

Viel Wasser in großen Tiefen – Neue Experimente in der kontinentalen Tiefbohrung KTB

Erzinger, J.,
Kümpel, H.-J.,
Shapiro, S. &
KTB-VB
Science Team

icdp



Kolloquium, Fundamentalstation Wettzell, 18.05.2006



- Einführung
- Massiver Pumpstest
- Massiver Injektionstest

KTB =

**Kontinentales Tiefbohrprogramm der
Bundesrepublik Deutschland**

- **Voruntersuchungen: 1984 – 1986**
- **Bohrphase: 1987 – 1994**
- **Tiefenlabor: 1995 – 2001**

zur Zeit

- **Energie- und Fluidtransport in kontinentalen
Störsystemen: 2002 – ...**

KTB VB & HB

KOLA SG-3

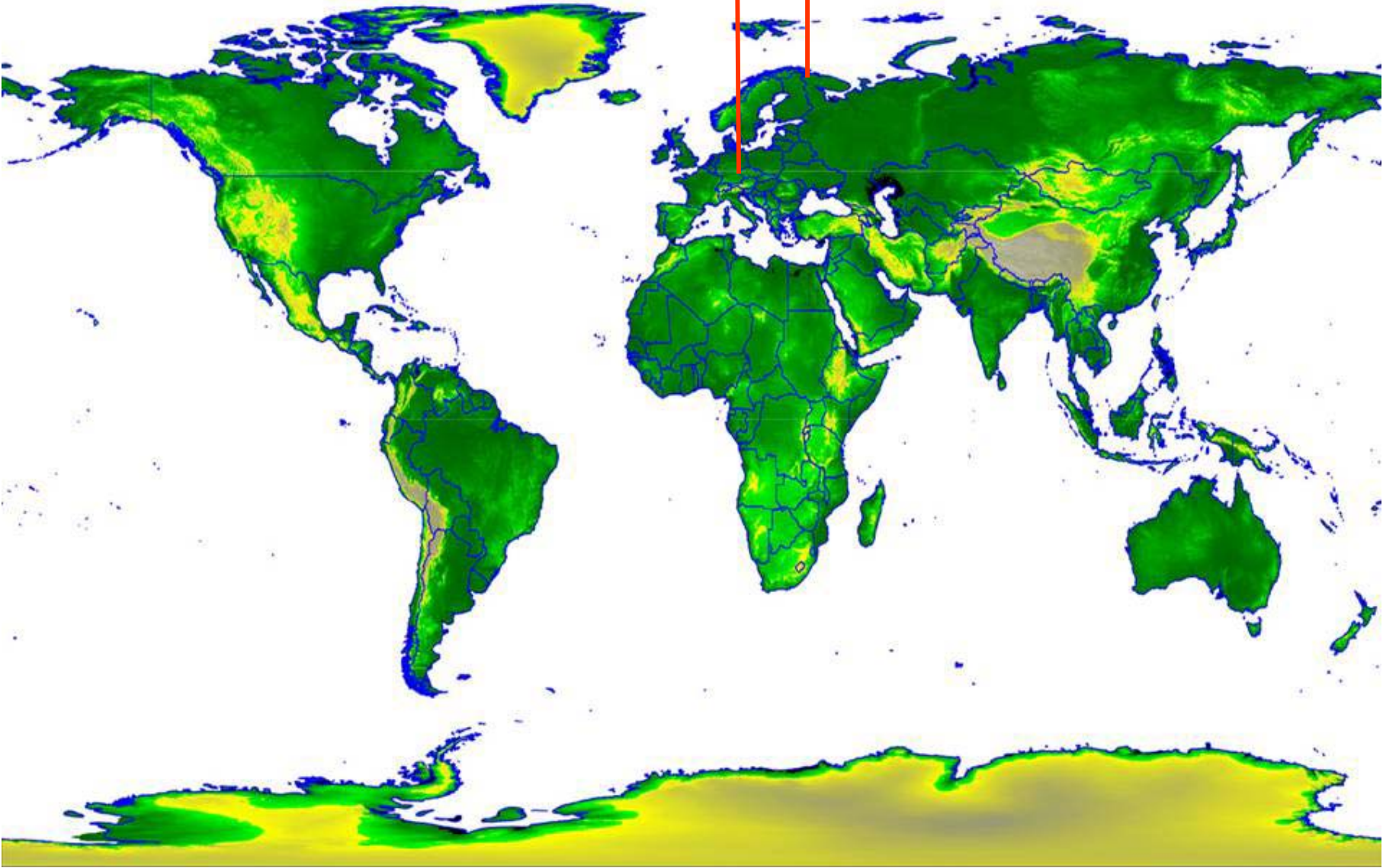
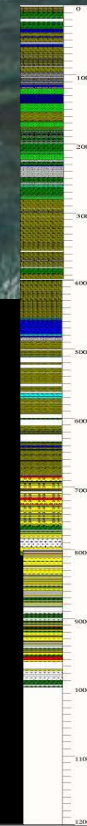
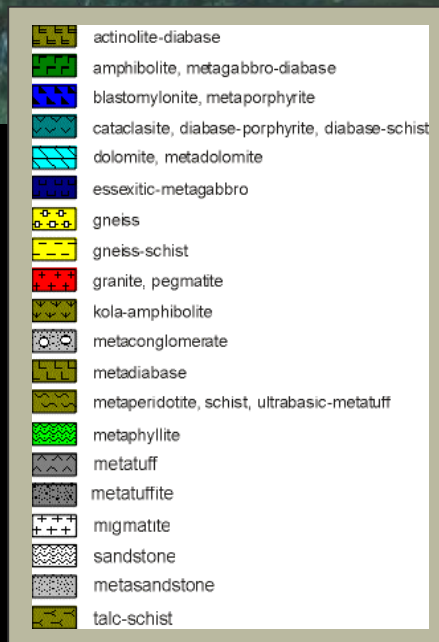
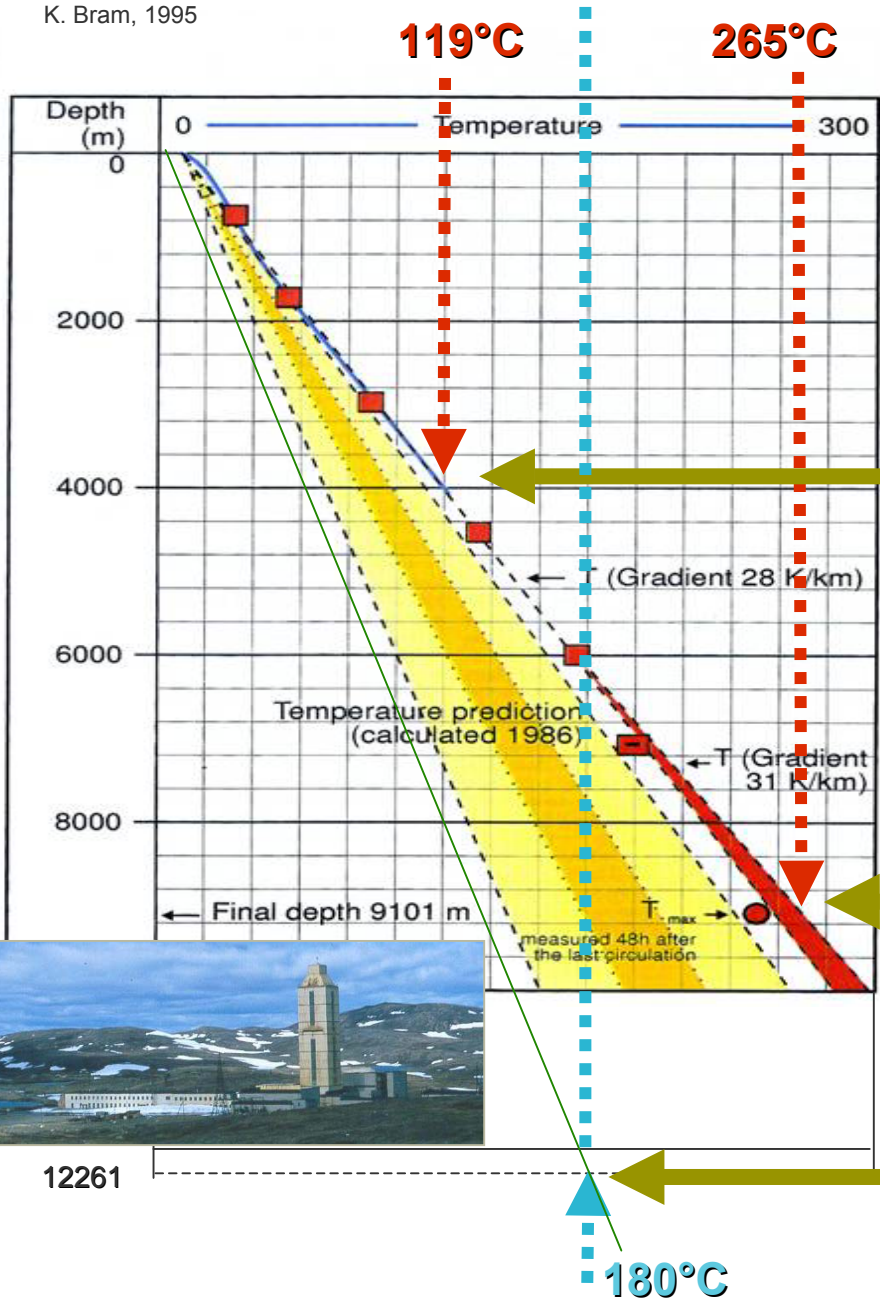




Foto: K.C. Schulze





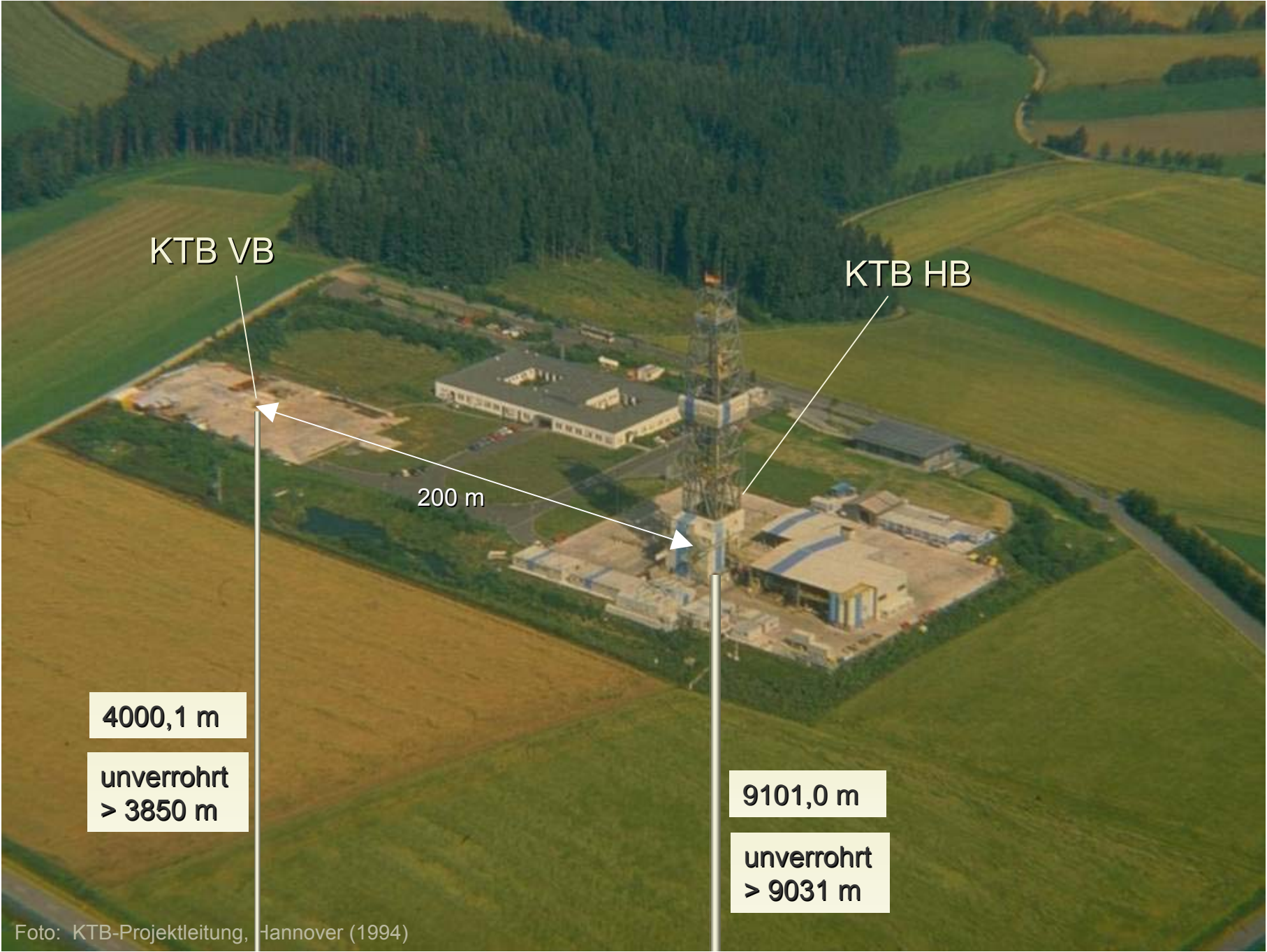
Vorbohrung / Pilot Hole



Hauptbohrung / Main Hole

Kola Superdeep





KTB VB

KTB HB

200 m

4000,1 m

unverrohrt
> 3850 m

9101,0 m

unverrohrt
> 9031 m

Besonderheiten von KTB :

