

# **Verdampfersonde mit Wärmeträgermittel CO<sub>2</sub> oder Ammoniak**

**Fachgespräch Erdwärmesonden  
Thermische Auswirkungen,  
Sonderformen der Nutzung**

**R. Zorn, H. Steger & T. Kölbl**

**26.08.2008**

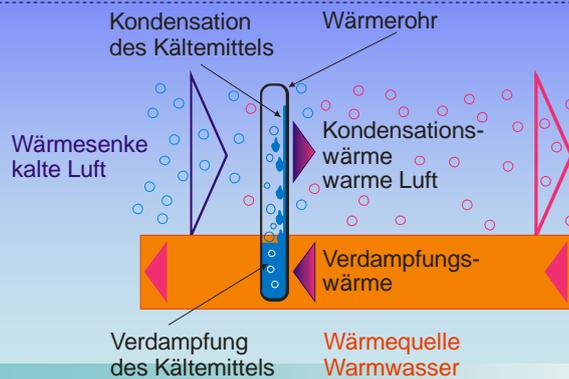
## **Gliederung**

- **Einleitung**
- **Grundlagen**
- **Testfeld in Triberg-Nußbach**
- **Ausblick**

## Allgemeine Einführung

Gebräuchliche Begriffe für ein Konvektionswärmerohr:

- Wärmerohr
- Thermosyphons
- Heatpipe
- Verdampfersonde



Definition:

In einem geschlossenen Rohr wird Wärme von einer Wärmequelle zu einer Wärmesenke transportiert, wobei ein Phasenwechsel des Arbeitsmittels (Helium, Ammoniak, Methanol, Wasser, usw.) vonstatten geht.

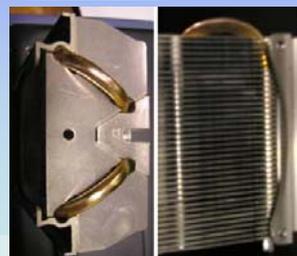
## Allgemeine Einführung

Es gibt zwei Grundsätzliche Bauformen:

- Gravitationswärmerohr



- Kapillarwärmerohr

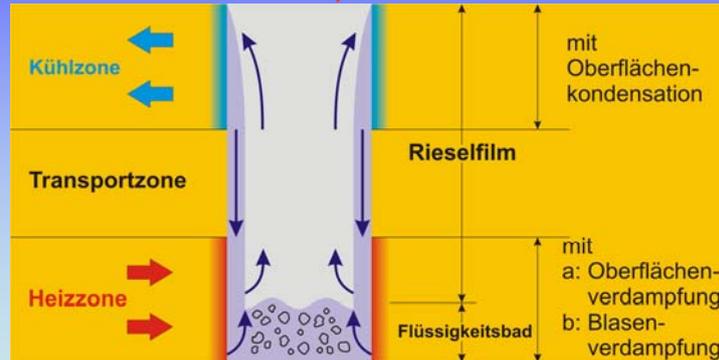


## CO<sub>2</sub> Heat pipe als Erdsonde, Grundprinzip

**Kühlzone:** Zone der Wärmeabgabe an ein anderes Medium (WP, etc.)

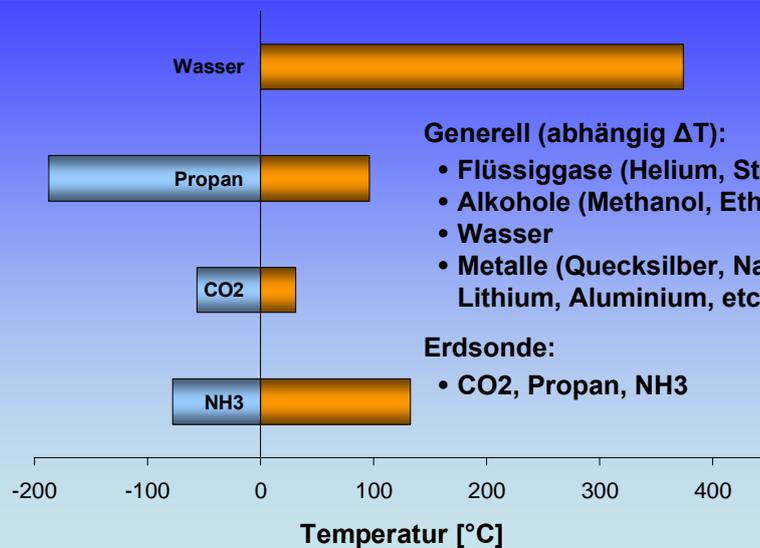
**Neutrale Zone:** Zone ohne Wärmeinput bis ca. 10 – 15 Meter entspricht der Transportzone

