

Technische und ökonomische Perspektiven der Tunnelgeothermie

Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann¹

Dipl.-Geol. Marcus Schneider^{1,2}

¹ Universität Stuttgart, Institut für Geotechnik

² PSP Consulting Engineers GmbH, München

VEGAS-LFZG-Kolloquium, Stuttgart, 06. Oktober 2011



Gliederung



- Verfahrenstechniken
- Energetische Ergiebigkeit
- Projekt Stuttgart-Fasanenhof (GeoTU6)
 - Konstruktion Energieanlage
 - Messtechnik
 - Kosten
- System Baugrund – Tunnel – Tunnelluft
 - Wärmetransport, Temperaturfeld
 - Messergebnisse
 - Numerische Untersuchungen
- Schlusswort



Oberflächennahe Geothermie

Offene Systeme

Hydrogeothermisches Verfahren

- Energetische Verwertung von Wasser aus Bergwasserdränagen
- Dränage aus statischem Erfordernis zum Abbau Wasserdruck auf Tunnelschale
- Nebenprodukt

Geschlossene Systeme

Absorbertechnologisches Verfahren

- Wärmeaustauscherrohre in Bauteilen des Bauwerks
- Durchströmung Aborberfluid
- Aufnahme Umgebungswärme
- Verwertung durch Wärmepumpe

Oberflächennahe Geothermie

Offene Systeme

Hydrogeothermisches Verfahren

Geschlossene Systeme

Absorbertechnologisches Verfahren

Tunnelbau in offener Bauweise

Bergmännisch
maschinell

Bergmännisch
konventionell

Tunnelbau in offener Bauweise

Absorbertechnologisches Verfahren



U-Bahn-Bau Wien (U2)

Tunnelbau in offener Bauweise

Absorbertechnologisches Verfahren



Abb.: TU Darmstadt

Bergmännisch
maschinell

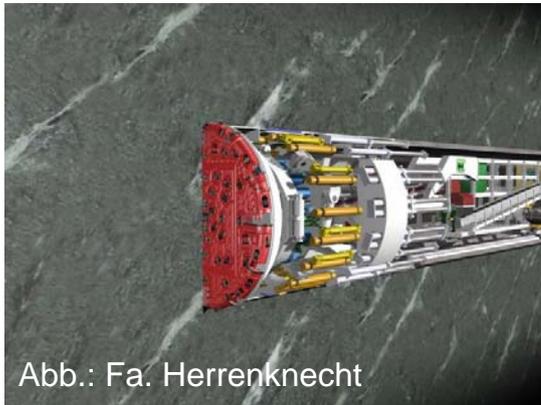


Abb.: Fa. Herrenknecht

Absorbentechnologisches
Verfahren



Abb. Franzius u. Pralle (2011)

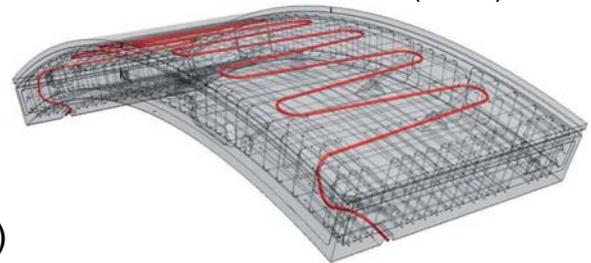
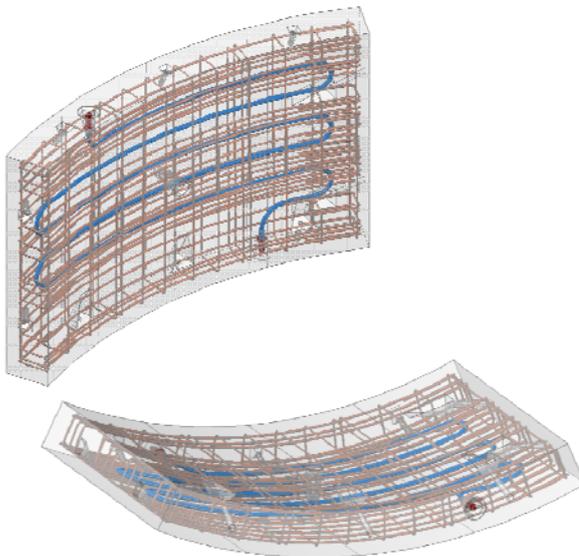


Abb. Frodl, Franzius, Bartl (2010)

Energietübbing-System mit Kopplung
in der Längsfuge: Tunnel Jenbach (A)

