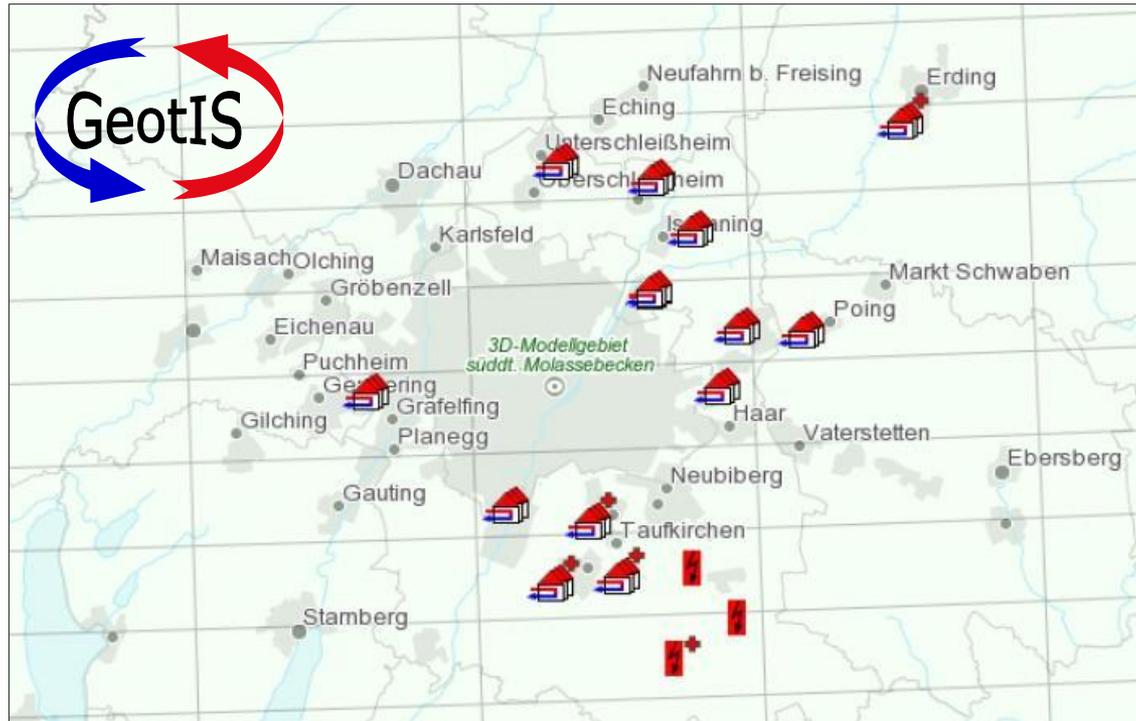


Klimaziele – Energiewende – Geothermie aus Perspektive der Wissenschaft



Inga S. Moeck
Univ.-Prof. Prof. Dr.
Sektion Geothermik und Informationssysteme
Leibniz Institut für Angewandte Geophysik



© LIAG für alle Folien

Informationsveranstaltung Pliening
18. Juni 2018

Warum Forschung über Geothermie?

Unser Anlass zum Forschen:

Energiewende in Deutschland

COP21 (Paris Agreement)

*Verpflichtendes
Klimaschutzabkommen*

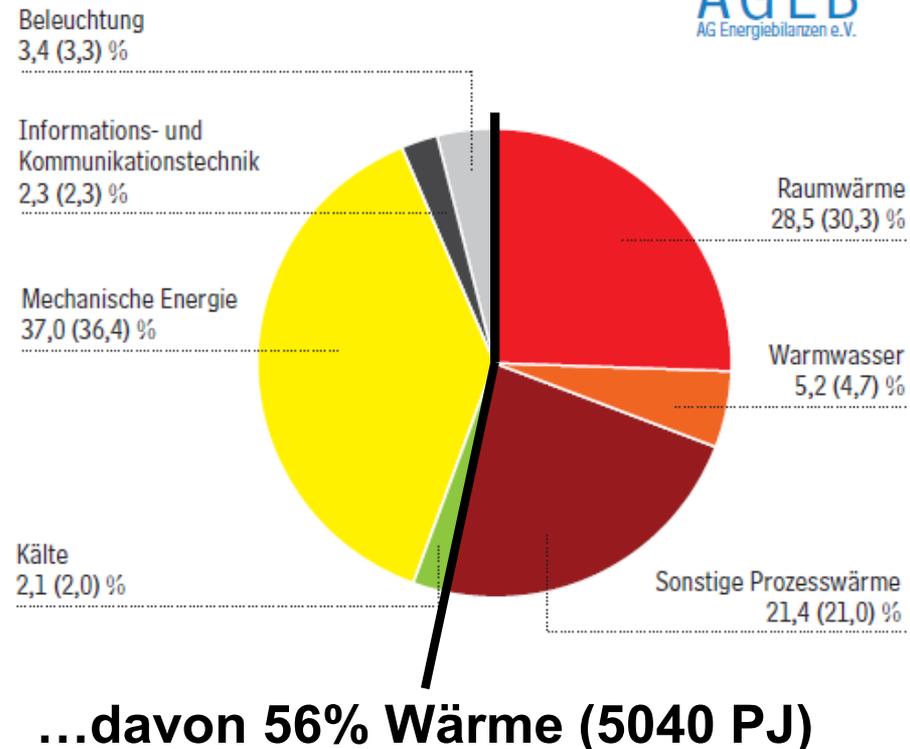
- Von **193** Ländern, u.a. von China, U.S.A. und Deutschland unterzeichnet
- Inkrafttreten am **4.11.2016**

Hauptpunkte

- Begrenzung der **Erderwärmung** auf $<2^{\circ}\text{C}$, möglichst $1,5^{\circ}\text{C}$
- **Treibhausgasemission** auf Null ab 2045
- **Verbrennungs-Stop** fossiler Energieträger bis 2040

Energiebedarf Deutschland

9000 PJ insgesamt



Energiewende in Deutschland

COP21 (Paris Agreement)

*Verpflichtendes
Klimaschutzabkommen*

- Von **193** Ländern, u.a. von U.S.A. und Deutschland unterzeichnet
- Inkrafttreten am 4. November 2016

**5040 PJ
nicht substituierbar durch
Bio, Wind, Solar, Storage**

Bis 2023 AKW-Abschaltung

**Wärmewende nur mit
Geothermie möglich**

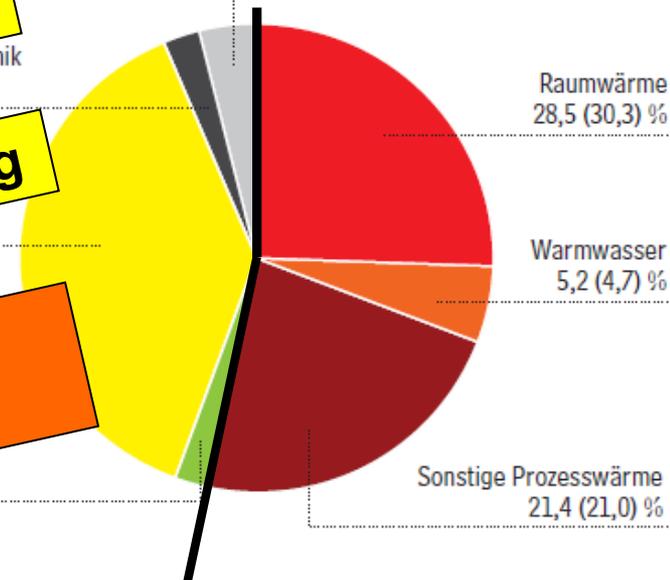
Hauptpunkte

- Begrenzung der **Erderwärmung** auf $<2^{\circ}\text{C}$, möglichst $1,5^{\circ}\text{C}$
- **Treibhausgasemissionen** ab 2045
- **Verbrennungs-Stop** fossiler Energieträger bis 2040

Energiebedarf Deutschland

9000 PJ insgesamt

AGEB
AG Energiebilanzen e.V.



...davon 56% Wärme (5040 PJ)

Ergebnisse aus der Wissenschaft

Regionale Geologie des Molassebeckens

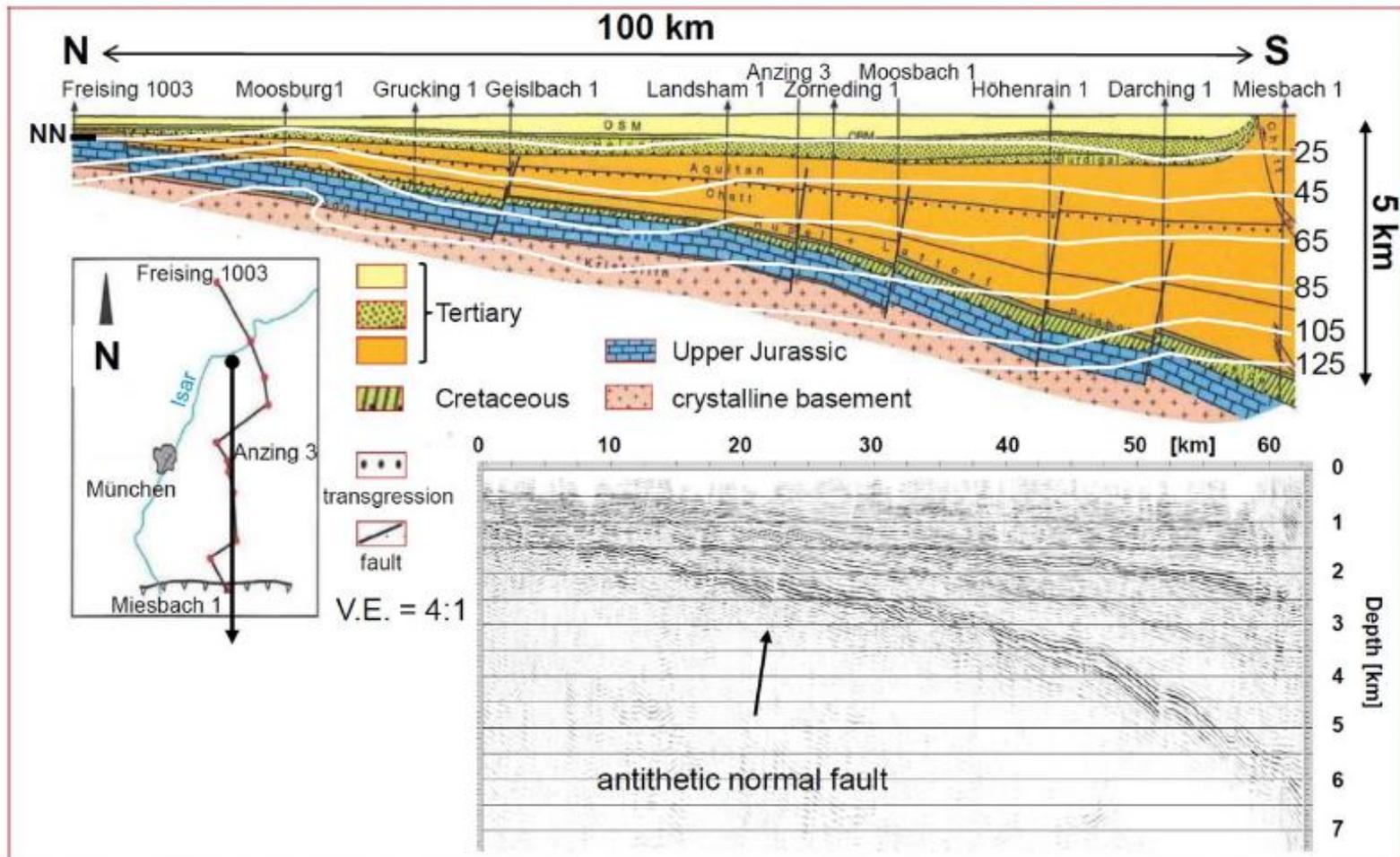


Fig. 3. Downbending of the Upper Jurassic in the South German Molasse Basin to SSE (modified after Lemcke, 1988; Lüschen et al., 2011). White lines: temperature isolines for 25–125 °C (Agemar et al., 2014 www.geotis.de).

