



## Neotektonik der Nordschweiz:

Bisherige und geplante Arbeiten der Nagra und  
Bedeutung für die Langzeitsicherheit eines geologischen  
Tiefenlagers

Michael Schnellmann

und viele mehr

(Deichmann, N., Fraefel, M., Gautschi, A., Graf, H.-R., Kock, S., Müller,  
W.H., Naef, H., Schlatter, A., Wiget, A., Zippelt, K., Zuidema, P., ...)

**nagra.**

# Inhalt

---

1. Einführung
2. Relevanz Neotektonik und Erdbeben
3. Überblick (Neo-)Tektonik Nordschweiz unter Berücksichtigung der bisherigen Arbeiten der Nagra
4. Zusammenfassung und Ausblick (laufende und geplante Arbeiten der Nagra)

# Nagra-Arbeiten Nordschweiz

---

## **Regionales Untersuchungsprogramm Nordschweiz (Kristallin- Programm Nordschweiz, ab 1988 Sedimente)**

→ Referenzbericht Langzeitentwicklung: NTB 84-26

## **Entsorgungsnachweis**

→ Zusammenfassung Geologie Zürcher Weinland: NTB 02-03

→ Referenzbericht Langzeitentwicklung: NTB 99-08

# Sachplan geologische Tiefenlager: Etappen

**Etappe 1:** Festlegung von geologischen Standortgebieten. Vorschläge der Nagra liegen vor

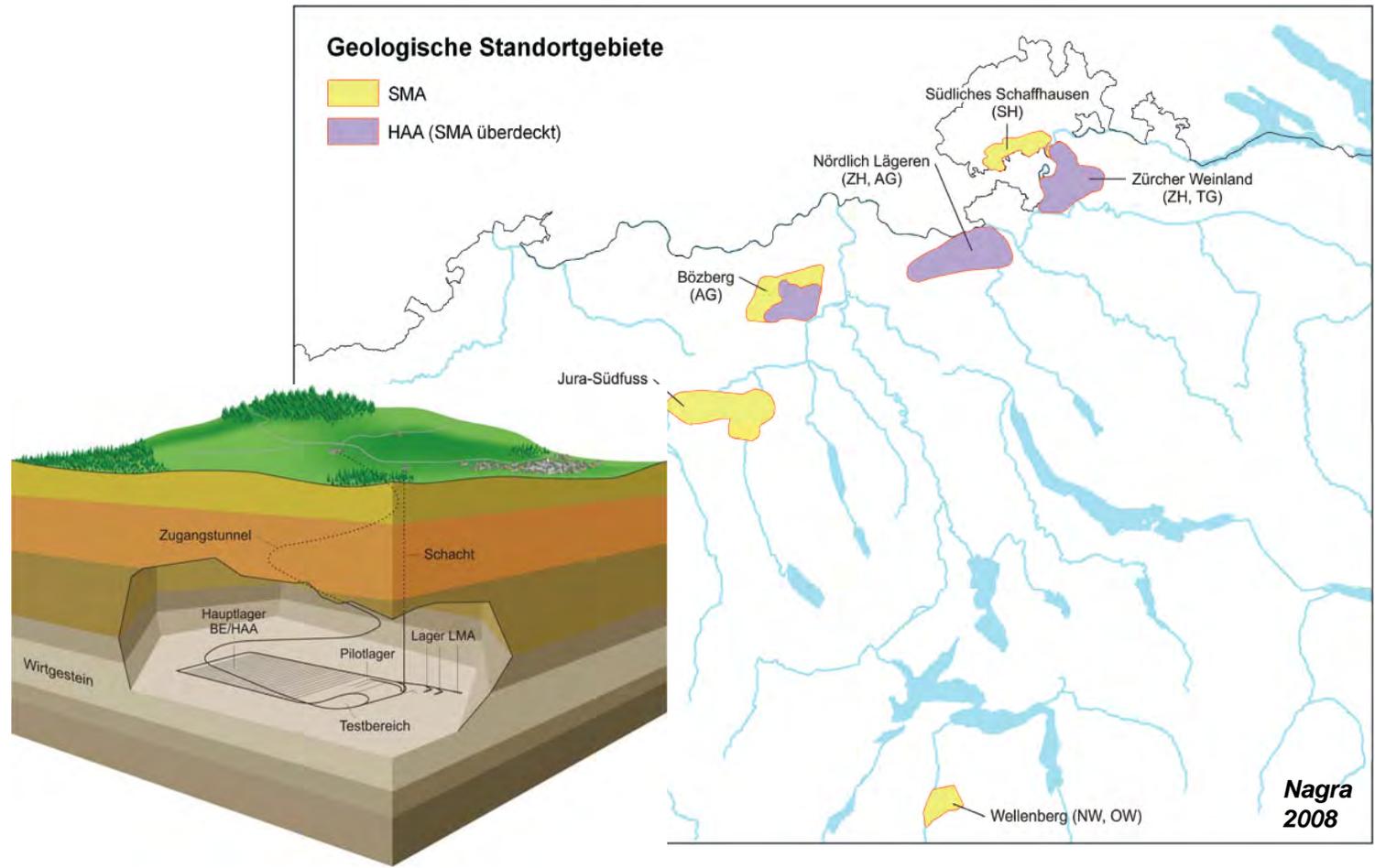
**Etappe 2:** Auswahl von mindestens je zwei Standorten für SMA- und HAA-Lager

**Etappe 3:** Intensive Feldarbeiten an diesen Standorten. Vergleich und Auswahl von je einem Standort für das SMA- und das HAA-Lager



& diverse Referenzberichte

# Vorgeschlagene Standortgebiete und Betrachtungszeiträume



**Hochaktive Abfälle HAA: Betrachtungszeitraum 1 Ma**

**Schwach- und Mittelaktive Abfälle SMA: Betrachtungszeitraum 100 ka**

# Relevanz Erdbeben und Neotektonik

## Erosive Freilegung des geologischen Tiefenlagers

Entscheidende Faktoren:

- Erosion/Hebung
- Tiefenlage

## Beschädigung von Gebäuden und nicht verfüllten untertägigen Anlagen durch seismische Erschütterung

Entscheidender Faktor:

- Erdbebensichere Auslegung der Anlagen (gemäss den zu erwartenden Beschleunigungen und Wiederkehrzeiten)

## Möglichkeit der Entstehung neuer Wasserwegsamkeiten durch differenzielle Bewegungen (seismisch oder aseismisch) im Lagerbereich

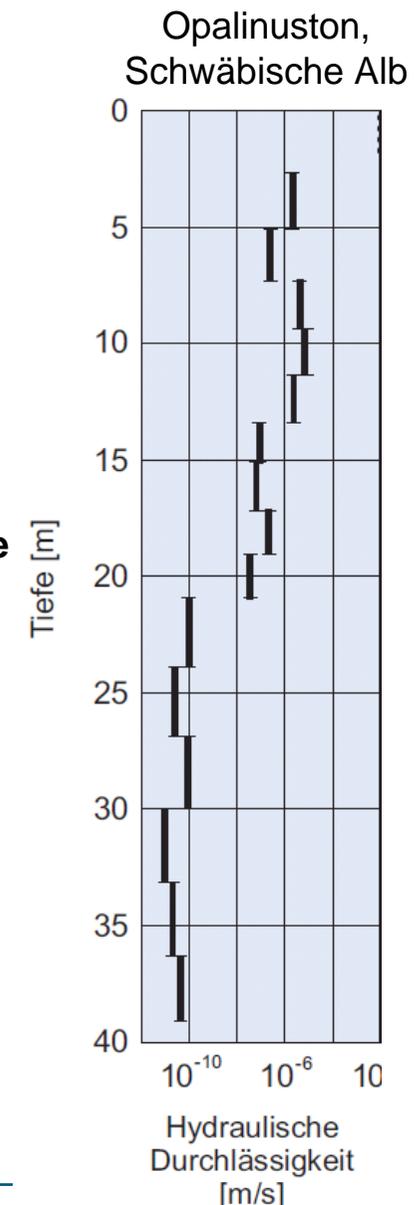
Entscheidende Faktoren:

- Orientierung und Lage von reaktivierbaren Störungen
- Auswirkungen von differenziellen Bewegungen an bestehenden / neuen Störungen auf Wirtgesteinseigenschaften (Durchlässigkeit)

## Erhöhung der Durchlässigkeit des Wirtgesteins durch Dekompaktion

Entscheidende Faktoren:

- Erosion/Hebung
- Tiefenlage
- Wirtgesteinseigenschaften (Abhängigkeit Durchlässigkeit – Tiefenlage)