Bergmännisch
maschinell



Thermisch aktivierte Tübbinge,
System mit Kopplung in der Ringfuge: Studie

Absorbentechnologisches
Verfahren

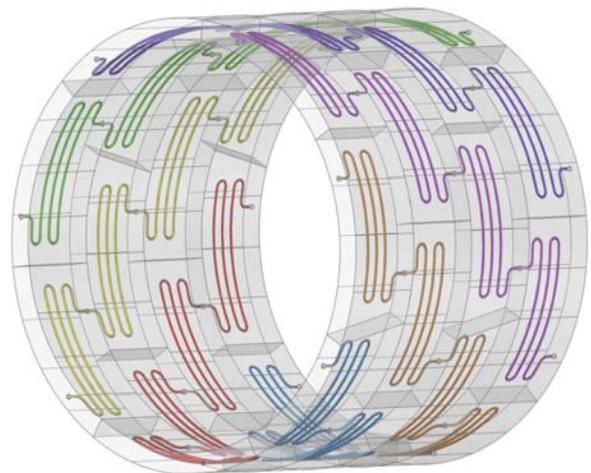


Abb.: PSP

Bergmännisch konventionell

Absorbertechnologisches Verfahren



Lainzer Tunnel, Wien

Abb.: Markiewicz

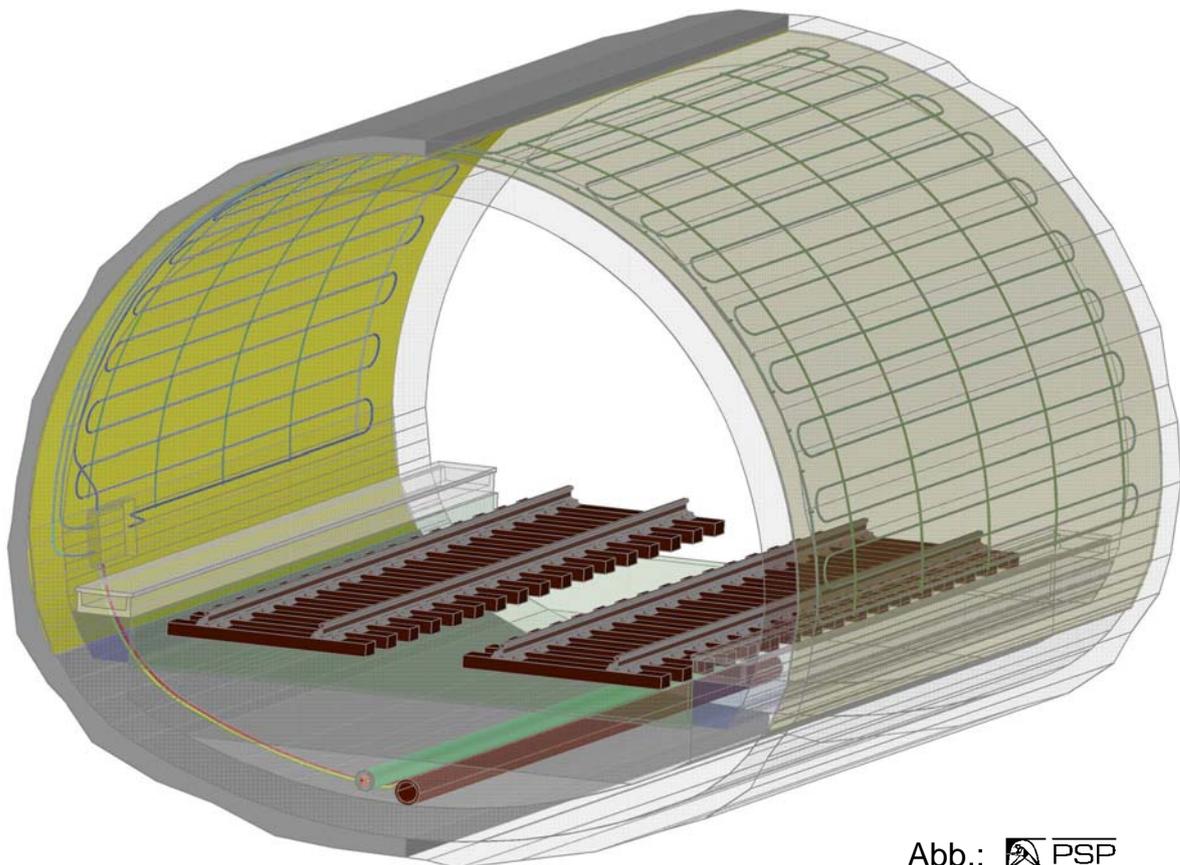
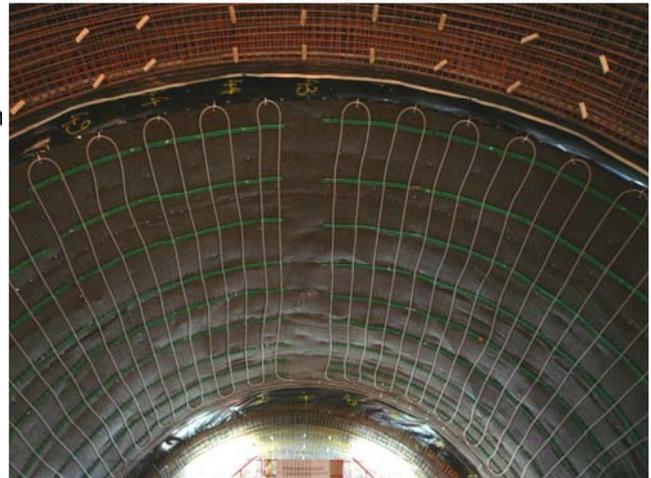
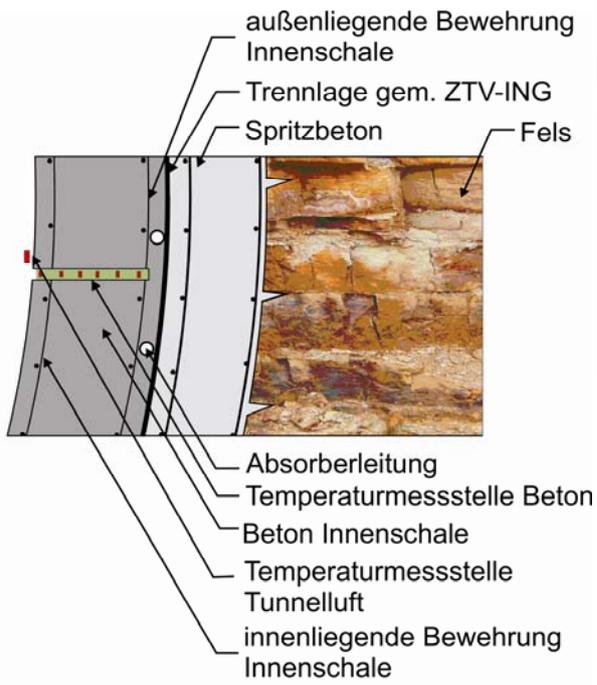
Hydrogeothermisches Verfahren

