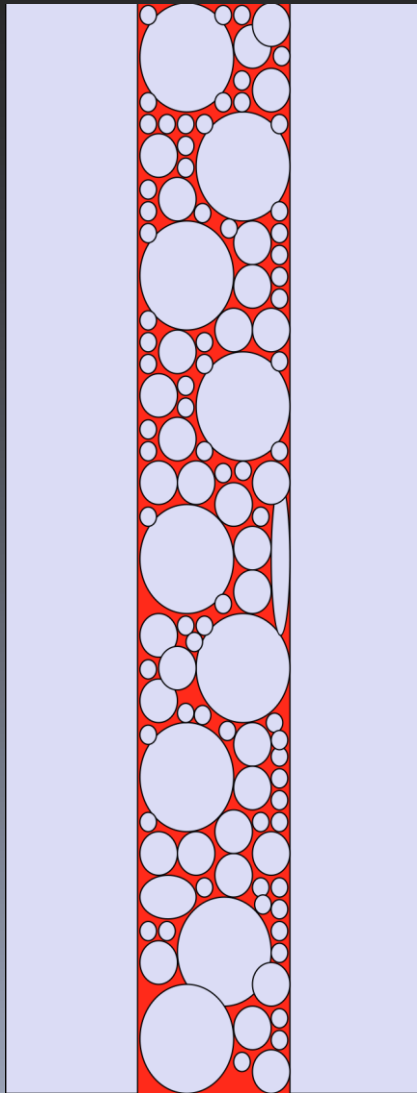


Matrixporosität

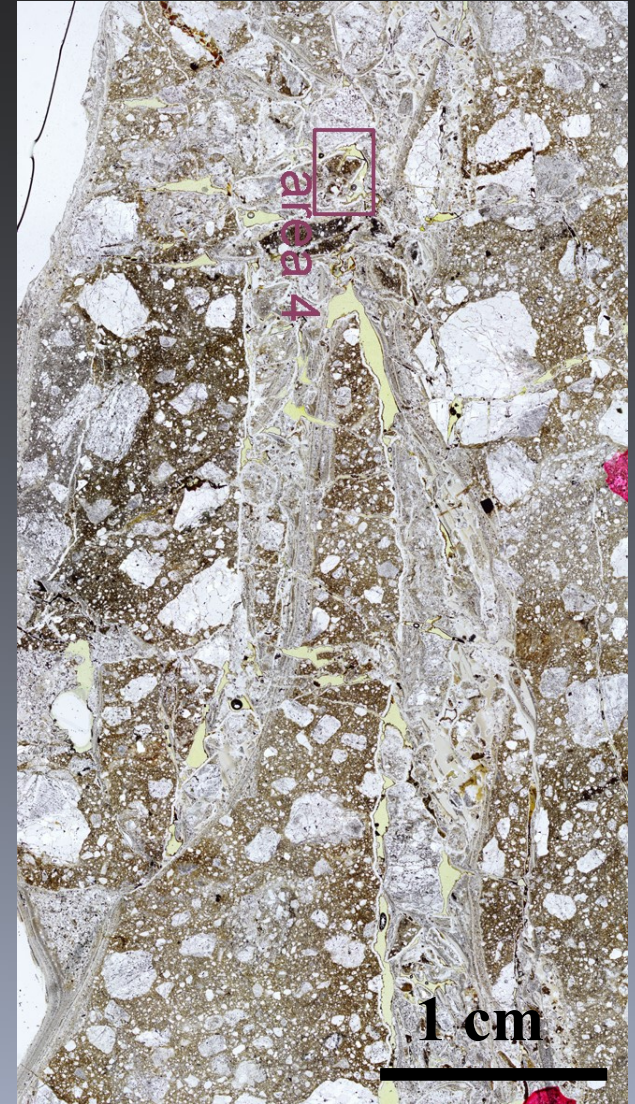


~~Hydrothermalwasser~~