**Heizzone:** Wärmefluss im Untergrund (z. B. ~10°C ab 10-15 Meter Tiefe mit einer Zunahme von 3°C/100m).



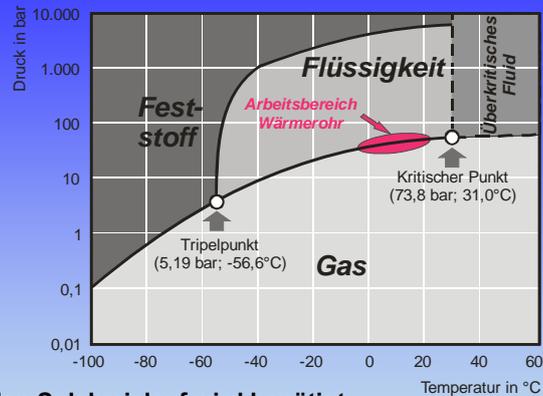
**Möglichst lange Heizzone und Oberflächenverdampfung (kein Flüssigkeitsbad)**

## Temperaturbereiche verschiedener Arbeitsmittel



## CO<sub>2</sub>-Phasendiagramm

CO<sub>2</sub> ist ideal als Arbeitsmittel geeignet, da die Phasenumwandlung von CO<sub>2</sub> im Bereich der Untergrund und bzw. Oberflächentemperaturen zwischen ca. -5 bis +20°C (bei ~ 40 bar) ideal ist.



### Vorteile

- Keine zusätzliche Pumpe für den Solekreislauf wird benötigt
- Sehr hohe Umweltverträglichkeit (kein Frostschutzmittel wird benötigt),
- Hohe Wärmestromdichte (bis ca. 40 W/cm<sup>2</sup> einkoppelbarer Wärmestrom)
- geringere thermische Widerstände (hohe Wärmeleitfähigkeit, etc.)

Jahresarbeitszahl ist höher (~6 gegenüber 4 bei konventionellen Sole-Erdsonden)

## Typische Wärmerohrmaterialien

- Kupfer
- Kupfer-Bronze
- Aluminium
- Stahl
- Nickel-Basis-Legierungen
- Kohlenfaser (selten)



### Verwendung:

Als Metallrohr (z. B. Stahl, Aluminium) oder in beschichteten Gewebeschläuchen (z. B. Kupfer)



z. B. Stahlrohr



Quelle: <http://www.m-tec.at/>

## Bauformen

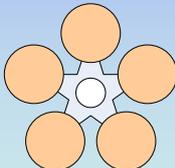
**Bauformen**

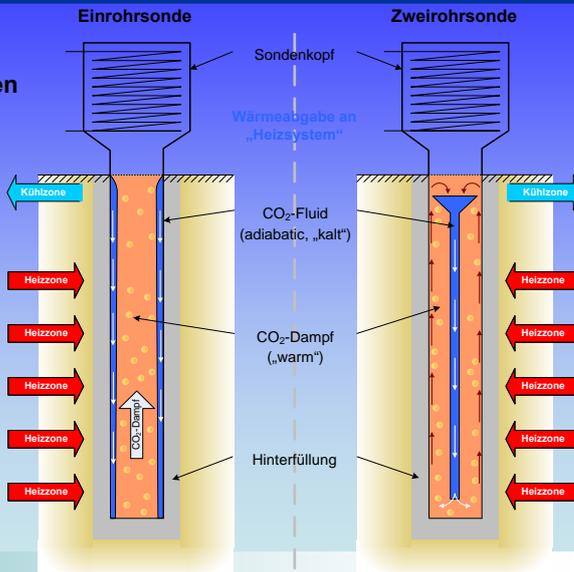
- Ein-, Zwei-, Mehrrohrsonden
- Glatt-, Wellrohr
- Schlauch