Geothermisches Potential in Oberbayern

Geologische Struktur: Molassebecken

Geologische Formation: Malm – 150 Mio. Jahre alte Kalke und Dolomite des Oberen Jura (wie Fränkische Alb, nur tief)

Studie von Jobmann und Schulz (1989):

- Berechnung eines Rasters von Bohrungsdubletten im Molassebecken durch Nutzung des Malm
- nutzbare Temperatur $> 30^{\circ}$
- Genutzte Temperaturspanne = halbe Vorlauf-Temperatur
- Geothermie Betrieb 200 Jahre lang
- wirtschaftliche Fließrate bei > 60 l/s

Geothermisches Potential Molassebecken

Nach Studie von Jobmann und Schulz (1989):

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| Ressourcen: | $53.6 * 10^9$ GJ |
| Reserven: | $31.3 * 10^9$ GJ |
| Thermische Gesamtleistung: | 27.540 MW _{th} |

➔ 60% der Ressourcen wirtschaftlich gewinnbar

$31.3 * 10^9$ GJ Wärme entspricht 743.000.000 t Heizöl

Bei 3.17 kg CO₂/L Heizöl: 2.360.000 t CO₂ Ausstoß

2,36 Mio. t CO₂ – Emissionen weniger durch Geothermie

Bayerisches Molassebecken

Installierte geothermische Leistung

Status quo 06/2018

- **22** laufende Projekte in Bayern (2 Strom, 17 Wärme, 3 Strom-Wärme-Kopplung)
- **3** Projekte in der Bohr-/Bauphase
- **3** Projekte nicht fündig
- **270,4** MW Wärme aus 19 Projekten
- **32,2** MW Strom aus 5 Projekten

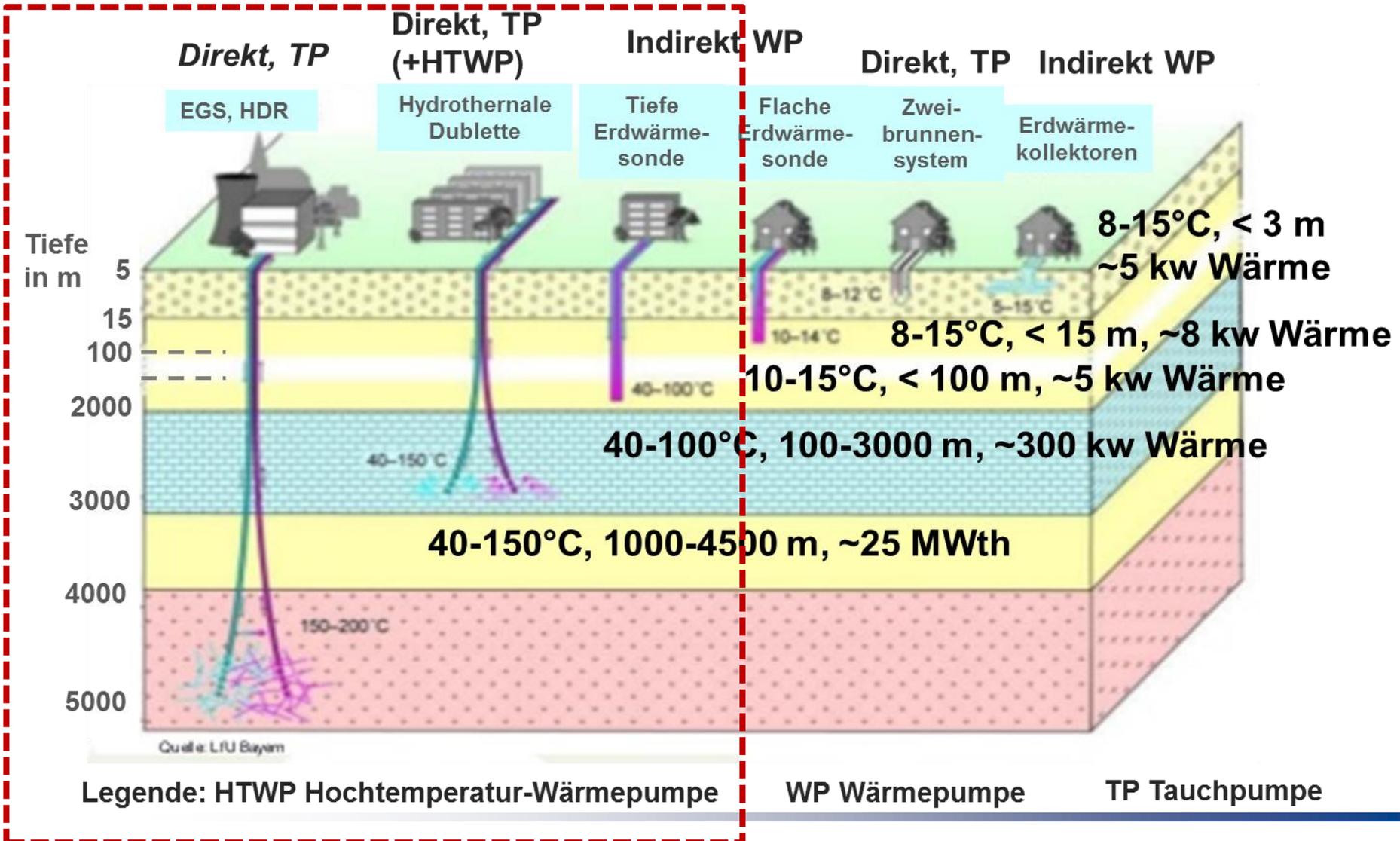
Durch geothermische Erschließung einer 2.5-5 km tiefen geologischen Formation (Ober-Jura, *Malm* Formation).



Was bedeutet Geothermie Nutzen?

Nutzungsmöglichkeiten der Geothermie: indirekt und direkt

... oder auch: mit und ohne Wärmepumpe



Tiefe Geothermie

Informationsveranstaltung Pliening
18. Juni 2018

Geothermie hat viele positive Seiten, aber...

**ist Geothermie gefährlich?
Oder gibt es ein Risiko?**

Risiken der Geothermie

Fündigkeitsrisiko

Finanzielles Risiko

Verschleißtechnisches Risiko

Umweltrisiken

Gefahr & Risiko – wissenschaftlich ein Unterschied

Wissenschaftliche Definition Risiko

- Kombination von Ausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens
- Entscheidend ist Gewichtung möglichen Schadensausmaßes mit Wahrscheinlichkeit einer Exposition und Schädigung

Wissenschaftliche Definition Gefahr

- Im Auslöser des Risikos (Stoff, Technologie, Verhalten) enthaltendes Potential an möglicher Gefährdung von Leben, Gesundheit, Umwelt

Geothermie und spürbare Erdbeben

Geringes Risiko

da niedrige Eintrittswahrscheinlichkeit

Geringe Gefahr

da keine Schadensbeben (keine Gefahr für Leib und Leben)

**Seismische Überwachung
erfolgt bereits**

**Forschungsbedarf mit
Ausbau der Geothermie**

Geothermie Poing und spürbare Erdbeben

Studie des LIAG

**Die Geothermie-Anlage Poing
ist ungefährlich und war zu jeder Zeit
sicher (keine Gefahr für Leib und Leben).**

Leichte Gebäudeschäden?

Bleiben Erdbeben schwach?

Geothermie Poing und spürbare Erdbeben

Studie des LIAG

**Die Geothermie-Anlage Poing
ist ungefährlich und war zu jeder Zeit
sicher (keine Gefahr für Leib und Leben).**

Gebäudeschäden?

Bleiben Erdbeben schwach?

Geothermie Poing und spürbare Erdbeben

Studie des LIAG

Die Geothermie-Anlage Poing ist ungefährlich und war zu jeder Zeit sicher (keine Gefahr für Leib und Leben).

Gebäudeschutt
Bleiben

**Forschungsbedarf
Wie entwickeln sich
spürbare Erdbeben?**

Sind Erdbeben typisch für Geothermie?

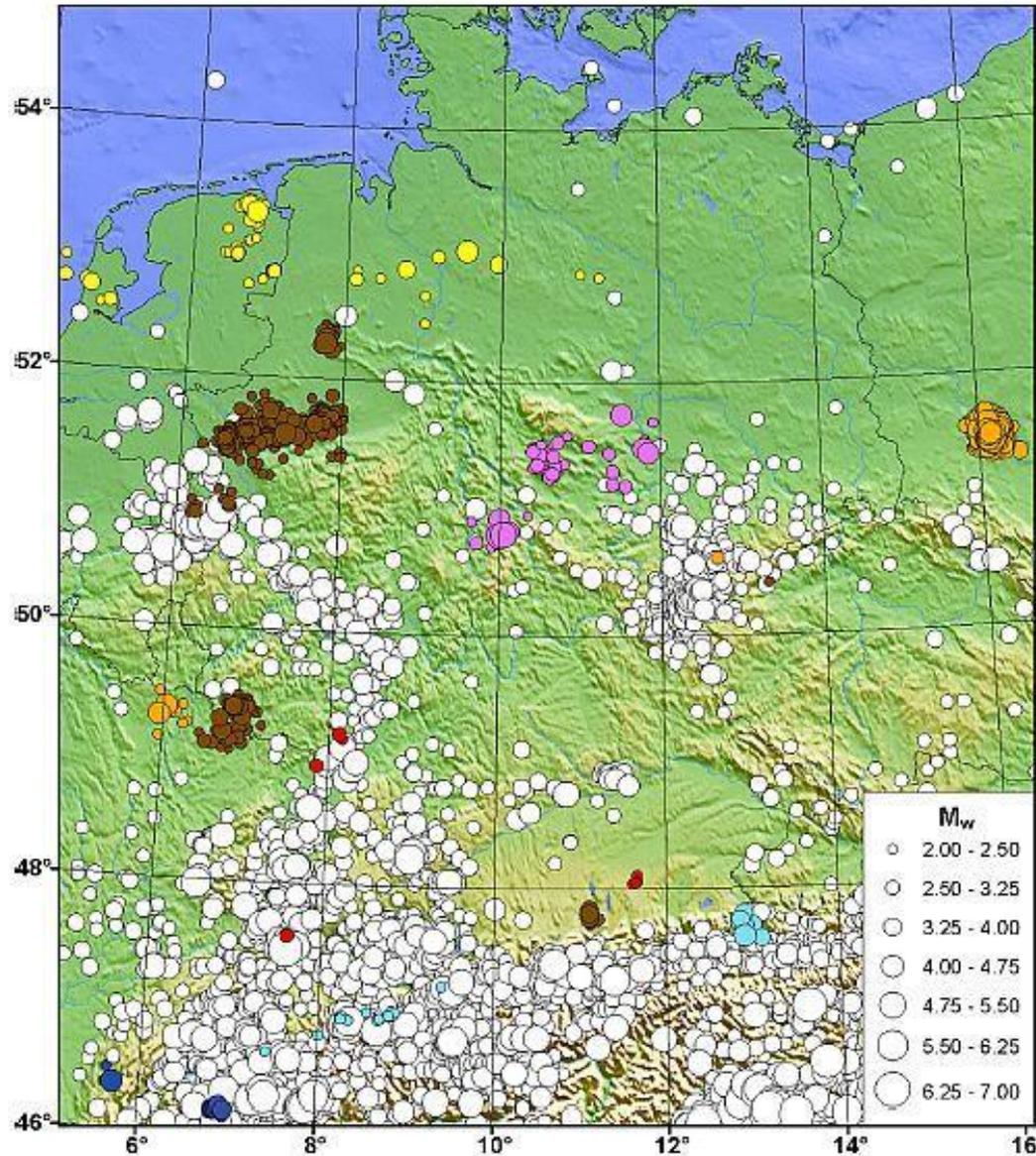
Erdbeben sind oft Begleiterscheinung für Bergbau.