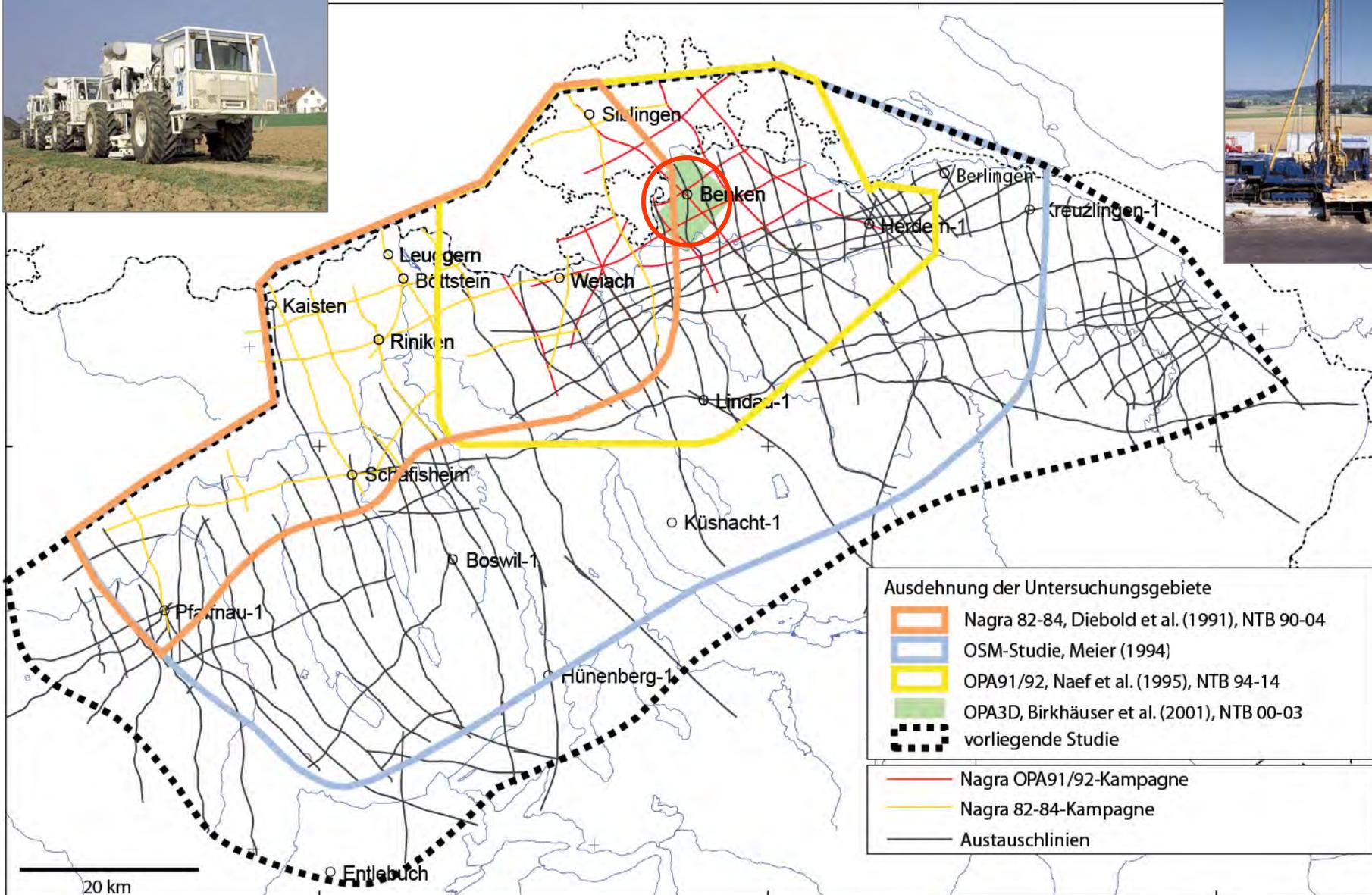
nach Hekel (1994)

## Daraus abgeleitete Fragen

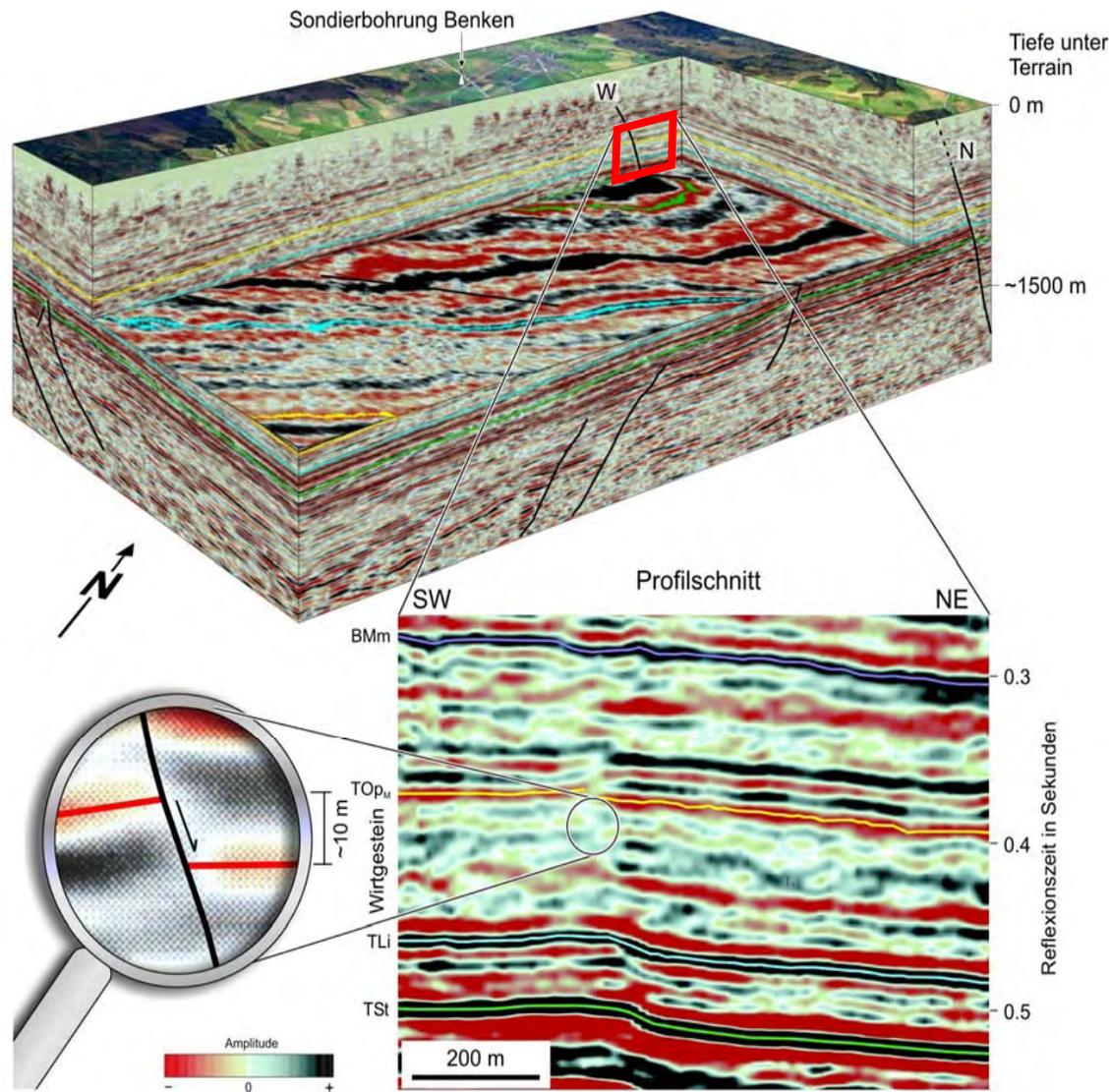
---

- 1.) Hebungs- und Erosionsraten?
- 2.) Deformationsraten? Lage der seismischen oder aseismischen Deformation?
- 3.) Lage reaktivierbarer Störungzonen?
- 4.) Auswirkung differenzieller Bewegungen auf Durchlässigkeit des Wirtgesteins?
- 5.) Grösse der für die Bemessung der Bauten relevanten Bodenbeschleunigungen und Wiederkehrraten?