**Anforderungen**

- flexibel
- druckfest
- korrosionsbeständig

Mehrrohrsonde





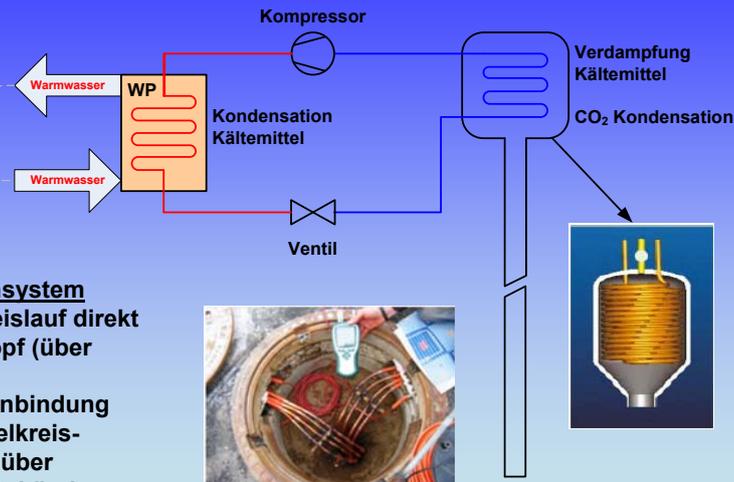


Universität Karlsruhe (TH)  
Geologisches Institut



Abteilung  
Hydrogeologie

## Oberflächenanbindung



**Schacht für:**

- **Wärmetauschsystem**  
Kältemittelkreislauf direkt am Sondenkopf (über Bohrloch)
- **Horizontale Anbindung**  
des Kältemittelkreislaufes an WP über Schacht ins Gebäude

Quelle: Karl Mittermayr, M-TEC  
Mittermayr GmbH, Malmö, 02-10-2007



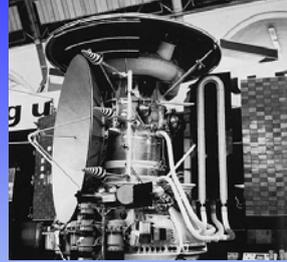
Universität Karlsruhe (TH)  
Geologisches Institut



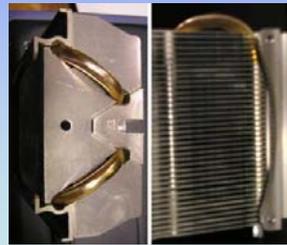
Abteilung  
Hydrogeologie

## Anwendungsbeispiele

- Raumfahrt
- Satellitentechnik
- Wärmetauschersysteme (allotherme Holzvergasung)
- Mikroelektronikkühlung (z. B. in modernen Handys oder in Computern)
- Erdsonden (Wärme, Gründung)



<http://en.wikipedia.org/>

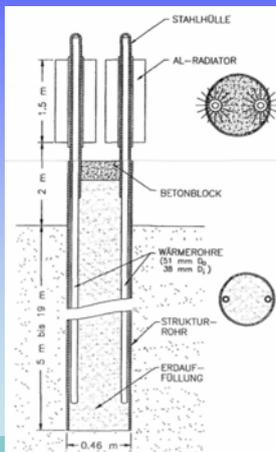


<http://en.wikipedia.org/>

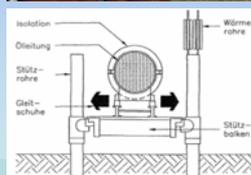
## Baugrundstabilisierung im Permafrost 1

Alaska-Pipeline, Stabilisierung der Gründung mittels  $\text{NH}_3$  Wärmerohre

- Verhindern des Auftauens des Permafrostbodens
- 61.000 Wärmerohrpaare an jedem vertikalen Hilfselement (5 – 19 Meter Tiefe)



<http://en.wikipedia.org/>



## Baugrundstabilisierung im Permafrost 2

### Lahsa-Bahn, Stabilisierung der Gründung mittels $\text{NH}_3$ Wärmerohre

- Verhindern des Auftauens des Permafrostbodens
- 10.000 Wärmerohre



Quelle:

[http://tibet.cn/en/newfeature/qtrailway/photo/t20070906\\_279284.htm](http://tibet.cn/en/newfeature/qtrailway/photo/t20070906_279284.htm)

## Eisfreihaltung von Wegen

### Eisfreihaltung von Wegen, Fa. M-TEC Mittermayr GmbH, CO<sub>2</sub> Mehrrohrsonden (ohne WP)

Quelle:  
Karl Mittermayr, M-TEC Mittermayr GmbH, Malmö, 02-10-2007

Im Bau



Fertige Garageneinfahrt



Vor Betrieb



In Betrieb



## Eisfreihaltung von Wegen, Einrohrsondenlösung

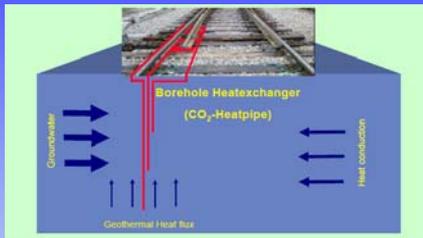


Quelle: Thermion Technology GmbH

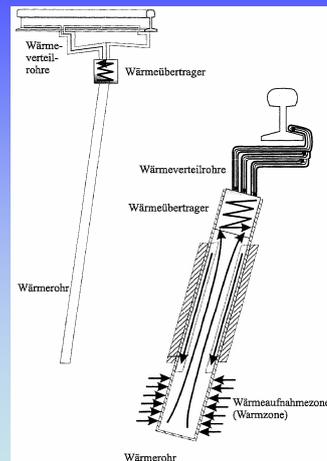
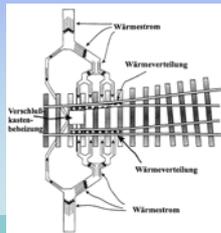
Direktverdampfersonde: Arbeitsmittel NH<sub>3</sub> (ohne WP)