Tiefen-Geothermie ist Fluid-Bergbau

Erdbeben bei Tiefen-Geothermie ist untypisch

Erdbeben und Bergbau

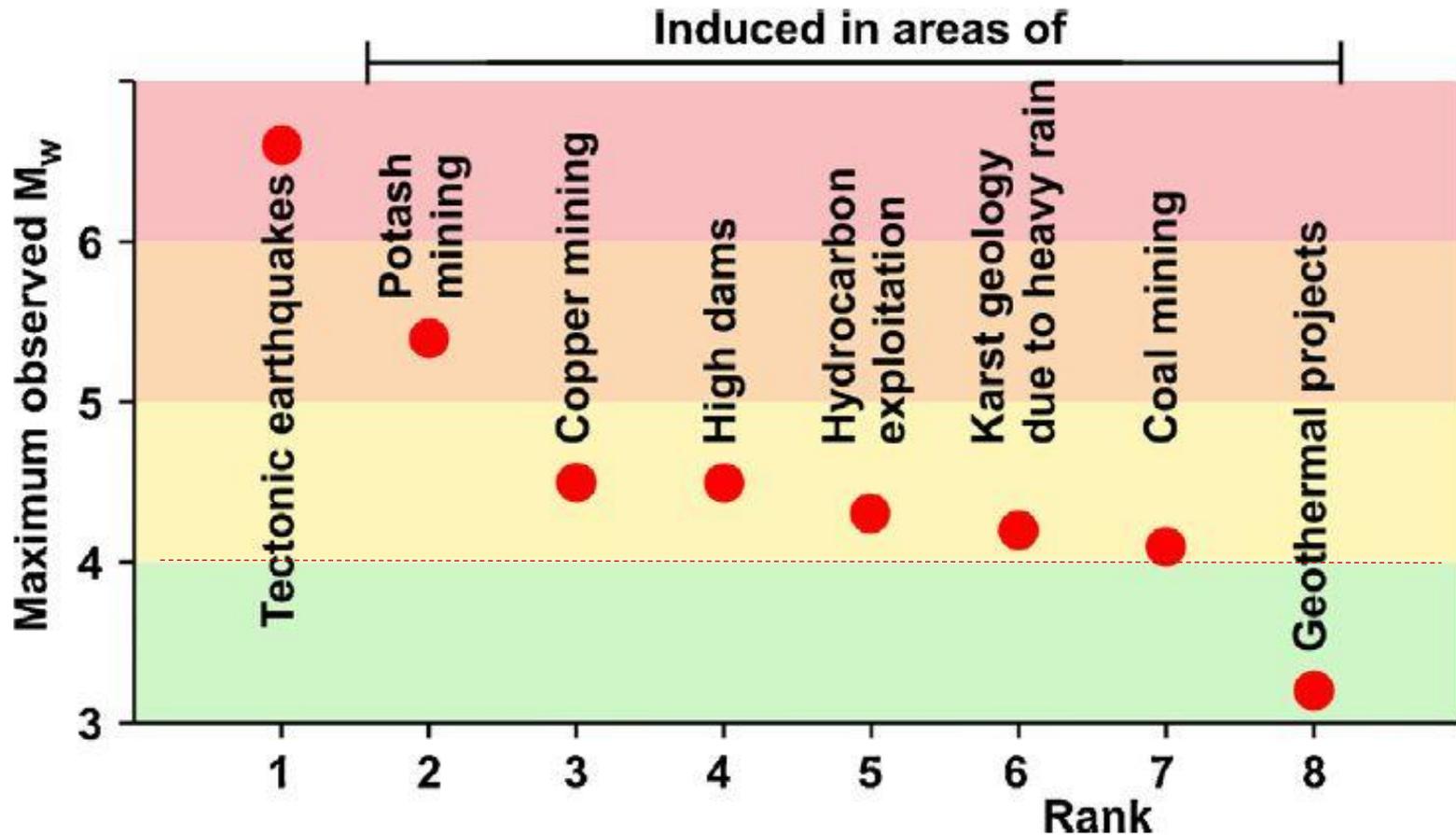
aus Grünthal, G. (2014), Geothermics 52, 22-35



- Geothermie
- Öl/Gas
- Kohlebergbau
- Salz & Kali Bergbau
- Erzbergbau
- Stauseen
- Starkregen in Karst
- natürliche Erdbeben

Erdbeben im Vergleich

aus Grünthal, G. (2014), Geothermics 52, 22-35



Warum Forschung in Poing?

Weil Erdbeben untypisch sind für Geothermie, müssen wir uns die Standorte raussuchen, an denen Erdbeben stattgefunden haben.

Die Frage ist: Warum Erdbeben in Poing?

Geothermie Poing und spürbare Erdbeben

Studie des LIAG

Es gibt Indizien, die sowohl für als auch gegen einen Zusammenhang zwischen Geothermie Betrieb und Erdbeben sprechen.

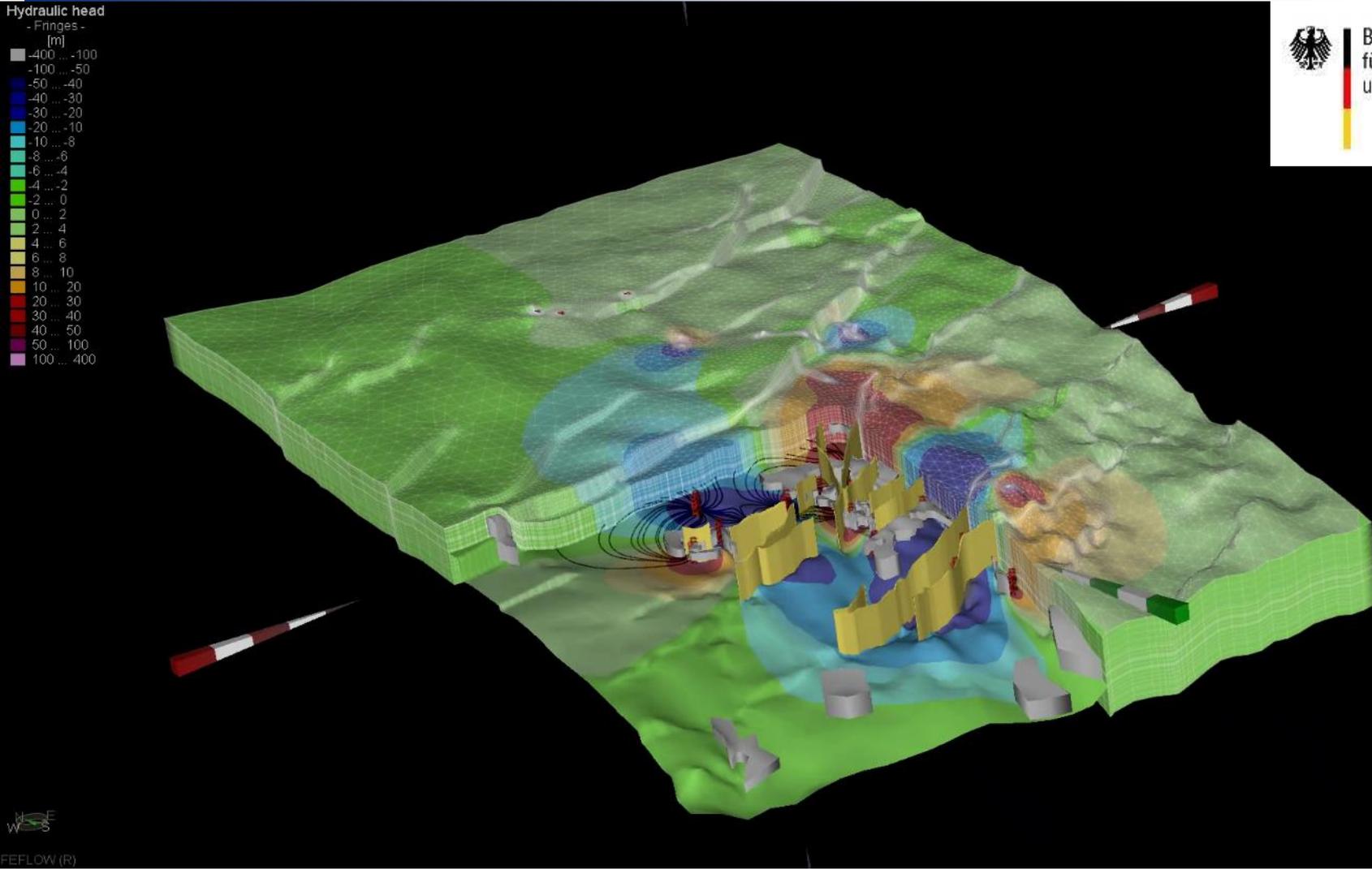
**Forschungsbedarf
Wie entwickeln sich
spürbare Erdbeben?**

Wie gut kennen wir den Untergrund schon?

Das LIAG hatte bereits viele geophysikalische Messdaten ausgewertet.

Den tiefen Untergrund der Region München kennen wir gut.

Der geologische Untergrund von München



Informationsveranstaltung Pliening
18. Juni 2018

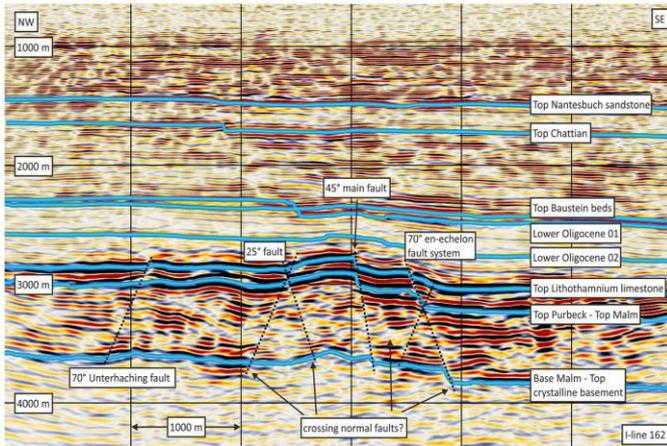
Mit welchen Methoden soll geforscht werden?

Mit Seismik und mit Seismologie

**Ausserdem mit Chemie, Geologie,
Modellberechnungen, Statistik und
digitalen Geländemodellen.**

Seismik: Erkundung – Seismologie: Erdbebenerfassung

Seismik (aktive Messung)

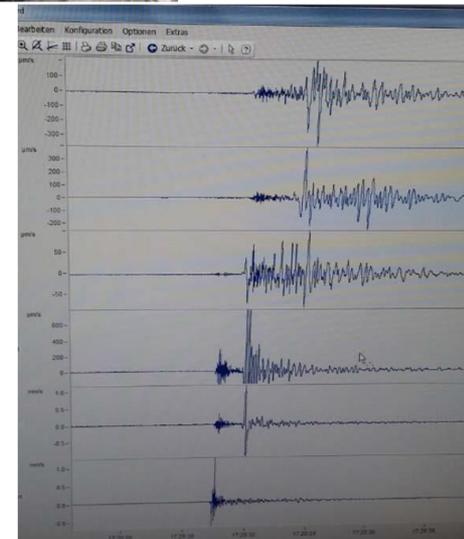


Quelle:
Budach et al. 2017

Seismologie (passive Messung)



Quelle:
Bayernwerk
Natur GmbH



Wann soll geforscht werden?