# Seismik und Bohrungen in der Nordschweiz



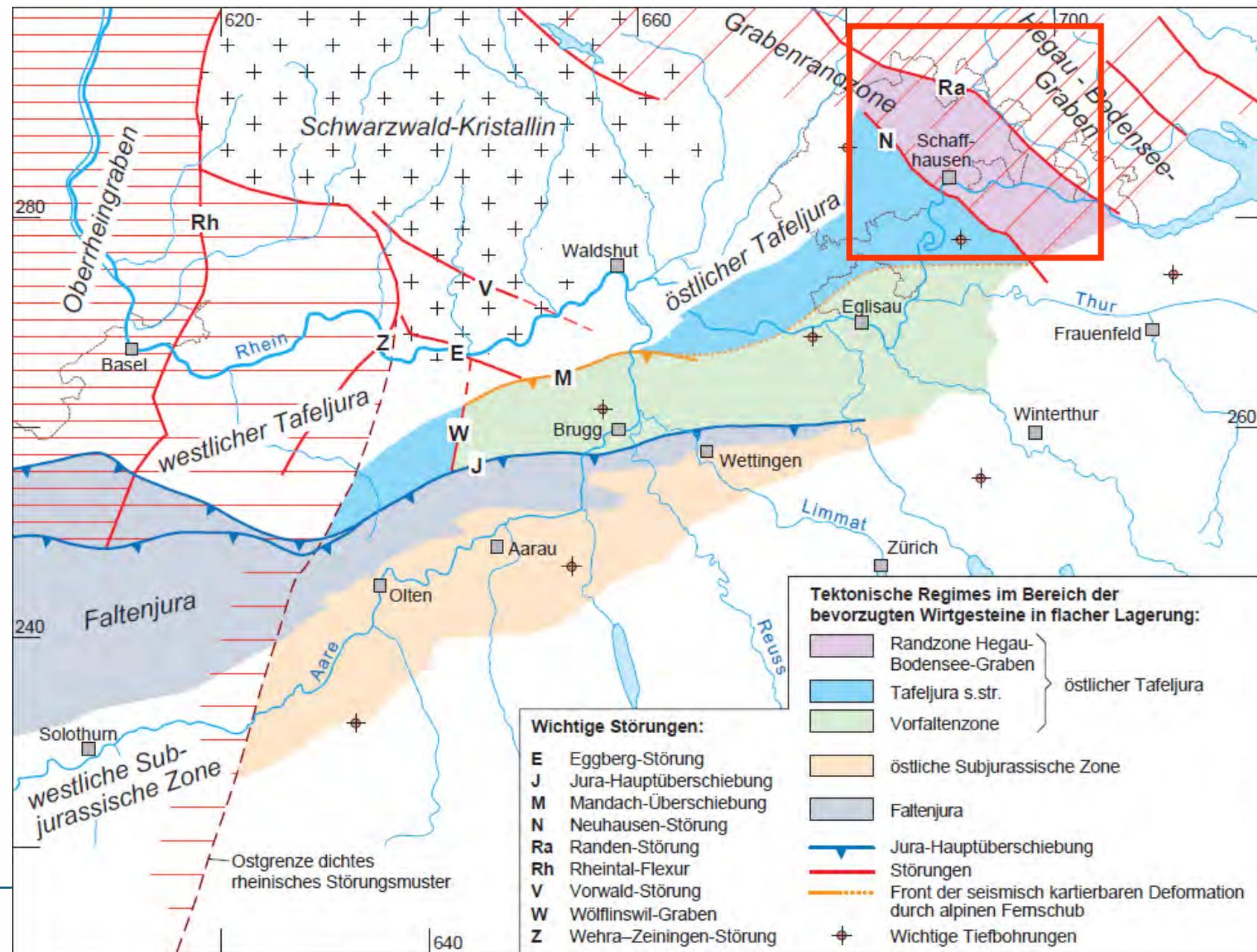
# Beispiel: 3D-Seismik Zürcher Weinland



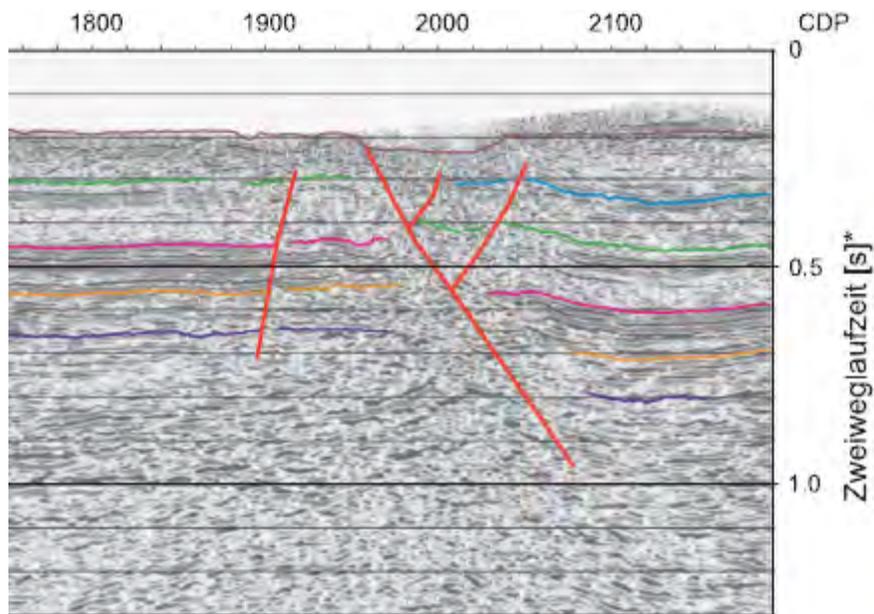
Vertikaler Versatz >10 m  
direkt erkennbar.

Attributanalysen erlauben  
Erkennung von  
Kleinstrukturen mit nur  
wenigen Metern vertikalem  
Versatz

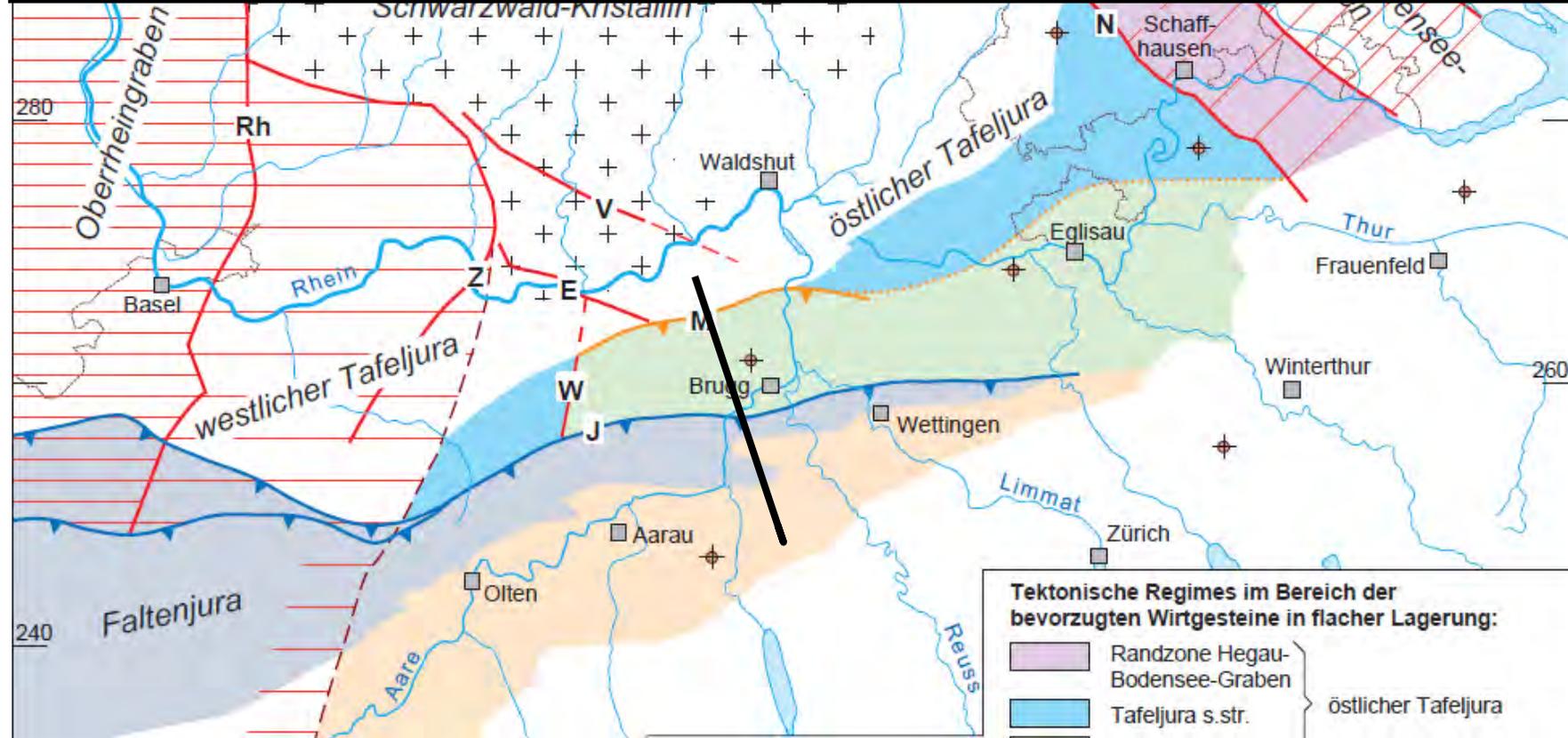
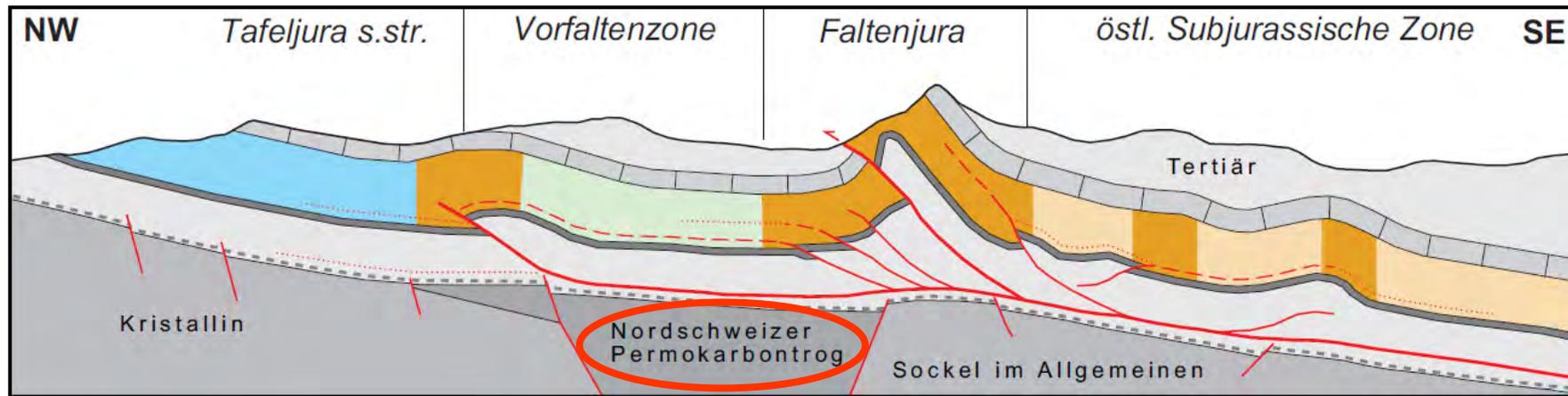
# Tektonische Übersicht Nordschweiz