## Eisfreihaltung von Weichen

Nur Installationskosten, da selbst laufend bei beginnenden niedrigen Temperaturen



Quelle: ZAE Bayern, Staudacher, Malmö, 02-10-2007



Quelle: Feldmann 2004

## Testfeld in Triberg-Nußbach

### Geographische Lage:

- Naturräumlicher Teil des Mittleren Schwarzwaldes
- Mittlere Höhe 867 m ü. NN
- Jahresdurchschnittstemperatur 7°C
- Jährlicher Niederschlag 1740 mm

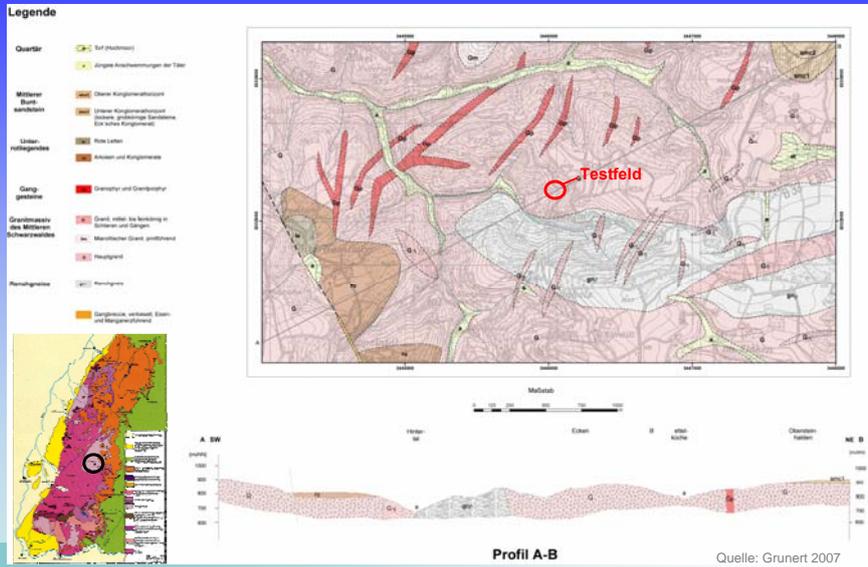


## Testfeld in Triberg-Nußbach

### Geographische Lage:



# Geologische Situation, Triberg Granit



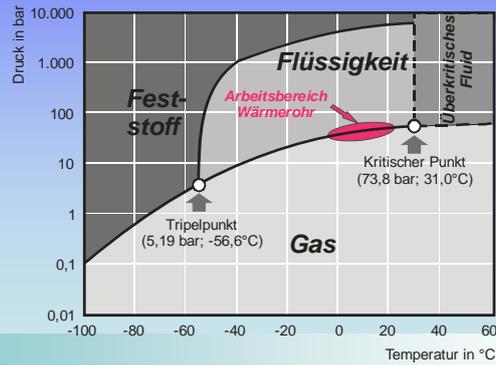
# Geologische Situation, Triberg Granit



# Thermodynamische Auslegung 1

Auslegung aufwendiger als bei EWS

- Thermodynamische Daten des CO<sub>2</sub>
- Verdampfungstemperatur des CO<sub>2</sub>
- Geothermischer Gradient
- Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes
- Filmlänge