Ein Forschungsantrag wird gerade erstellt. Nach Frühjahr 2019 sollen die Forschungsarbeiten beginnen.

Eine Methode ist die flache Seismik mit geringer Eindringtiefe.

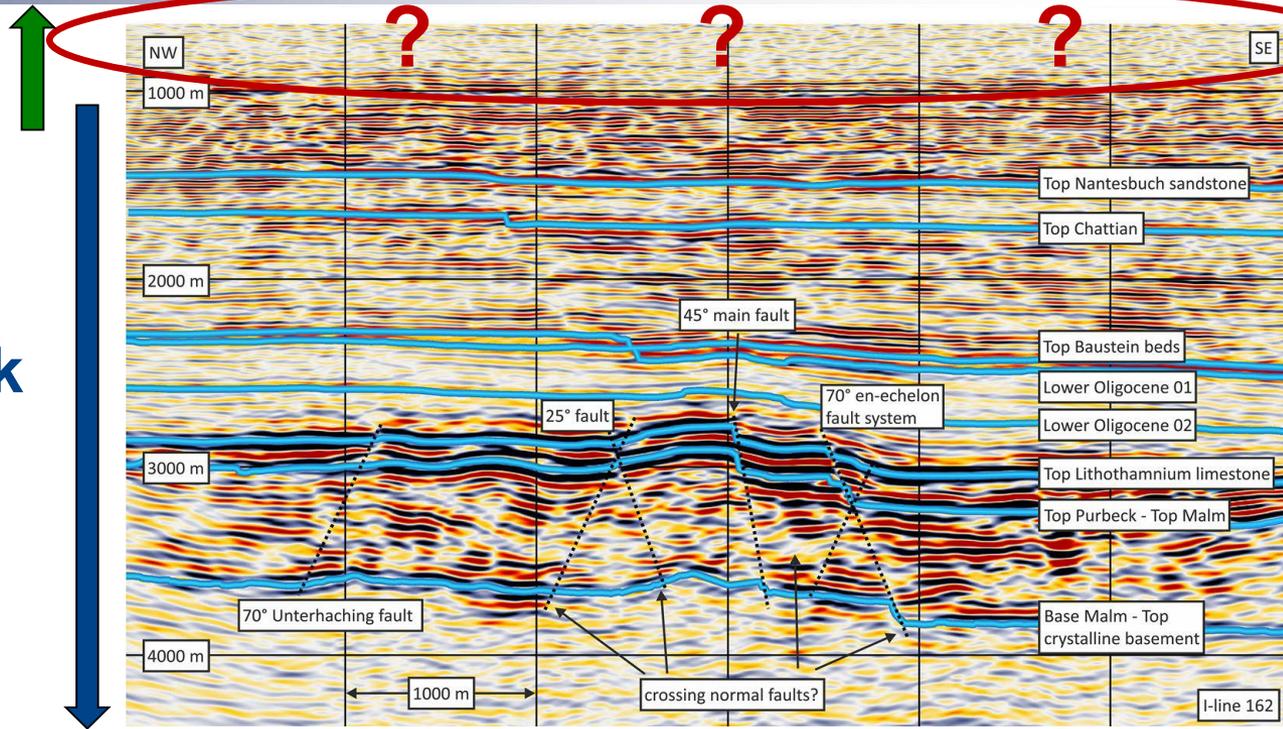
Was wir nicht wissen in Poing

Flache Seismik

Wenige Hundert
Meter tief
(m Maßstab)

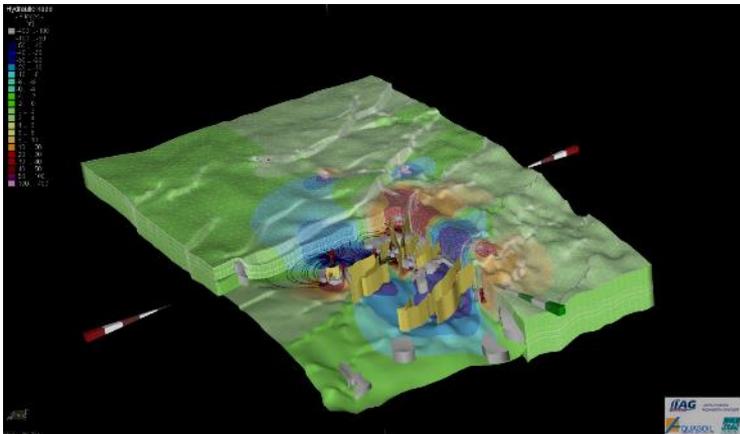
Tiefe Seismik

Einige Tausend
Meter tief
(km Maßstab)



Beispiel 3D Seismik Lage von Störungen

Aus Budach et al. 2017



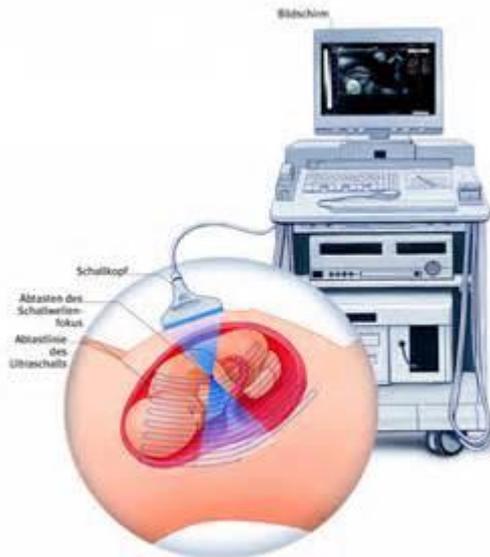
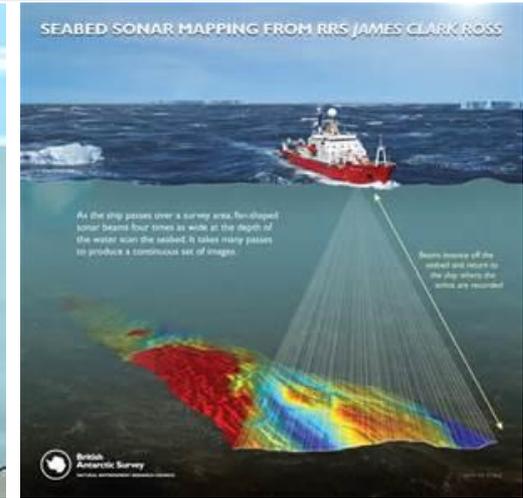
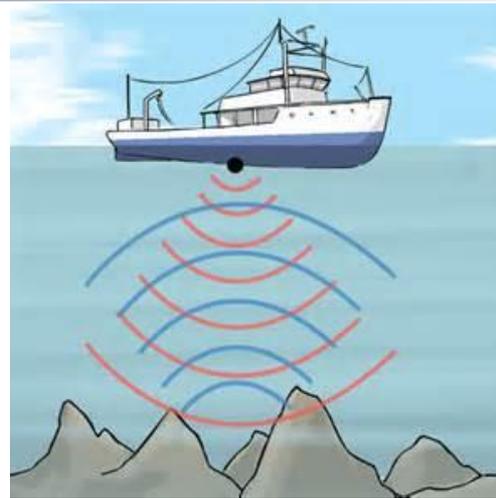
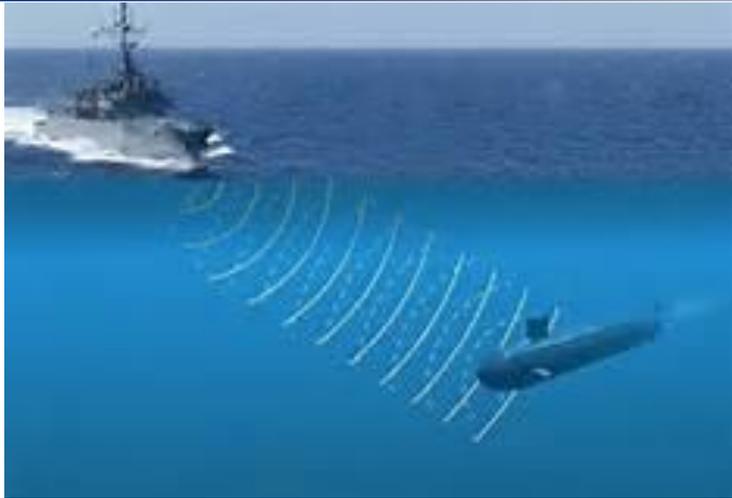
DIE PROBLEMESSUGEN DES LIAG IM RAUM PLIENING IM MÄRZ 2018

Methode und Ergebnisse

Messmethode SCHERWELLESEISMIK

Wissenschaftliche Leitung: Dr. Ulrich Polom
Sektion Seismik und Potentialverfahren am LIAG