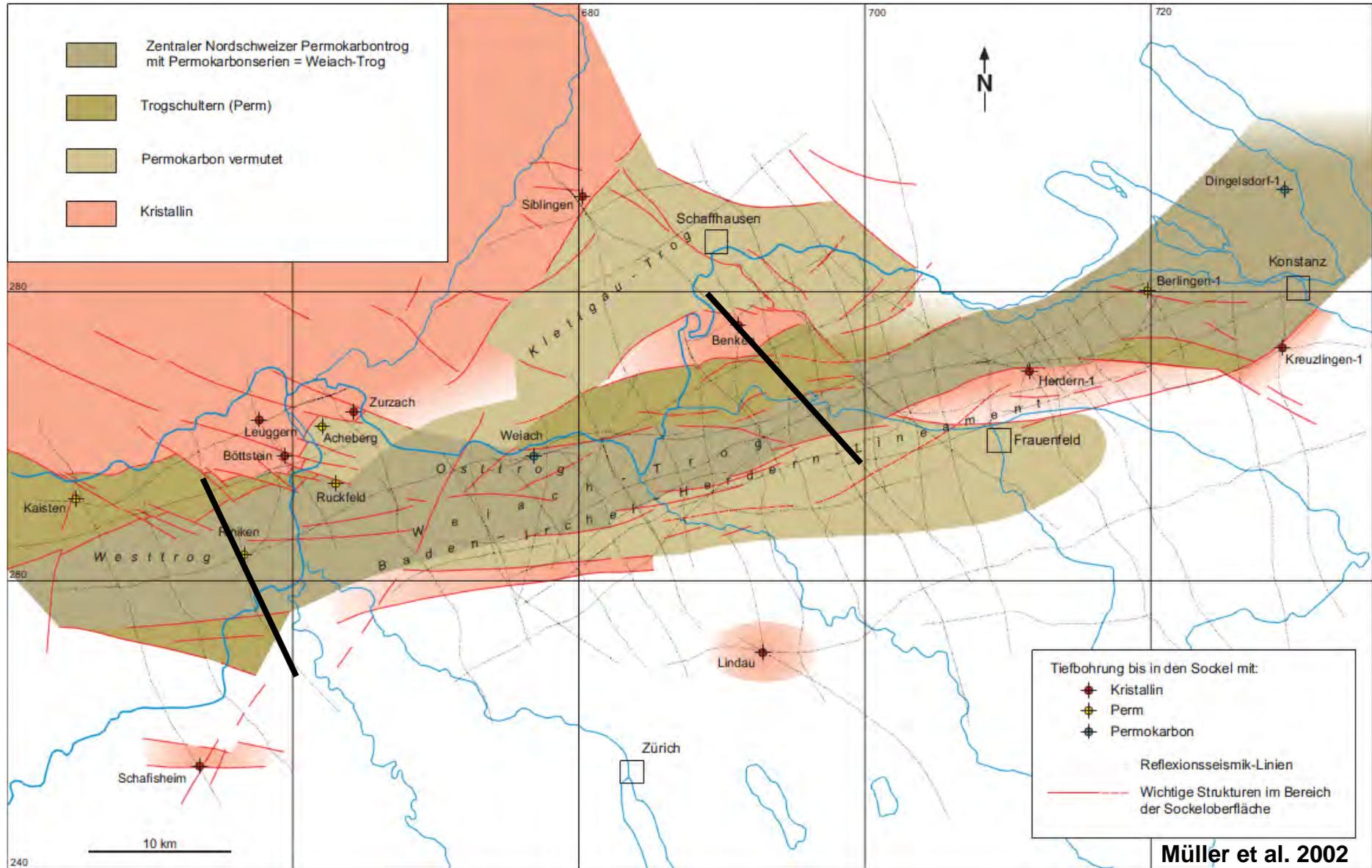
# Randen-Störung und Hegau – Bodensee-Graben



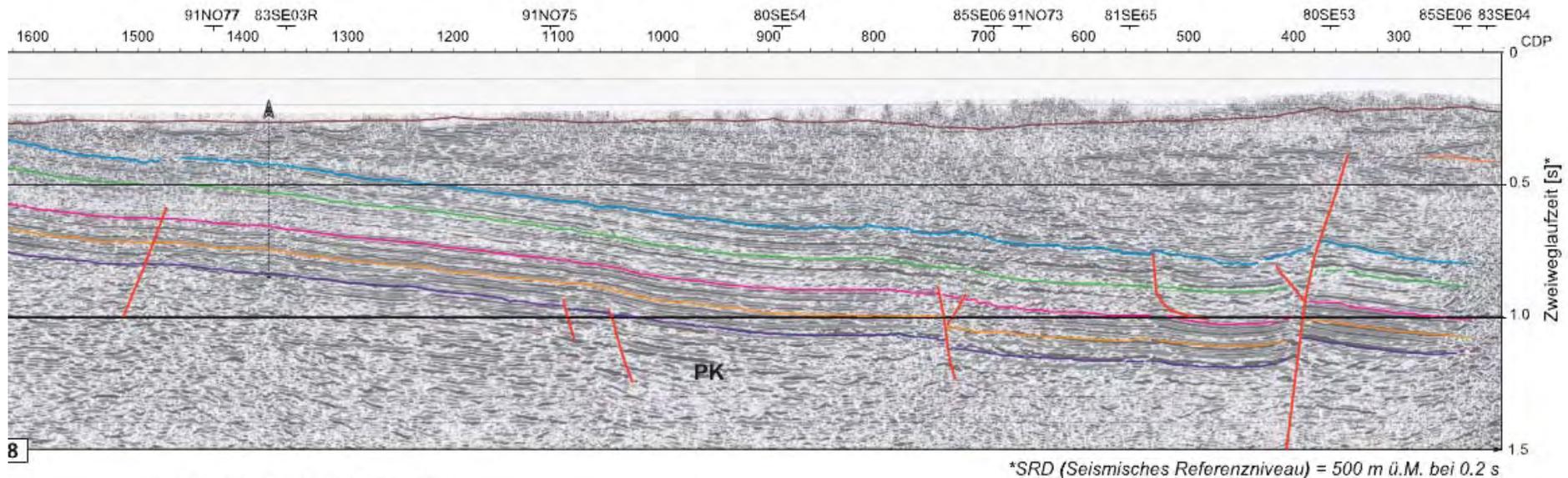
# Schematisches N-S-Profil



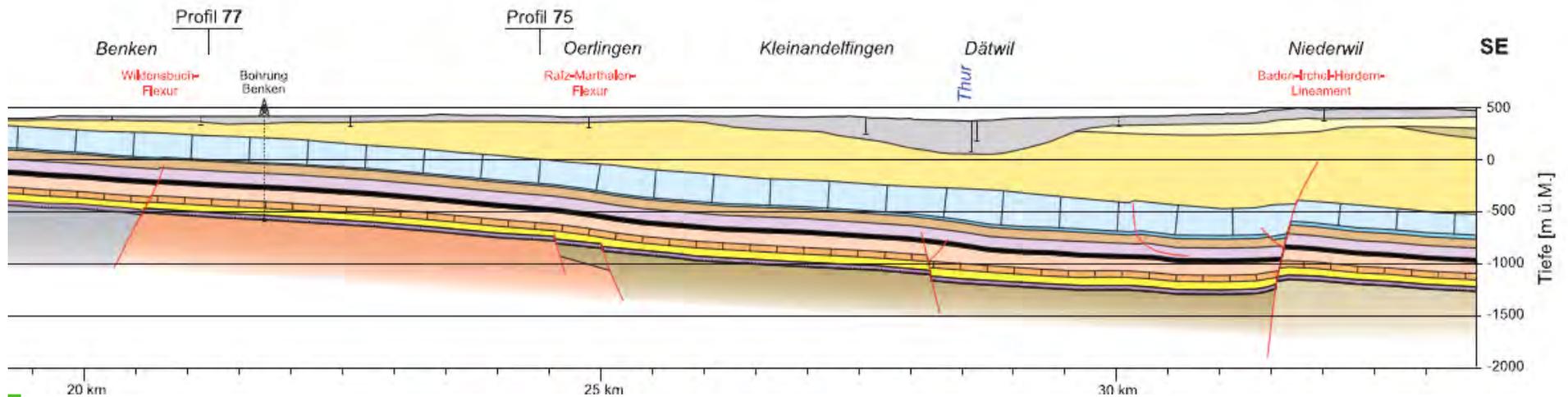
# Nordschweizer Permokarbondrog



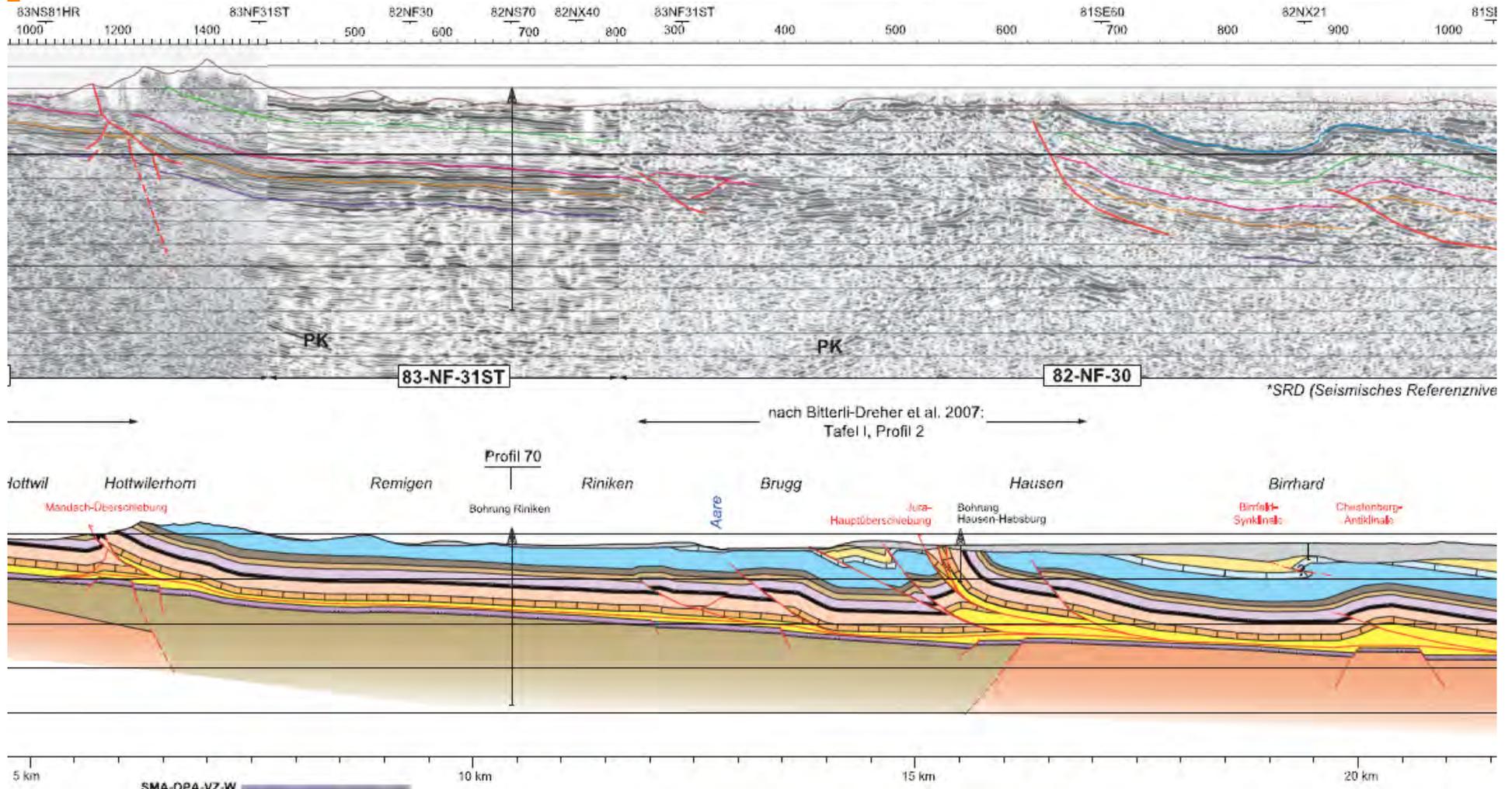
# Tafeljura s.str. – östliches Molassebecken