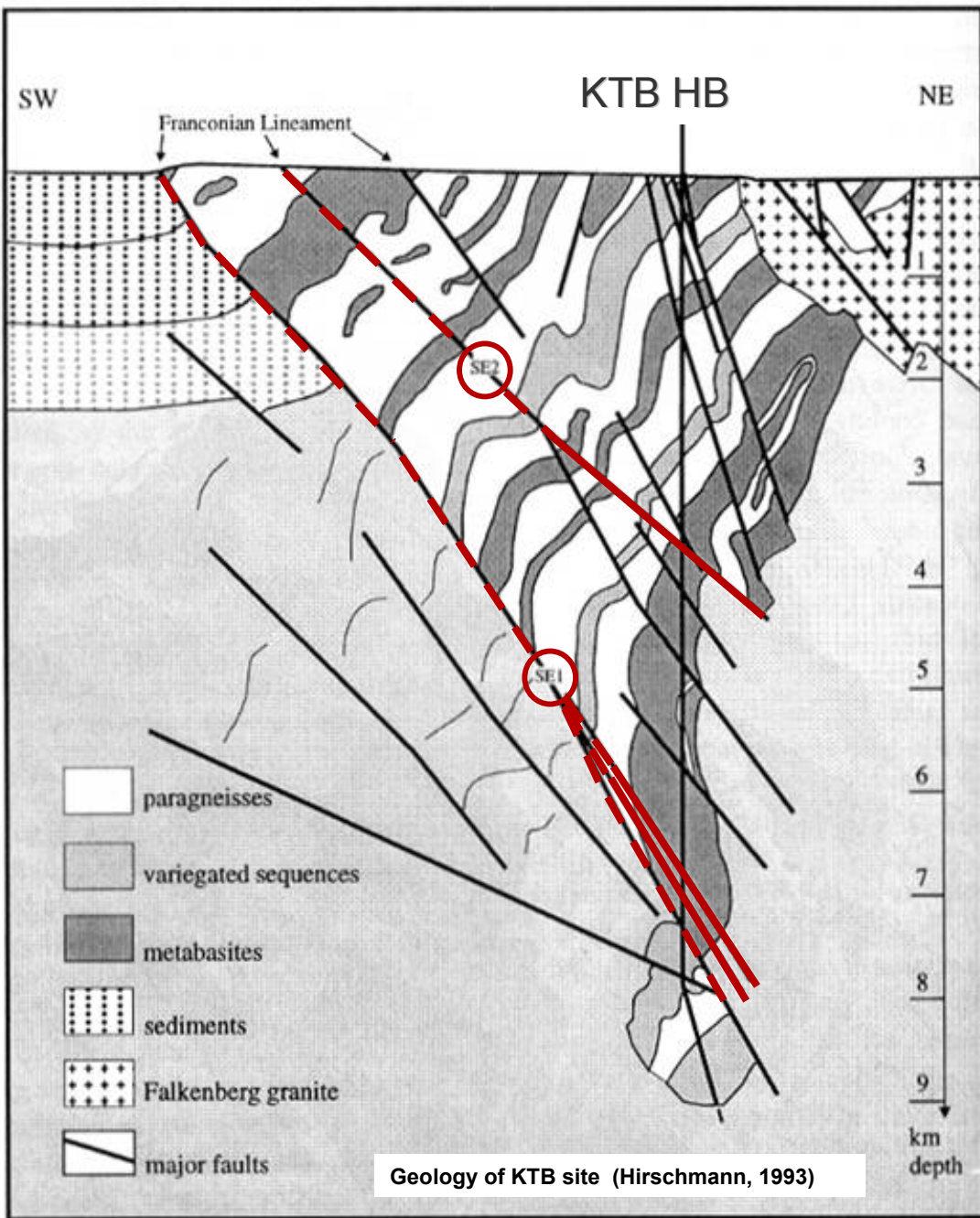
Exzellente
Datenbasis,
in Qualität
und
Quantität

Zwei
Bohrungen
in unmittel-
barer
Umgebung

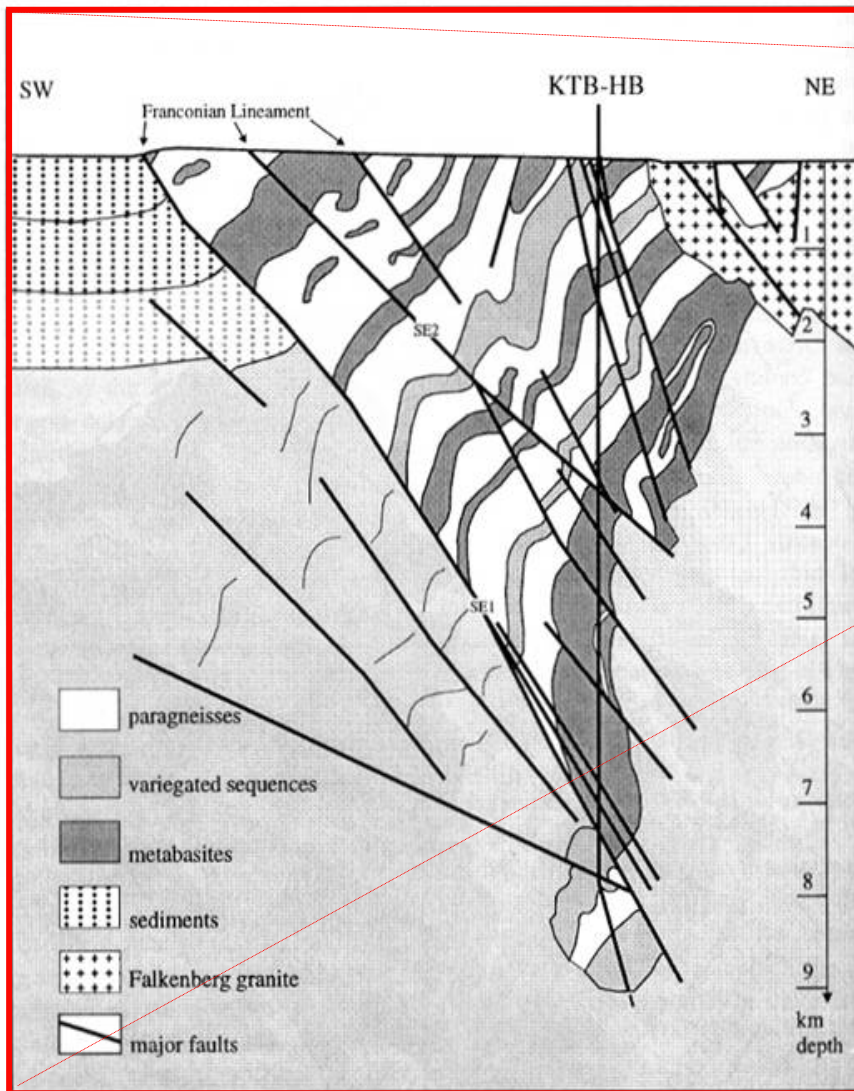
(200 m
Abstand)