Reflexionsverfahren mittels elastischer Wellen – Historie und Anwendungen

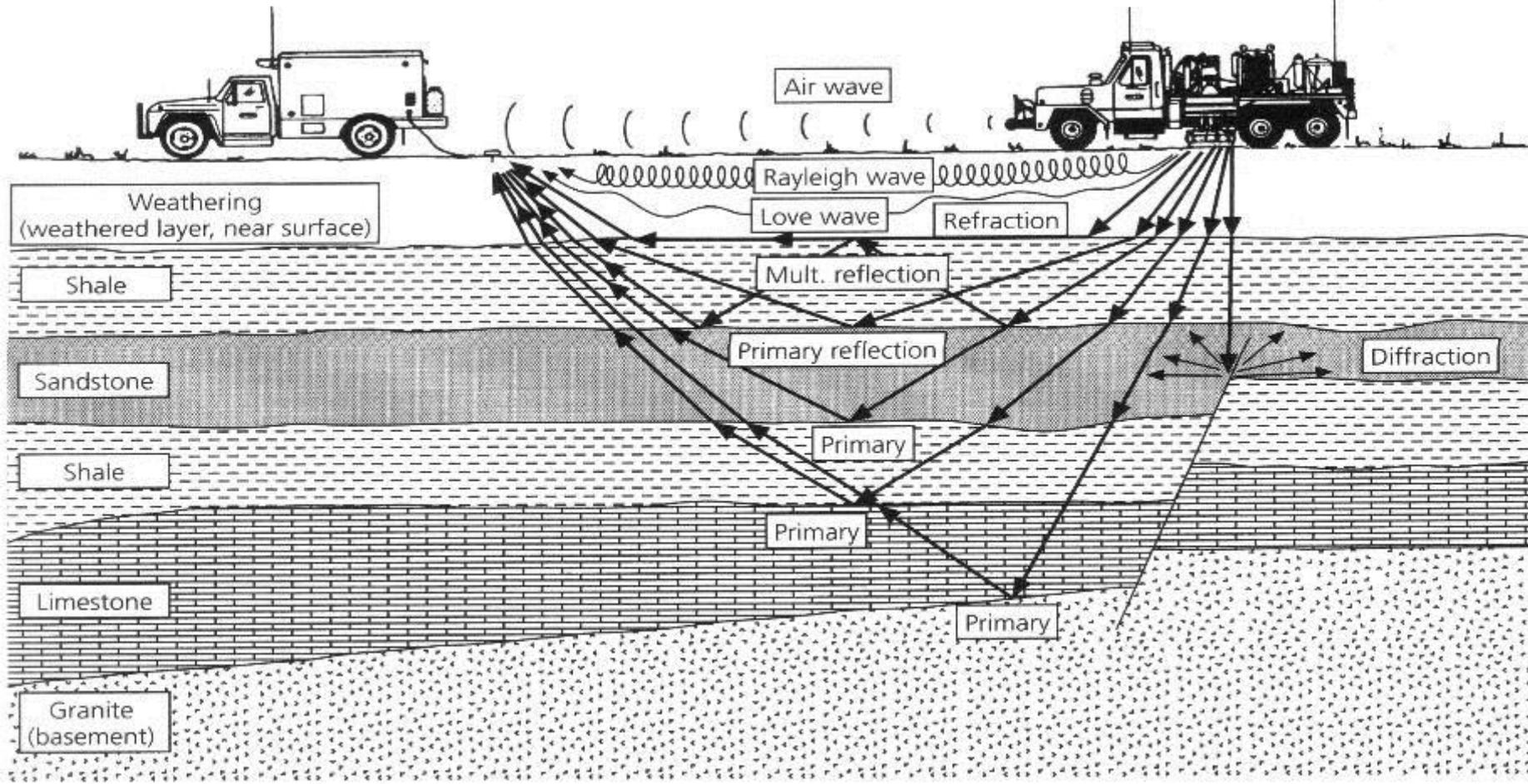


Reflexionsverfahren mittels elastischer Wellen – Prinzip der Landseismik

recording system

receivers

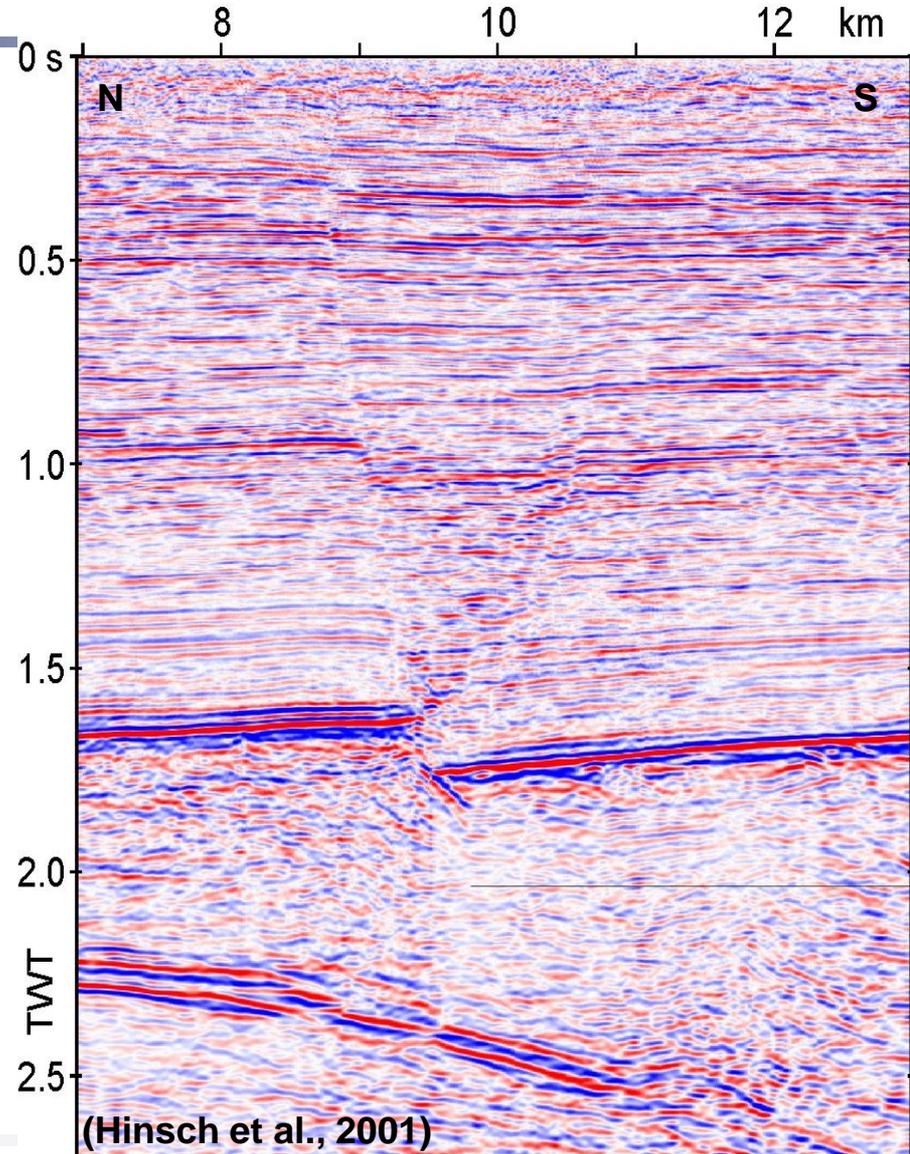
source



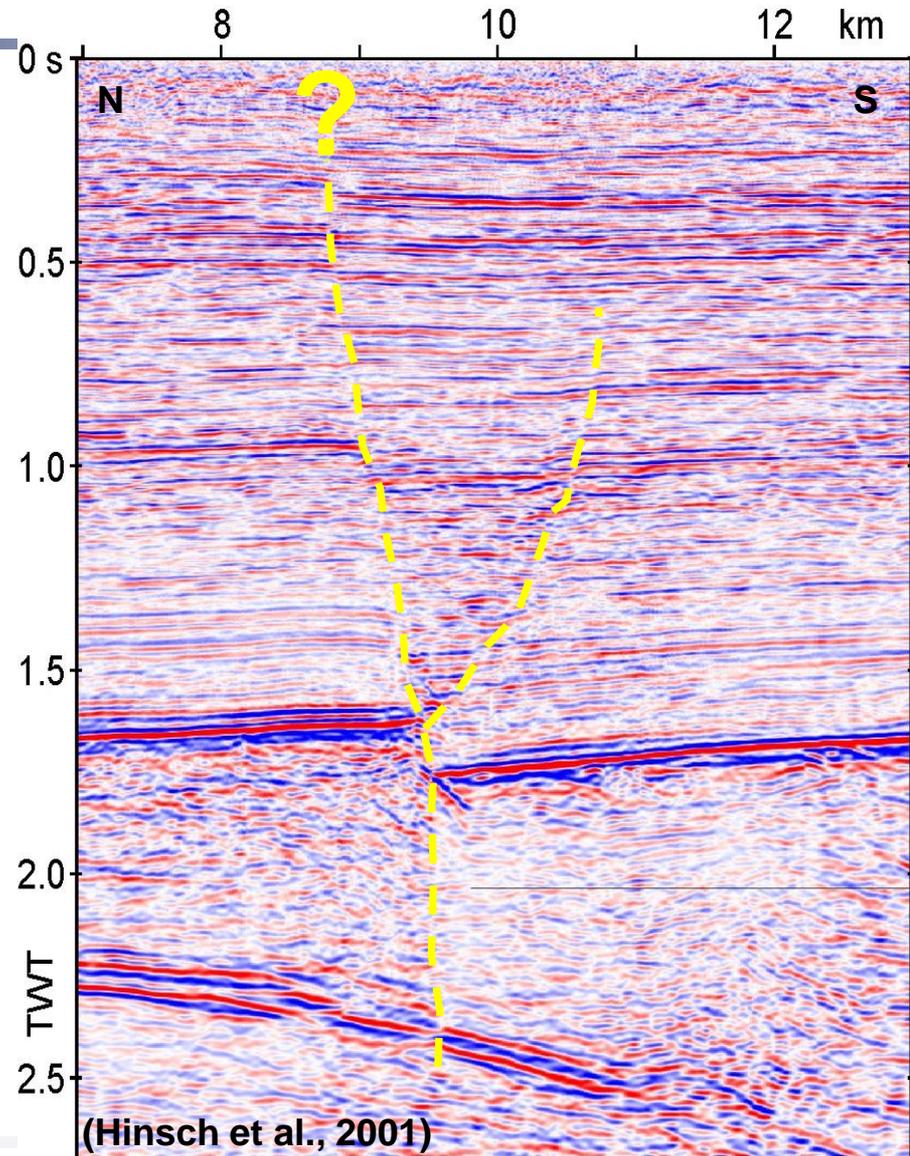
Reflexionsverfahren mittels elastischer Wellen – Geräte für Eindringtiefen >1000 m



Beispiel für seismische Abbildung von Störungsbahnen im Untergrund



Beispiel für seismische Abbildung von Störungsbahnen im Untergrund



Reflexionsverfahren mittels elastischer Wellen – Geräte für Eindringtiefen <200 m



Reflexionsverfahren mittels elastischer Wellen – Optimierung der Messbedingungen



Abbildung von Störungsbahnen im Untergrund

- Skaleneinordnung konventionelle Tiefenseismik <-> Oberflächennaher Scherwellen-Seismik

W

Line 5 – McCracken Road

E

| CCP 100 | | | |
|---------|------|------|-------|
| Time | Vrns | Vlat | Depth |
| 0 | 1200 | 1200 | 0 |
| 100 | 1200 | 1400 | 60 |
| 200 | 1400 | 1400 | 120 |
| 300 | 1400 | 1750 | 180 |
| 400 | 1600 | 1750 | 240 |
| 500 | 1800 | 1750 | 300 |
| 600 | 2000 | 1750 | 360 |
| 700 | 2200 | 1750 | 420 |
| 800 | 2300 | 1750 | 480 |
| 900 | 2300 | 1750 | 540 |

| CCP 240 | | | |
|---------|------|------|-------|
| Time | Vrns | Vlat | Depth |
| 0 | 1800 | 1800 | 0 |
| 100 | 1800 | 1490 | 60 |
| 200 | 1800 | 1490 | 120 |
| 300 | 1800 | 1735 | 180 |
| 400 | 1800 | 1735 | 240 |
| 500 | 1800 | 1735 | 300 |
| 600 | 1800 | 1735 | 360 |
| 700 | 1800 | 1735 | 420 |
| 800 | 1800 | 1735 | 480 |
| 900 | 1800 | 1735 | 540 |

| CCP 300 | | | |
|---------|------|------|-------|
| Time | Vrns | Vlat | Depth |
| 0 | 1200 | 1200 | 0 |
| 100 | 1200 | 1319 | 60 |
| 200 | 1200 | 1319 | 120 |
| 300 | 1200 | 1516 | 180 |
| 400 | 1200 | 1516 | 240 |
| 500 | 1200 | 1516 | 300 |
| 600 | 1200 | 1516 | 360 |
| 700 | 1200 | 1516 | 420 |
| 800 | 1200 | 1516 | 480 |
| 900 | 1200 | 1516 | 540 |

| CCP 440 | | | |
|---------|------|------|-------|
| Time | Vrns | Vlat | Depth |
| 0 | 1800 | 1800 | 0 |
| 100 | 1800 | 1500 | 60 |
| 200 | 1800 | 1500 | 120 |
| 300 | 1800 | 1701 | 180 |
| 400 | 1800 | 1701 | 240 |
| 500 | 1800 | 1701 | 300 |
| 600 | 1800 | 1701 | 360 |
| 700 | 1800 | 1701 | 420 |
| 800 | 1800 | 1701 | 480 |
| 900 | 1800 | 1701 | 540 |

| CCP 560 | | | |
|---------|------|------|-------|
| Time | Vrns | Vlat | Depth |
| 0 | 1200 | 1200 | 0 |
| 100 | 1200 | 1374 | 60 |
| 200 | 1200 | 1374 | 120 |
| 300 | 1200 | 1550 | 180 |
| 400 | 1200 | 1550 | 240 |
| 500 | 1200 | 1550 | 300 |
| 600 | 1200 | 1550 | 360 |
| 700 | 1200 | 1550 | 420 |
| 800 | 1200 | 1550 | 480 |
| 900 | 1200 | 1550 | 540 |

