



# 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 CO<sub>2</sub> als Arbeitsmedium durch Verdampfen und Kondensieren Wärme effizient überträgt.

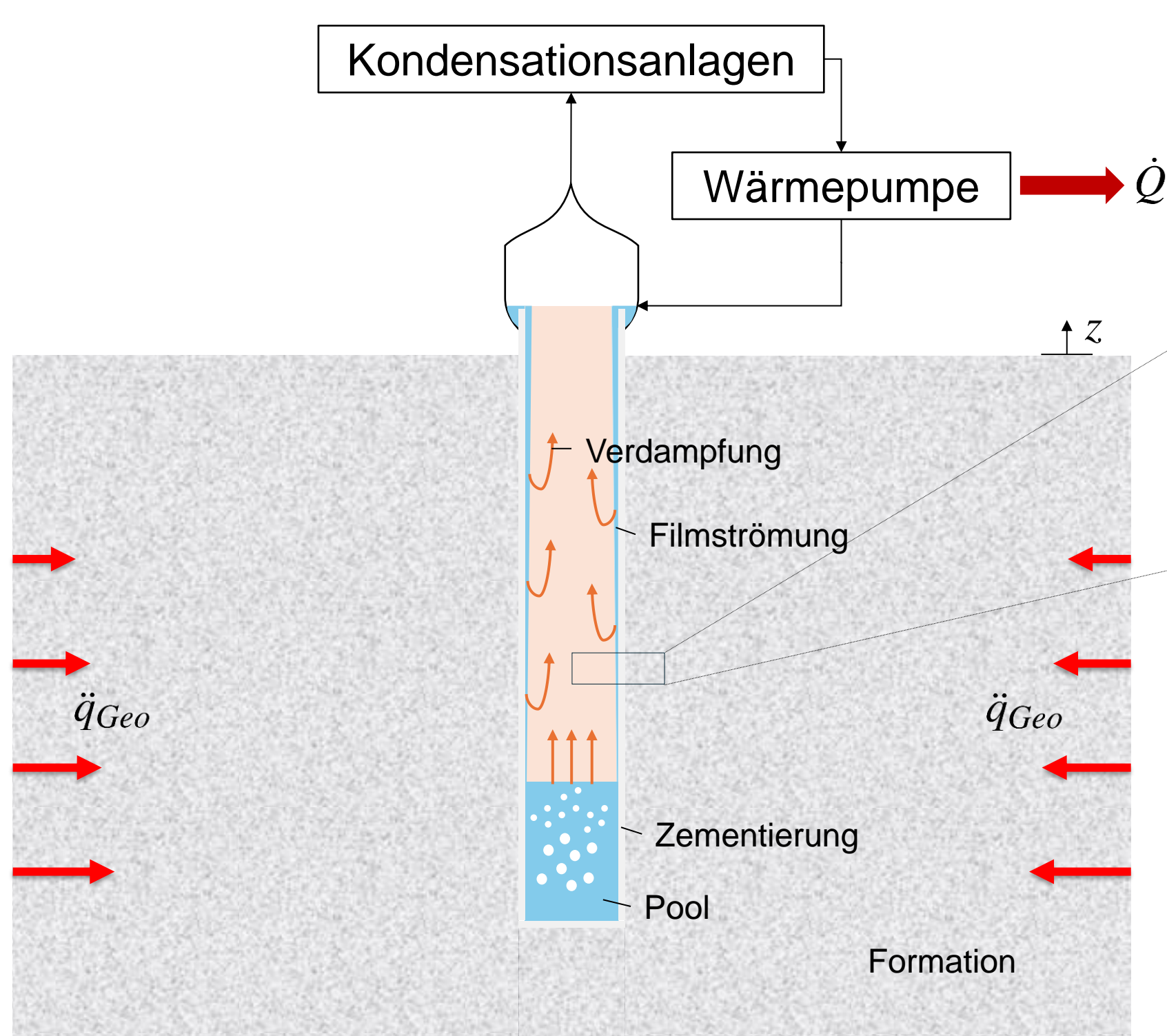
Diese Arbeit zielt darauf ab, ein numerisches Modell zu entwickeln, um die Wärmetransporteffizienz vorherzusagen.

Damit sollen die Auswirkungen von Prozessparametern und Materialeigenschaften auf die Leistung und Effizienz quantifiziert werden, um das System optimieren zu können.