Zwei größere
Störsysteme

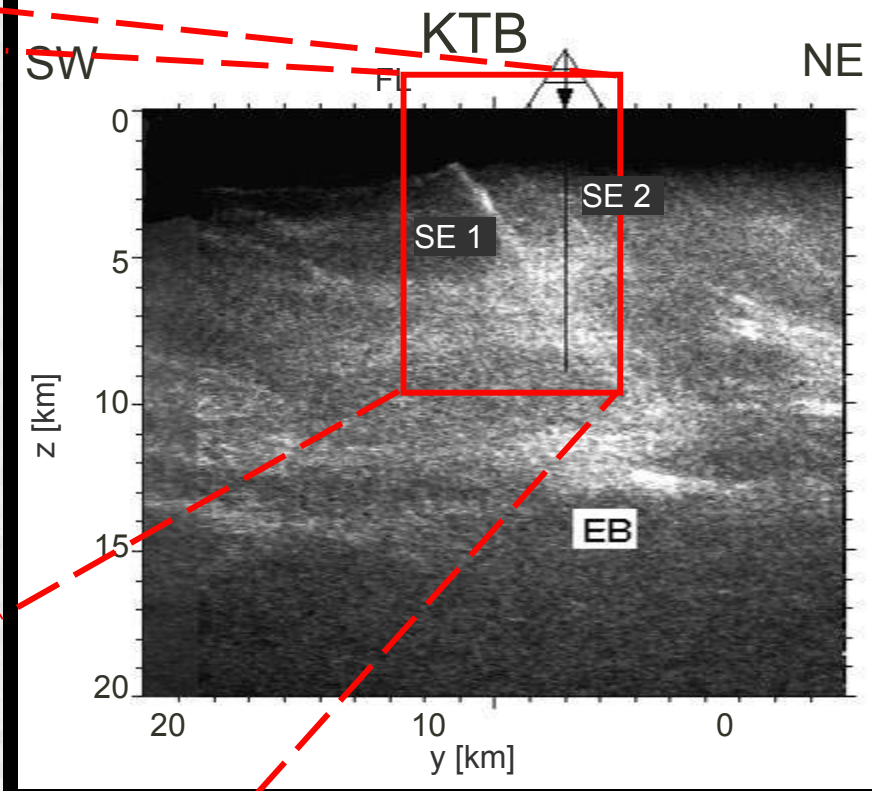
in 4,0 km und
+/- 7,2 km
Tiefe

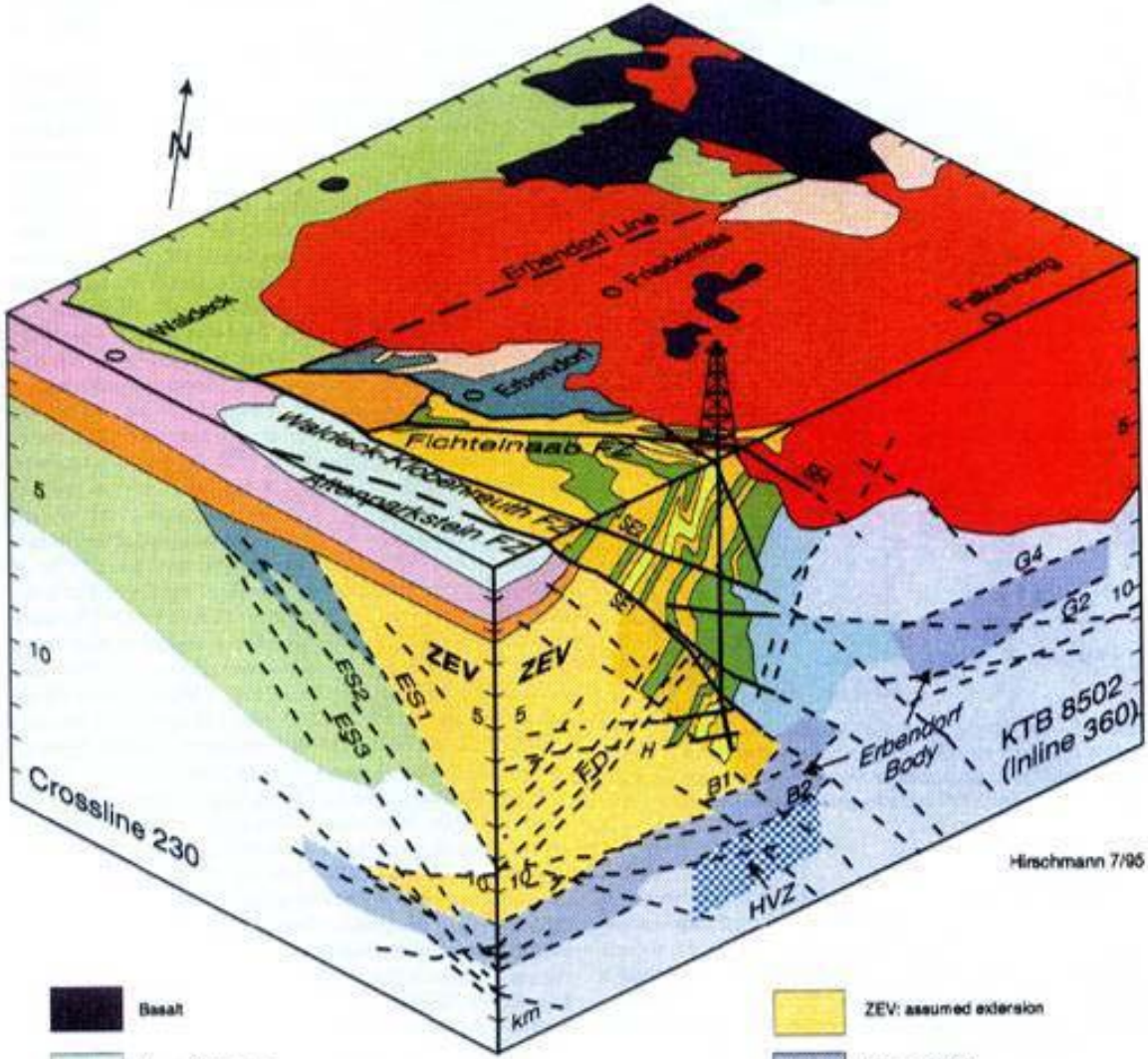


Geology of KTB site (Hirschmann, 1993)




3D pre-stack Kirchhoff migration (Buske, 1999)





Hirschmann 7/95

- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---|
|  | Basalt |  | ZEV: assumed extension |
|  | Upper Cretaceous |  | Erbendorf Body |
|  | Triassic |  | Assumed equivalents of the Erbendorf Body (Metabasite units of the ZEV ?) |
|  | Rotliegendes and Upper Carboniferous |  | Lower Paleozoic (Baxothuringicum) |
|  | Granite |  | Wetzdorf Unit |
|  | Erbendorf Greenschist Zone |  | ZEV: Metabasite units |
| | |  | ZEV: Variegated units |
| | |  | ZEV: Gneiss units |
| | |  | Fault zones |
| | |  | Seismic Reflections, partially with symbols (e.g. SE1, ES1, B1) |

Zu den größten Überraschungen gehörten

- Antreffen mobiler Fluide
in weit höherem Maße als erwartet
- moderate Erhöhung des Porendrucks
löst Schwarm von Mikrobeben aus
- Fähigkeit des Kristallins, Fluide zu speichern und zu transportieren, ist erstaunlich hoch

. . . diesbezüglich wurden die Möglichkeiten der Lokation vor 2002 erst **marginal ausgeschöpft**

Wichtigste experimentelle Ziele :

**„Testen eines kontinentalen Stör-
systems auf der Kilometer-Skala“**


... mit

- (1) Gewinnung **unkontaminierter Fluide**
- (2) kontrollierter Erzeugung unterschiedlicher
Typen von
- (3) **Mikroseismizität** **Abbildung** von Störsystemen
unter erhöhtem
Porendruck
- (4) Vertikale geothermale Zirkulation (Option)

... allgemeinere Aspekte:

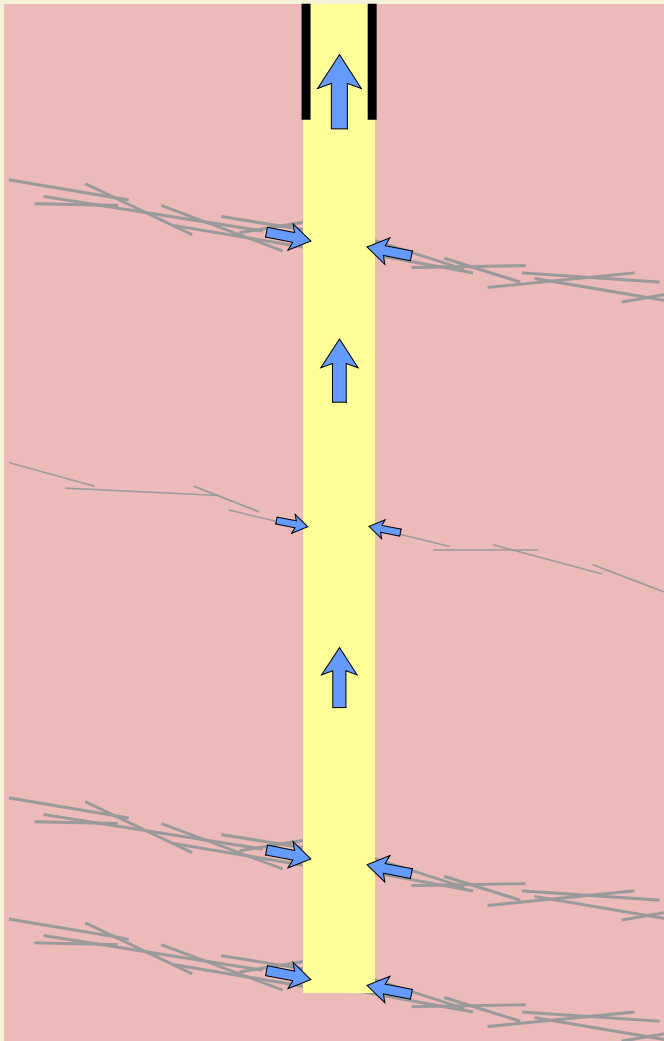
Neue, authentische In-situ-Felddaten zum
besseren Verständnis von

- **Grundwasservorkommen** in kristalliner Kruste
- Mechanismus von **Erdbeben**
- Gewinnung von **geothermischer Energie**
- Risiken bei der Entsorgung **kritischer Abfälle**
- ...

- 
- An aerial photograph of a large industrial facility, likely a research or testing site. The central feature is a tall, lattice-structured tower with a German flag at the top. The tower has a blue and white section with the letters 'KTB' visible. To the left of the tower is a long, low white building with a flat roof. In the foreground, there are several smaller buildings, some with blue roofs, and a large blue cylindrical tank. The facility is surrounded by green fields and a forested area in the background. A small town or village is visible in the distance.
- Einführung
 - **Massiver Pumpstest**
 - Massiver Injektionstest

Vorversuch: Salzwasser als Tracer zur Abschätzung hydraulischer Parameter

W. Gräsle, W. Kessels



Phase 1:

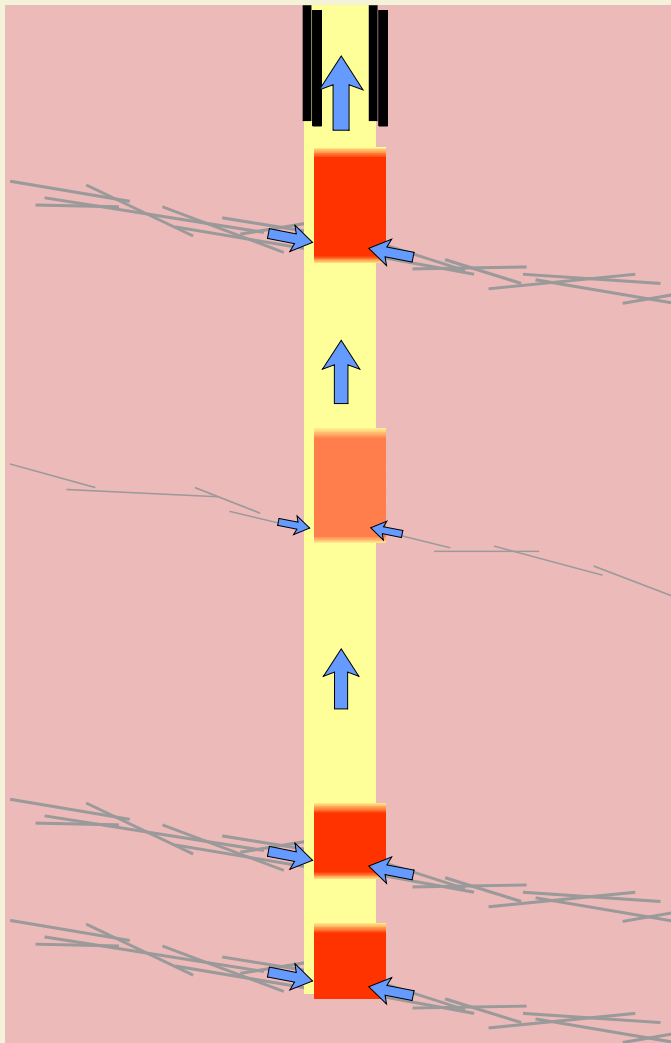
Salzwasser im offenen Bohrlochabschnitt wird ersetzt durch Einfüllen von Süßwasser (5 m^3)

Phase 2:

Detektion von Klüften durch Verfolgen des Ansteigens der Salzwasserfront nach kurzem Anpumpen ($0,5 \text{ m}^3$)

Vorversuch: Salzwasser als Tracer zur Abschätzung hydraulischer Parameter

W. Gräsle, W. Kessels



Phase 2:

Detektion von Klüften durch Verfolgen des Ansteigens der Salzwasserfront nach kurzem Anpumpen ($0,5 \text{ m}^3$)

→ Untergrenze der Salzwassersäulen markiert Lokation von Klüften

Beginn Juni 2002

1 jähriger Pumpetest :

Gewinnung und Analyse unkontaminierter Fluide,
Ergiebigkeit ?

+ 1 Jahr Erholungsphase

1 jähriger Injektionstest :

kontrollierte Seismizität,
Fluidverlust ?