Absorbertechnologisches Verfahren

- Gotthardtunnel (Straße)
7.200 l/min - 15°C – 4,5 MW_t
- Mappo-Morettina
980 l/min - 16°C – 0,68 MW_t
- Hauensteintunnel,
2.500 l/min – 19°C - 2,3 MW_t
- Rickentunnel,
1.200 l/min – 12°C - 0,5 MW_t
- Furkatunnel,
5.400 l/min – 16°C - 3,7 MW_t

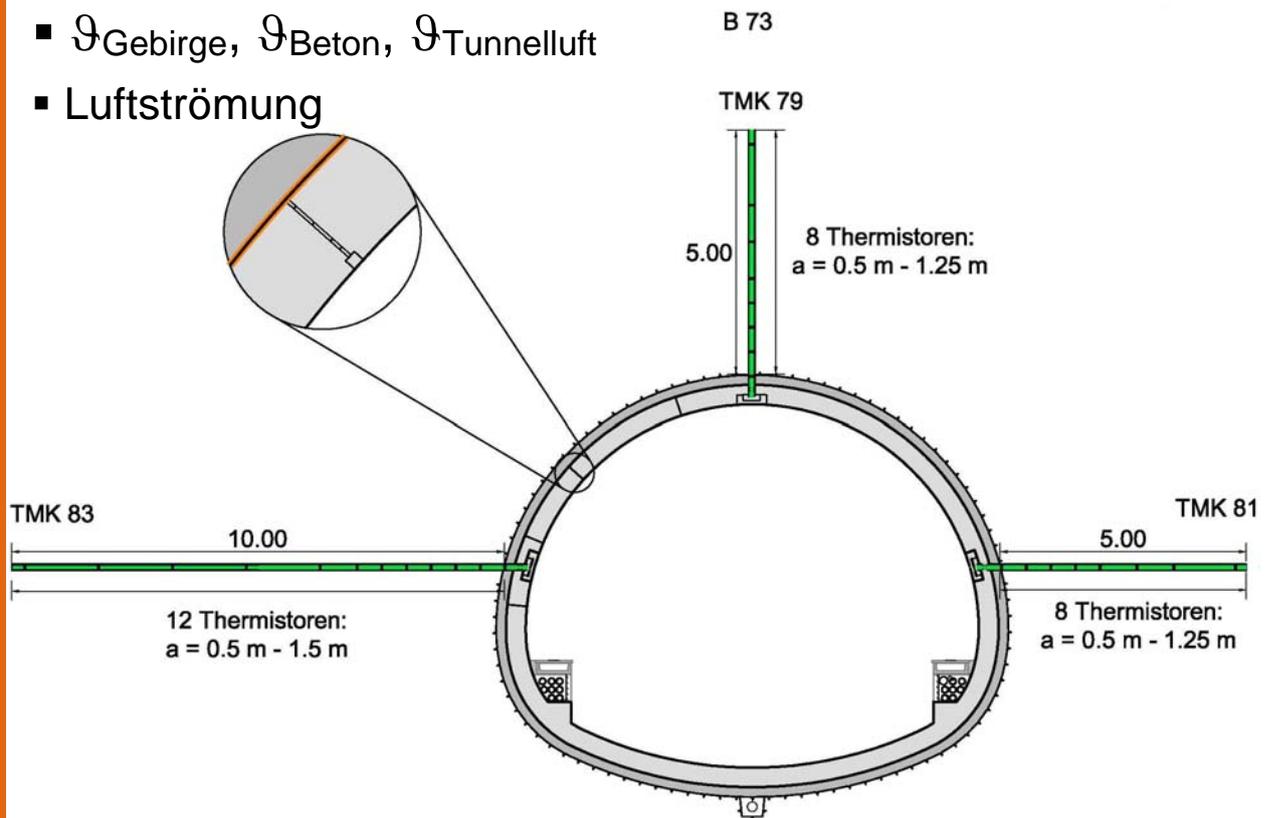
Rybach (2008)