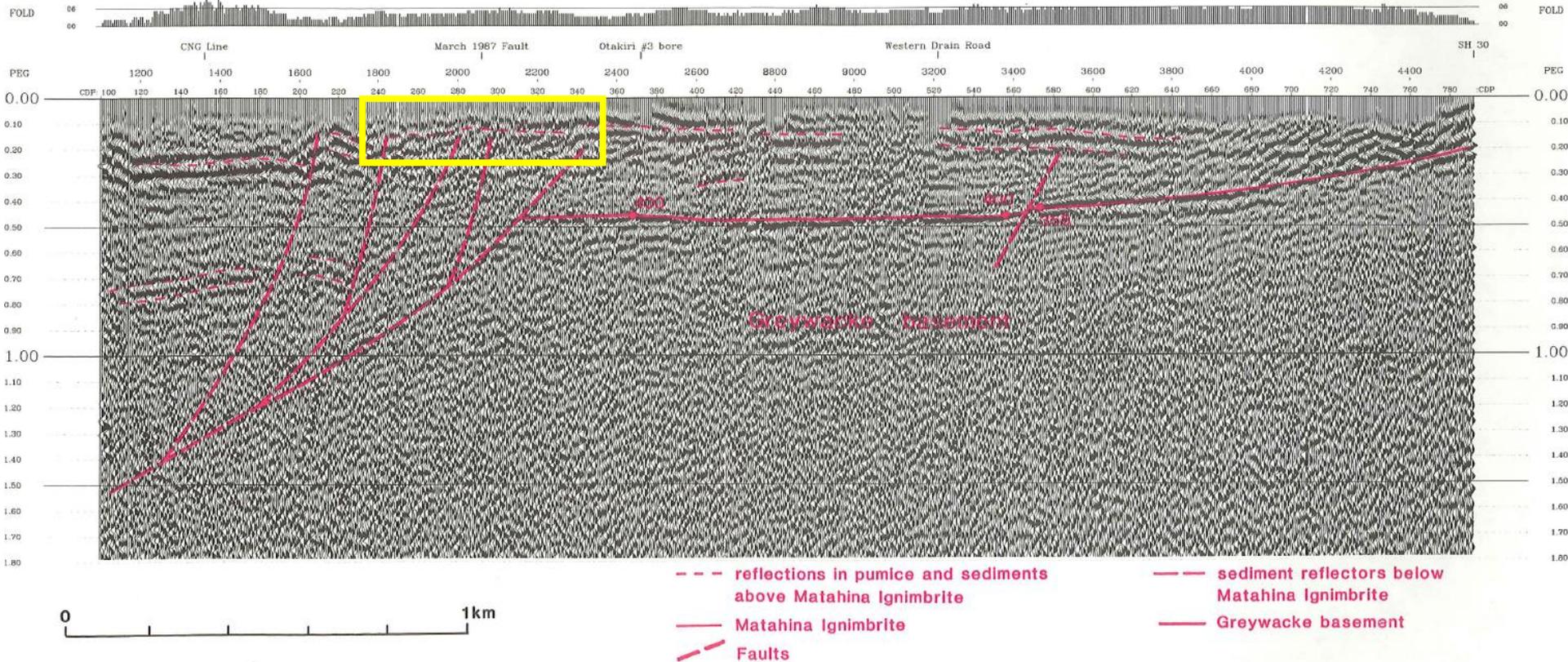


Abbildung von Störungsbahnen im Untergrund

- Skaleneinordnung konventionelle Tiefenseismik <-> Oberflächennaher Scherwellen-Seismik

W

Line 5 – McCracken Road

E

| CCP 100 | | | |
|---------|------|------|-------|
| Time | Vrns | Vint | Depth |
| 0 | 1200 | 1200 | 0 |
| 100 | 1200 | 1400 | 60 |
| 200 | 1400 | 1400 | 120 |
| 300 | 1400 | 1750 | 180 |
| 400 | 1600 | 1750 | 240 |
| 500 | 1800 | 1750 | 300 |
| 600 | 2000 | 1750 | 360 |
| 700 | 2200 | 1750 | 420 |
| 800 | 2300 | 1750 | 480 |
| 900 | 2300 | 1750 | 540 |

| CCP 240 | | | |
|---------|------|------|-------|
| Time | Vrns | Vint | Depth |
| 0 | 1800 | 1800 | 0 |
| 100 | 1800 | 1490 | 60 |
| 200 | 1800 | 1490 | 120 |
| 300 | 1800 | 1735 | 180 |
| 400 | 1800 | 1735 | 240 |
| 500 | 1800 | 1735 | 300 |
| 600 | 1800 | 1735 | 360 |
| 700 | 1800 | 1735 | 420 |
| 800 | 1800 | 1735 | 480 |
| 900 | 1800 | 1735 | 540 |

| CCP 300 | | | |
|---------|------|------|-------|
| Time | Vrns | Vint | Depth |
| 0 | 1200 | 1200 | 0 |
| 100 | 1200 | 1319 | 60 |
| 200 | 1200 | 1319 | 120 |
| 300 | 1200 | 1516 | 180 |
| 400 | 1200 | 1516 | 240 |
| 500 | 1200 | 1516 | 300 |
| 600 | 1200 | 1516 | 360 |
| 700 | 1200 | 1516 | 420 |
| 800 | 1200 | 1516 | 480 |
| 900 | 1200 | 1516 | 540 |

| CCP 440 | | | |
|---------|------|------|-------|
| Time | Vrns | Vint | Depth |
| 0 | 1800 | 1800 | 0 |
| 100 | 1800 | 1500 | 60 |
| 200 | 1800 | 1500 | 120 |
| 300 | 1800 | 1701 | 180 |
| 400 | 1800 | 1701 | 240 |
| 500 | 1800 | 1701 | 300 |
| 600 | 1800 | 1701 | 360 |
| 700 | 1800 | 1701 | 420 |
| 800 | 1800 | 1701 | 480 |
| 900 | 1800 | 1701 | 540 |

| CCP 560 | | | |
|---------|------|------|-------|
| Time | Vrns | Vint | Depth |
| 0 | 1200 | 1200 | 0 |
| 100 | 1200 | 1374 | 60 |
| 200 | 1200 | 1374 | 120 |
| 300 | 1200 | 1550 | 180 |
| 400 | 1200 | 1550 | 240 |
| 500 | 1200 | 1550 | 300 |
| 600 | 1200 | 1550 | 360 |
| 700 | 1200 | 1550 | 420 |
| 800 | 1200 | 1550 | 480 |
| 900 | 1200 | 1550 | 540 |

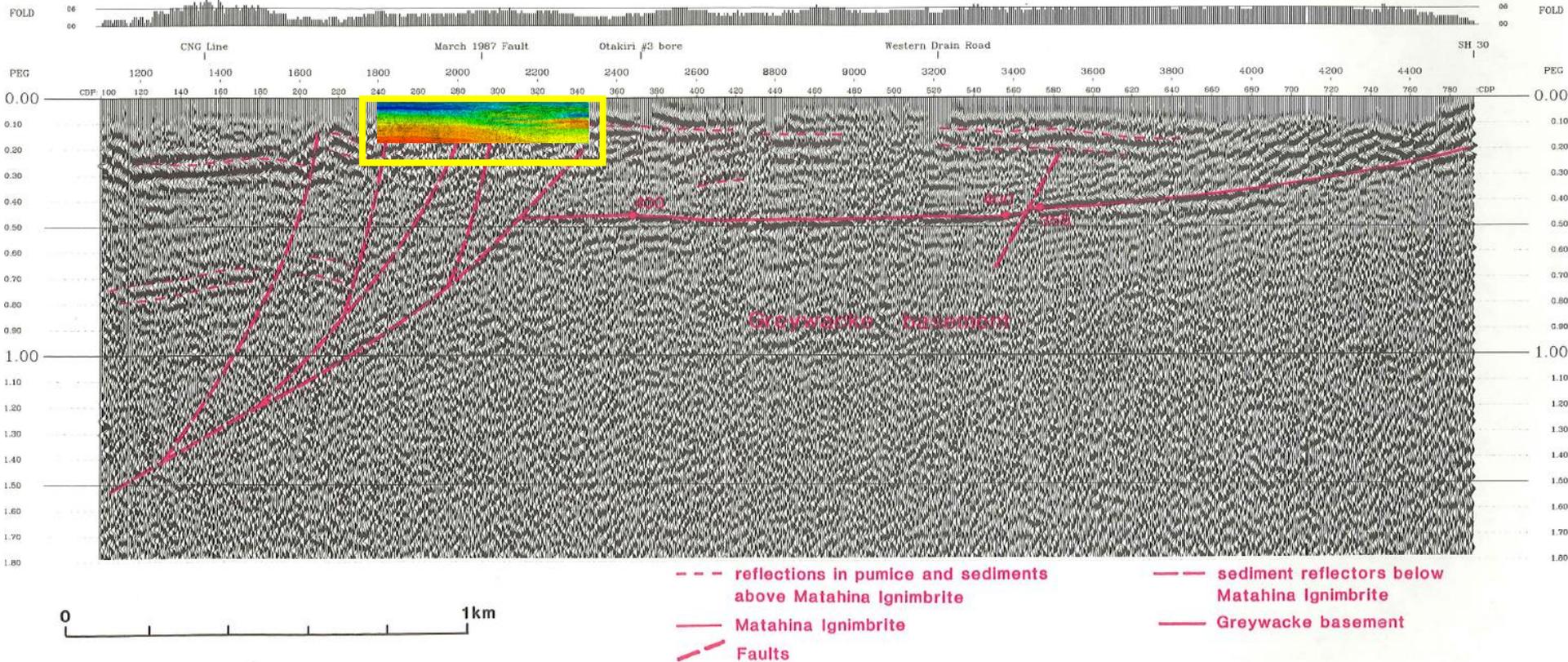


Abbildung von Störungsbahnen im Untergrund

March 1987 Fault

1800

2000

2200

240

260

280

300

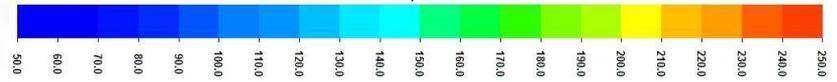
320

340



Abbildung von Störungsbahnen im Untergrund

March 1987 Fault



Shear wave interval velocity [m/s]