+ 1 Jahr Erholungsphase

Monitoring :

- Geochemie ✓
- Druckverlauf ✓
- Seismizität ✓
- Temperaturfeld ✓
- Fluidtransport ✓

- Mikrobielles Leben (tiefe Biosphäre) ✓
- 3-D Geoelektrik ✓
- Oberflächendeformationsfeld ✓
- ... andere



1300 m
Tubing
(2 3/8")

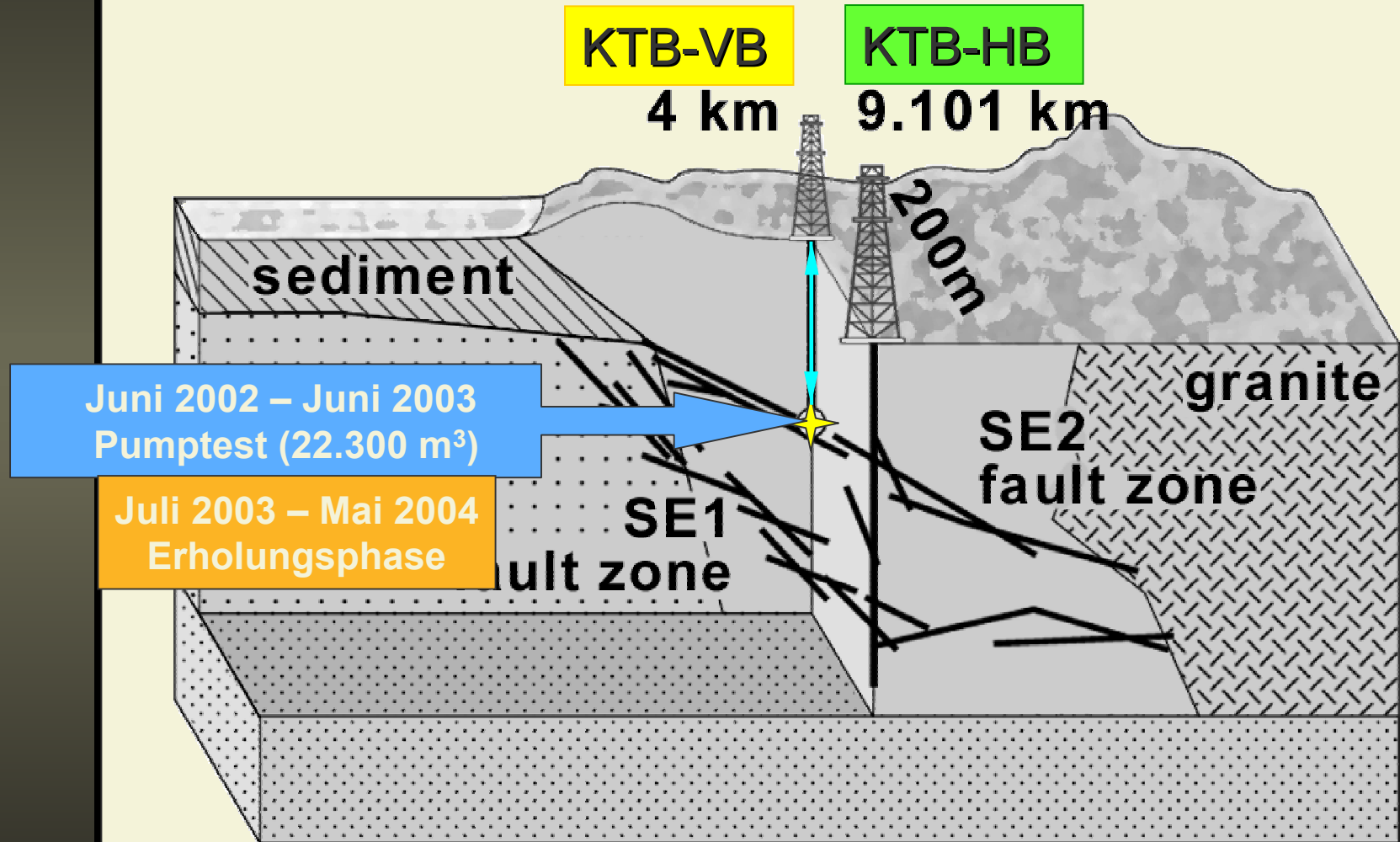


Tauch-
pumpe
(21,3 PS)



Druck-
sonde
unter der
Pumpe

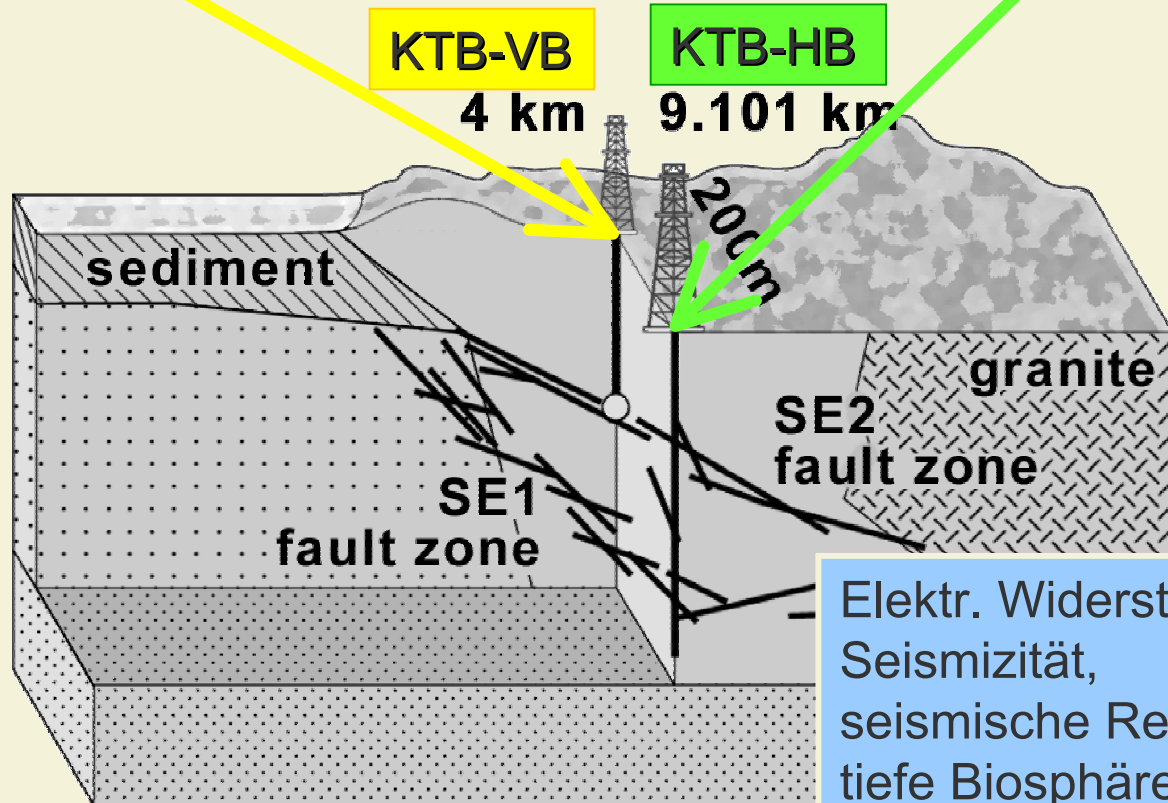
Massive hydraulische Tests



Messungen

Druck, Temperatur, Fließen, Chemismus

Druck, Seismizität



Elektr. Widerstand,
Seismizität,
seismische Reflektivität,
tiefe Biosphäre





58 l/min
aus
4 km
Tiefe

1 Jahr Pumpptest

VB

	a-priori Schätzung	Okt. 2002 - Juni 2003
Permeabilität	$3 \times 10^{-16} \text{ m}^2$	$2 \times 10^{-15} \text{ m}^2$
max. Absenkung	1000 m	605 m
→ Förderrate	20 l/min	58 l/min
→ Gesamtförderung	10 000 m ³	22 300 m ³
→ Gasgehalt	800 l/m ³	1000 l/m ³
Spezialpumpe in Tiefe (installiert: 10. Juni, 2002)	1300 m	1284 m

PDRSdisplay V0.59 (C) 1991-1994 GFZ Potsdam - /dat2/KTB/KTB_BS250/200/t

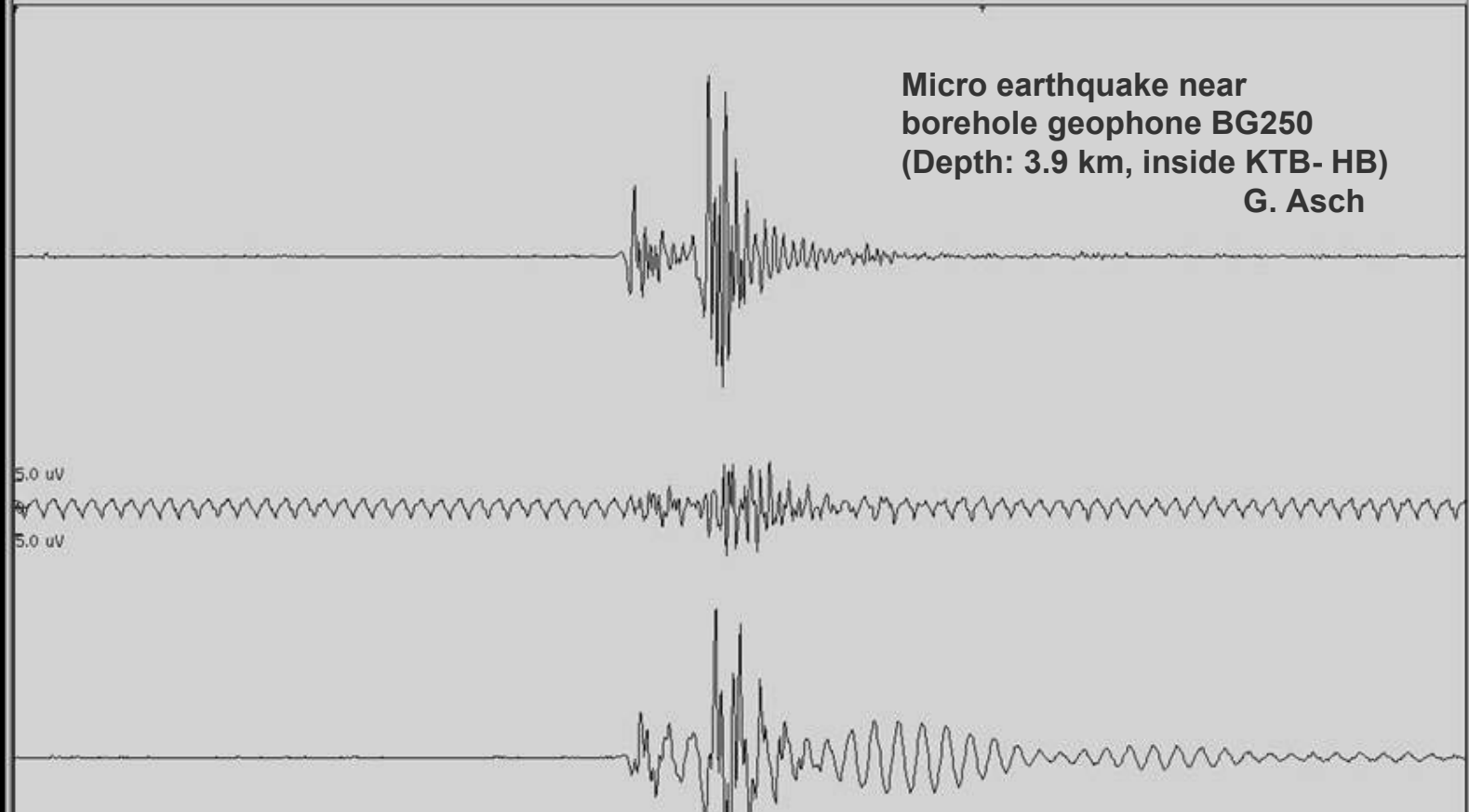
Scan path : _____ Date of year : 1 [▲▼] .. 366 [▲▼] Window type C E P S Amplitude * 4096

Scan [QUIT] PDAS serial : 1 [▲▼] .. 999 [▲▼] Clipping off 1 trc 2 trcs [ampl up] [ampl dn]

<<Prev [Draw] [Next>> Channel number : 0 [▲▼] .. 6 [▲▼] Display [wiggly line] Filter [offset removal]

