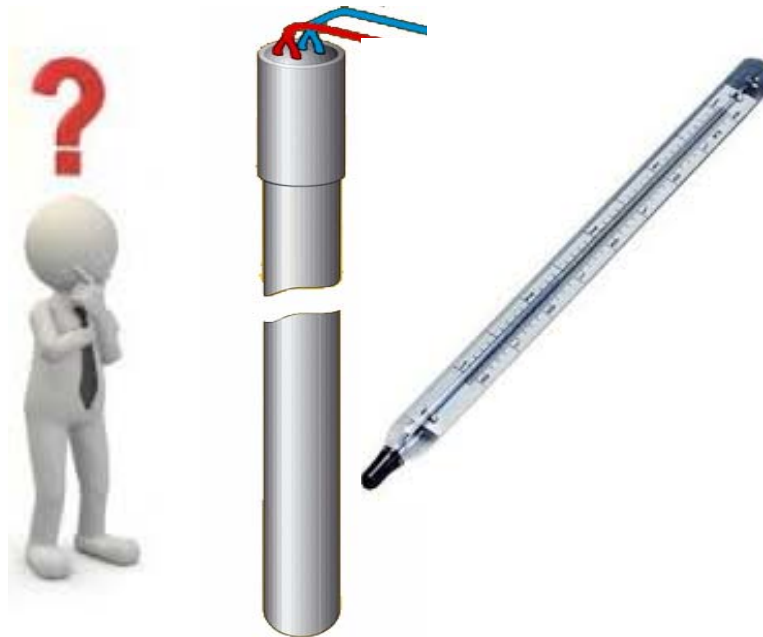
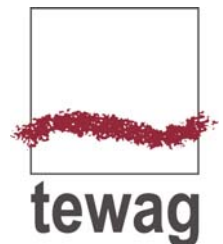


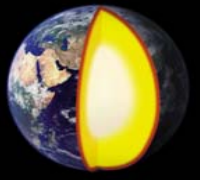
Die Temperaturentwicklung im Ringraum einer Erdwärmesonde

- Wie kalt wird's „wirklich“? -



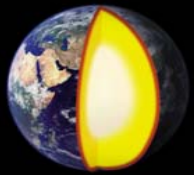
Markus Kübert, Simone Walker-Hertkorn, David Kuntz
tewag GmbH





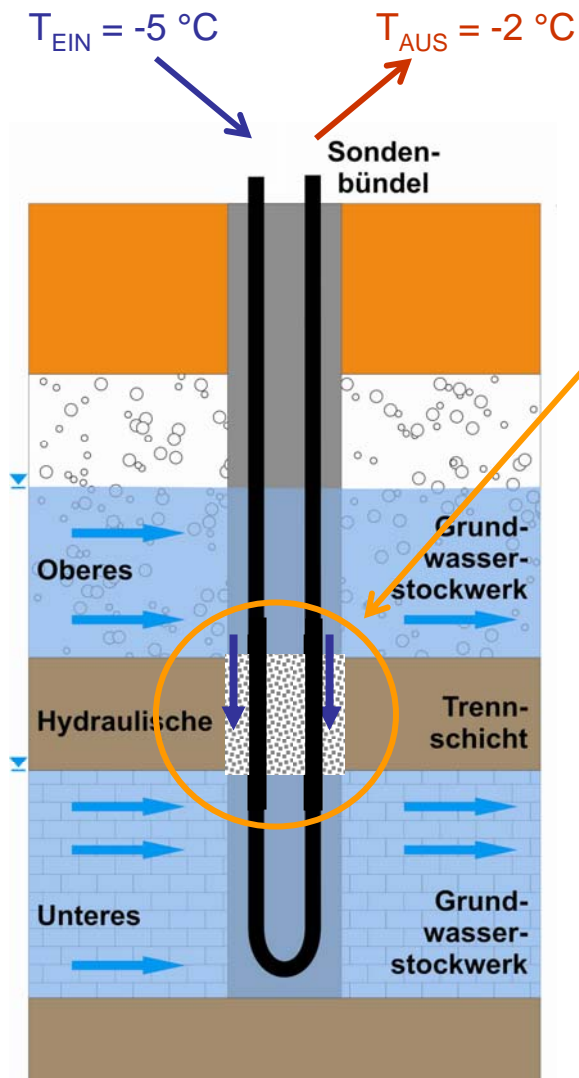
Inhalte

1. Einführung
2. Fallbeispiel
3. Simulationsergebnisse – stationäre Betrachtungen
4. Simulationsergebnisse – instationäre Betrachtungen
5. Schlussfolgerungen & Ausblick



Problemstellung

Frostfreier Betrieb – aktuelle Diskussion der Frost-/Taubeständigkeit



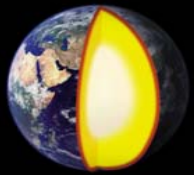
Spitzenlastbetrieb der Wärmepumpenanlage