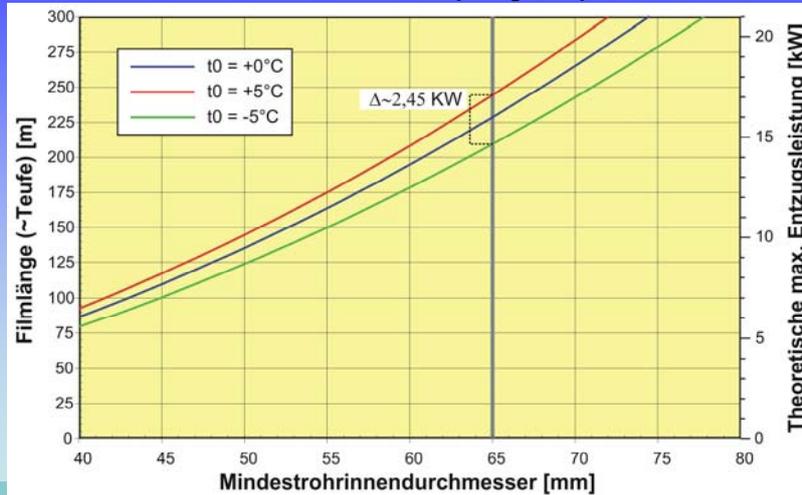
# Thermodynamische Auslegung 2

CO<sub>2</sub>-Verdampfungstemperatur von ~ 0°C mit Variation der spez. Entzugsleistung.



## Thermodynamische Auslegung 3

Theoretische max. Entzugsleistung und Filmlänge bei einer Sondenleistung von 70 W/m mit Variation der CO<sub>2</sub>-Verdampfungstemperatur



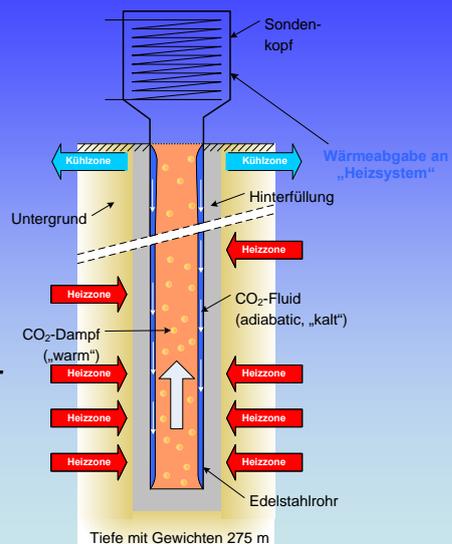
## Einbau des Wärmerohrs

### Einbaubedingungen

- Einrohrsonde aus Stahl (gewellte Oberfläche)
- Endteufe der Bohrung bei 275 Meter
- Wärmerohrlänge 250 Meter Länge
- 25 Meter für Gewichte (gegen den Auftrieb, da Wasserspiegel im Bohrloch bei ca. 30 m u. GOK)

### Monitoring am Wärmerohr

- 8 punktuelle PT100 Temperaturfühler
- Faseroptische tiefenauflösende Temperaturmessungen (alle 50 cm)
- Punktuelle elektrische Leitfähigkeitsmessungen
- Wärmemengenzähler, Drucksensor



## Technische Umsetzung

275 m tiefe Bohrung im Triberggranit



## Technische Umsetzung

- Anbringen von Gewichten (ca. 1,5t)
- Einbau eines DN 60 Edelstahlrohrs
- Montage dreier Verpressschläuche



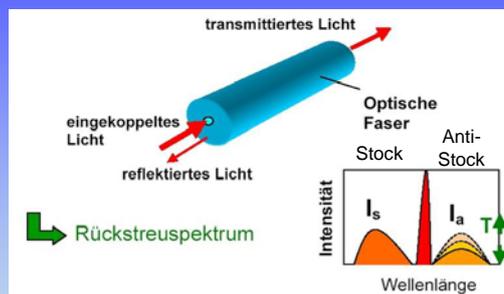
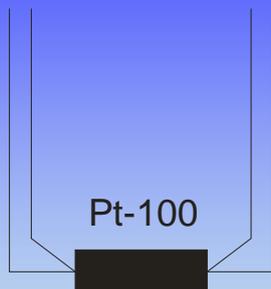
## Technische Umsetzung



Installation eines Monitoringsystems (DTS-Kabel, 8 Pt-100, 6 Widerstandsfühler, Druck, Wärmemenge)

## Temperaturmessung

- Pt-100-Widerstandsmessfühler (4 Leiter)
- Glasfaserkabel (DTS-Kabel)