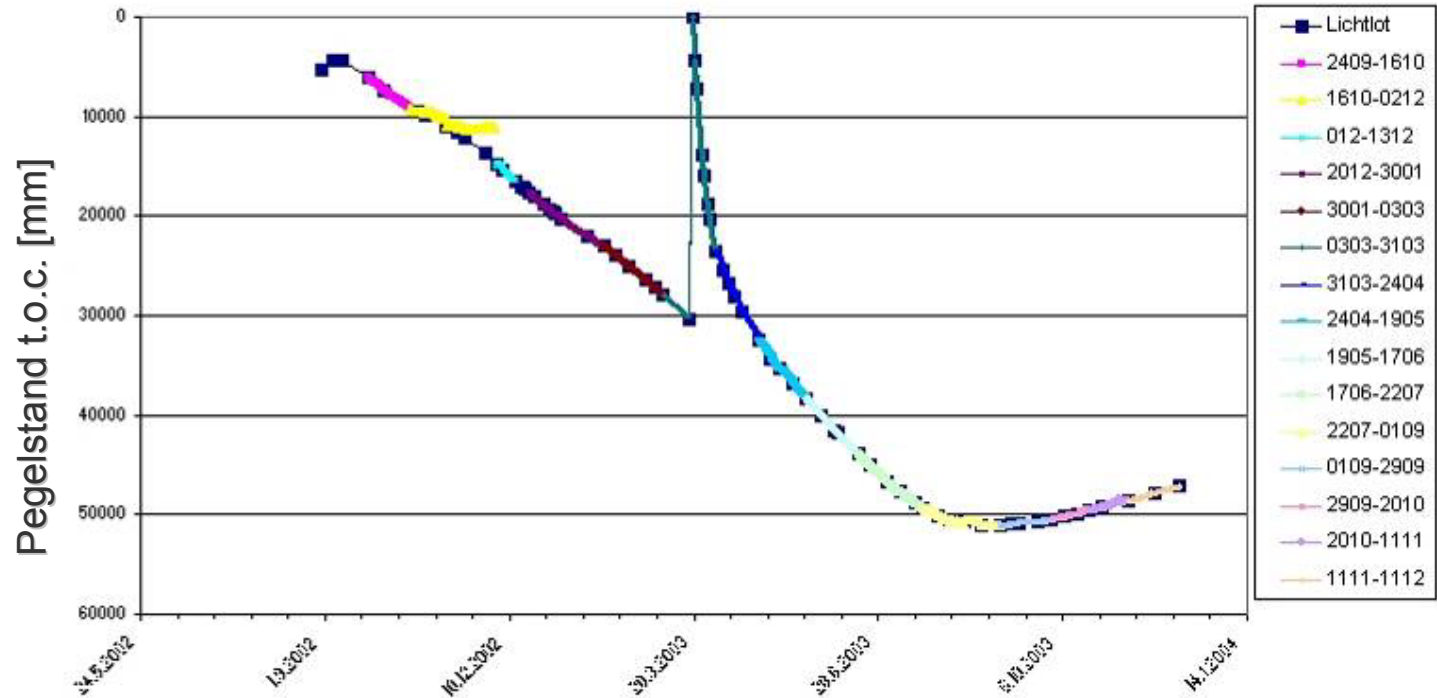
Time [hh:mm:ss.mmm] : 16:53:47 .. 16:53:48.5


**Micro earthquake near
borehole geophone BG250
(Depth: 3.9 km, inside KTB- HB)
G. Asch**



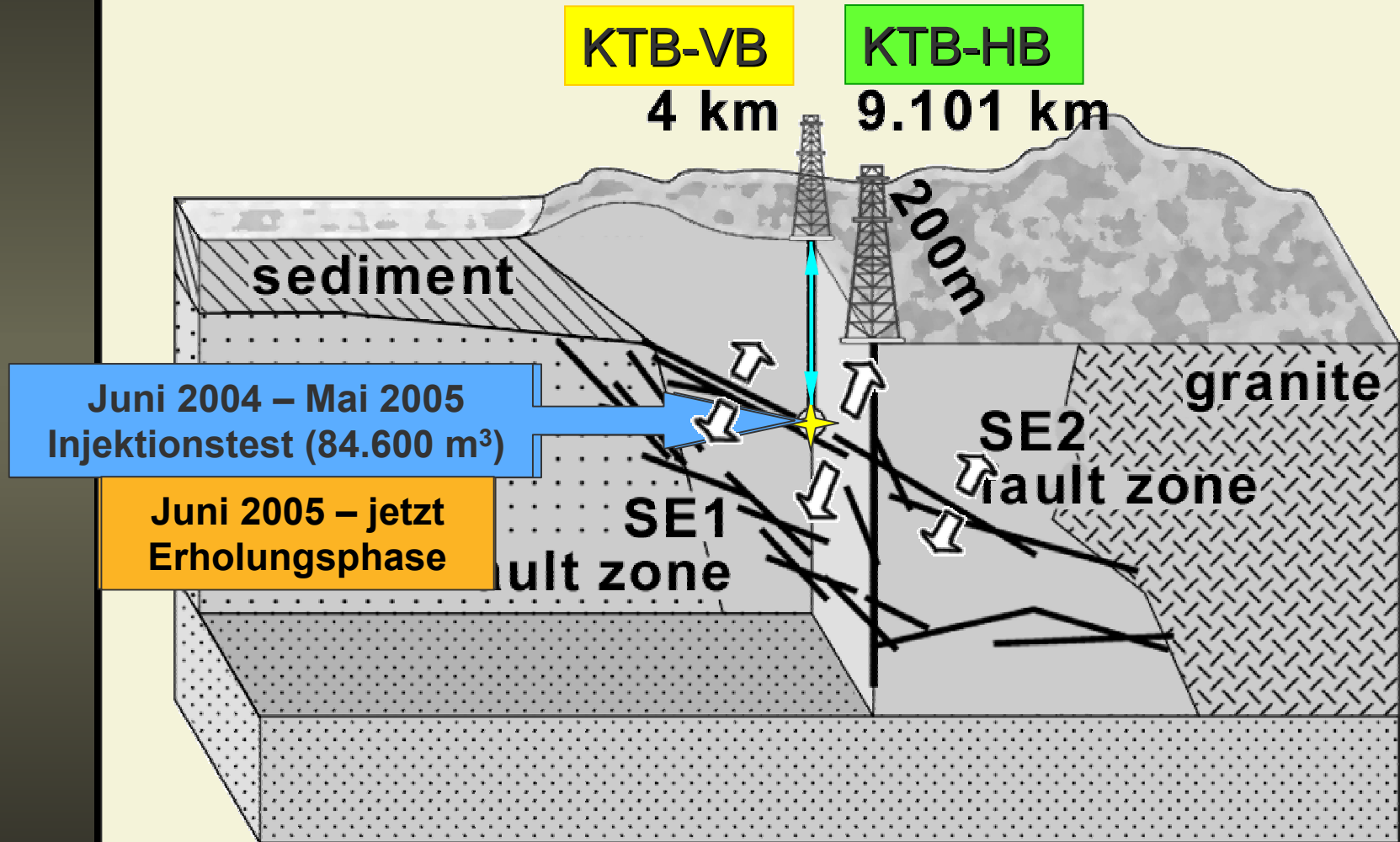
sampling rate: 1 kHz
Δ travel time p-s: 80 msec
distance: ca. 500 m
magnitude: ca. -1.8

Änderung des Pegelstandes in der KTB HB, Sept. 2002 – Dez. 2003



- 
- An aerial photograph of an industrial site. The central feature is a tall, lattice-structured tower with a German flag at the top. A blue and white cylindrical component with 'KTB' and 'MAG' logos is attached to the tower. The site includes several large buildings, one with a blue roof, and various pieces of equipment. The background shows a green landscape with a small town and hills.
- Einführung
 - Massiver Pumpstest
 - **Massiver Injektionstest**

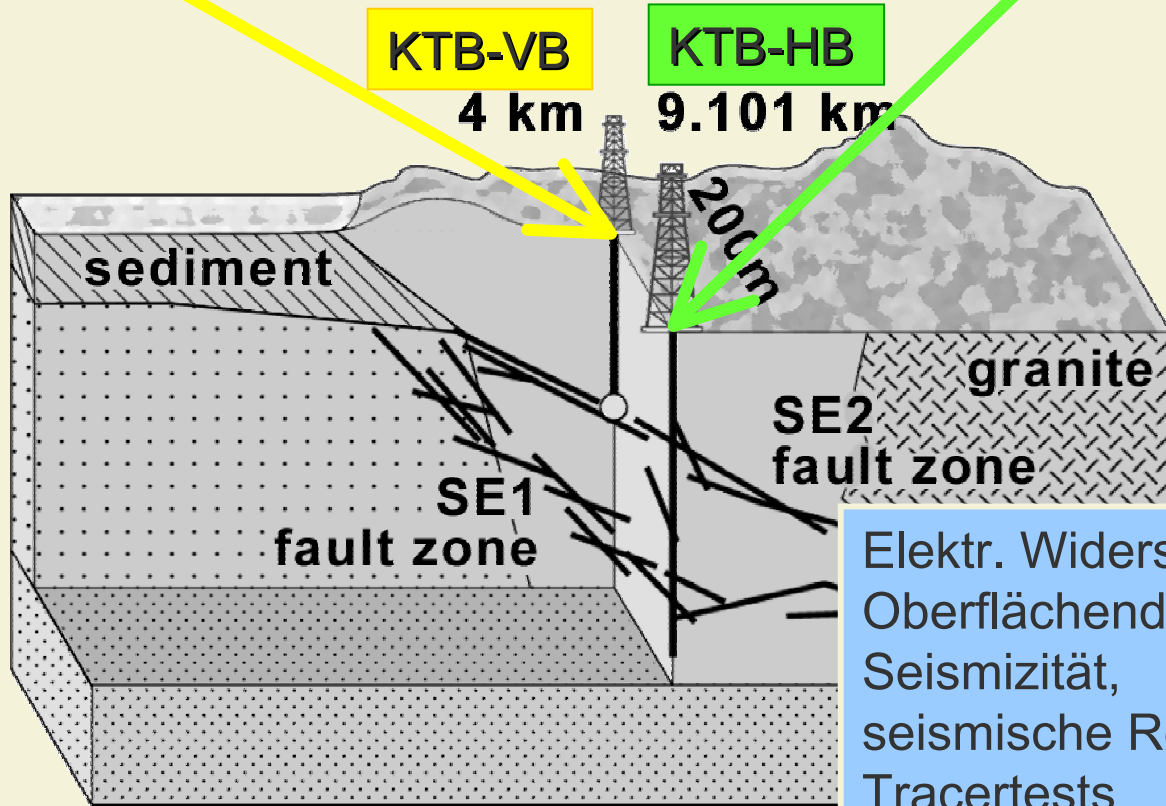
Massive hydraulische Tests



Messungen

Druck, Temperatur, Fließen, Chemismus

Druck, Seismizität



Elektr. Widerstand,
Oberflächendeformation,
Seismizität,
seismische Reflektivität,
Tracertests