Zementation => kein Porenraum => keine Zirkulation

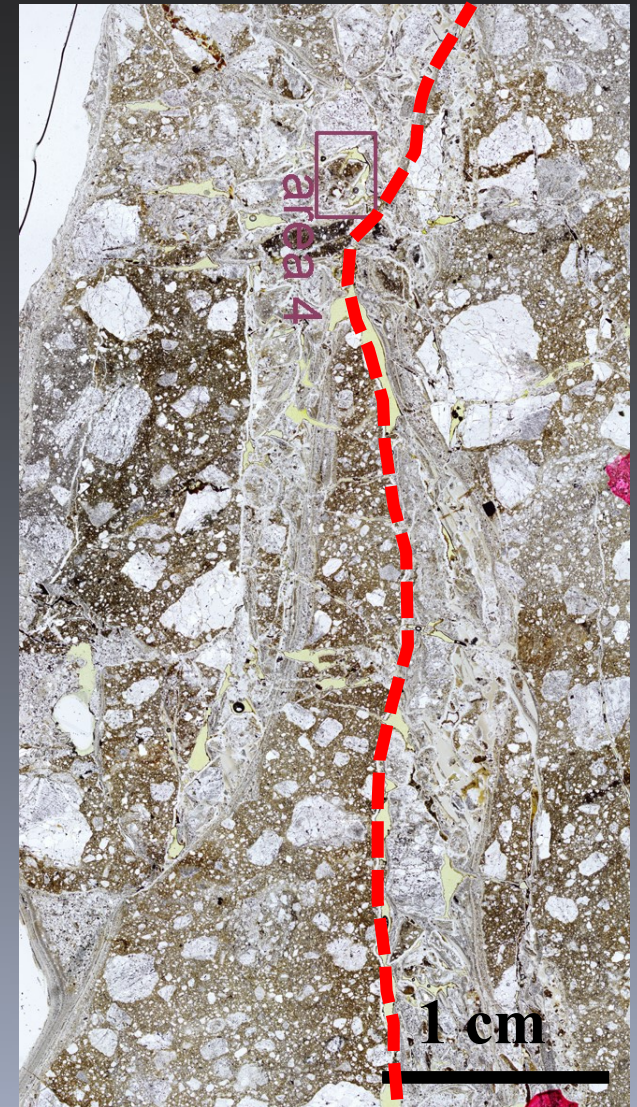
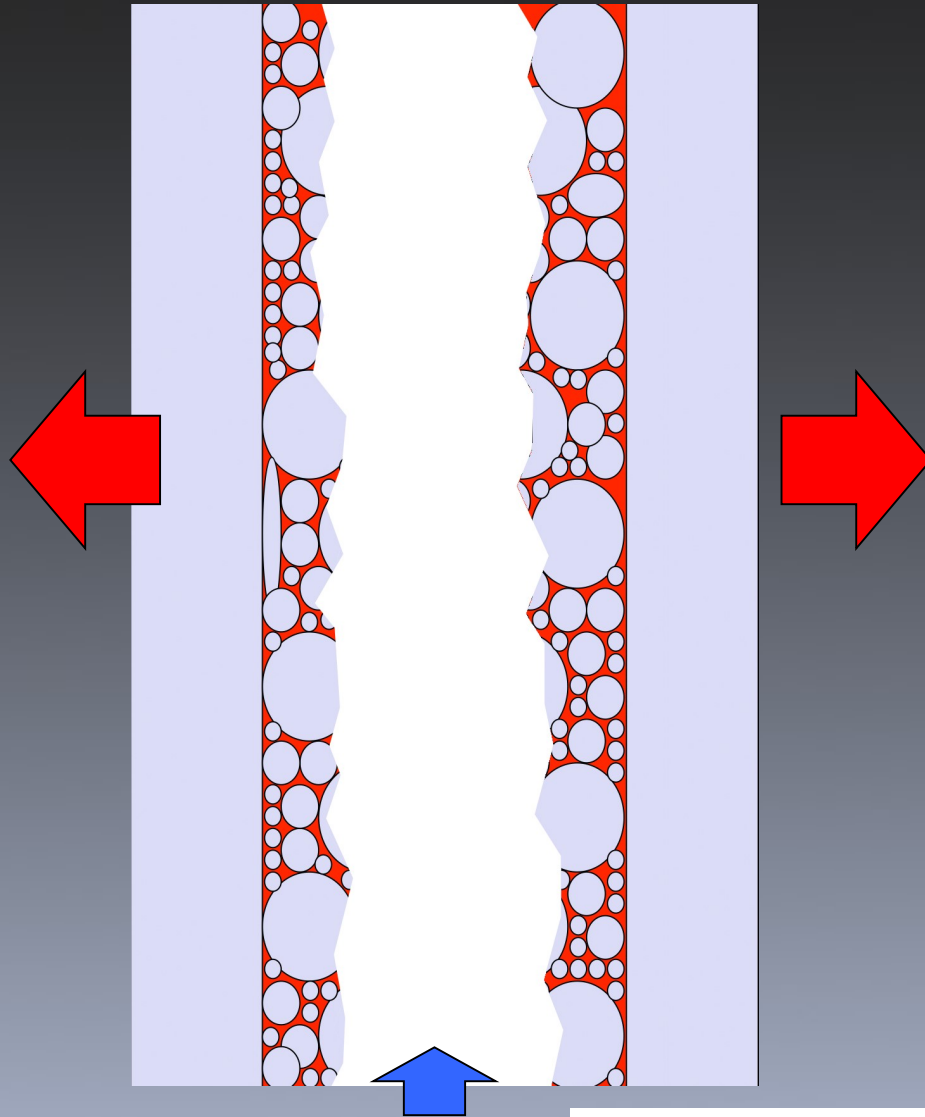