Frost-Tau-Wechsel im verfüllten Ringraum der EWS

⇒ verminderte Dichtwirkung der Hinterfüllung

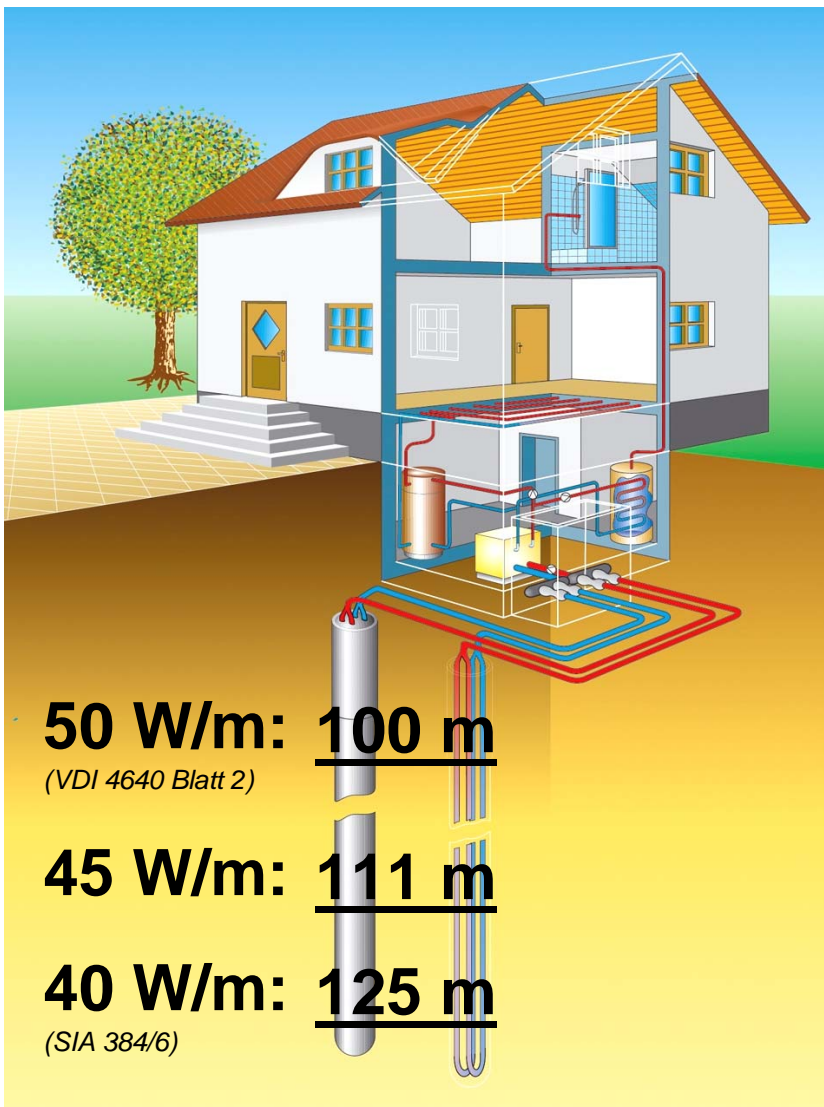
⇒ Ringraumzirkulation

Forderung eines **frostfreien Betriebs** mit $T_{\text{Ein}} \geq 0 \text{ °C}$ bzw. reines Wasser als Wärmeträgermedium!



Fallbeispiel

Einfamilienhaus (Neubau)



Entzugsleistung Wärmepumpe: 5 kW

Laufzeit: 1.800 h/a

Entzugsarbeit Wärmepumpe: 9.000 kWh/a

Temperaturpreizung Verdampfer: 3 K

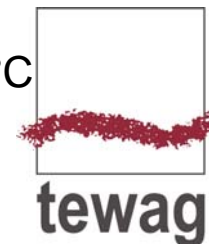
Wärmeleitfähigkeit Hinterfüllung: 2 W/(m K)

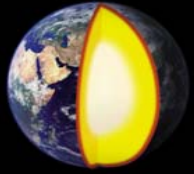
1 Erdwärmesondenbohrung

Wärmeleitfähigkeit: 2,3 W/(m K)

Wärmekapazität: 2,2 MJ/(m³ K)

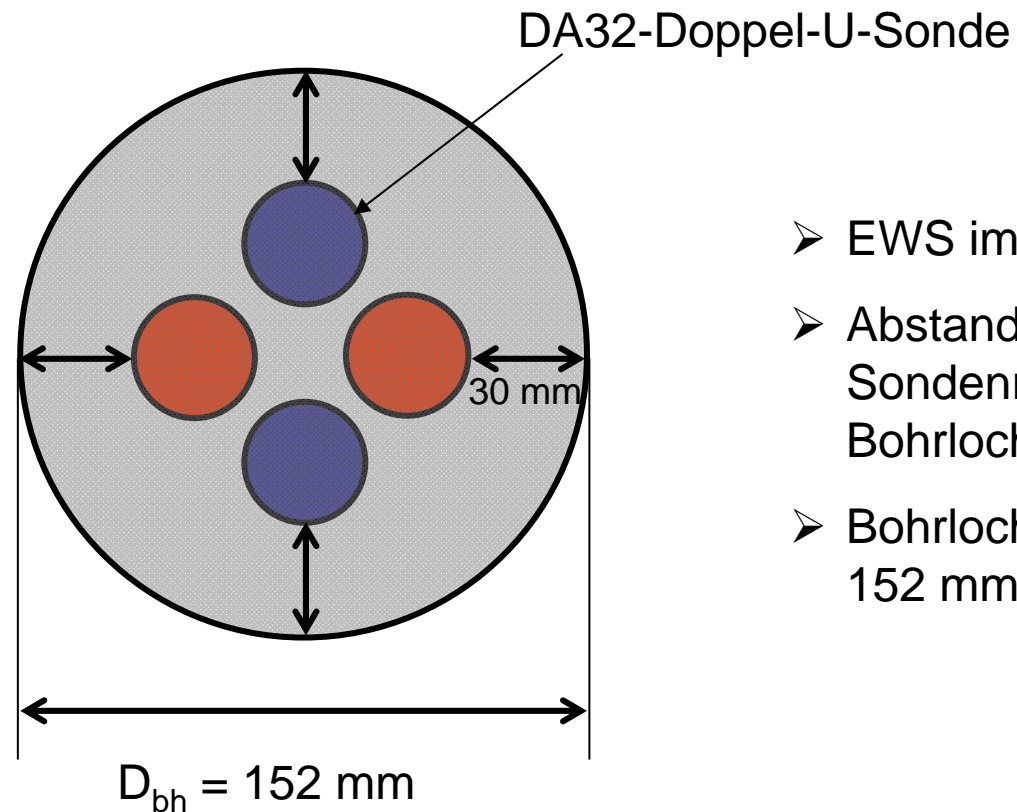
ungestörte Untergrundtemperatur: 11 °C





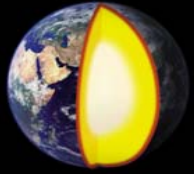
Fallbeispiel

Idealisiertes Bohrloch nach den Leitfäden Hessen bzw. Bayern



- EWS im Bohrloch zentriert
- Abstand von 30 mm zwischen Sondenrohren und Bohrlochwand
- Bohrdurchmesser von 152 mm

Hinweis: Die thermischen Auswirkungen des Verpressschlauches sollen vernachlässigt werden!

