



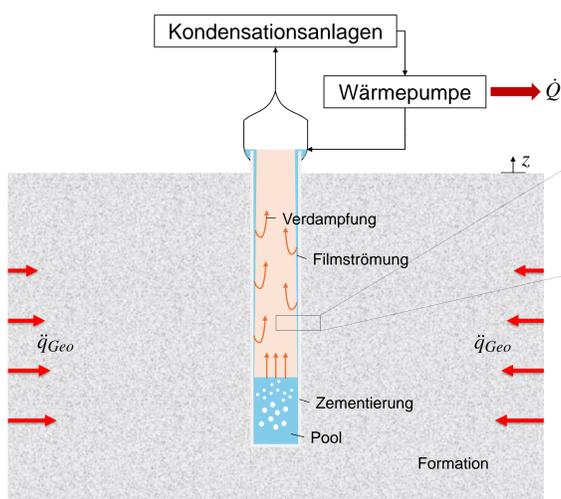
Modellierung einer geschlossenen Zweiphasen-Thermosyphon Sonde für mitteltiefe Geothermie

Motivation

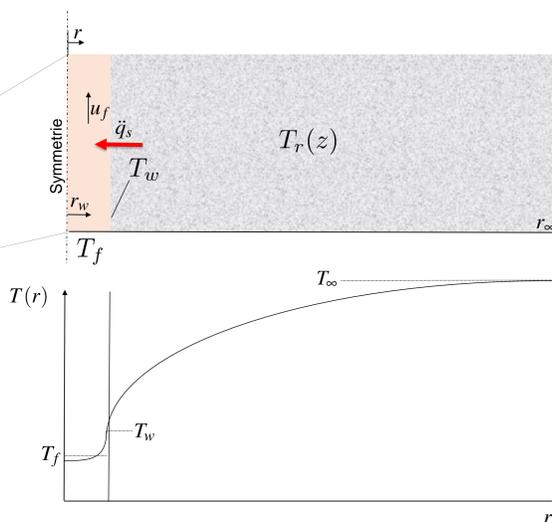
Thermosyphon-Erdwärmesonden sind ein innovatives geothermisches System, das auf einem passiven Wärmetransportmechanismus basiert, bei dem CO₂ als Arbeitsmedium durch Verdampfen und Kondensieren Wärme effizient überträgt. Diese Arbeit zielt darauf ab, ein numerisches Modell zu entwickeln, um die Wärmetransporteffizienz vorherzusagen. Damit sollen die Auswirkungen von Prozessparametern und Materialeigenschaften auf die Leistung und Effizienz quantifiziert werden, um das System optimieren zu können.

Forschungsfragen

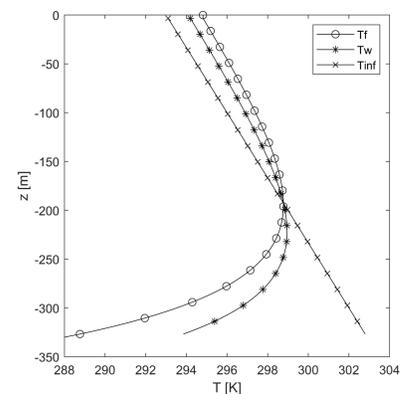
- Folgende zentrale Fragestellungen sollen im Projekt beantwortet werden:
- Wie lässt sich die stationäre/transiente Temperaturverteilung in der Sonde und der Formation vorhersagen?
 - Welche Faktoren beeinflussen die Effizienz der Sonde?
 - Wie können Modifikationen an Prozessparametern und Materialeigenschaften die thermische Leistungsfähigkeit verbessern?



Phasenwechsel Wärmesonde



Radiale Temperaturverteilung in der Formation



Einphasige stationäre Verdampfungs- und Rohrwandtemperaturverteilung unter dem geothermischen Gradienten

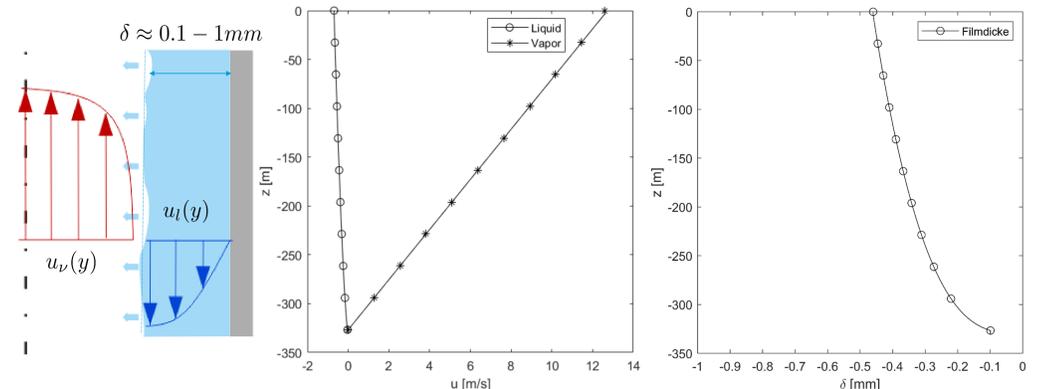
Lösungsansatz

Makroskopisches Basismodell des Gesamtsystems:

- + Quasi-eindimensionaler stationärer konjugierter Wärmetransport
- + Analytisch bestimmte Wärmeleitung in der Formation
- + Numerisch bestimmter einphasiger konvektiver und diffuser Transport in Gas-/Fluidphase
- + Empirische Modelle für Wärmeübergangskoeffizient
- + Filmströmungsmodell
- Verdampfungsmodell
- Poolmodell

Mesoskopische Modellbildung (CFD):

- Modell für Sektion der Wärmesonde
- Kopplung von Filmmodell, Verdampfung und Wärmetransport



Zweiphasige stationäre Geschwindigkeitsverteilung und Filmdickenverteilung bei konstanter Verdampfungsrate

Mathematisches Modell

Einphasiger Konvektiver und diffusiver Wärmetransport in Sonde

$$\rho_f c_{p,f} u_f \frac{\partial T_f}{\partial z} - \lambda_f \frac{\partial^2 T_f}{\partial z^2} = \frac{2\alpha}{r_w} (T_{fw} - T_f)$$

Wärmestrombilanz an der Rohrwand

$$\dot{q}_s = \frac{\lambda_s}{r_w \ln(\frac{r_w}{r_\infty})} (T_{sw} - T_{s\infty}) = \frac{\alpha}{r_w} (T_{fw} - T_f)$$

Temperaturverteilung in der Formation

$$T_s(r) = \frac{T_w - T_{s\infty}}{\ln(\frac{r_w}{r_\infty})} \cdot \ln(\frac{r}{r_\infty}) + T_{s\infty}$$

Modell für laminare Filmströmung

$$\nabla \cdot u = 0, \quad \delta^3 - \frac{3}{2} \frac{\tau_\delta}{\rho_l g} \delta^2 - \frac{3}{2} \frac{\nu}{\pi r \rho_l g} \dot{m}_l = 0$$

Projektpartner

TU Clausthal

(Institut of Subsurface Energy Systems: Prof. Jaeger)

HS Ostfalia

(Institut für energieoptimierte Systeme: Prof. Kühl)