3D-Gebiet: Birkhäuser et al. 2001



# Vorfaltenzone – Faltenjura – Jura-Südfuss



# Erosions- und Hebungsraten

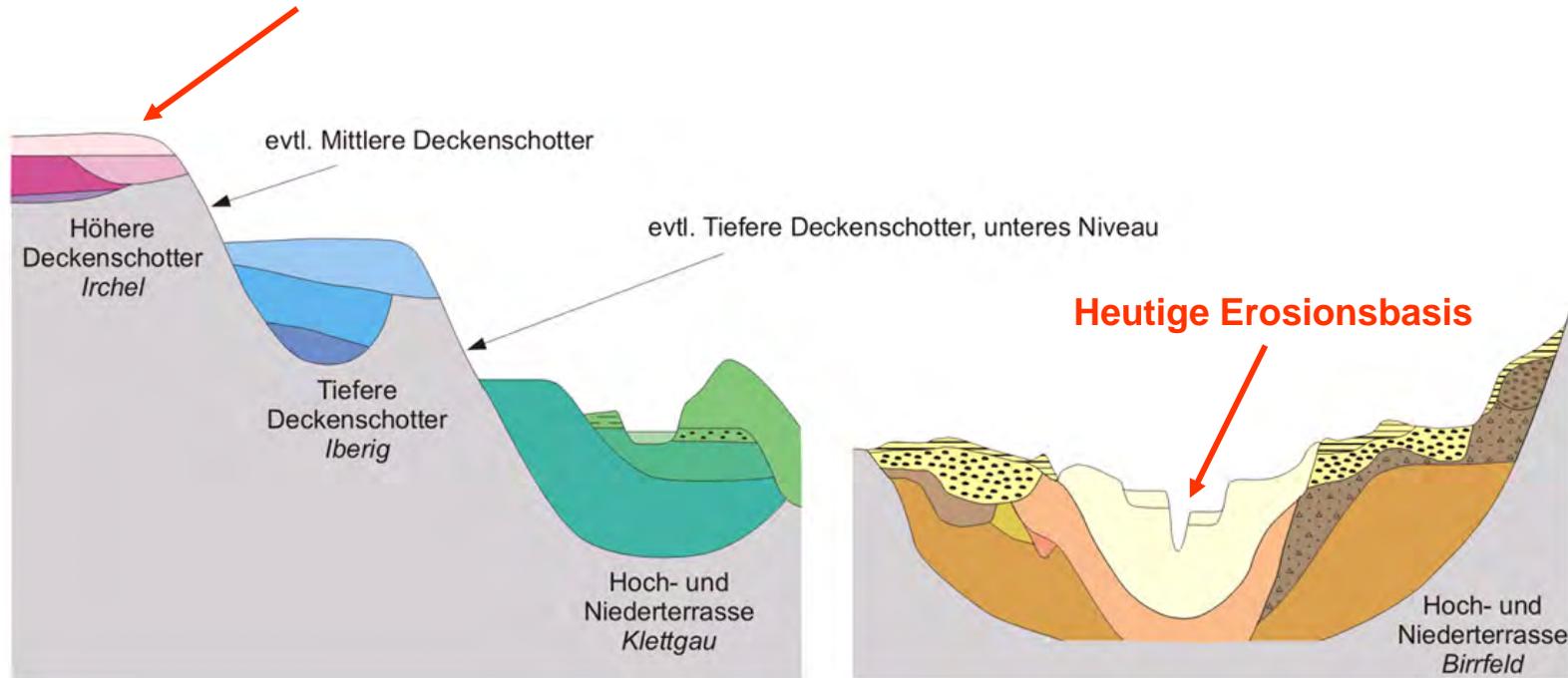
---

## Methoden (unterschiedliche Betrachtungszeiträume):

- Präzisionsnivellement ( $10^2$  a)
  - Geomorphologische Studien (lineare Erosion;  $10^4 - 10^6$  a)
  - Beckenmodellierungen ( $10^6 - 10^7$  a)
- Flächenhafte Abtragung und lineare Erosion Nordschweiz:  $< 0.1 - 0.2$  mm/a
- Flächenhafte Erosion Alpen:  $0.5 - 1.5$  mm/a

# Geomorphologie Nordschweiz → Lineare Erosionsraten

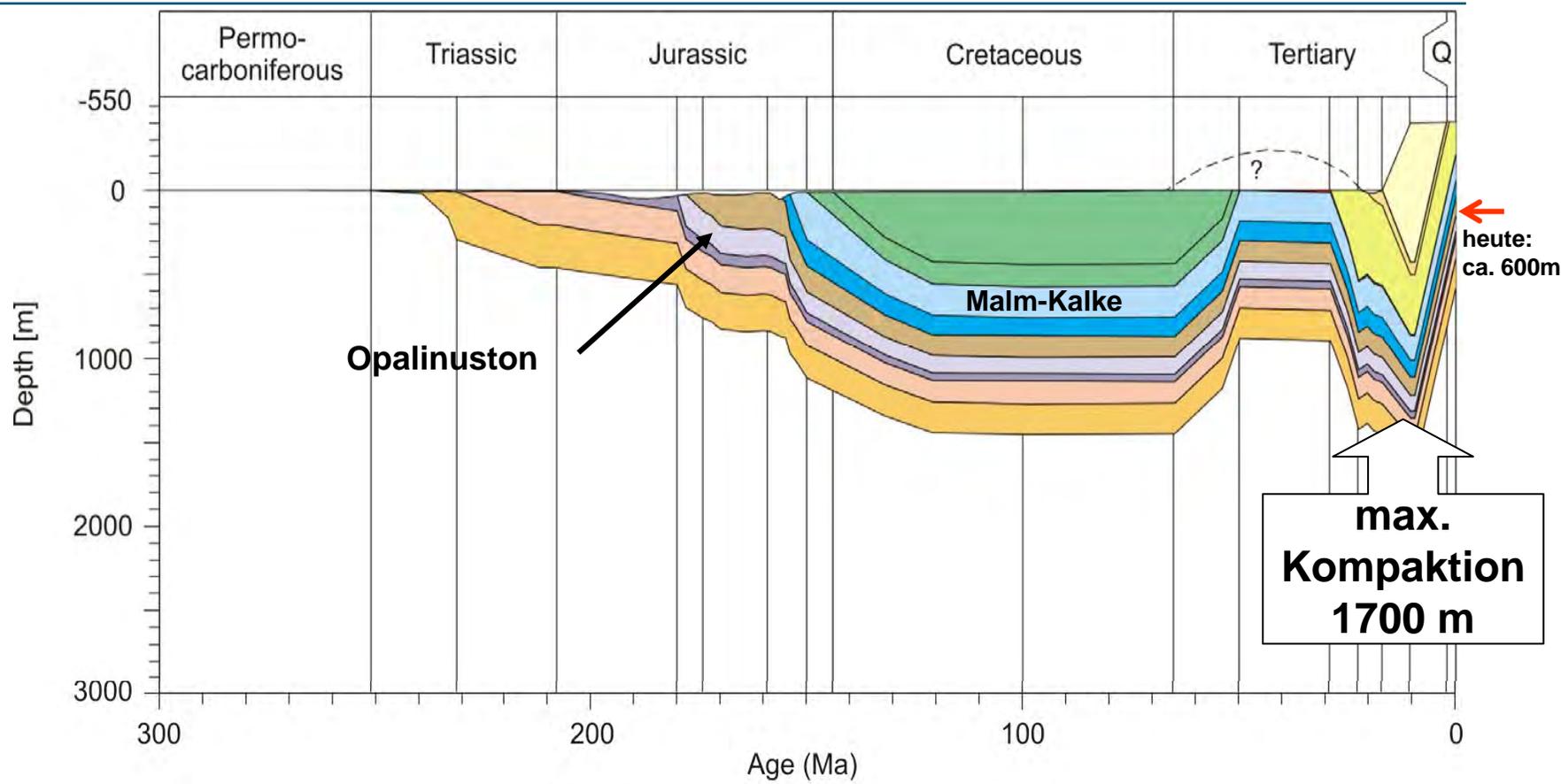
Erosionsbasis vor ~ 1.8 Ma



aus Müller et al. 2002, nach Graf & Müller 1999

→ Rate der ‚linearen‘ Erosion  $\leq 0.1 - 0.2$  mm/a

# Beckenmodellierung Bohrung Benken



- Q = Quaternary
  - OSM (Upper Freshwater Molasse)
  - OMM (Upper Marine Molasse)
  - USM (Lower Freshwater Molasse)
  - Eocene
  - Cretaceous and eroded Malm
  - Kimmeridgian
  - Oxfordian
  - Late and middle Dogger
  - Opalinus Clay
  - Liassic
  - Keuper
  - Muschelkalk incl. Buntsandstein
  - Paleo-sea level
- Nagra (2002)**