1800

2000

2200

240

260

280

300

320

340

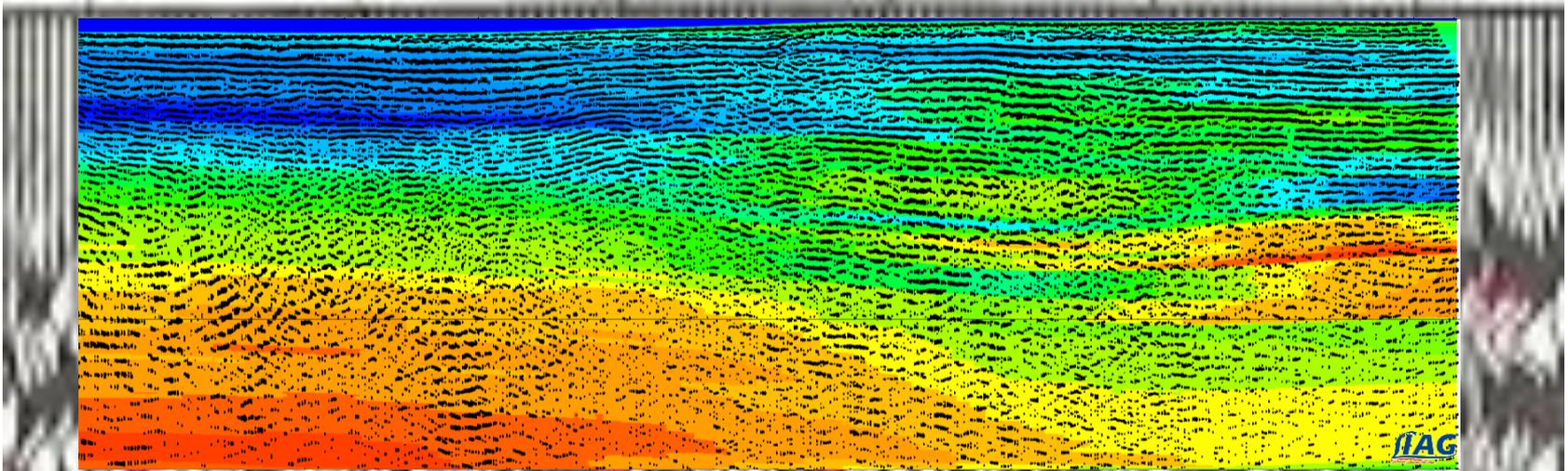
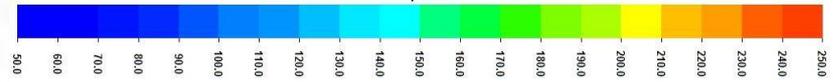


Abbildung von Störungsbahnen im Untergrund

March 1987 Fault



Shear wave interval velocity [m/s]