Injektions-
pumpe
oben

KTB-VB

200 m

KTB-HB

unverrohrt
3850 bis 4000 m

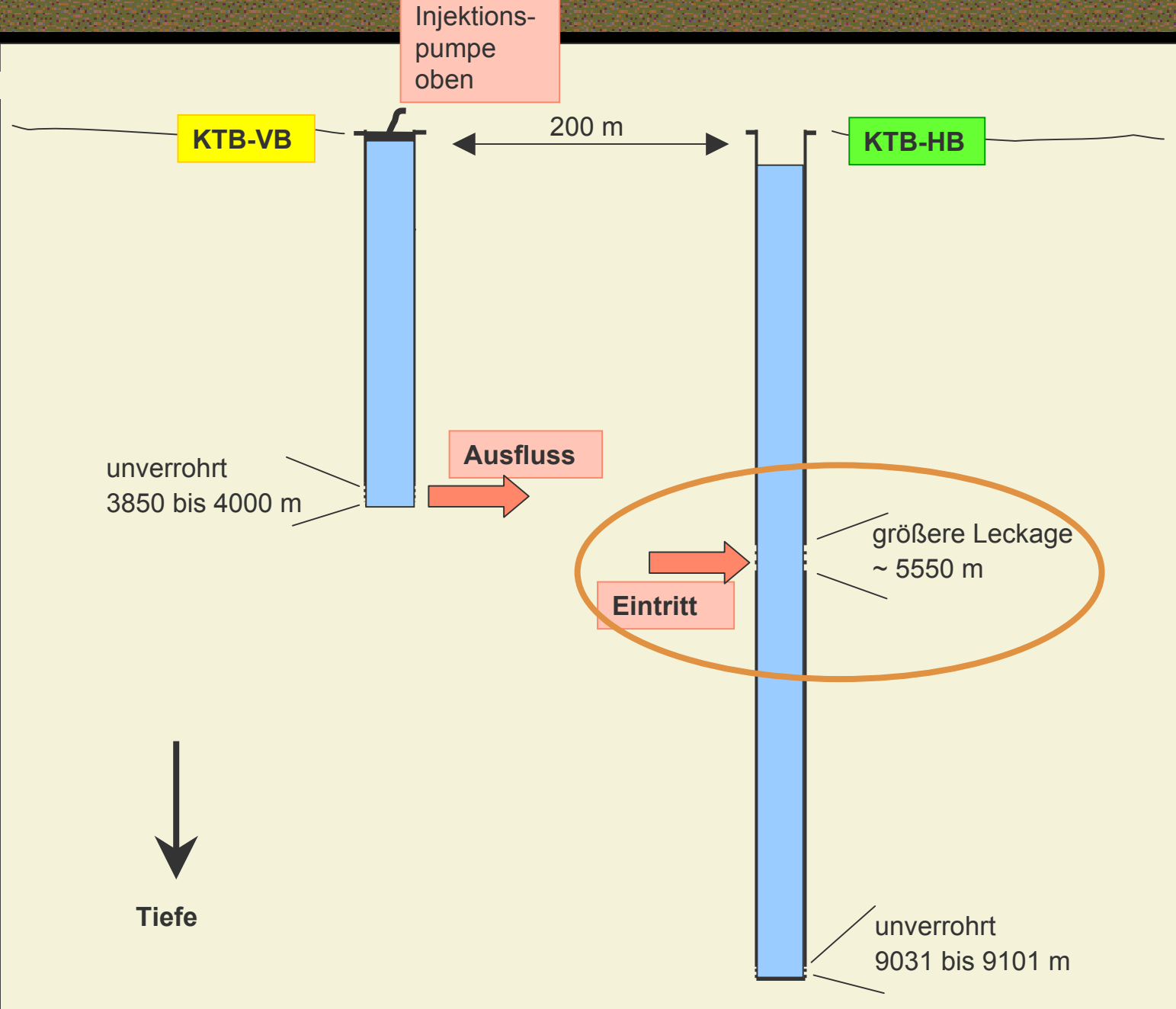
Ausfluss

Eintritt

größere Leckage
~ 5550 m

Tiefe

unverrohrt
9031 bis 9101 m



1 jähriger Pumptest :

Gewinnung und Analyse von in-situ-entnommener Fluiden, Ergiebigkeit ?

+ 1 Jahr Erholungsphase

1 jähriger Injektionstest :

kontrollierte Seismizität, Fluidverlust

+ 1 Jahr Erholungsphase

Beginn Juni 2002

Monitoring :

- Geochemie ✓

→ Druckverlauf ✓

→ Seismizität ✓

→ Temperaturfeld ✓

→ Fluidtransport ✓

- Mikrobielles Leben (tiefe Biosphäre) ✓

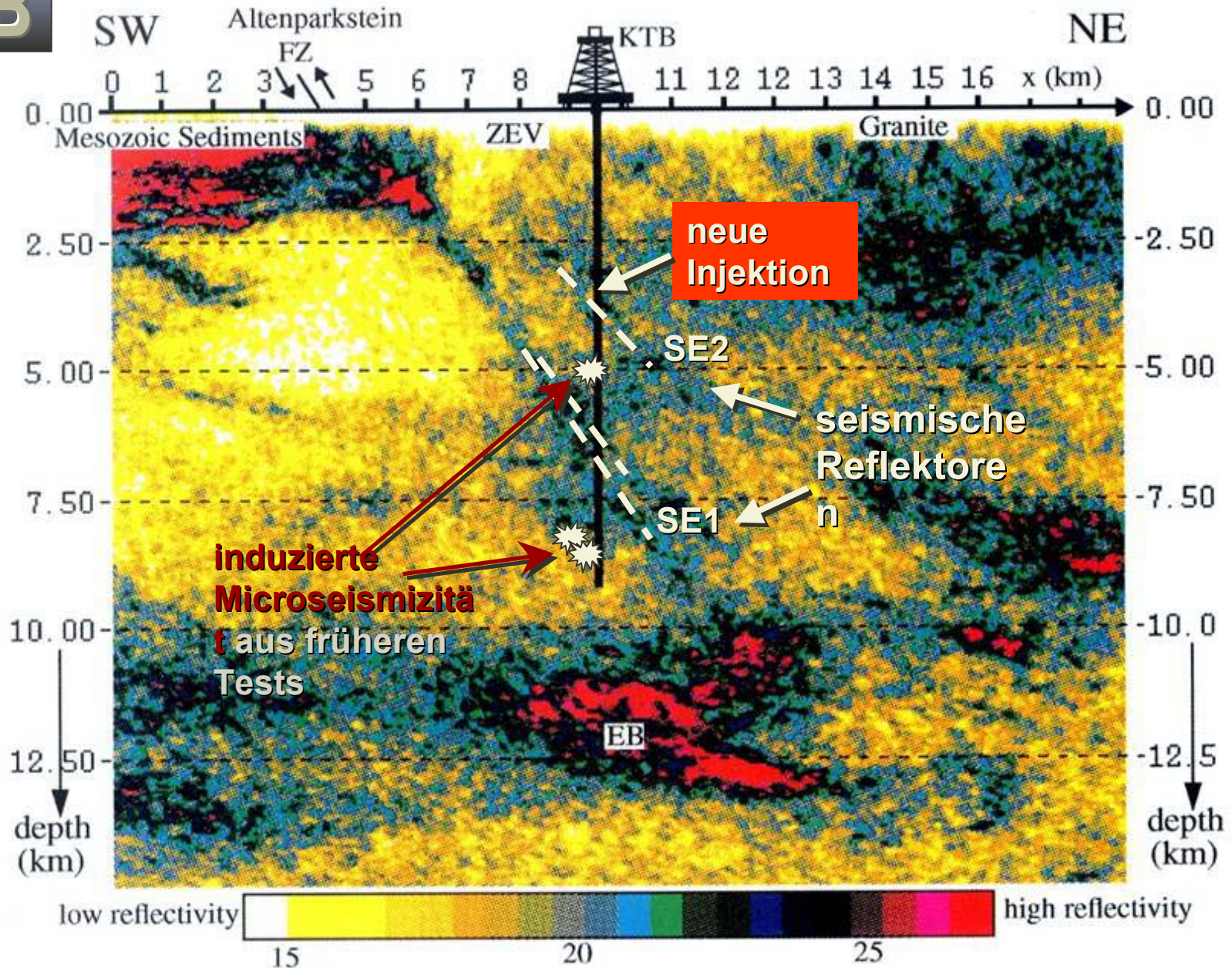
→ 3-D Geoelektrik ✓

→ Oberflächendeformationsfeld ✓

→ hoch auflösende Seismik

→ Tracertests

Beginn Juni 2004



Pumpen-
container
mit
Wasser-
zuleitung



KTB-VB Injektionstest 2004-2005

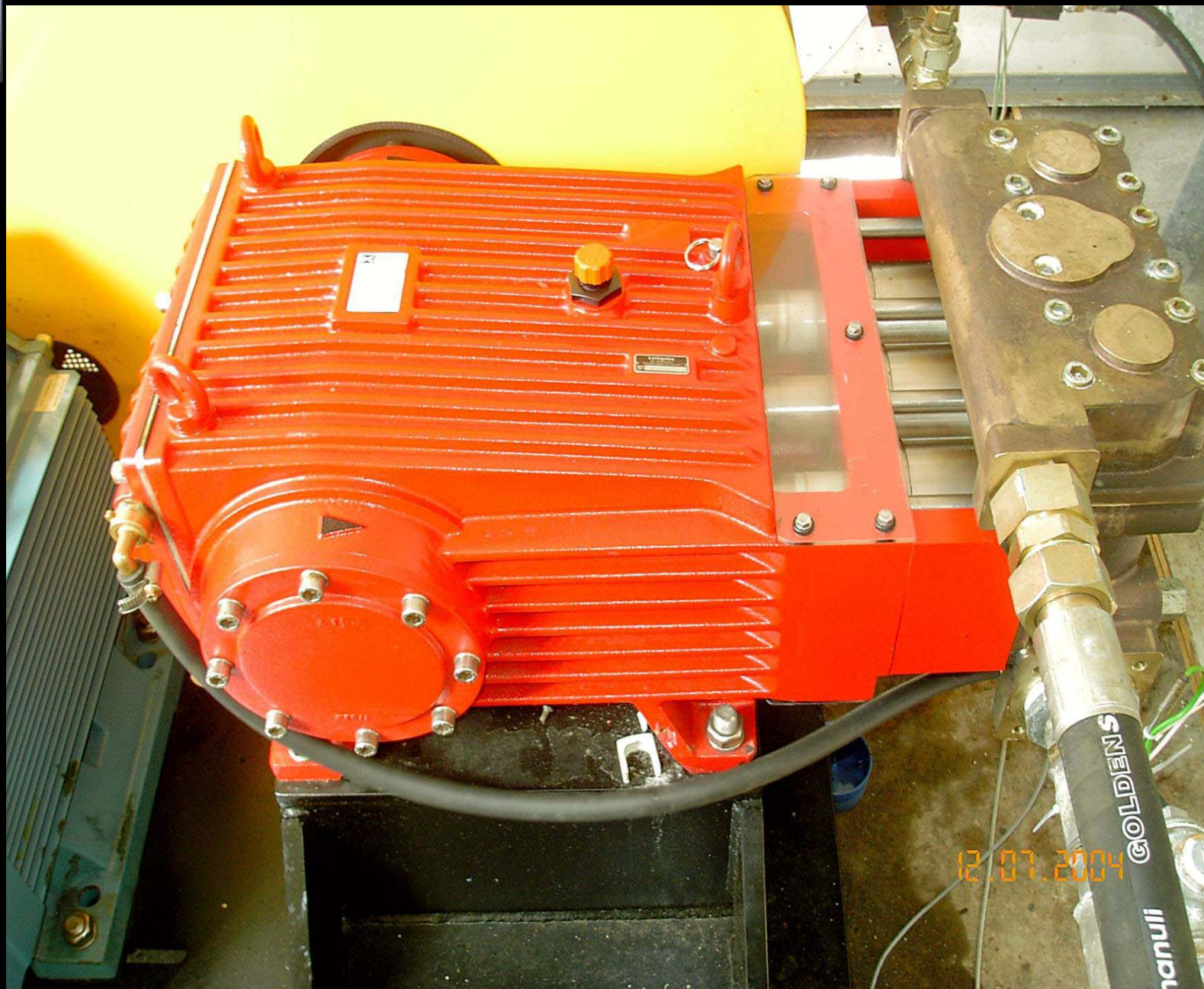


Injektions-
einlass
(rechts)