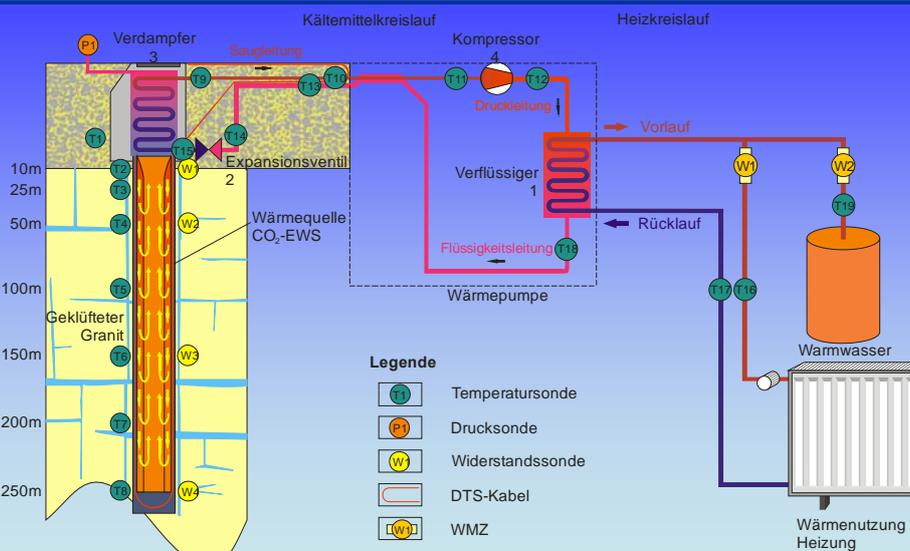
Das reflektierte Licht besteht aus verschiedenen spektralen Anteilen, dem Rayleigh-Anteil und dem Ramananteil. Der Ramananteil lässt sich in das Stokes-Signal ( $I_s$ ) und das temperaturabhängige Anti-Stokes-Signal ( $I_a$ ) aufteilen, deren Wellenlängen zu geringeren bzw. größeren Wellenlängen hin verschoben sind.

## Technische Umsetzung

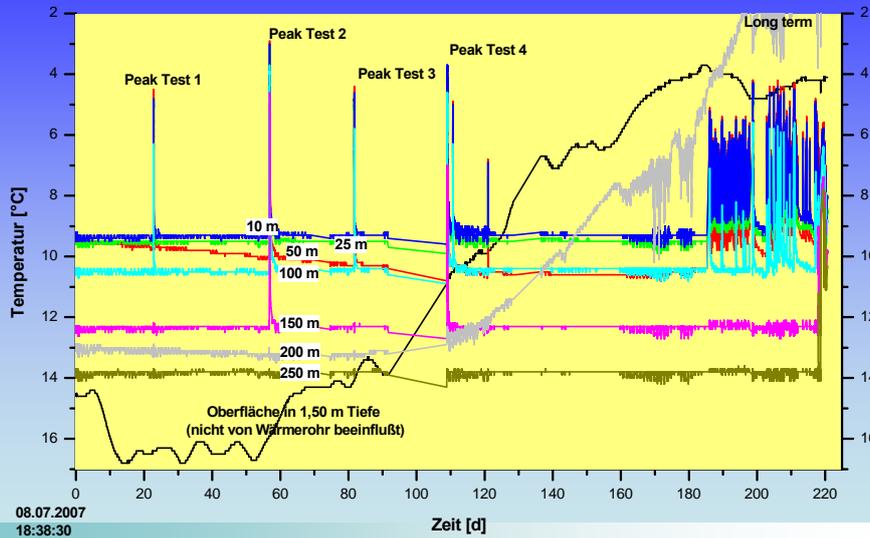


Verpressen des Ringraums mit einem thermisch verbessertem Hinterfüllbaustoff (Thermochem)