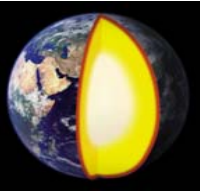


Stationäre Betrachtung

$$\frac{dT}{dt} = 0$$

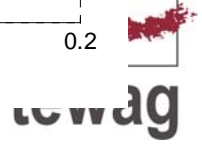
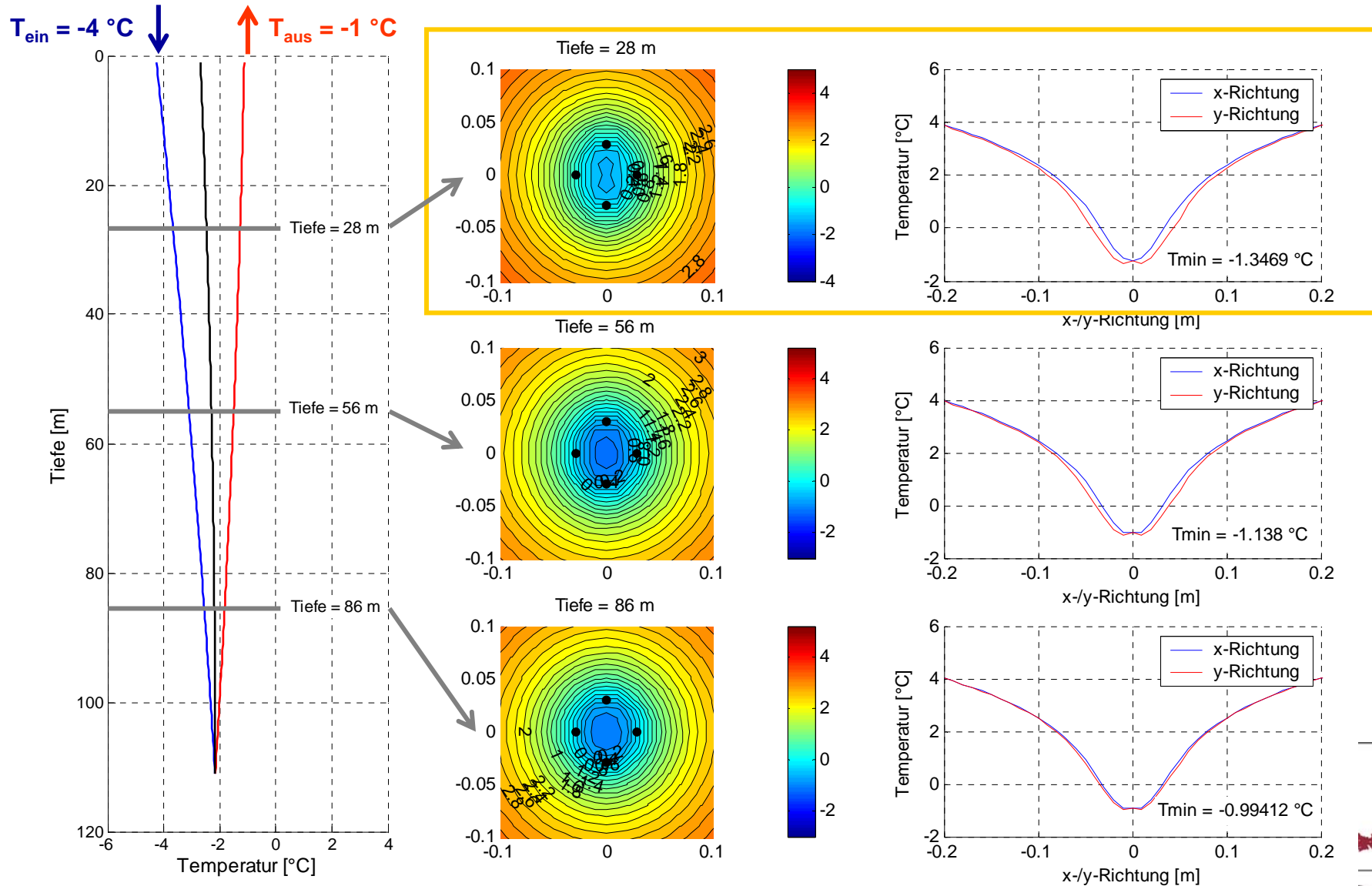
... kälter wird's nicht!

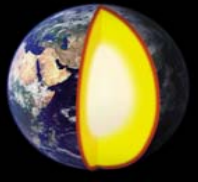




Simulationsergebnisse – stationäre Betrachtungen

Darstellung der Simulationsergebnisse – Auslegung mit **45 W/m**

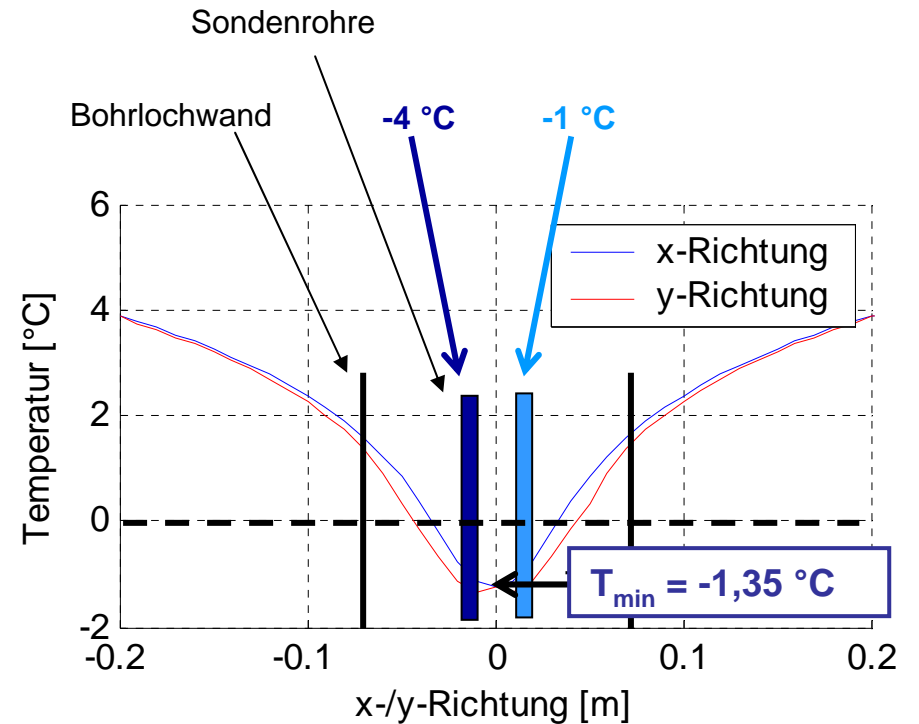
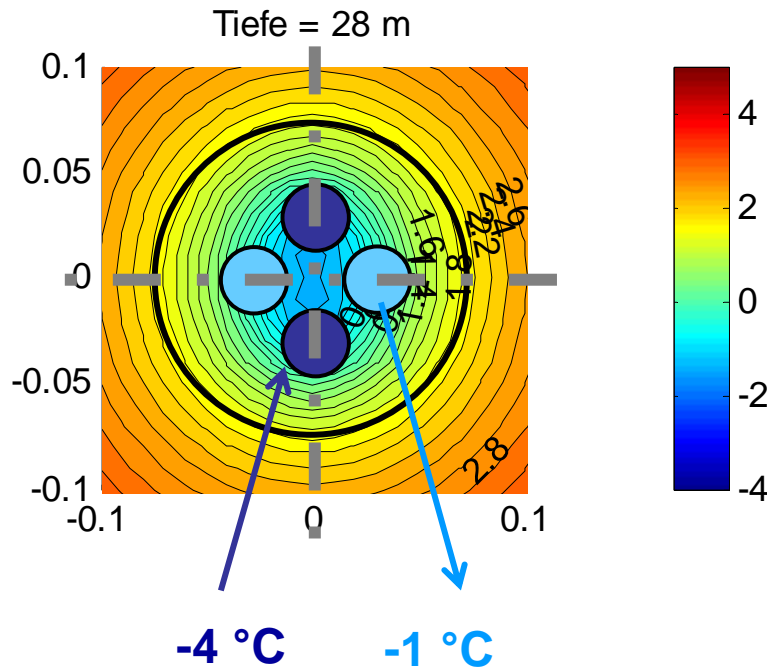