Pumpen-
system
KTB-VB
Injektion

12.07.2004



Drei-
kolben-
pumpe
KTB-VB
Injektion

12.07.2004

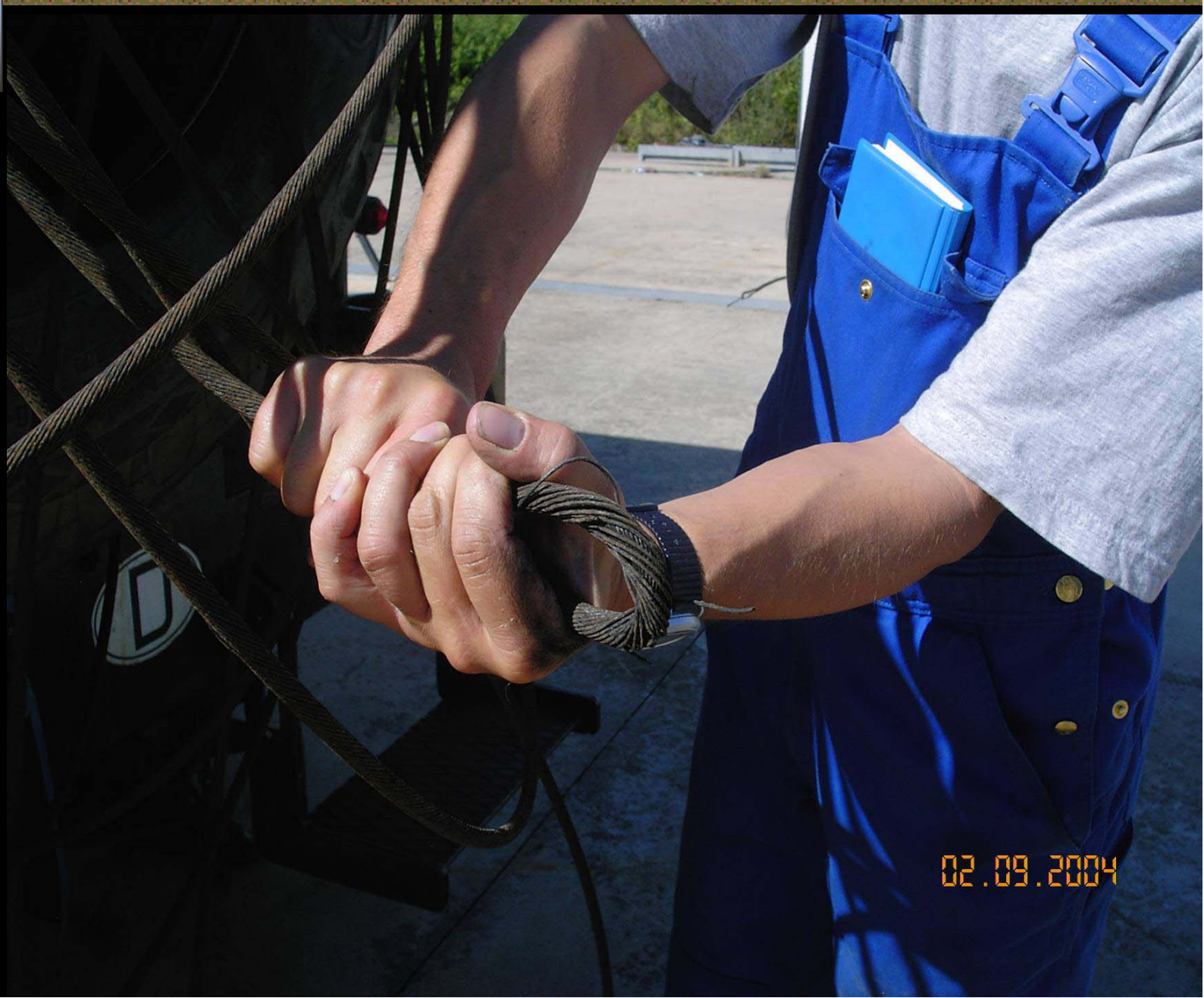
GOLDENS

manuli



Karl
Bohn,
Serge
Shapiro,
Miel Kühr
(v.l.n.r.)

KTB
KTB



Korrosion
des
Temp.-
sonden-
kabels
KTB-VB

02.09.2004



Online-
Datener-
fassung
KTB-VB
Injektion

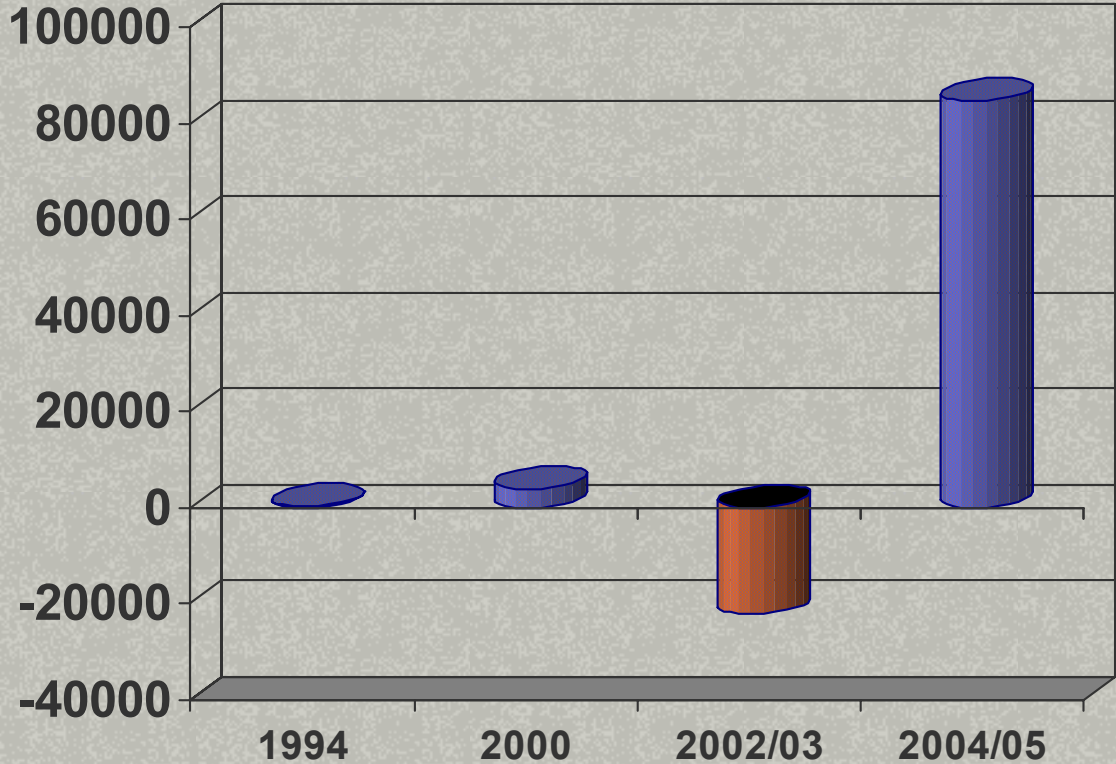
12.07.2004

Fluidinjektionen bei KTB

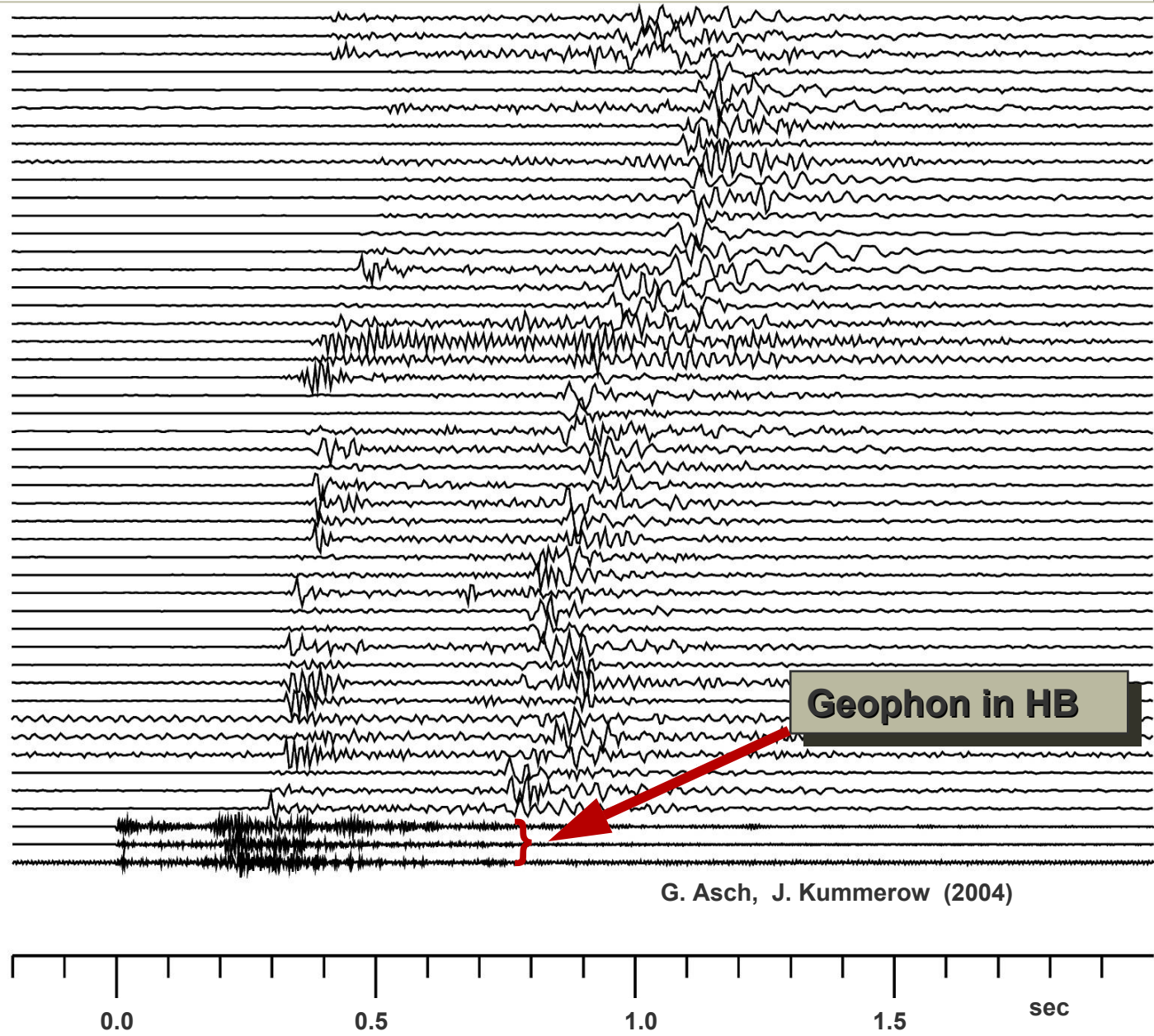
Mikro-	400	1994:	200 m ³ , HB
beben	2800	2000:	4 000 m ³ , HB
	~ 5	2002/03:	-22 300 m ³ , VB
	~ 3000	2004/05:	84 600 m ³ , VB

[m³]