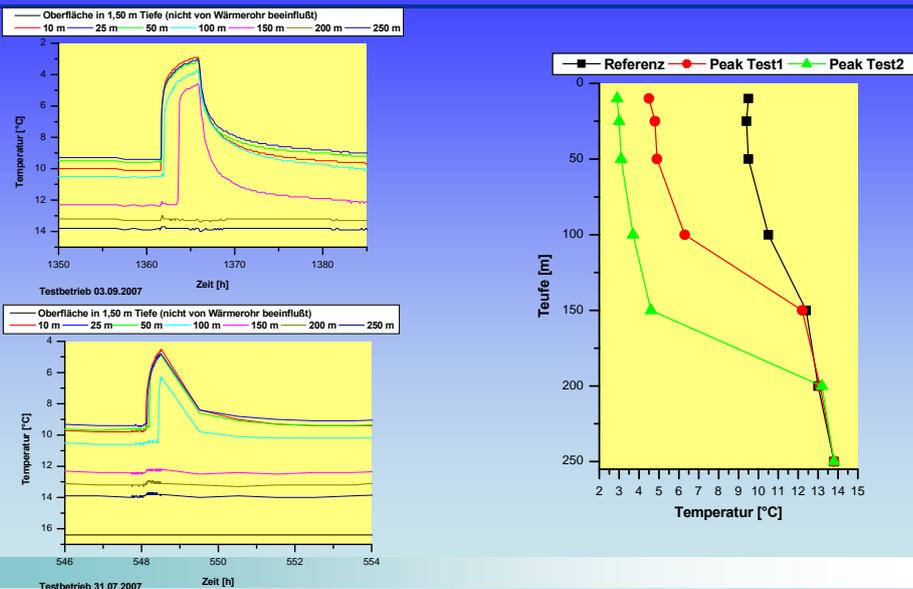
## Schematischer Aufbau

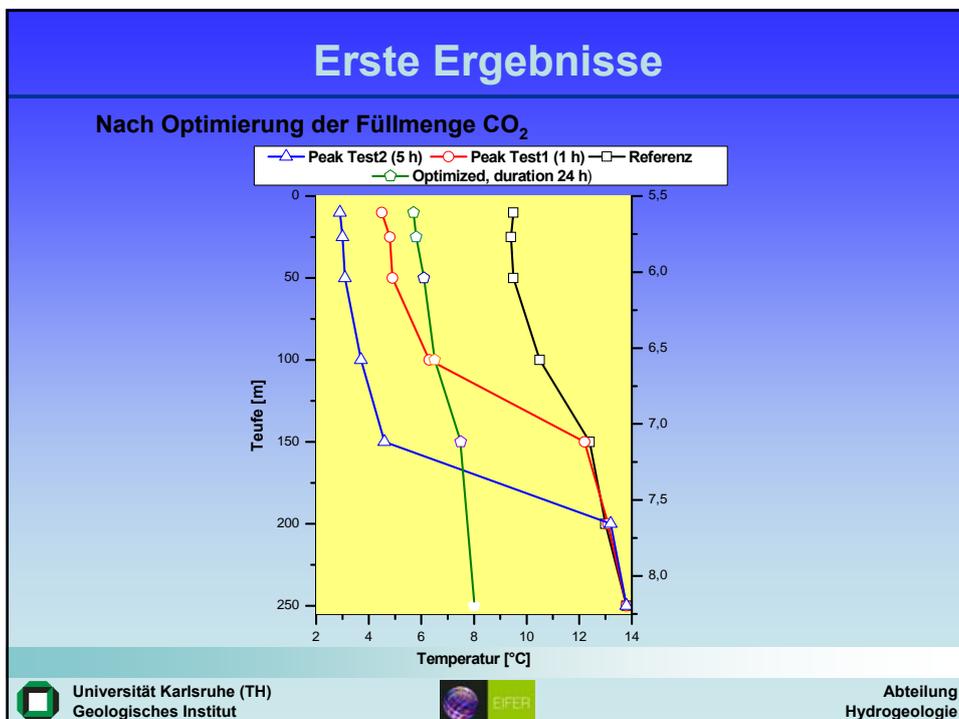
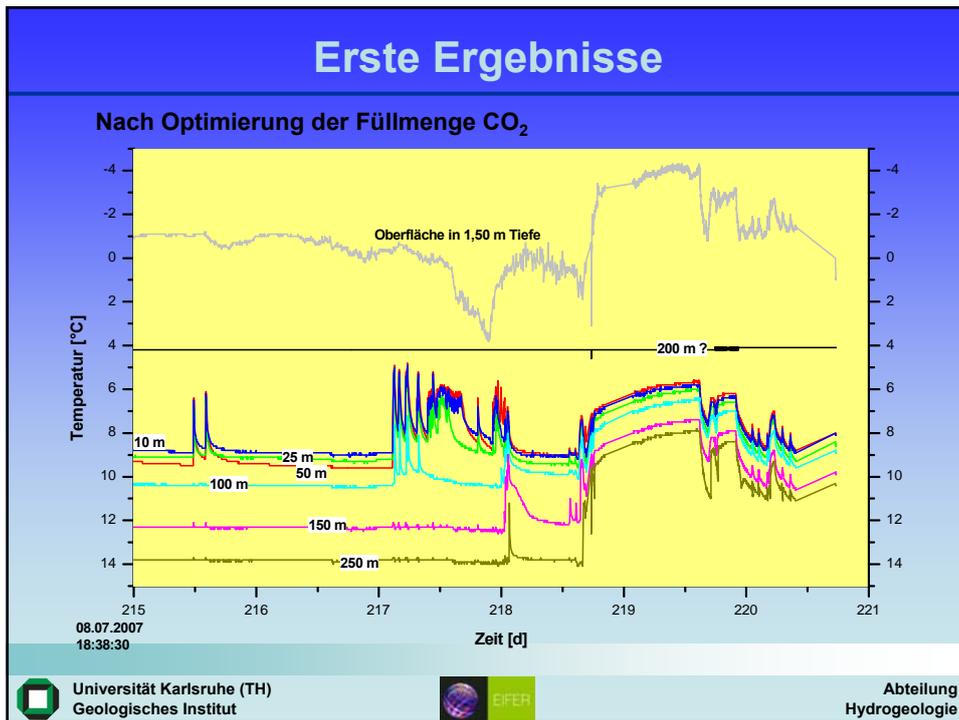