Simulationsergebnisse – stationäre Betrachtungen

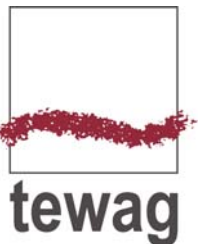
Darstellung der Simulationsergebnisse – Auslegung mit 45 W/m

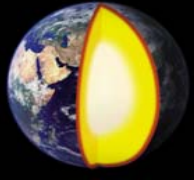
Detailbetrachtung für Tiefe von 28 m:



⇒ **-4 °C im Wärmeträgermedium bedeuten nicht -4 °C im Ringraum!**

⇒ **Es wird nicht der gesamte Ringraum des Bohrlochs durchfrosten!**

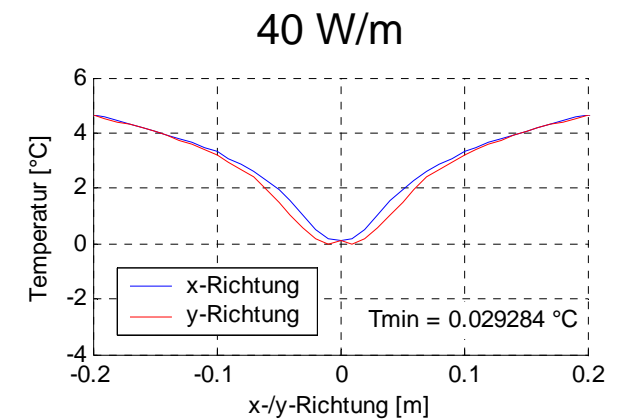
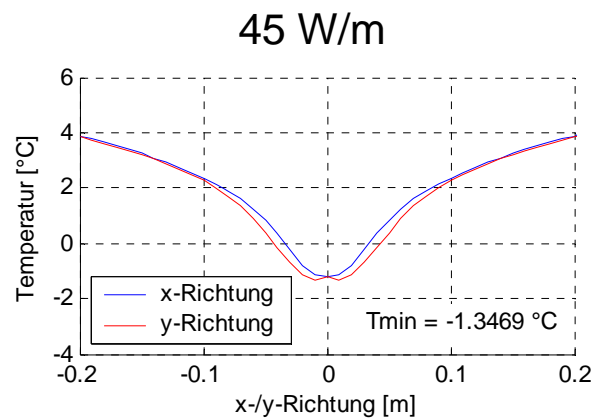
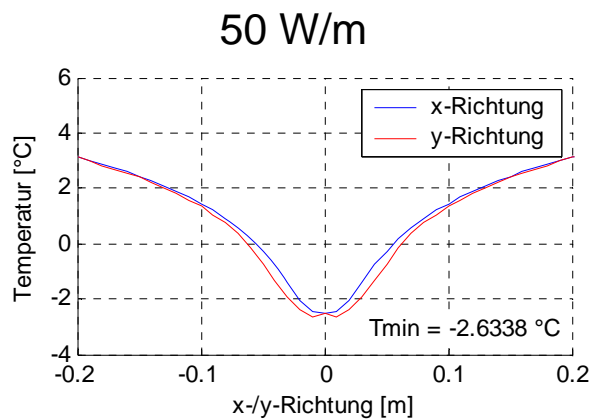


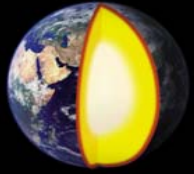


Simulationsergebnisse – stationäre Betrachtungen

Minimaltemperatur im Ringraum in Abhängigkeit der Auslegung

Entzugsleistung	50 W/m (VDI 4640, Blatt 2)	45 W/m	40 W/m (SIA)
Sondenlänge	100 m	111 m	125 m
Minimale Ein- und Austrittstemperaturen	-5,6 °C / -2,6 °C	-4 °C / -1 °C	-3 °C / 0 °C
Minimaltemperatur Ringraum	-2,6 °C	-1,35 °C	0 °C





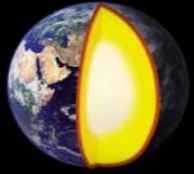
Exkurs

Praktische Erfahrungen aus einem Realmaßstabexperiment



⇒ **Die Lage der Sondenrohre in einem Bohrloch ist bei konventionellen Doppel-U-Sonden kaum prognostizierbar.**

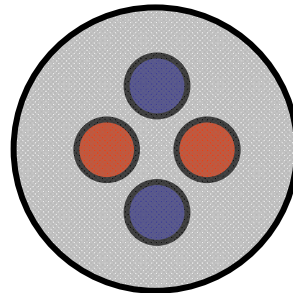
Quelle: Solites



Simulationsergebnisse – stationäre Betrachtungen – 45 W/m

Temperaturen im Ringraum vs. Lage der Sondenrohre im Bohrloch

Leitfaden konformer Ringraum



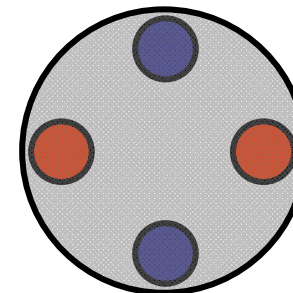
-4 °C / -1 °C

Minimale Ein- und Austrittstemperaturen

Minimaltemperatur Ringraum

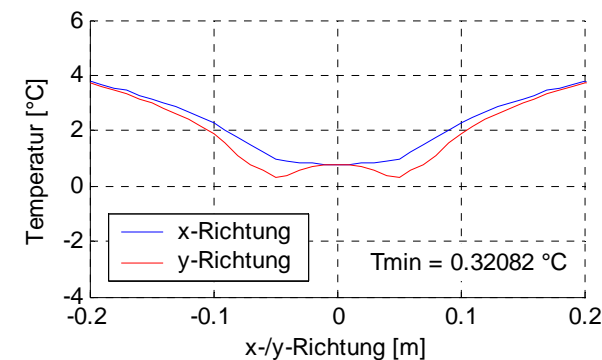
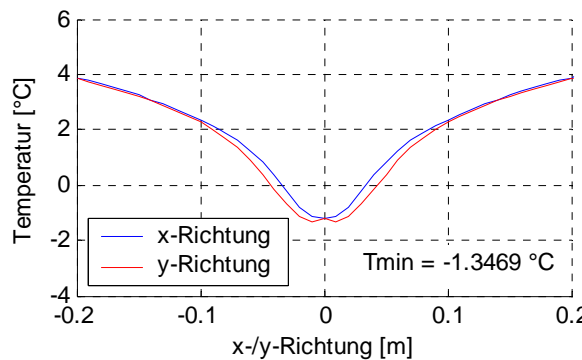
-1,35 °C