- Lainzer Tunnel bei Wien,
rund 14 W/m² dauerhaft
- Tunnel Jenbach thermisch
aktivierte Tübbinge:
15 kW bzw. 10 ... 20 W/m²
- Stadtbahntunnel Stuttgart-
Fasanenhof, konservative
Schätzung vor
Anlagenbetrieb,
grundlastdeckend
langfristig 5 ... 10 W/m²
bzw. 1,8 kW bis 3,6 kW



Langzeitbeobachtung von

- \varnothing Gebirge, \varnothing Beton, \varnothing Tunnelluft
- Luftströmung



13

Überschlägige Kostenabschätzung

Tunnelgeothermische Ausrüstung pro Tunnelmeter

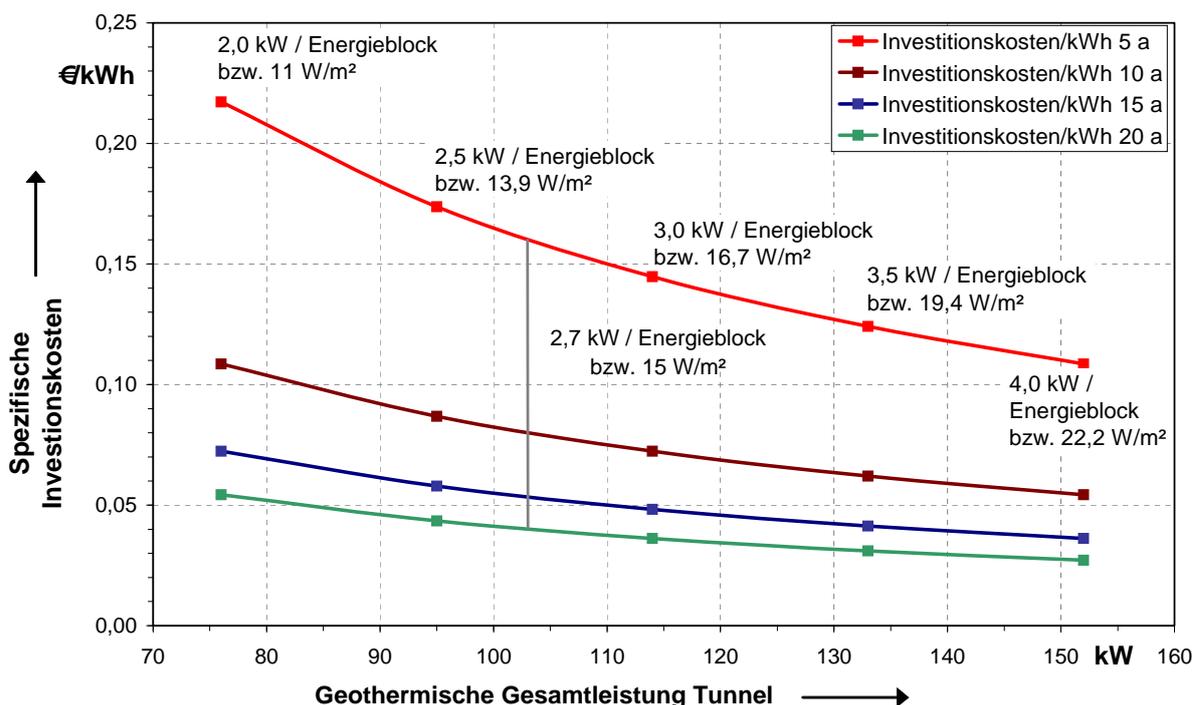
- Materialkosten wie Fixierleisten, Absorberleitungen, Anschlussleitungen, Hauptleitung, Formteile, Ventile etc.
- Personalkosten wie Montage, Zusammenschluss der Leitungen etc.)
- Sonstige Kosten wie z.B. erhöhter Schalungsaufwand, Druckprüfungen



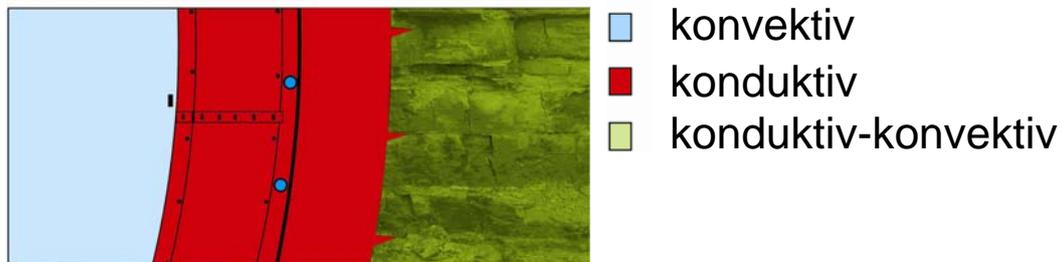
14

Tunnelgeothermische Ausrüstung pro Tunnelmeter	425 €/m * 380 m = 162.000 €
Wärmepumpe, Umwälzpumpe, übergeordnete Installationsleistungen	79.000 €
Gesamtinvestitionskosten Tunnelgeothermie	241.000 €
Investitionskosten pro Tunnelmeter	634 €
Investitionskosten pro kW	2.340 € 1.590 €
Rohbaukosten nur bergmännischer Tunnel (ohne Betriebstechnik)	7.600.000 €
Anteil an den Rohbaukosten	3,2 %
Anteil an den Gesamtbaukosten	< 1%