Wasserstau



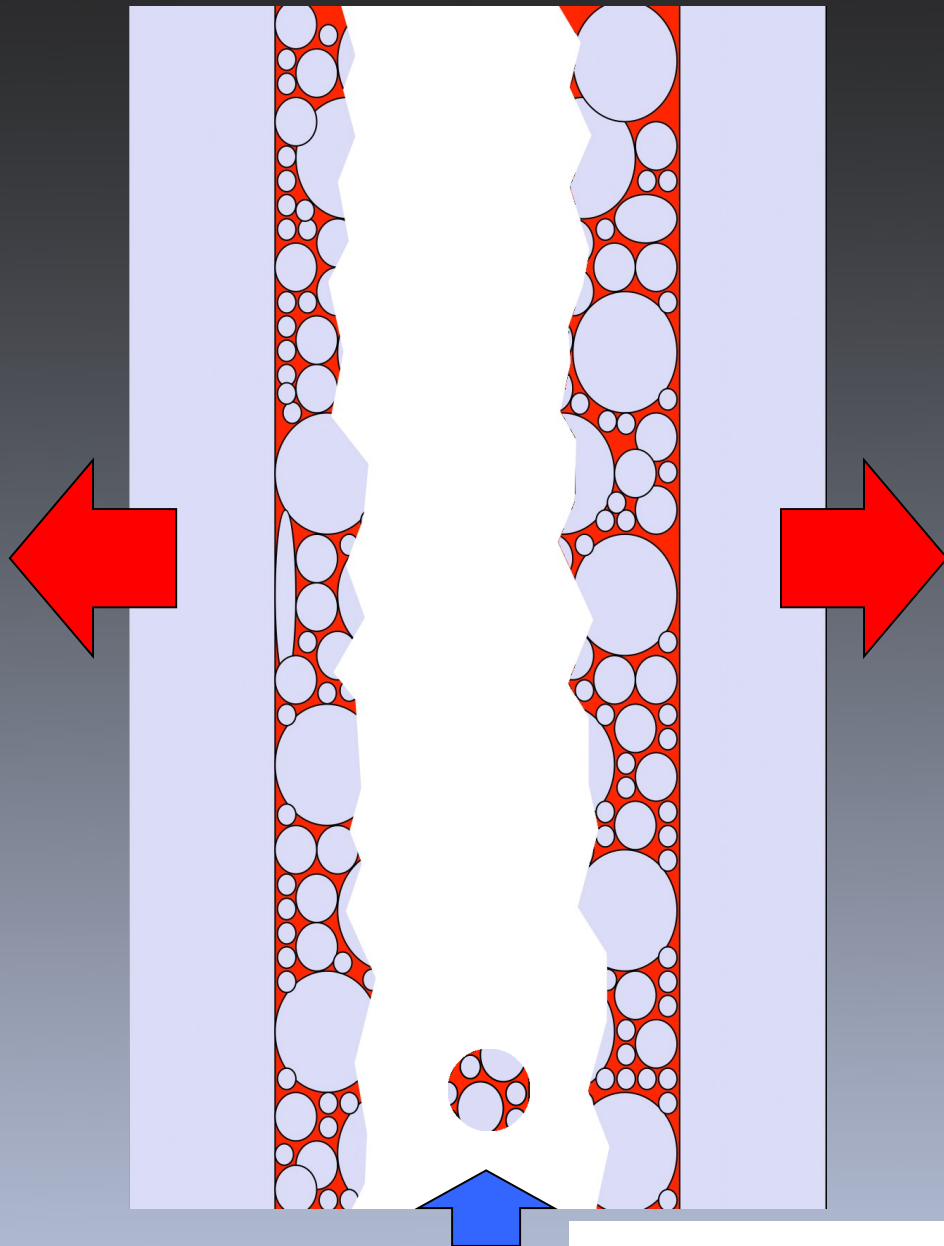
Sich aufbauender Wasserstau => erhöhter Porendruck