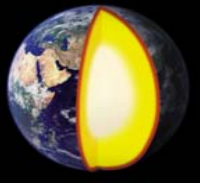
thermisch „optimaler“ Ringraum



-3 °C / 0 °C

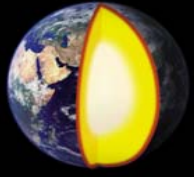
0,32 °C





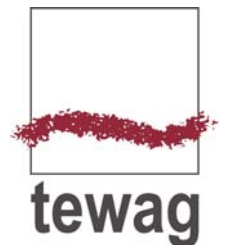
Erkenntnisse aus den stationären Betrachtungen

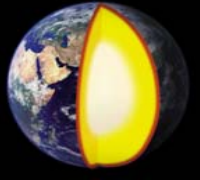
- ✓ -4 °C im Wärmeträgermedium bedeuten nicht -4 °C im Ringraum der Erdwärmesonde! Die Temperatur im Wärmeträgermedium prägt sich nicht direkt auf den Ringraum der Erdwärmesonde auf. Hierbei sind die Wärmeübergänge und die Wechselwirkungen zwischen Vor-/Rücklaufstrang und dem Untergrund zu beachten.
- ✓ Bei einem Betrieb der Erdwärmesondenanlage mit Ein- und Austrittstemperaturen von minimal $-3\text{ °C} / 0\text{ °C}$ tritt keine Durchfrostung des Ringraums ein.
- ✓ Bei Betriebstemperaturen $< -3\text{ °C} / 0\text{ °C}$ über längere Zeiträume (stationäre Betrachtung) findet eine teilweise bis hin zu einer signifikanten Durchfrostung des Ringraums statt.
- ✓ Die Lage der Sondenrohre im Bohrloch nimmt einen wesentlichen Einfluss auf die Temperaturen im Ringraum des Bohrlochs.



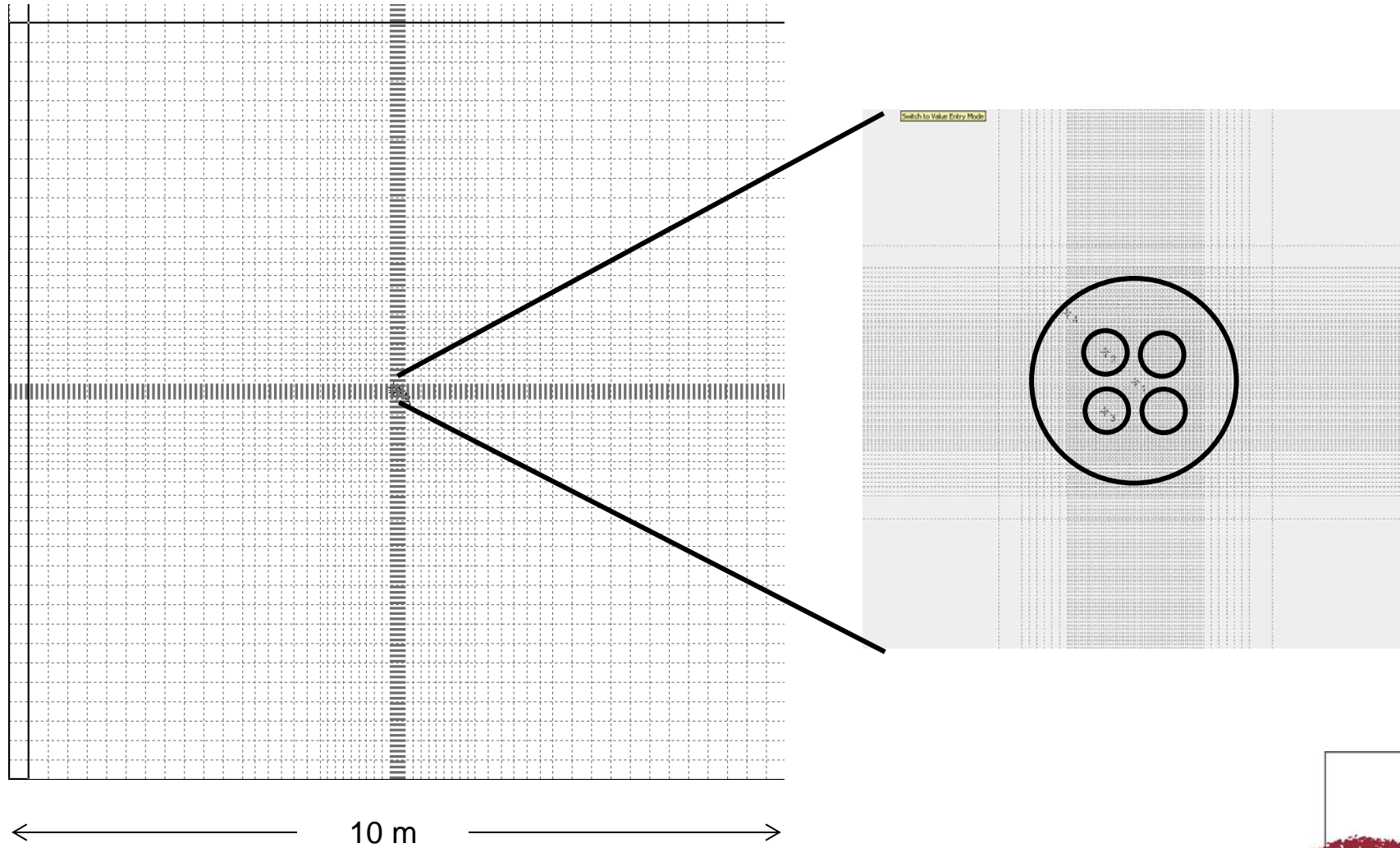
Instationäre Betrachtung

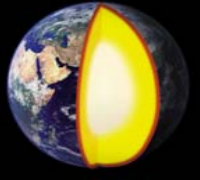
**... zeitliche
Entwicklung der
Ringraumtemperaturen**