Investitionskosten pro kWh für unterschiedlich lange Zeiträume und unterschiedliche geothermische Leistungen



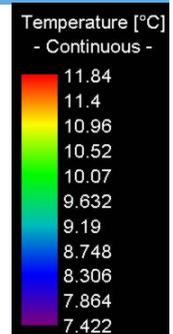
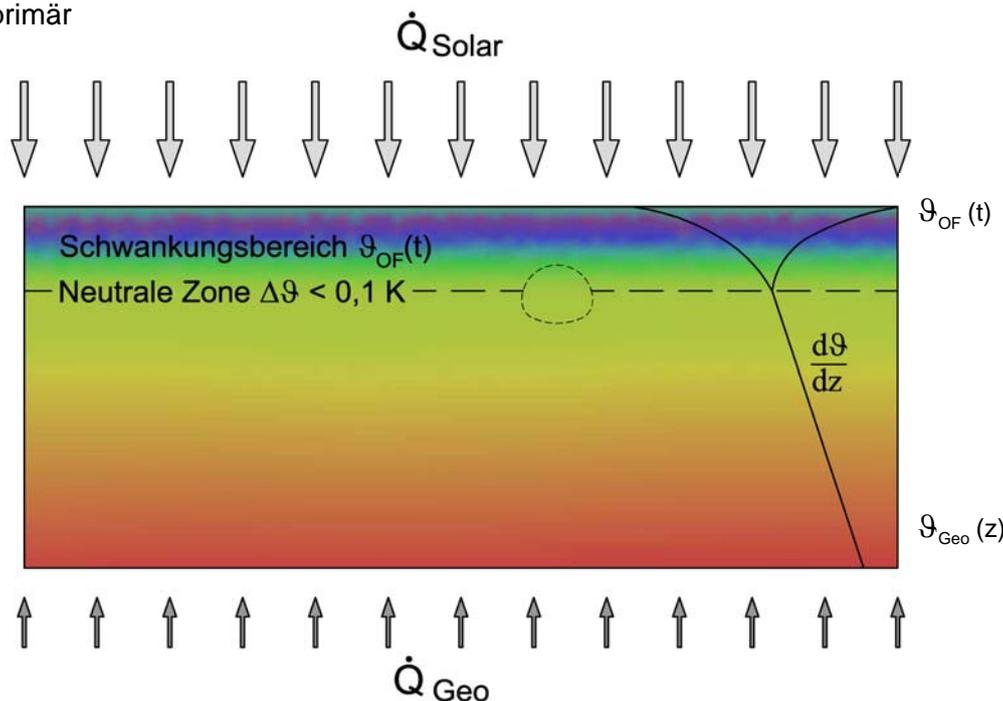
- Die Hauptmechanismen des Wärmetransports sind überwiegend Wärmeleitung (Konduktion) und Konvektion
- Ursache des Energietransports bzw. des Wärmetransports (Konduktion) sind Temperaturgradienten im Material



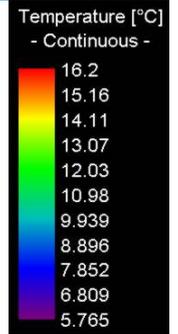
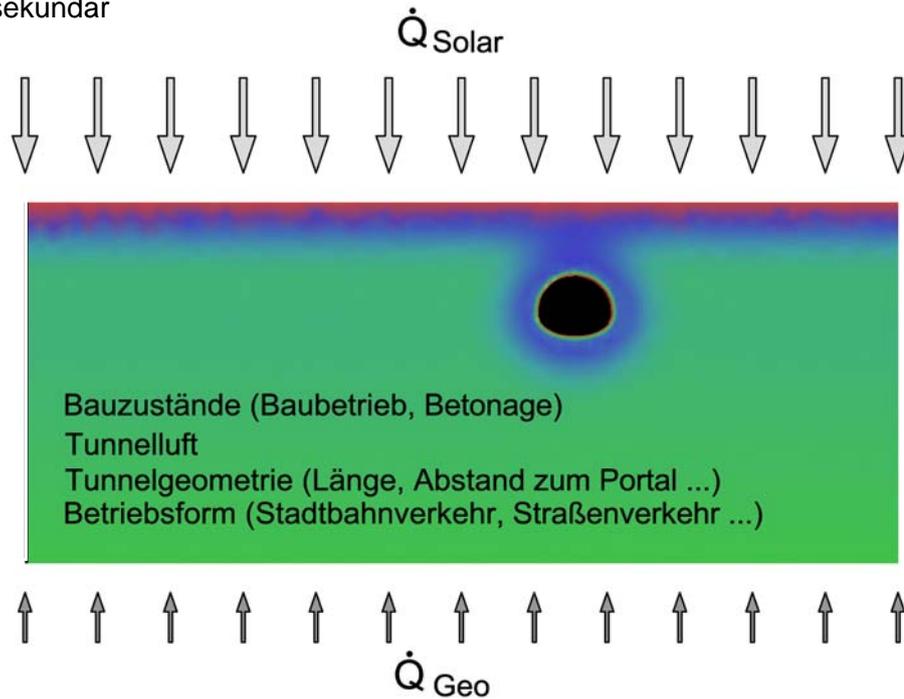
Temperaturfelder