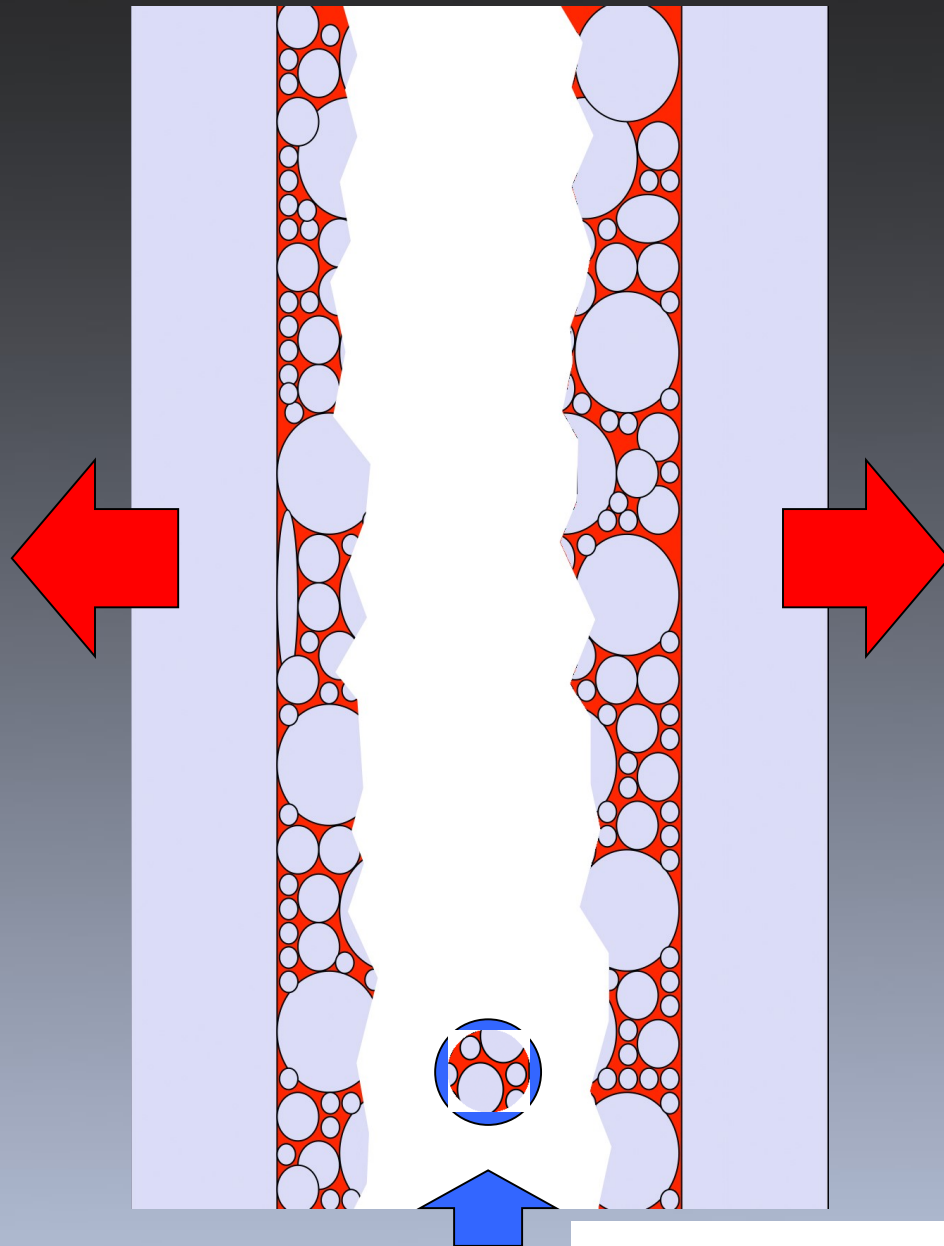
Hydrothermalwasser-Jet

Hydrofrackturing => Erdbeben



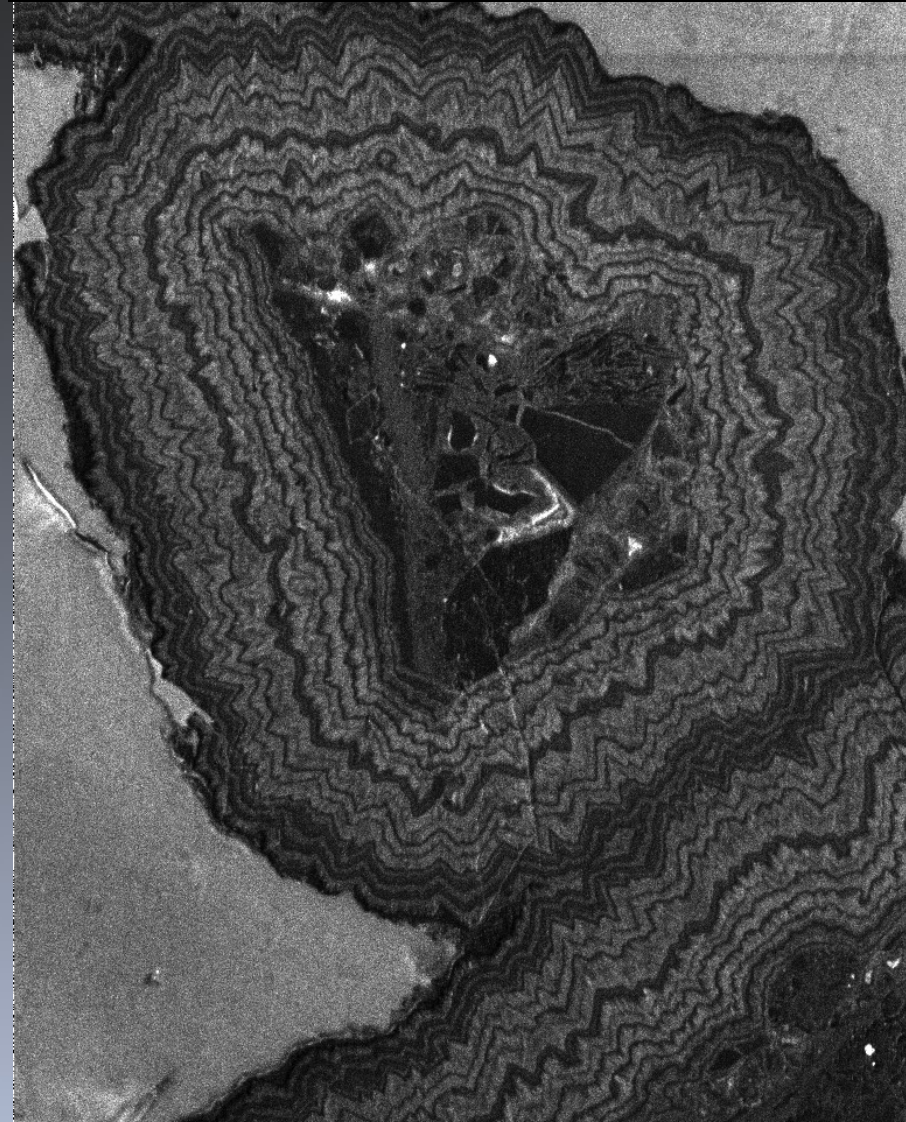