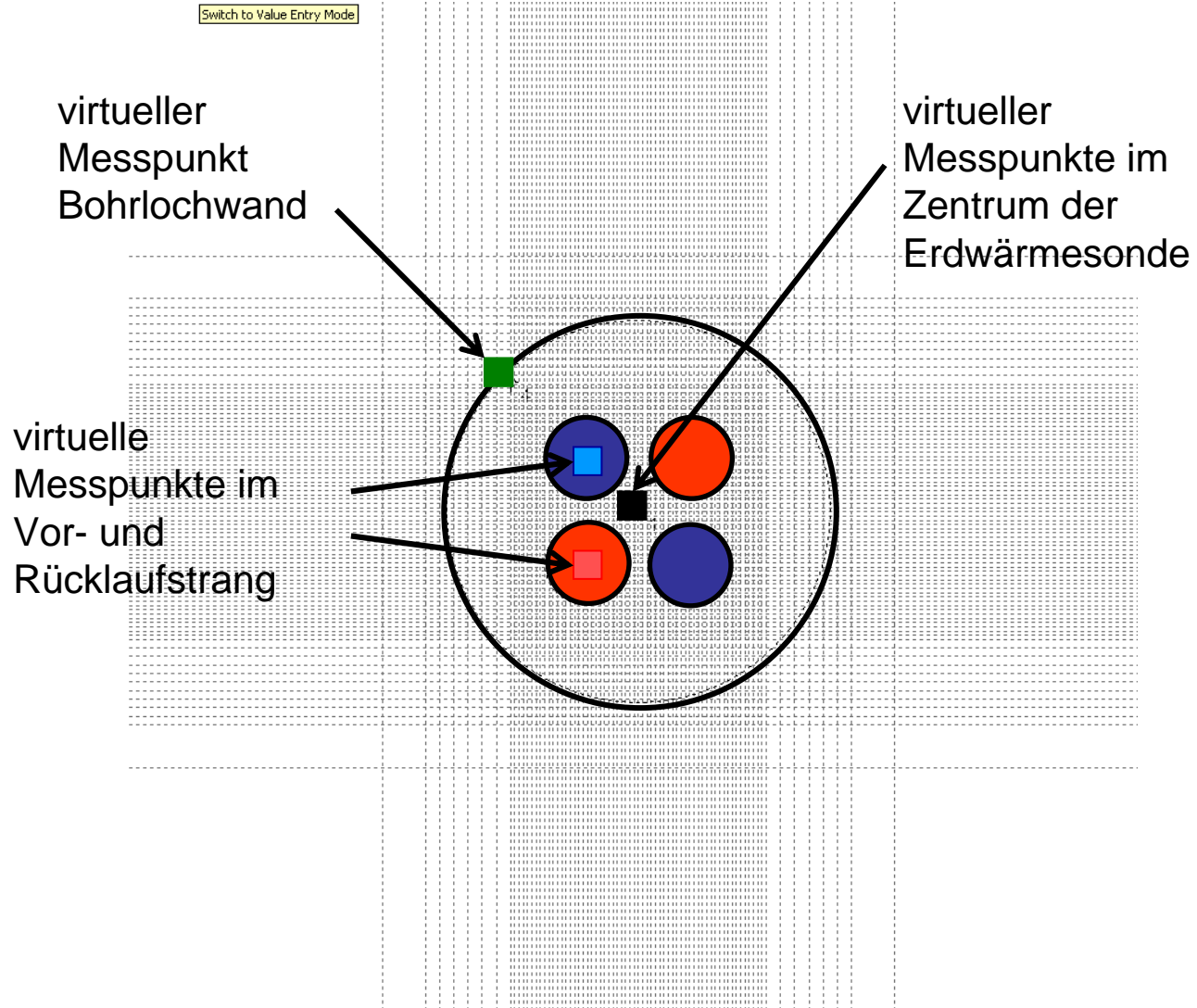
Ausdiskretisiertes Modellgebiet

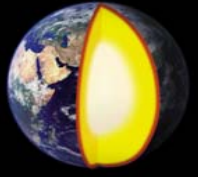




Ausdiskretisiertes Modellgebiet

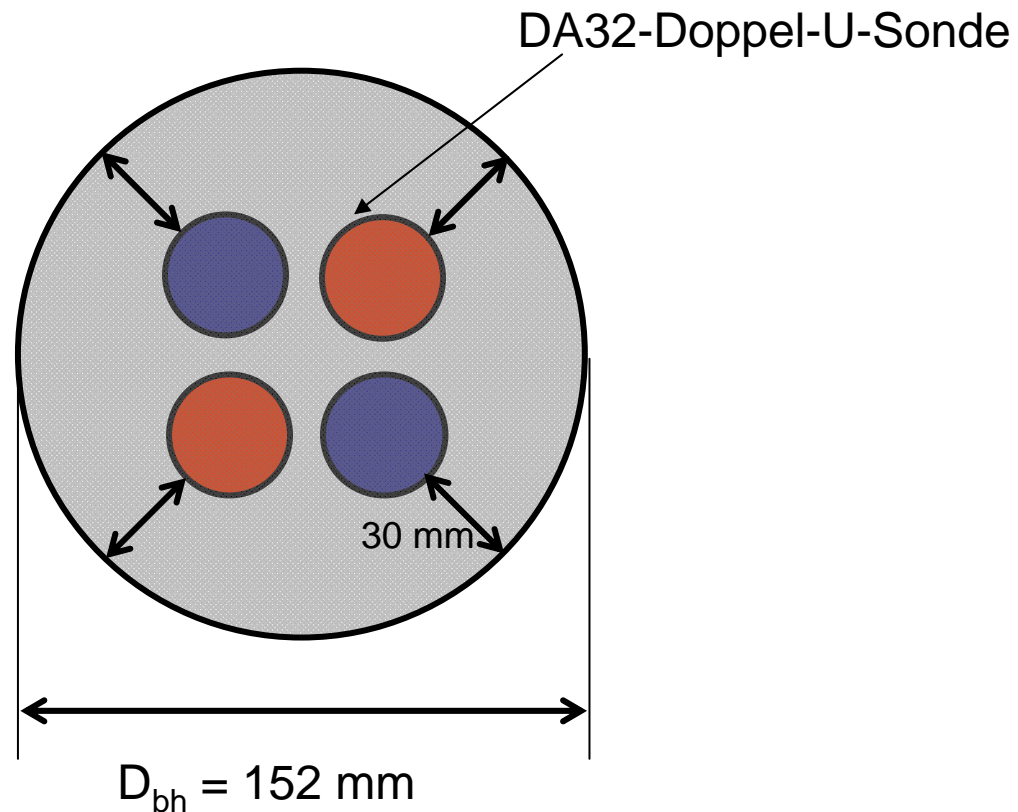
Ausdiskretisiertes Modellgebiet



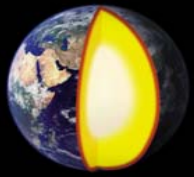


Simulationsergebnisse – instationäre Betrachtungen

Idealisiertes Bohrloch nach den Leitfäden Hessen bzw. Bayern

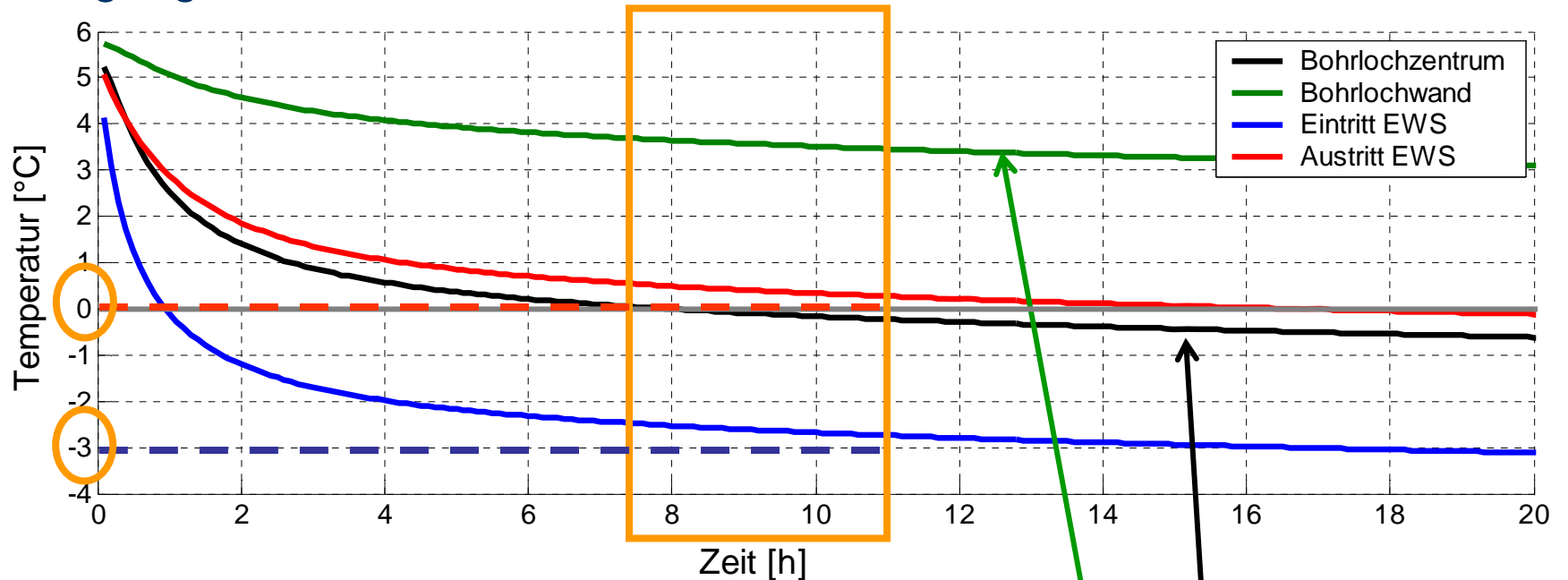


Hinweis: Die thermischen Auswirkungen des Verpressschlauches sollen vernachlässigt werden!