- Die Temperaturänderungen in Abhängigkeit von Ort und Zeit bilden das Temperaturfeld (TF) ab. $\vartheta = \vartheta(x, t)$
- $TF_{\text{primär}}$ $TF_{\text{sekundär}}$ $TF_{\text{tertiär}}$

$TF_{\text{primär}}$

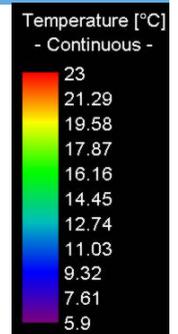
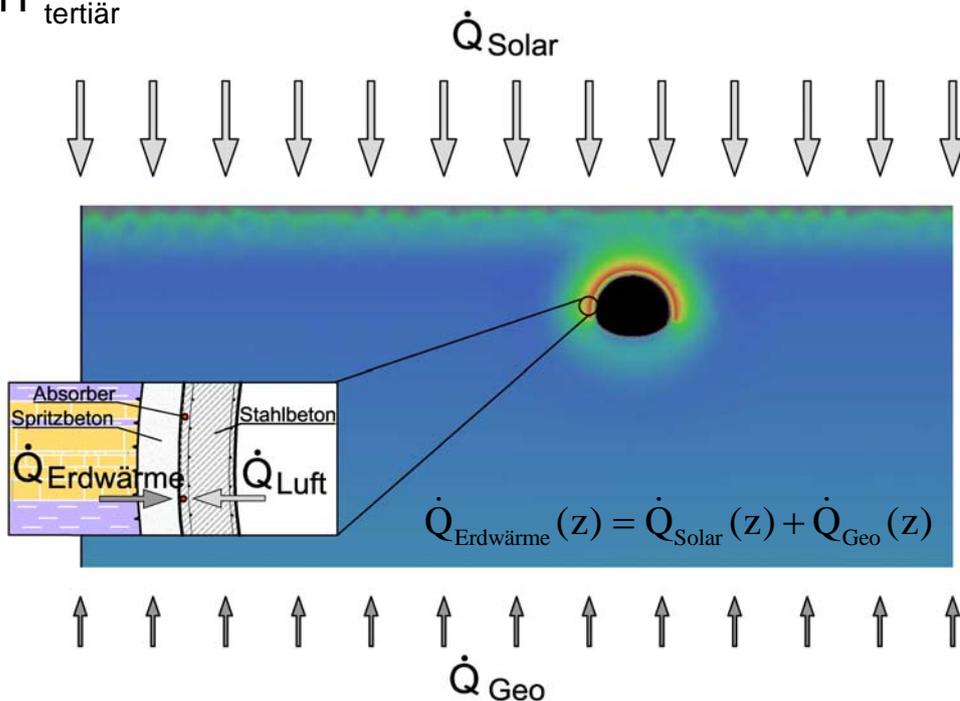


TF_{sekundär}



Bauzustände (Baubetrieb, Betonage)
Tunnelluft
Tunnelgeometrie (Länge, Abstand zum Portal ...)
Betriebsform (Stadtbahnverkehr, Straßenverkehr ...)