Hydrothermalwasser-Jet

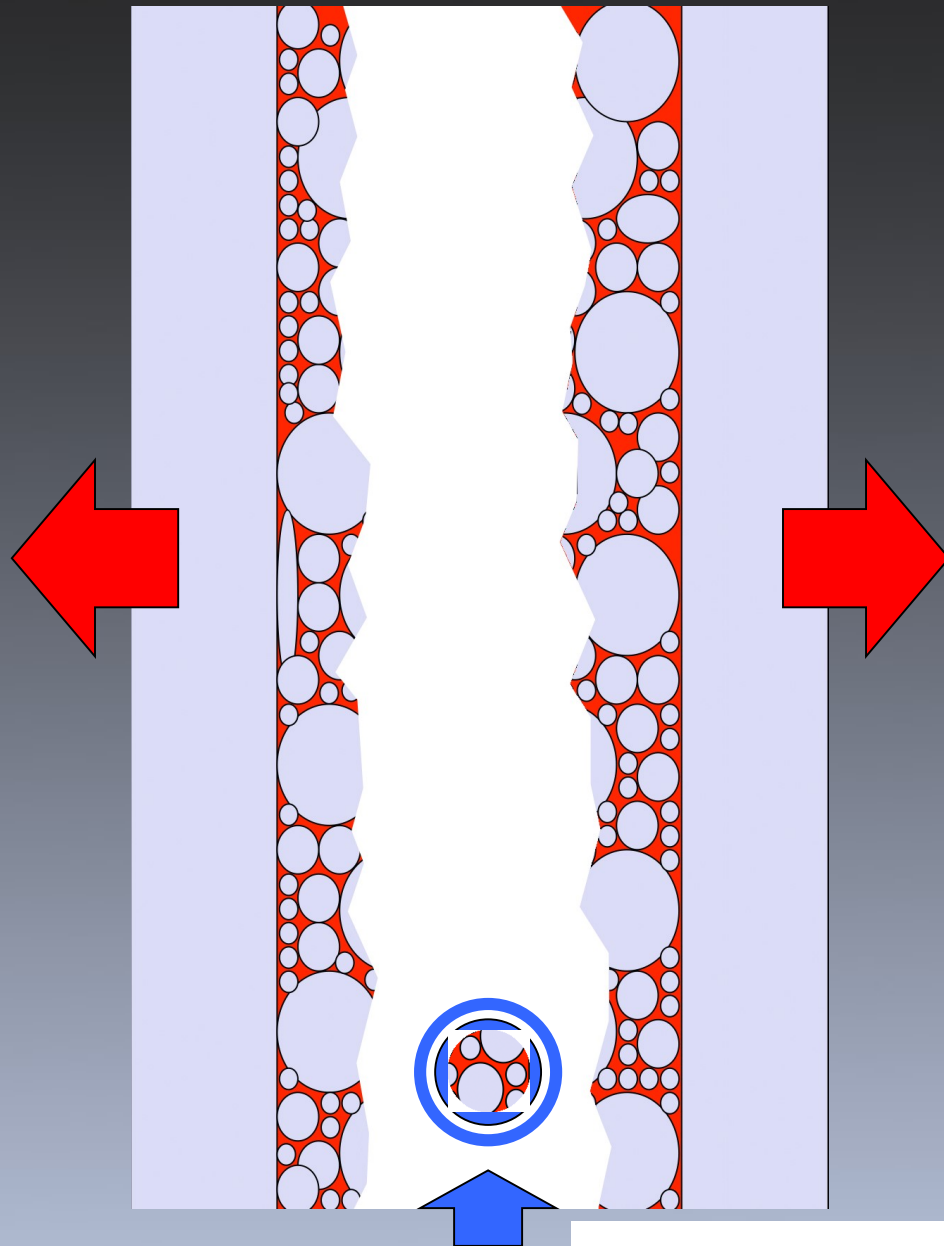




Hydrothermalwasser-Jet