# GPS-Messungen: Rezente horizontale Deformation

Bewegungen relativ zu ‚stable Europe‘



Darstellung aus Nagra (2008), Bewegungen aus Hollenstein et al. (2008)

→ Rotation von Italien gegen den Uhrzeigersinn

→ Verkürzung in Südostalpen und Dinariden

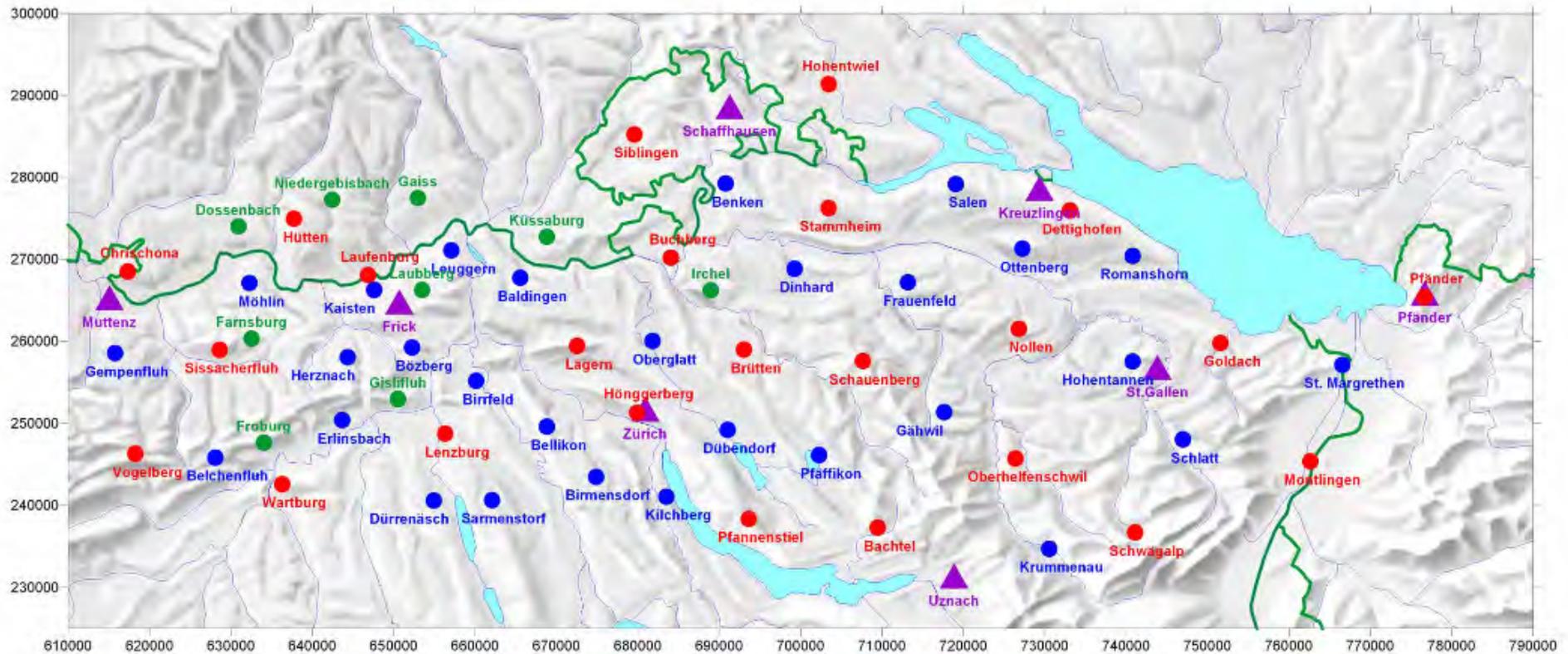
→ Rezente Verkürzung über Schweizer Alpenbogen:  
< 1-2 mm/a

# GPS-Netz Nordschweiz (Kampagnen- und Permanentstationen)

→ Erste Messungen 1988, ca. alle 4 Jahre gemessen

## Neotektonik Nordschweiz

swisstopo

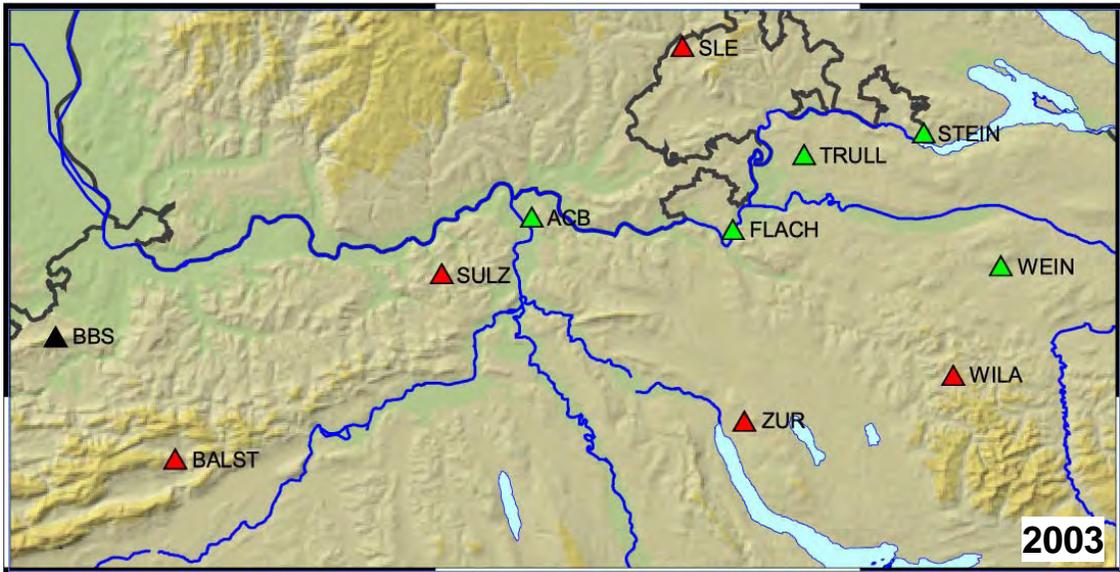
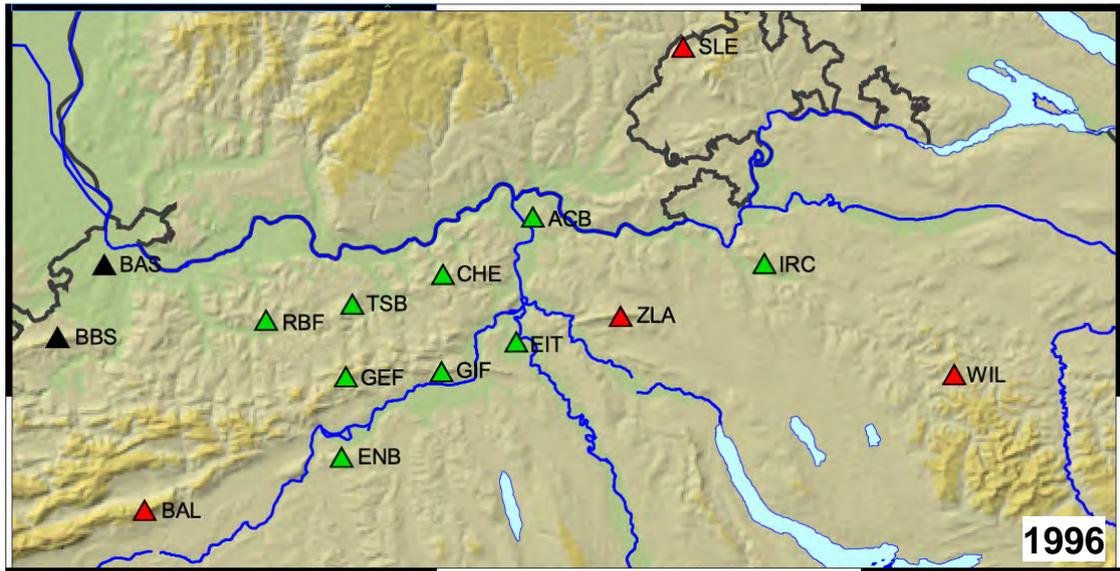


- ▲ AGNES-Stationen
- LV95 Hauptpunkte
- LV95 Verdichtungspunkte
- Neotektonik-Punkte



Wiget et al. (2007)