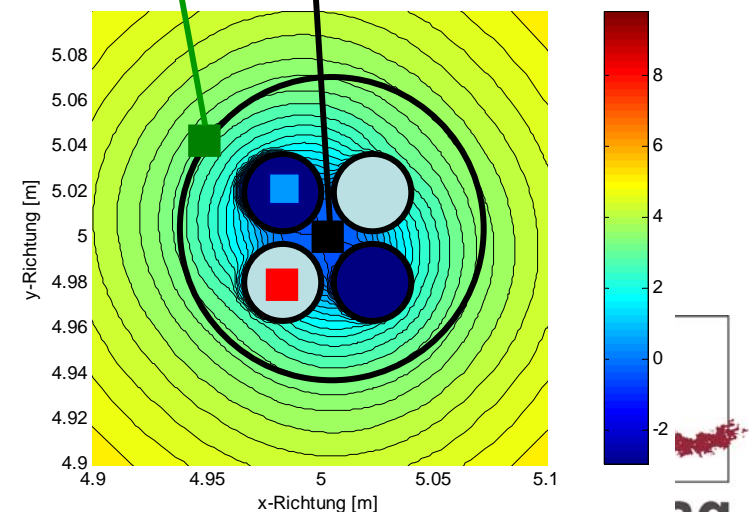
Simulationsergebnisse – instationäre Betrachtungen – 45 W/m

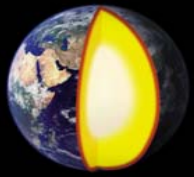
Auslegung mit 45 W/m



Nach ca. 10 h Vollast ist die Temperatur im Zentrum des Bohrlochs auf ca. 0 °C abgesunken.

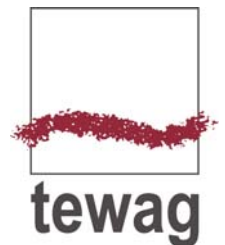
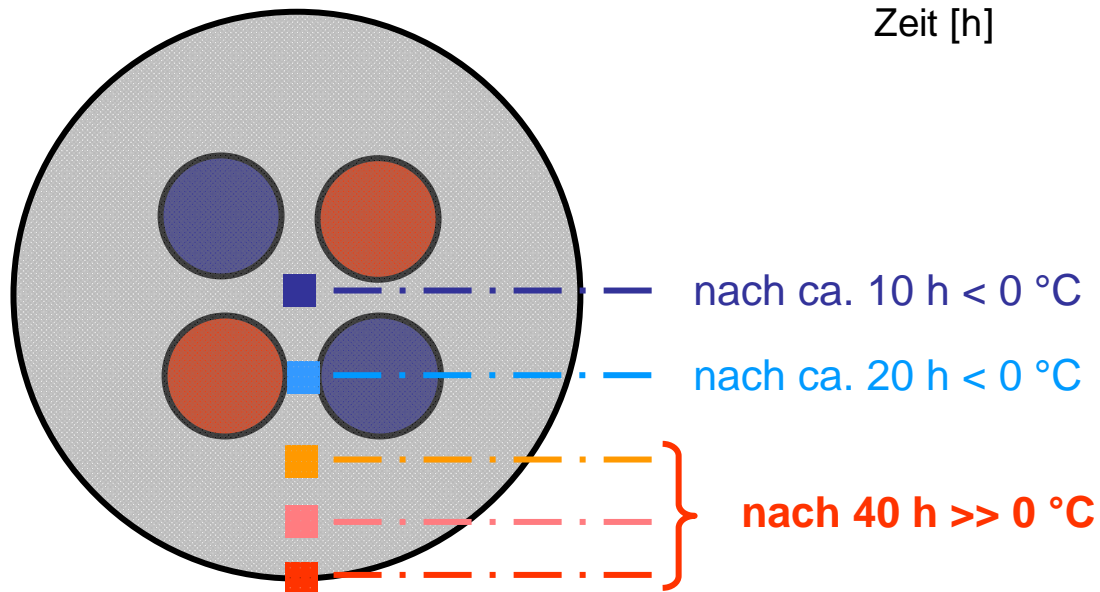
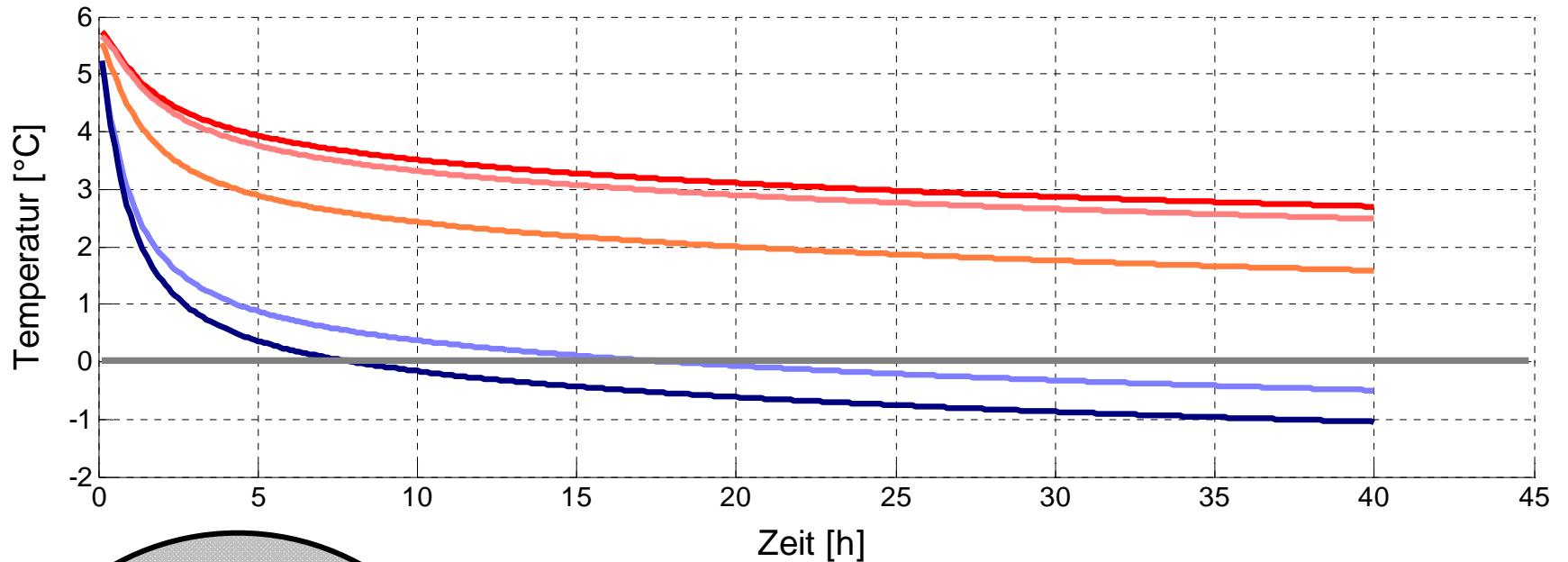
Die Ein- und Austrittstemperaturen liegen zu diesem Zeitpunkt im Bereich von ca. -3 °C / 0 °C.