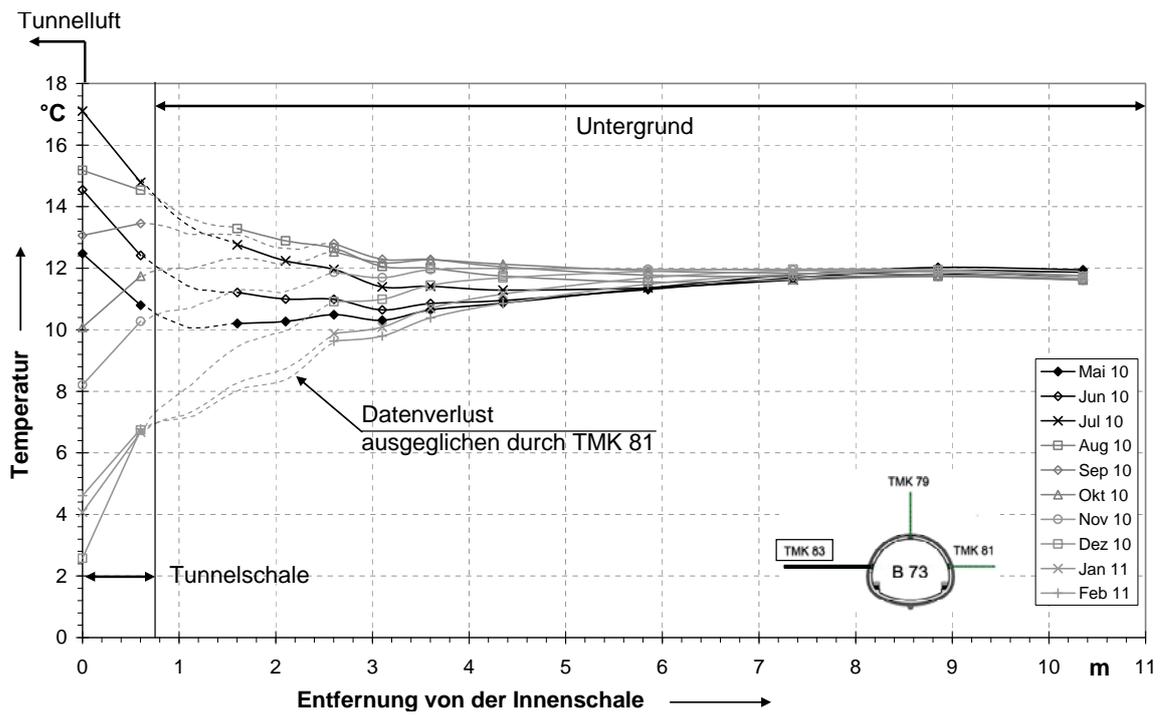
TF_{tertiär}



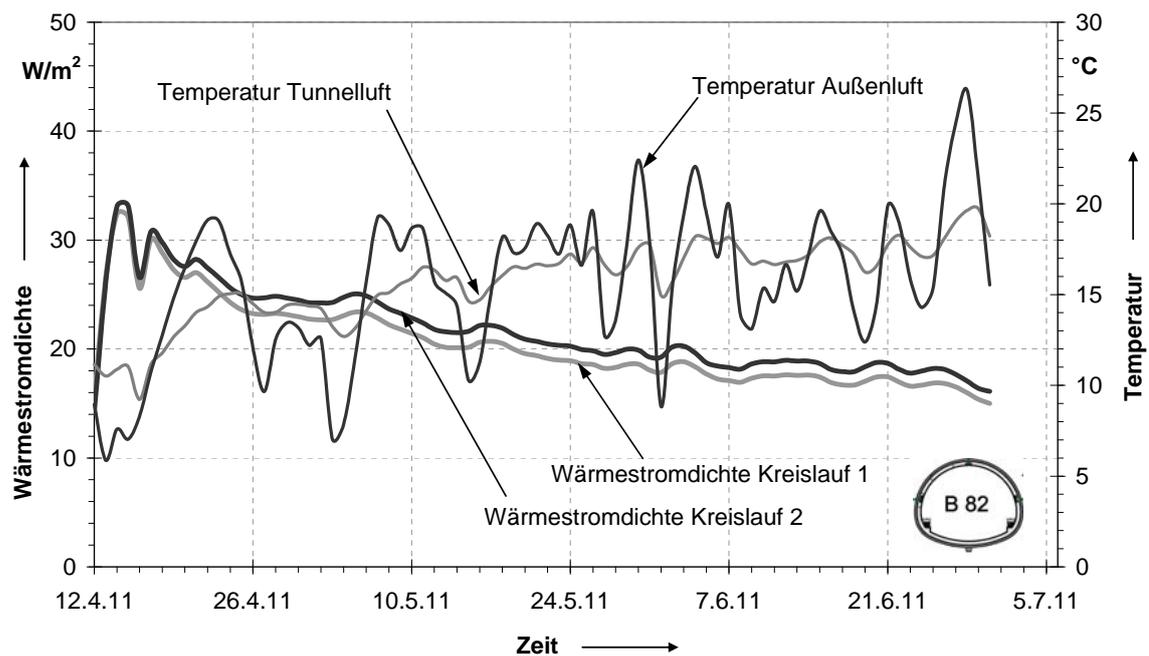
$$\dot{Q}_{\text{Erdwärme}}(z) = \dot{Q}_{\text{Solar}}(z) + \dot{Q}_{\text{Geo}}(z)$$

Energiebilanz stationäres Langzeitmittel $\dot{Q}_{\text{abs}} = \dot{Q}_{\text{Erdwärme}} + \dot{Q}_{\text{Luft}}$

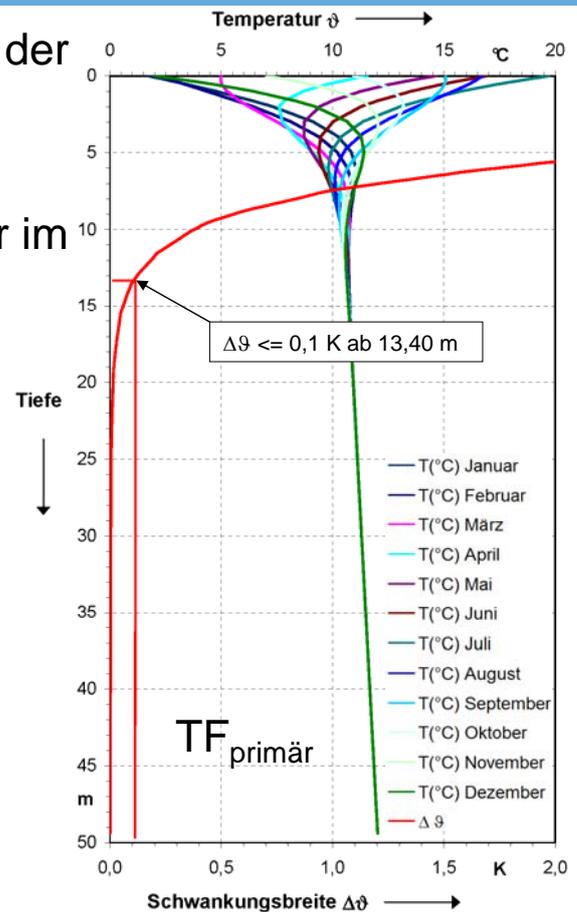
$\bar{\vartheta}_{\text{Monate}}$ Tunnelluft, Bauwerk, Untergrund