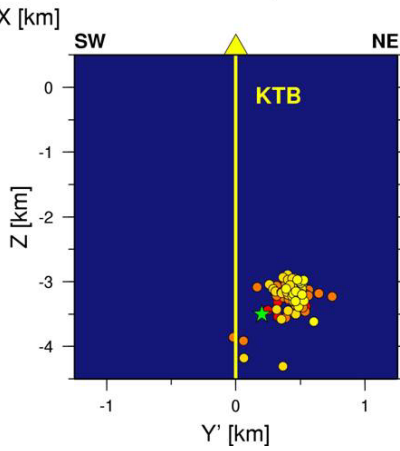
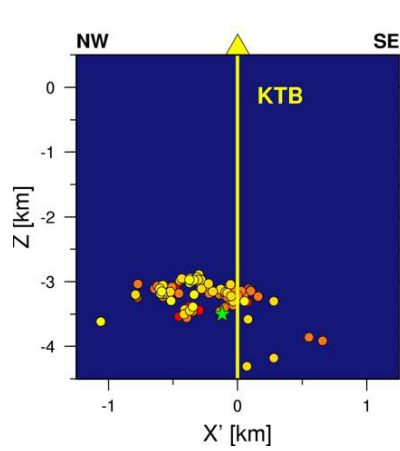
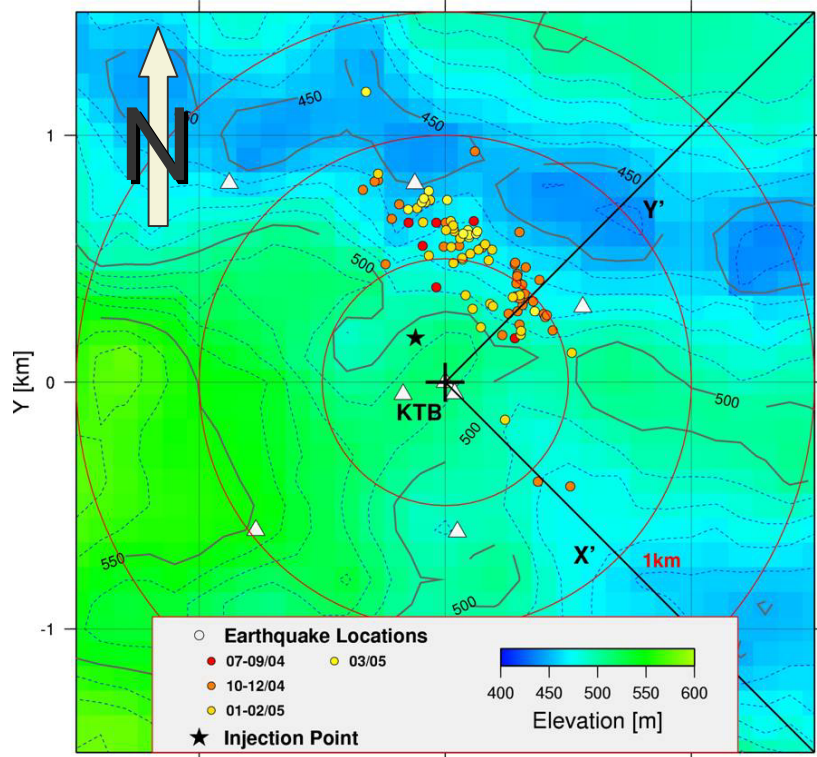
Menge



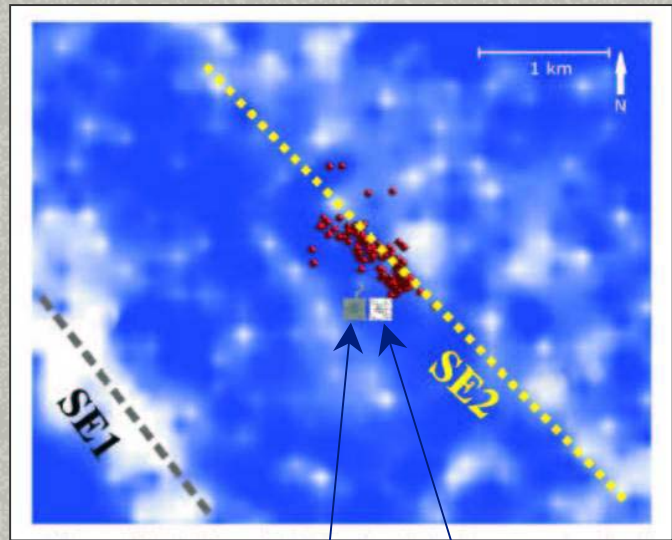
KTB – Lokales seismisches Netz



G. Asch, J. Kummerow (2004)



SHAPIRO et al., 2006

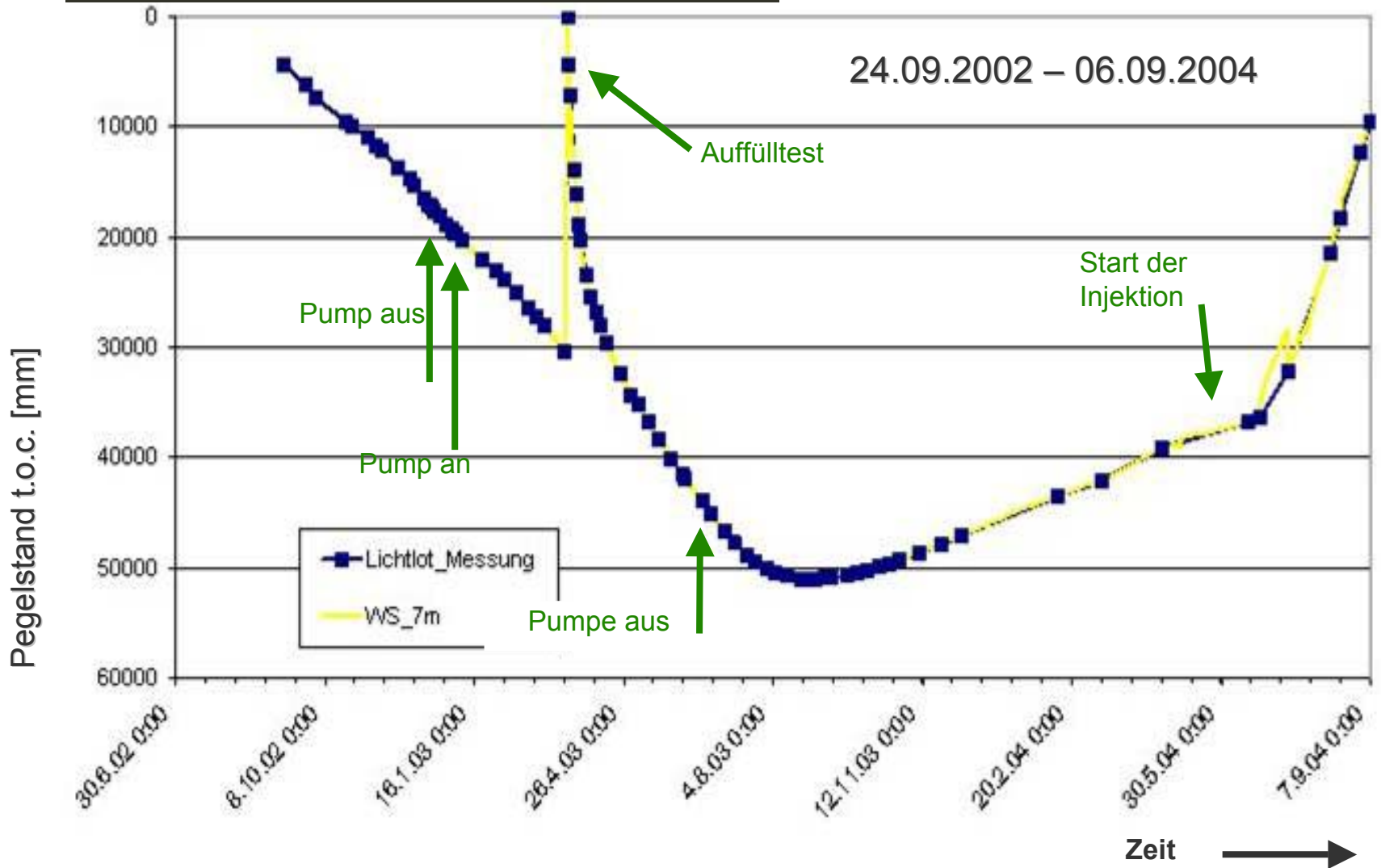


KTB-VB

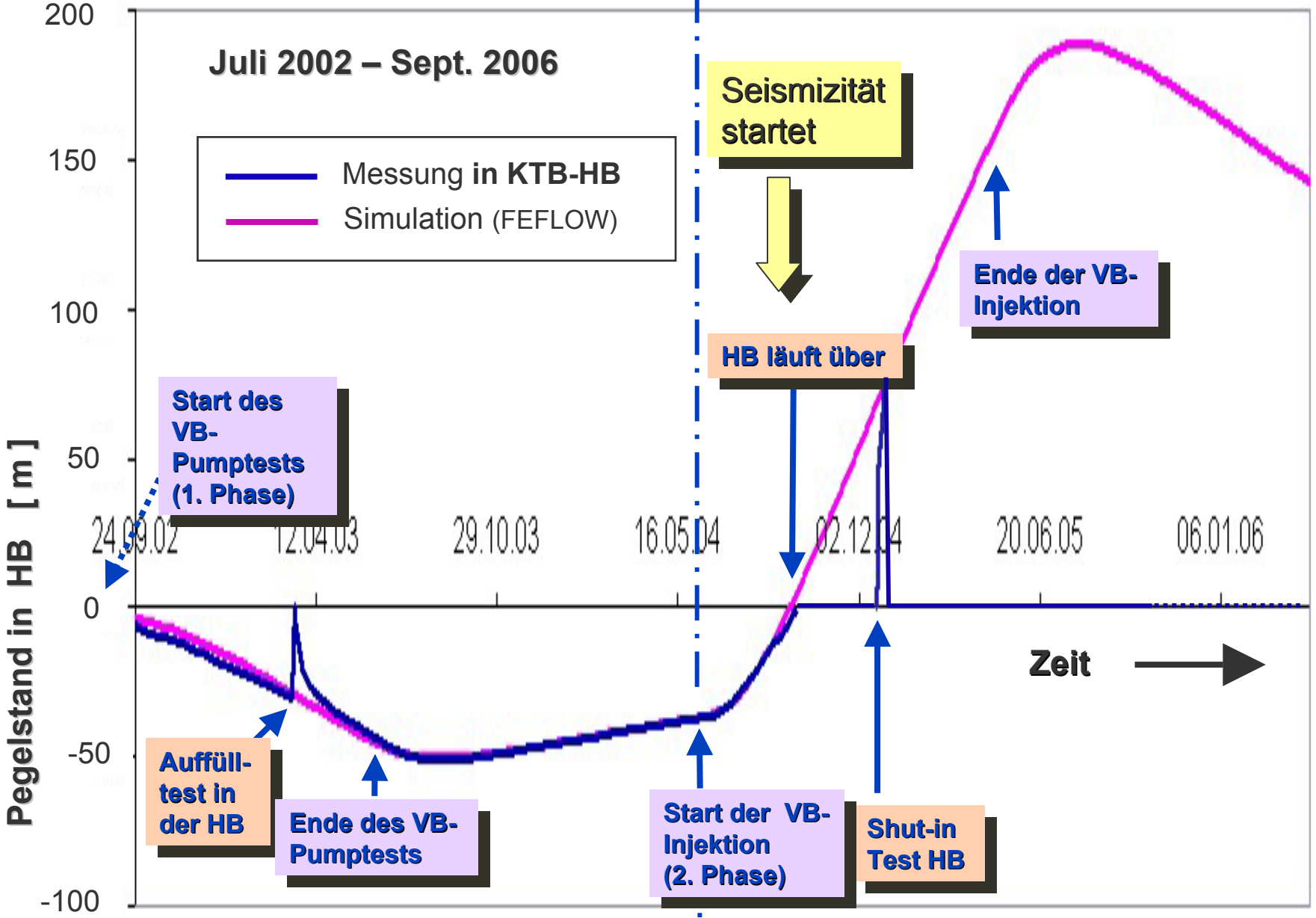
KTB-HB

KUMMEROW, J., 2004

Pegelstandsmessung in der KTB-HB



Juli 2002 – Sept. 2006



Pegelstand in HB [m]

Zeit →

Wichtigste Ergebnisse:

Störzone
SE2 ist
nahezu
offenes
hydraul-
isches
System

Permeabilität
ist rel. hoch;
nimmt durch
Abkühlung zu

Entnahme
von
Gebirgsfluid
hat Kruste
stabilisiert

Wie geht es weiter ?

Tests in der
7,2 km
tiefen SE1
Störzone
(ist tiefer
und aus-
geprägter)

Fluidzirkula-
tionstests
entlang 4 km
tiefer SE2;
zwischen VB
und perfo-
rierter HB

KTB wird
geschlossen

Dank für erhebliche Fördermittel durch
Deutsche Forschungsgemeinschaft
& GeoForschungsZentrum Potsdam





ENDE