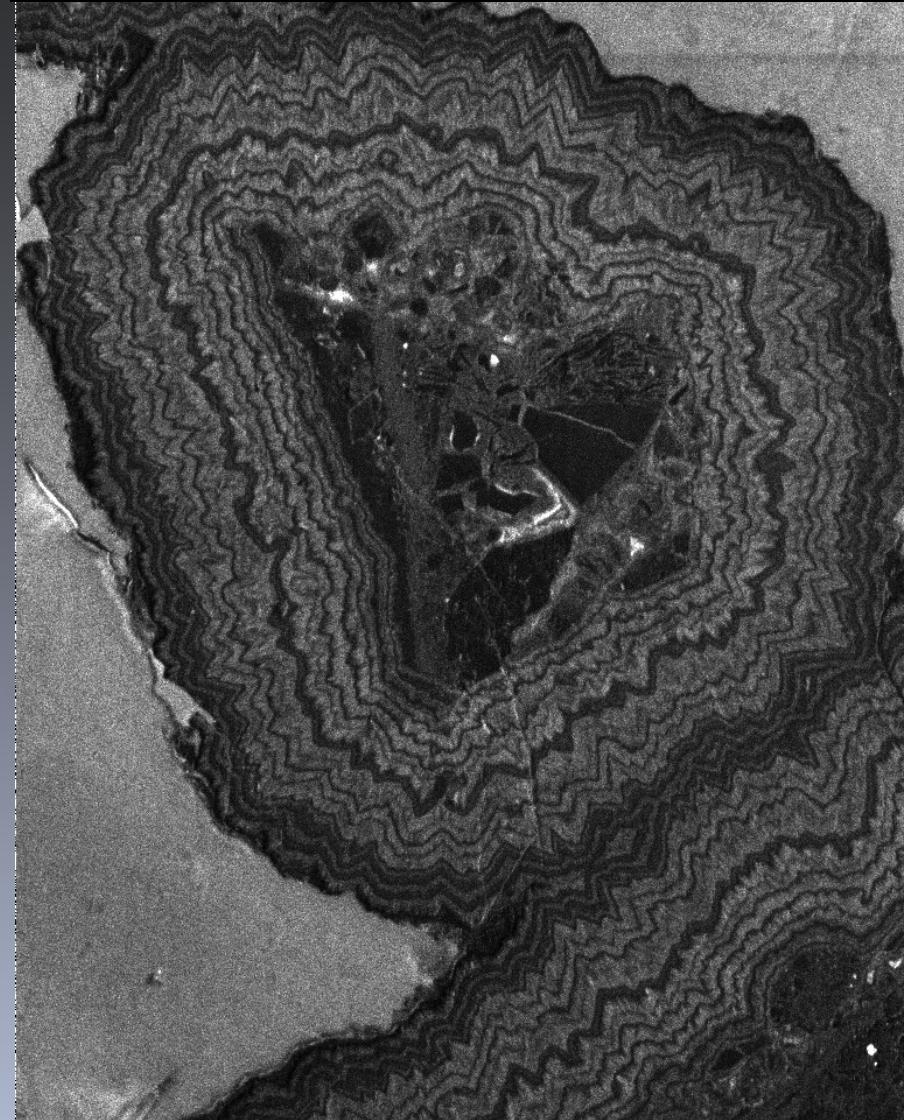
cockades



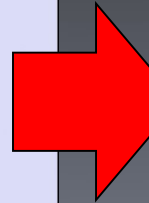
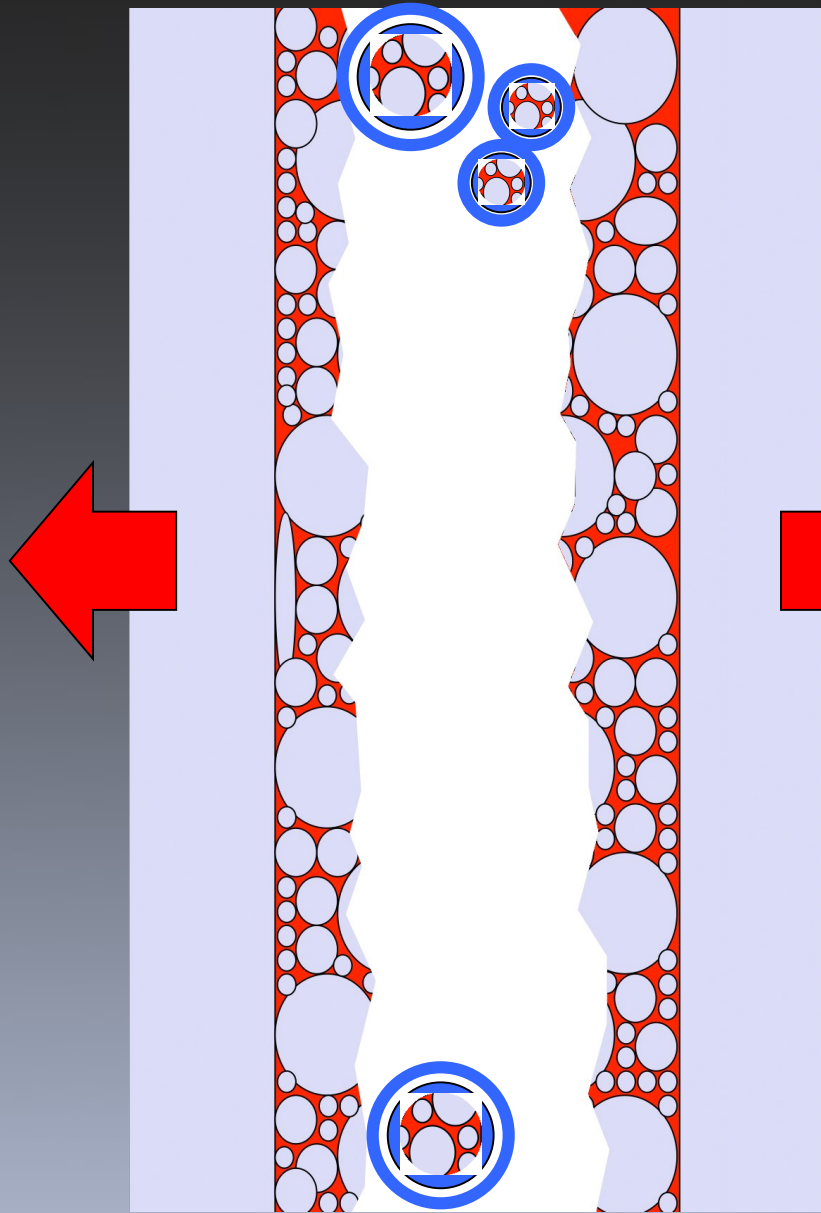