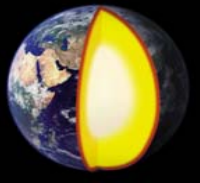




Simulationsergebnisse – instationäre Betrachtungen – 45 W/m

Zeitliche Temperaturentwicklung im Ringraum des Bohrlochs

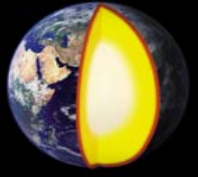




Erkenntnisse aus den Betrachtungen

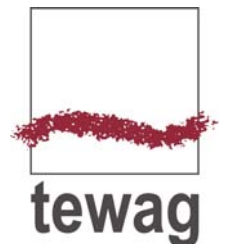
wesentliche Erkenntnisse:

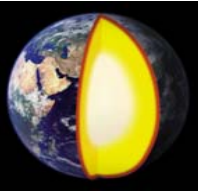
- ✓ Die Erkenntnisse aus den stationären Betrachtungen konnten durch die Detailsimulationen bestätigt werden.
- ✓ Ab Betriebstemperaturen von -3 °C / 0 °C sinken die Temperaturen im Ringraum des Bohrlochs $< 0\text{ °C}$.
- ✓ Dieser Sachverhalt ist unabhängig von der Auslegung der Sondenanlage.
- ✓ Selbst nach einem Dauerbetrieb über 40 h wird nicht das gesamte Bohrloch durchfrostet.



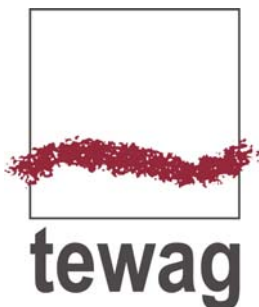
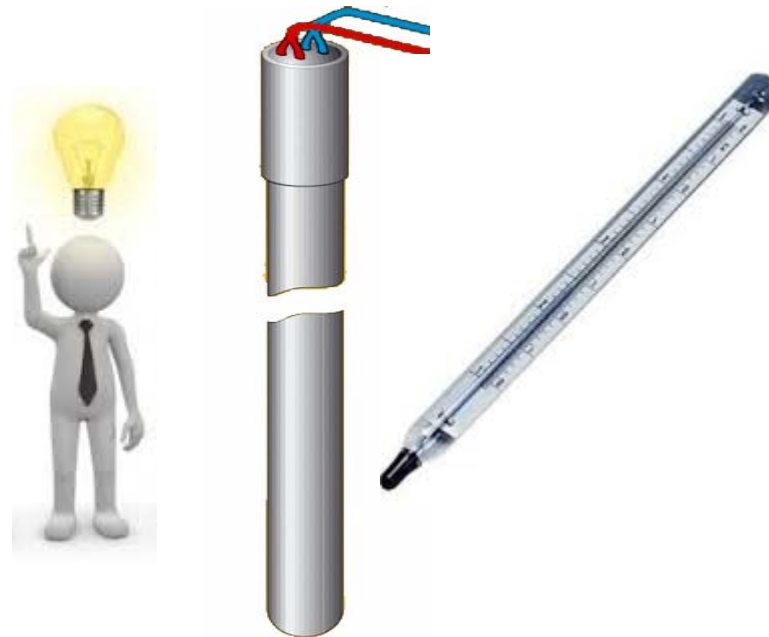
Schlussfolgerungen & Ausblick

- **WICHTIG:** Unsere Simulationsergebnisse sind zunächst „nur“ theoretische Betrachtungen für eine Einzelsonde mit entsprechenden Annahmen und Randbedingungen!
- Die Simulationsergebnisse sind mit Monitoringdatensätzen von realen Anlagen abzugleichen und zu verifizieren. Auch unter Einbeziehung von realen Taktzyklen von Wärmepumpenanlagen.
- ✓ Sie geben aber erste Vorstellungen und Hinweise zur Temperaturverteilung im Ringraum von Bohrlöchern, deren zeitliche Entwicklung und Abhängigkeiten.
- ✓ Hilfestellungen zur Weiterentwicklung von Prüfverfahren.
- **Für die Wahrscheinlichkeit einer Durchfrostung des Ringraums ist nicht nur die Auslegung der Sondenanlage ausschlaggebend. Wesentlich sind die Ein- und Austrittstemperaturen des Wärmeträgermediums.**
- **Diese Sachverhalte sollten bei der Ableitung von genehmigungsrechtlichen Vorgaben berücksichtigt werden!**





Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



tewag Technologie – Erdwärmeanlagen – Umweltschutz GmbH
Niederlassung Starzach
Am Haag 12
72181 Starzach-Felldorf
www.tewag.de