1800

2000

2200

240

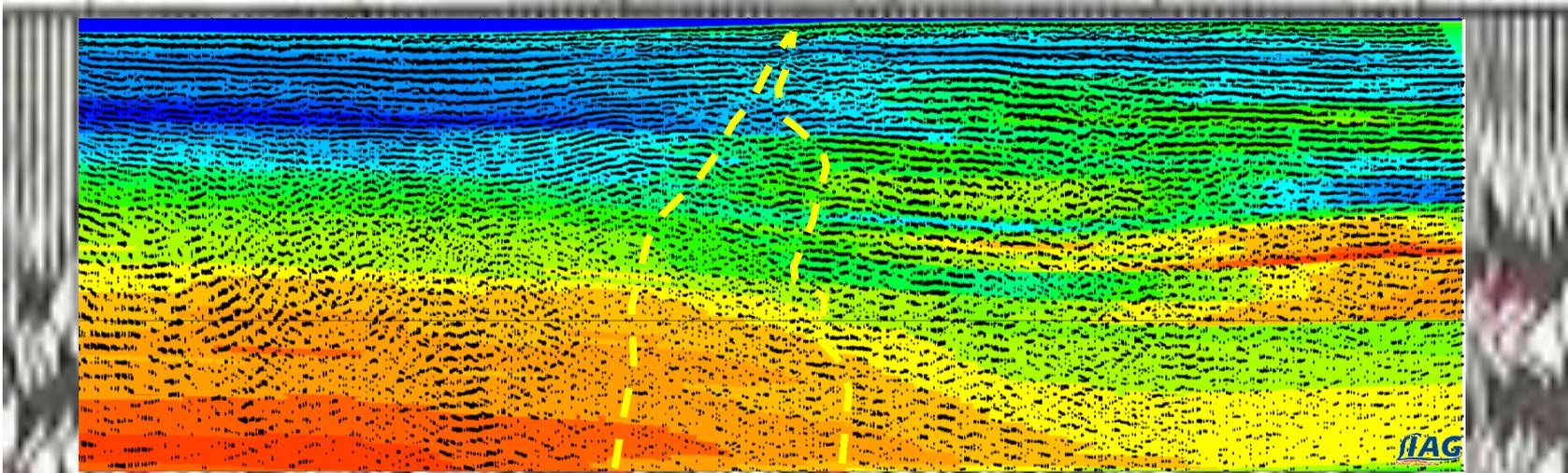
260

280

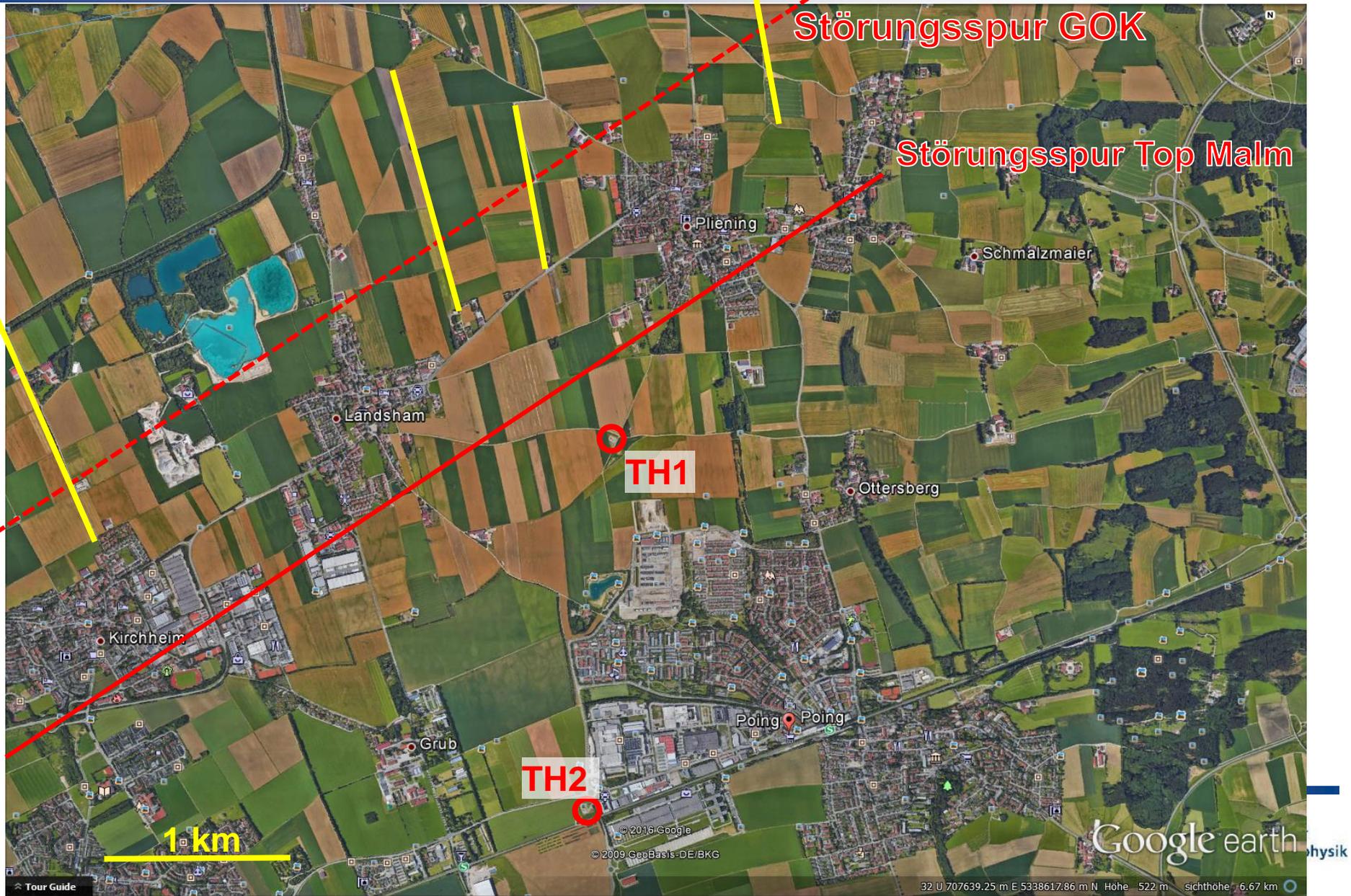
300

320

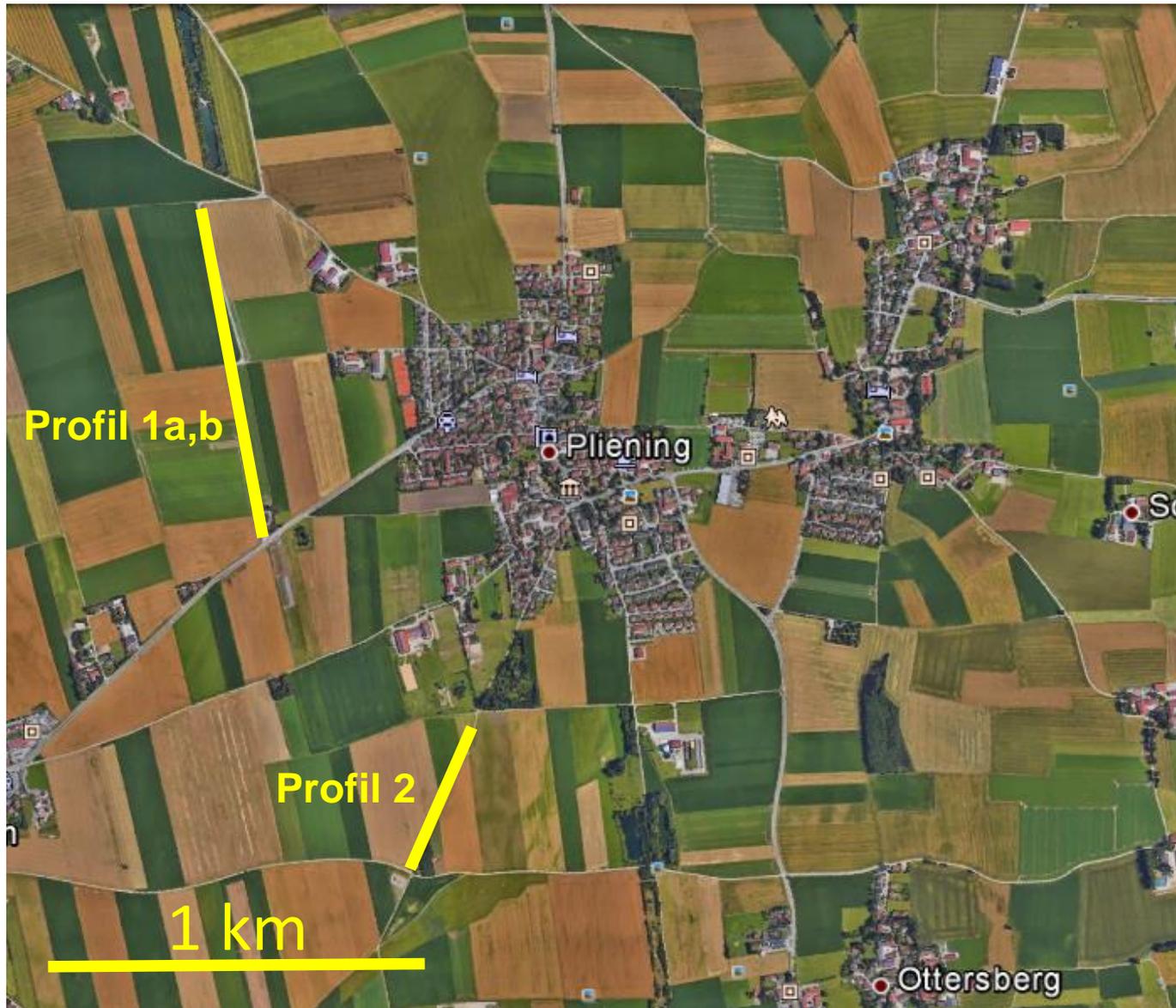
340



Potenzielle Seismik-Profile zum Störungsnachweis



Pliening: Ausgewählte Seismik-Probepprofile zum Störungsnachweis



Pliening: Ausgewählte Seismik-Probepprofile zum Störungsnachweis

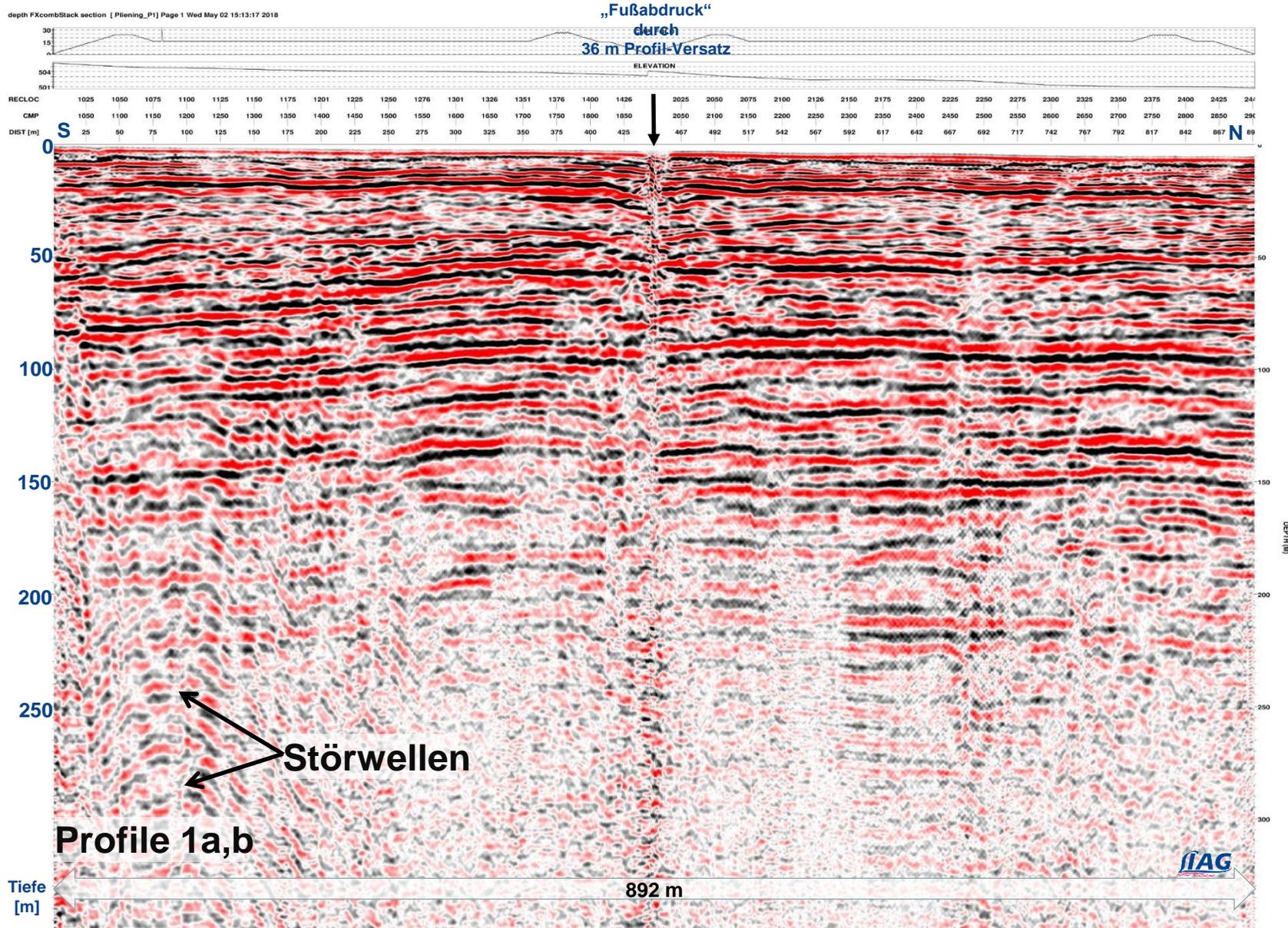


16. Juni 2016

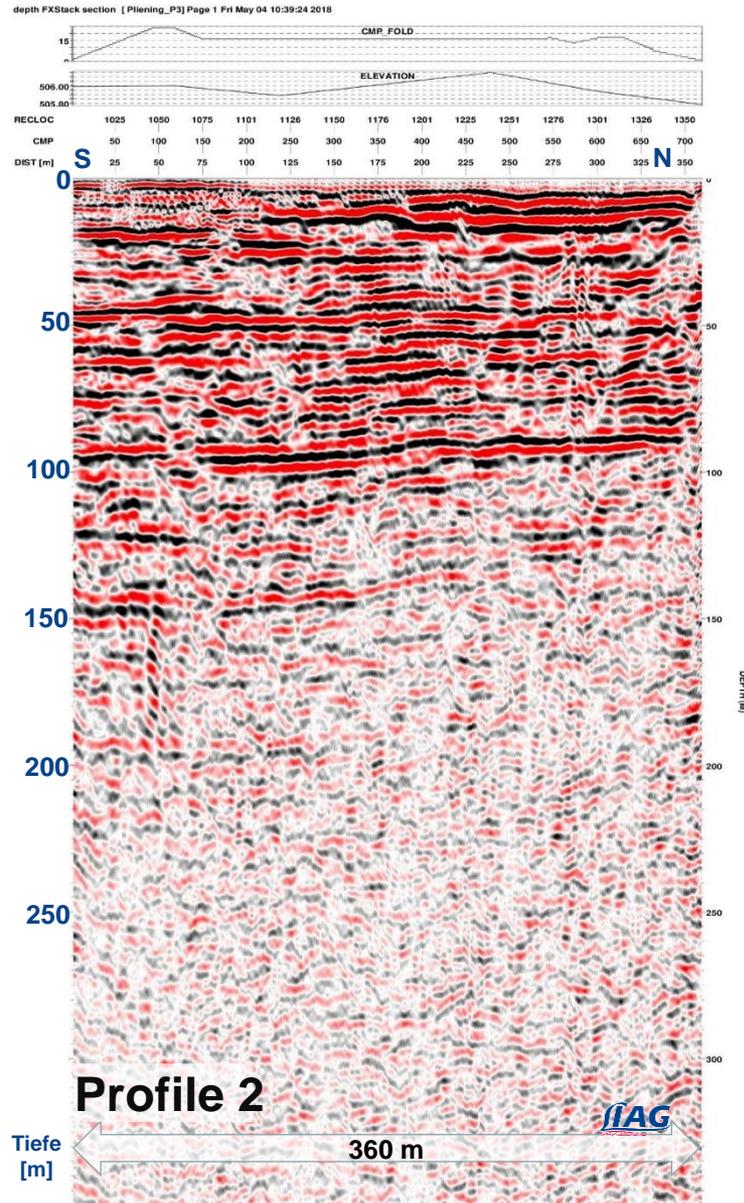
Pliening: Messarbeiten für die Probepprofile



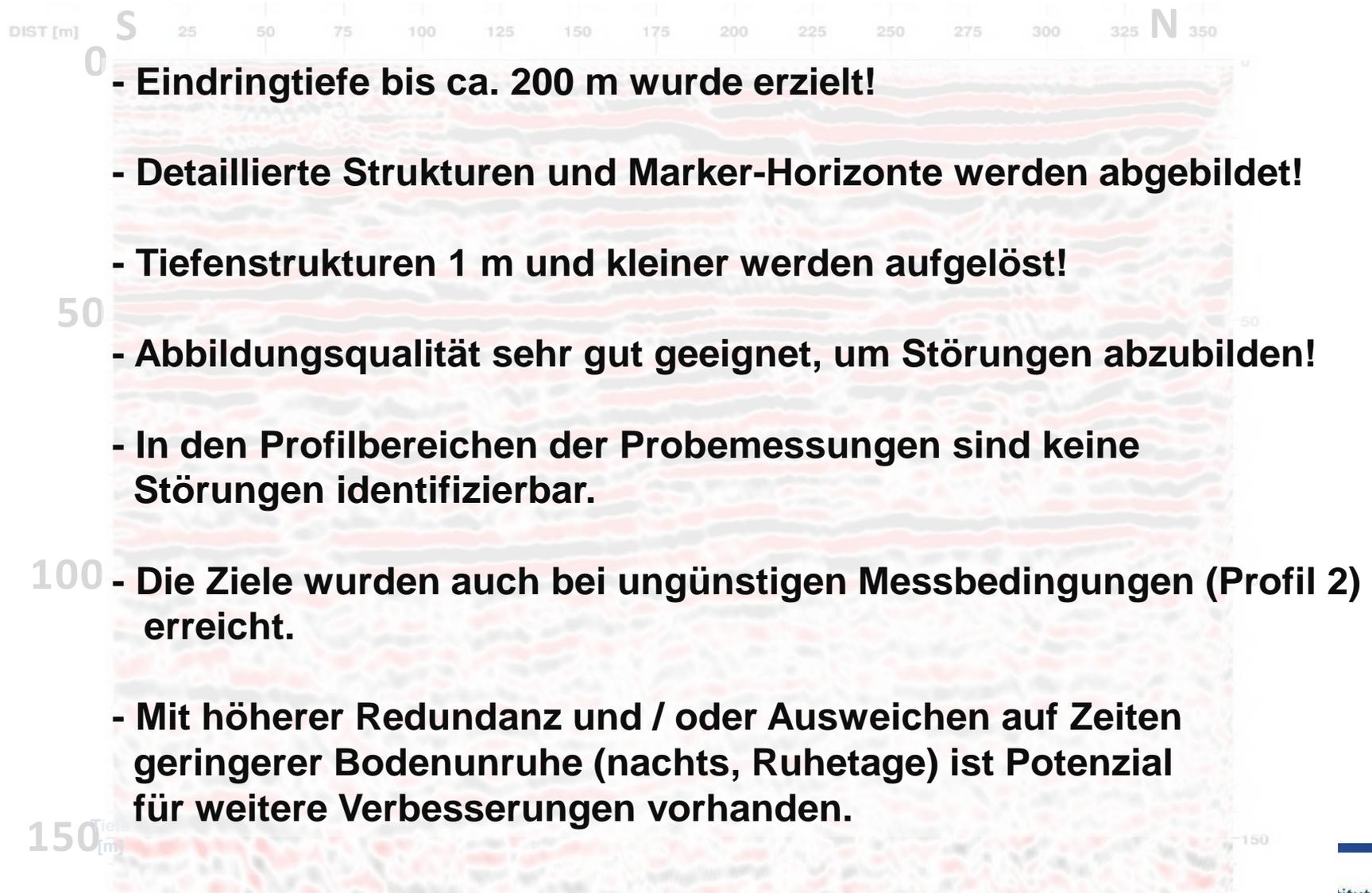
Pliening: Profil 1a,b – vorläufige Tiefensektion



Pliening: Profil 2 – vorläufige Tiefensektion



Ergebnisse der Probemessungen



Ausblick

Methode *flache* Seismik (Scherwellenseismik) soll Bestandteil eines Forschungsprojekts werden.

**Fördermaßnahme:
Energieforschungsprogramm der
Bundesrepublik Deutschland**

**Grund:
Zur Daseinsvorsorge in Zeiten des
Klimawandels**

Wie gehen wir gemeinsam mit den Folgen der Energieversorgung um?

Jede Form von Bergbau hat Konsequenzen.

Jede Form von Energieproduktion hat Konsequenzen.

Erdbeben sind nicht spezifisch oder typisch für Geothermie.

Wir haben die Wahl, welche Konsequenzen wir wollen, und welche wir an die nächste Generation vererben.

Damit unerwünschte Konsequenzen möglichst gering bleiben, ist angewandte Forschung im Betrieb notwendig.