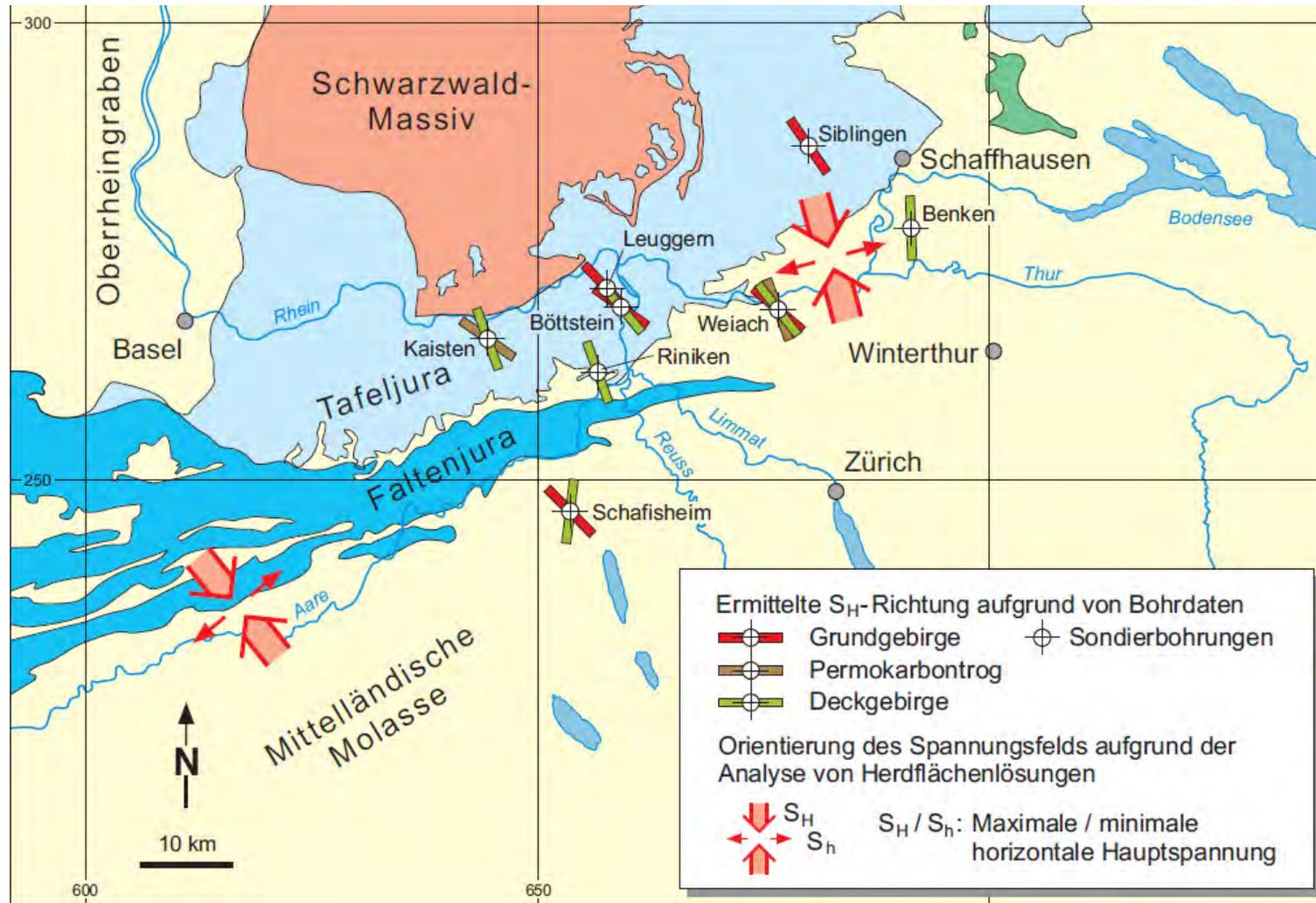
# Seismisches Messnetz Nordschweiz



Deichmann & Rinderknecht (2005)

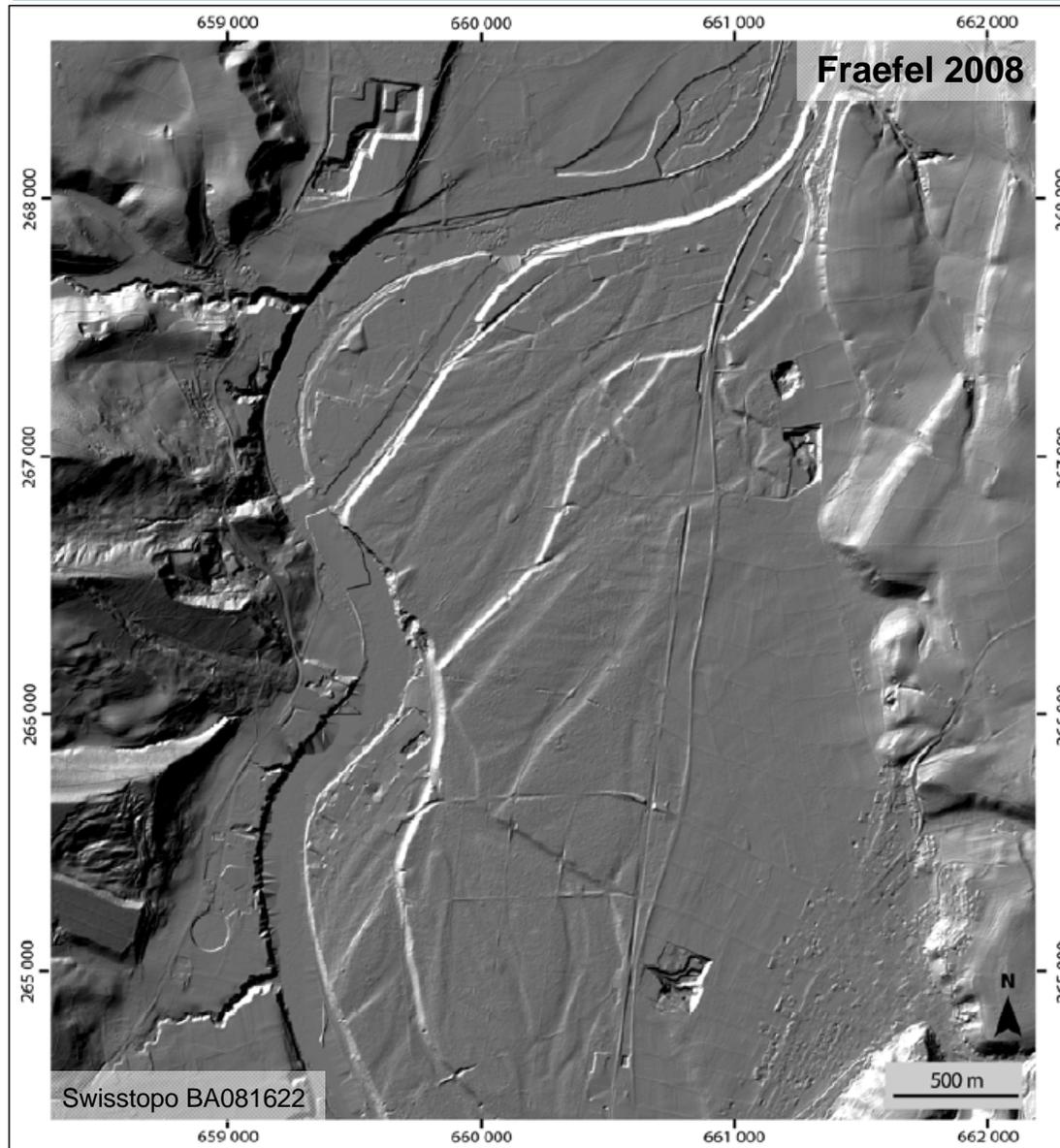
# Spannungen

→ Entkopplung zwischen Sockel- und Deckgebirge



Müller et al. (2002)

# Geomorphologische Marker auf Höhenmodellen



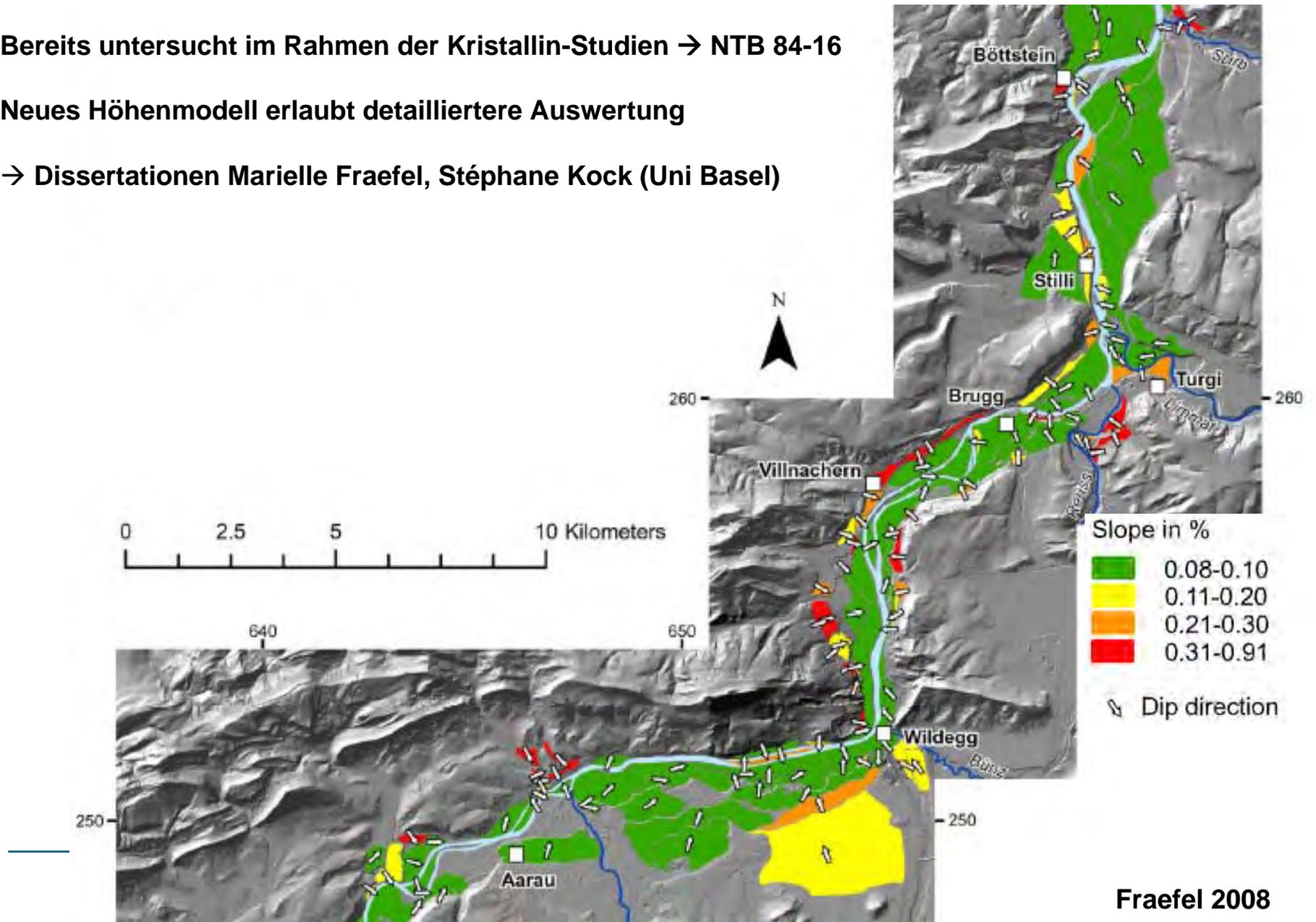
Hochauflösendes Höhenmodell  
(swisstopo DTM-AV) als Basis  
für neotektonische Auswertungen