# Erste Ergebnisse



# Erste Ergebnisse



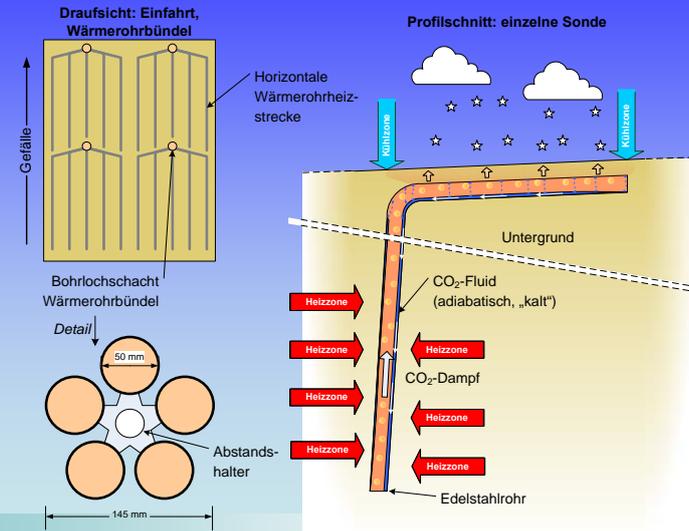


# Ausblick 1

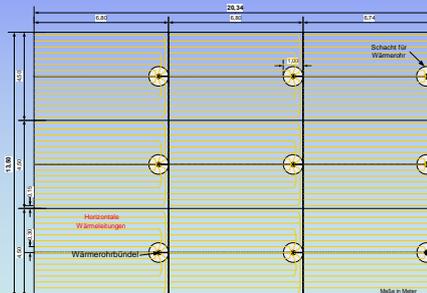
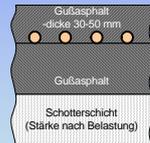
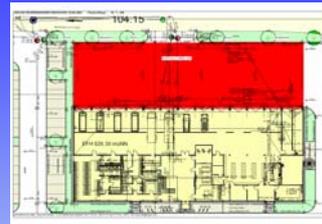
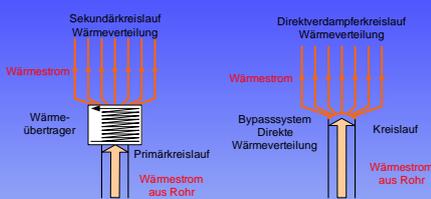
## Eisfreihaltung einer Feuerwehrezufahrt



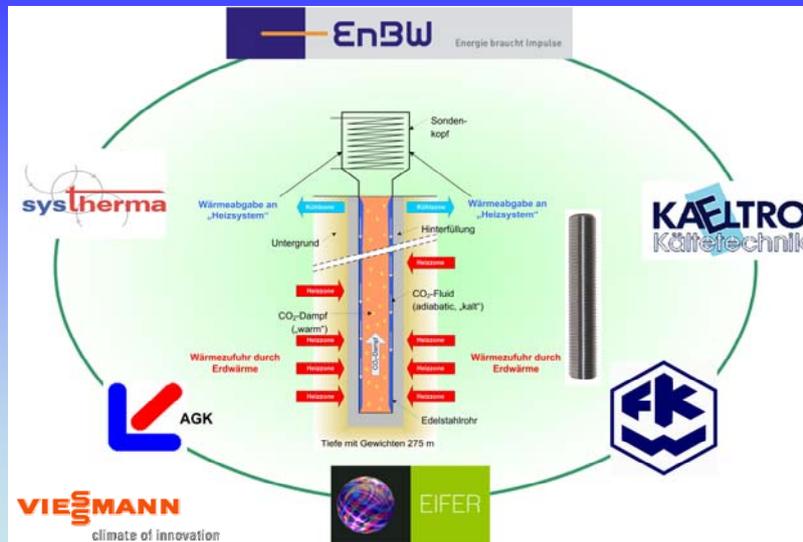
Quelle:  
M-TEC Mittermayr GmbH,  
Malmö, 02-10-2007



# Ausblick 2



## Projektpartner des Forschungsprojekts



Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit

Fragen?