Hydrothermalwasser-Jet

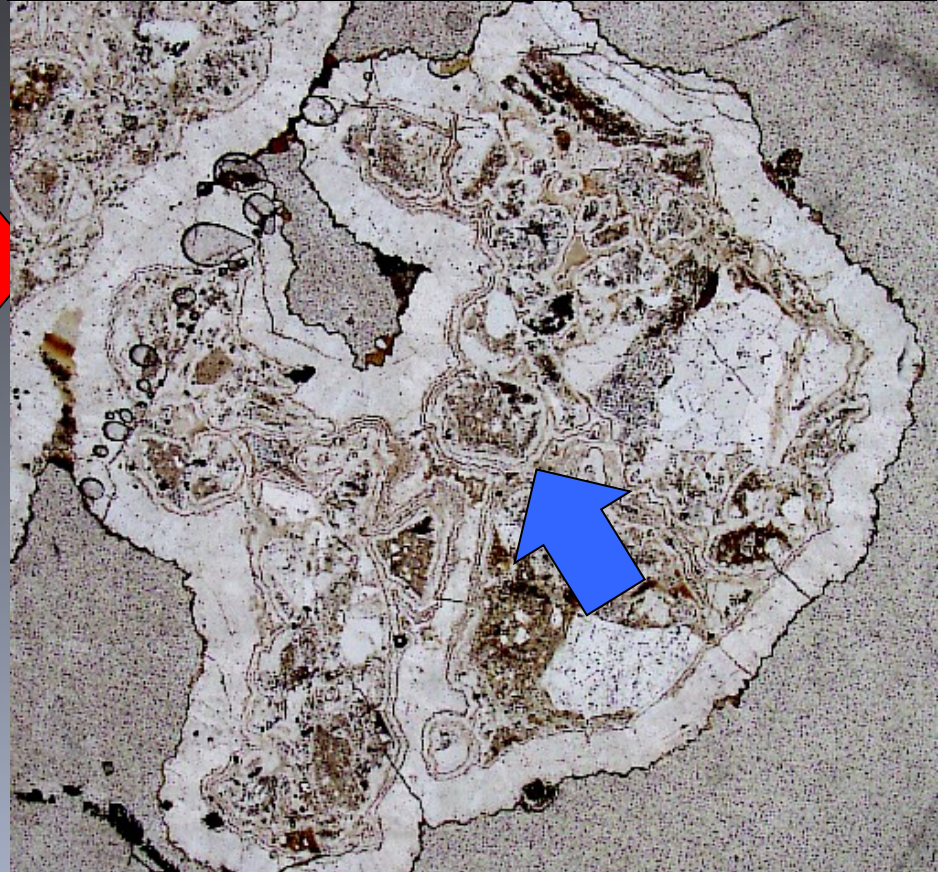
cockades



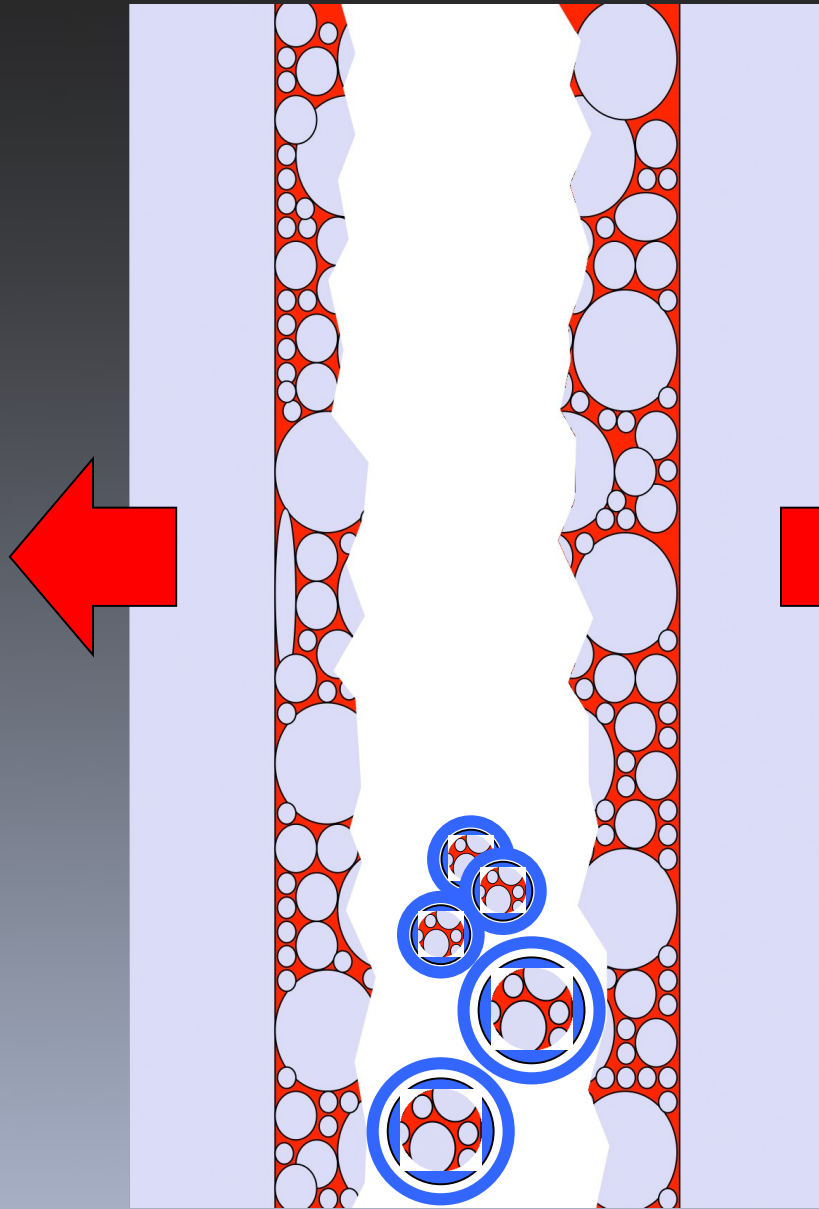