# Schotterterrassen: Untersuchung möglicher Verkippungen/Verfaltungen

Bereits untersucht im Rahmen der Kristallin-Studien → NTB 84-16

Neues Höhenmodell erlaubt detailliertere Auswertung

→ Dissertationen Marielle Fraefel, Stéphane Kock (Uni Basel)



Fraefel 2008

## Schotterterrassen: Identifizierung von Lineamenten

---

Laufende Nagra Arbeiten:

- Auswertung Höhenmodell DTM-AV in Hinblick auf neotektonisch aktive Lineamente
- Bei verdächtigen Lineamenten: Vergleich mit allen zu Verfügung stehenden Daten (Seismik, Bohrungen,...) und Feldbegehungen

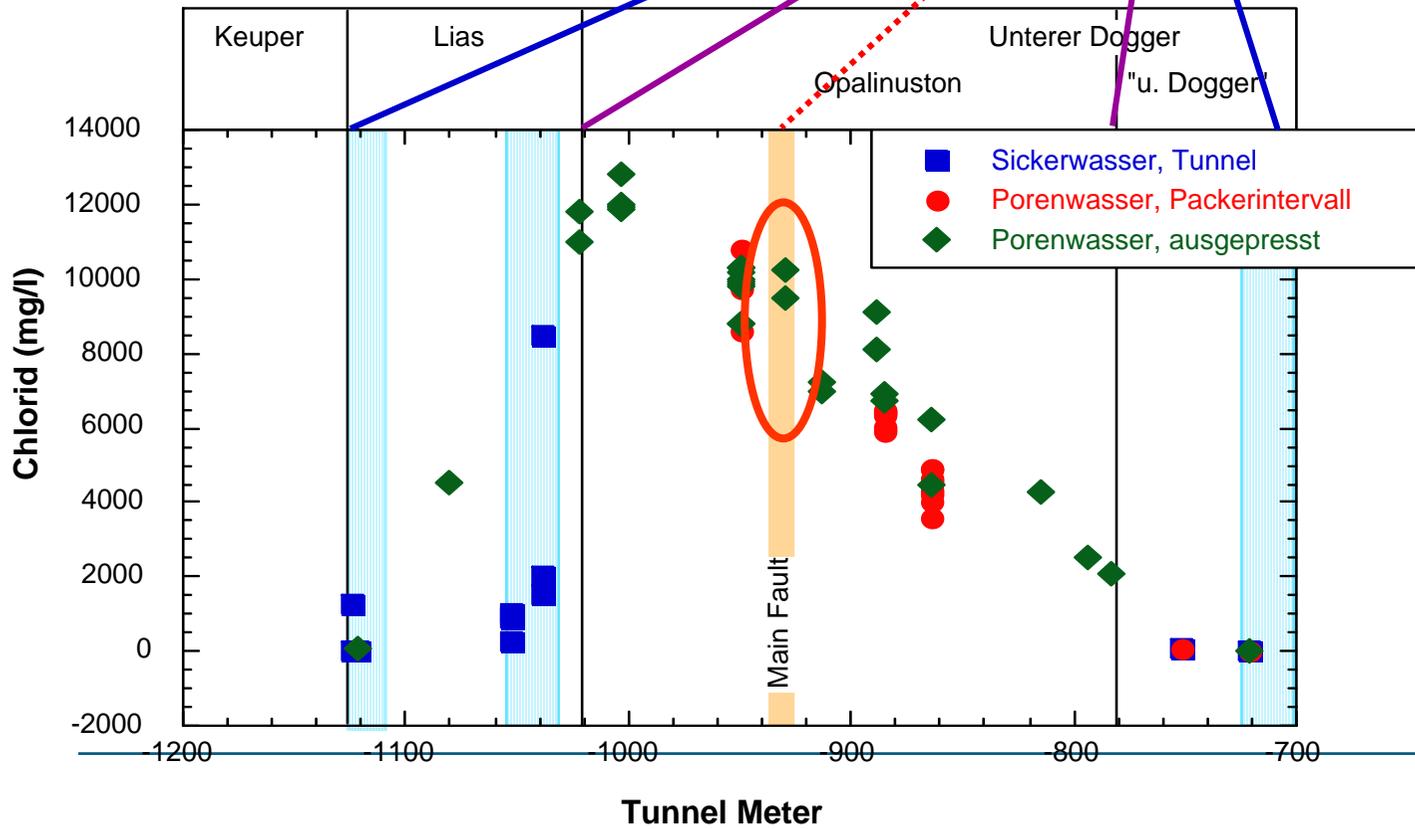
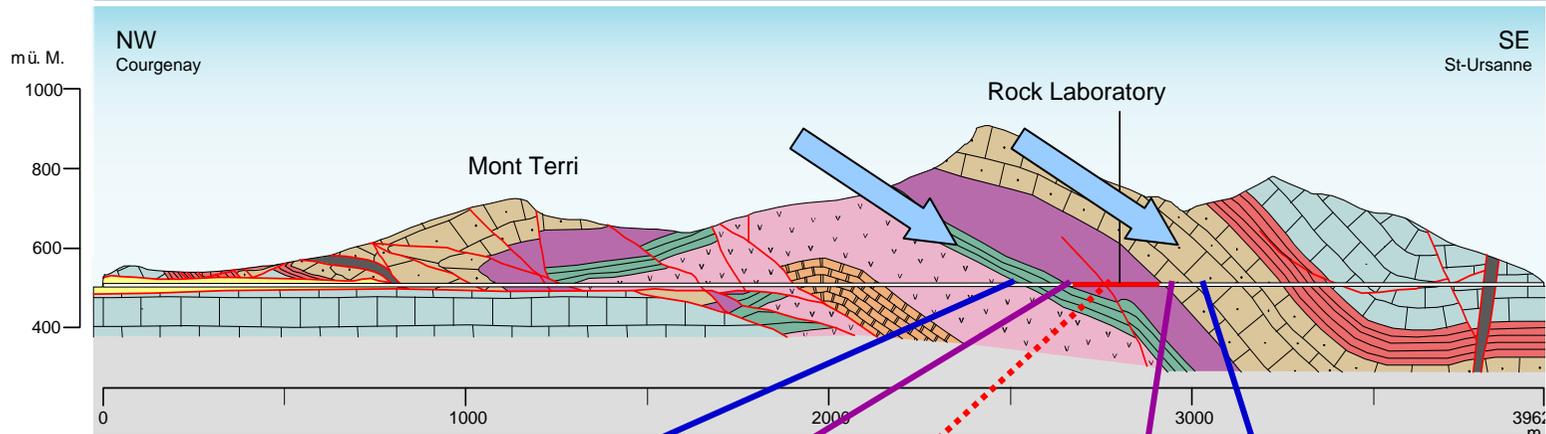
## Auswirkung von differentiellen Bewegungen an Störungen

Grosses Selbstabdichtungspotential von tonreichen Gesteinen

Evidenzen Opalinuston:

- Tunnelaufnahmen
- Hydrotests in Bohrungen
- Natürliche Tracer (Einzelproben oder Tracerprofile)
- Verschiedene Untersuchungen im Felslabor Mont Terri

# Natürliche Tracerprofile am Mont Terri



# Zusammenfassung

---

- Neotektonische Auswirkungen auf ein geologisches Tiefenlager:
  - 1.) Erosion → Dekompaktion des Wirtgestein & Freilegung des Lagers
  - 2.) Möglichkeit differentieller Bewegungen an Störungen im Lagerbereich
  - 3.) Seismische Erschütterung relevant für Oberflächenanlagen und nicht-verfüllte Untertagebauten
- Rezente Verkürzung über Schweizer Alpenbogen < 1-2 mm/a
- Hebung der Alpen 0.5 – 1.5 mm/a → Ein Ausschlussgrund für Grossraum Alpen für ein HAA-Lager
- Hebungs-/Erosionsraten in der Nordschweiz < 0.1 – 0.2 mm/a
- Entkopplung des Spannungsfeldes zwischen Grund- und Deckgebirge
- Detaillierte Erfassung des Störungsmusters durch Seismik und Bohrungen → grösseren Störungen kann ausgewichen werden
- Hohes Selbstabdichtungspotential von Opalinuston (und anderen tonreichen Gesteinen)

## Ausblick: Laufende und geplante Arbeiten (in Diskussion)

- Ergänzung Erdbeben-Messnetz und GPS-Permanentnetz Nordschweiz
- Integration von neuen Nivellement-Messdaten
- Test von InSAR für Bestimmung Höhenänderungen
- Auswertung DTM-AV und weitere Fernerkundungsdaten
- Detaillierte Feldaufnahmen von Störungen (u.a. Paläostressanalysen)
- Datierungen von Schotterterrassen
- Standortspezifische Detailuntersuchungen (Seismik, Bohrungen)
- Laufende Prüfung von weiteren Untersuchungsmethoden



**besten dank  
für ihre aufmerksamkei  
nagra.**