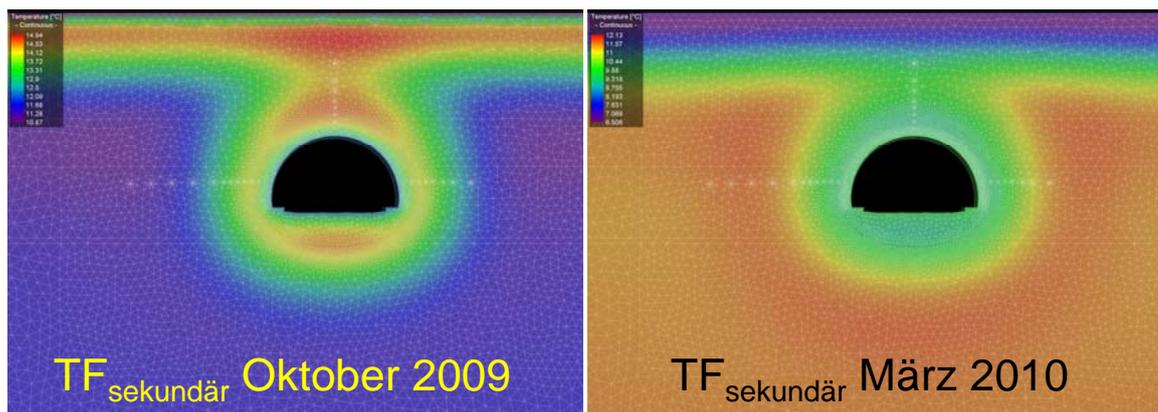
\bar{q}_{Tage} Wärmestromdichte und $\bar{\vartheta}_{\text{Tage}}$ Tunnelluft / Außenluft



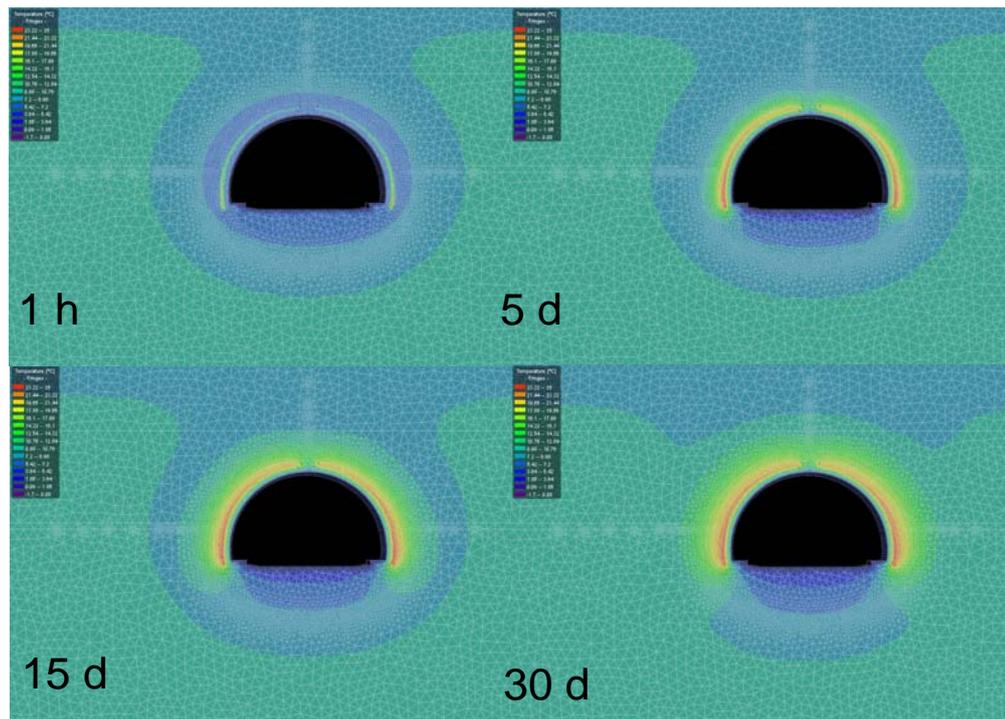
- Kalibrierung und Validierung der numerischen Modelle
 - Zeitliche und räumliche Veränderung der Temperatur im Untergrund infolge geothermischer Nutzung
 - Leistungsfähigkeit des Absorbersystems
 - Einfluss der Tunnelluft
 - Einfluss des Grundwassers
 - Anwendungsbeispiele



- Instationäre numerische Simulationen im TF_{sekundär}



- Numerische Simulationen im $TF_{\text{tertiär}}$



- Hoher Grad an Erdberührung
- Geringes Maß an technischer Modifikationen erforderlich, um dem Tunnel neben der statischen auch eine thermische Funktion zu geben.
- Die Arbeiten können gut in den Baubetrieb eingegliedert werden.
- Die Tunnelgeothermie ist ein noch kleiner Teilaspekt der Geothermie, die wiederum einen überschaubaren Teilbereich der Erneuerbaren Energien abdeckt. Die gezeigten Beispiele machen jedoch das Potenzial und die Vorteile tunnelgeothermischer Anwendungen deutlich.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Förderung



Kooperation