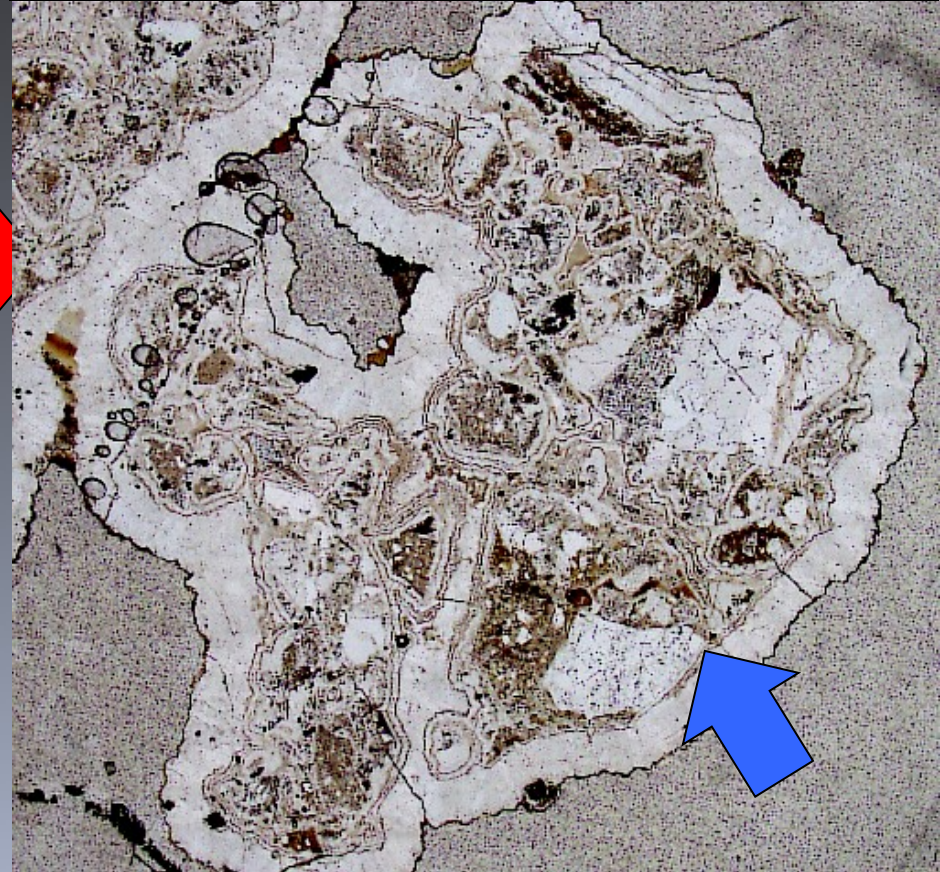
Cockades  
in cockades







Cockades  
in cockades



Erdbeben-Archiv