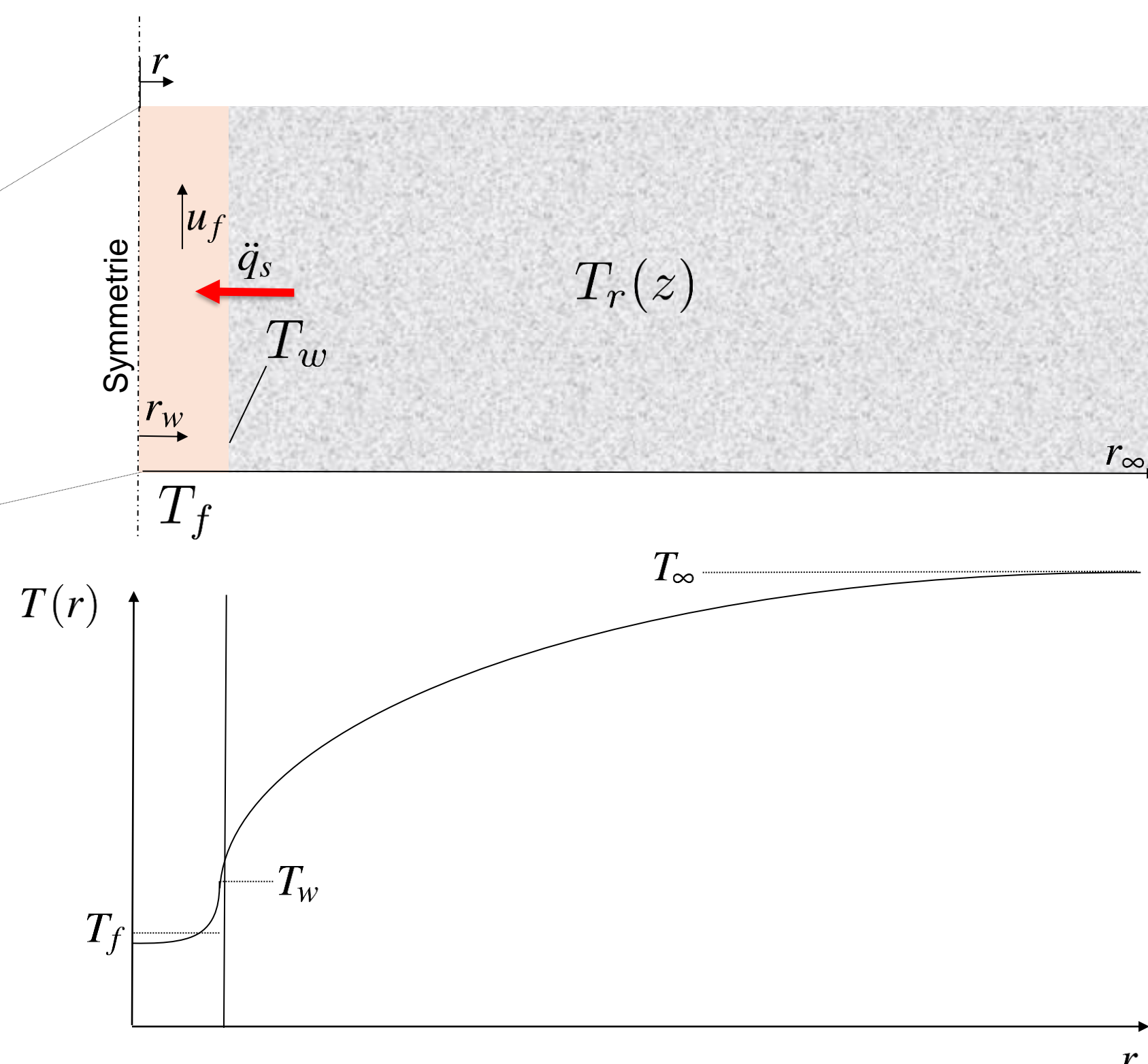
## Forschungsfragen

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein numerisches Modell für eine mitteltiefe Erdwärmesonde auf Basis eines geschlossenen Zweiphasen-Thermosyphons mit CO<sub>2</sub> als Arbeitsmedium entwickelt. Das Modell zielt darauf ab, die folgenden zentralen Fragestellungen zu beantworten:

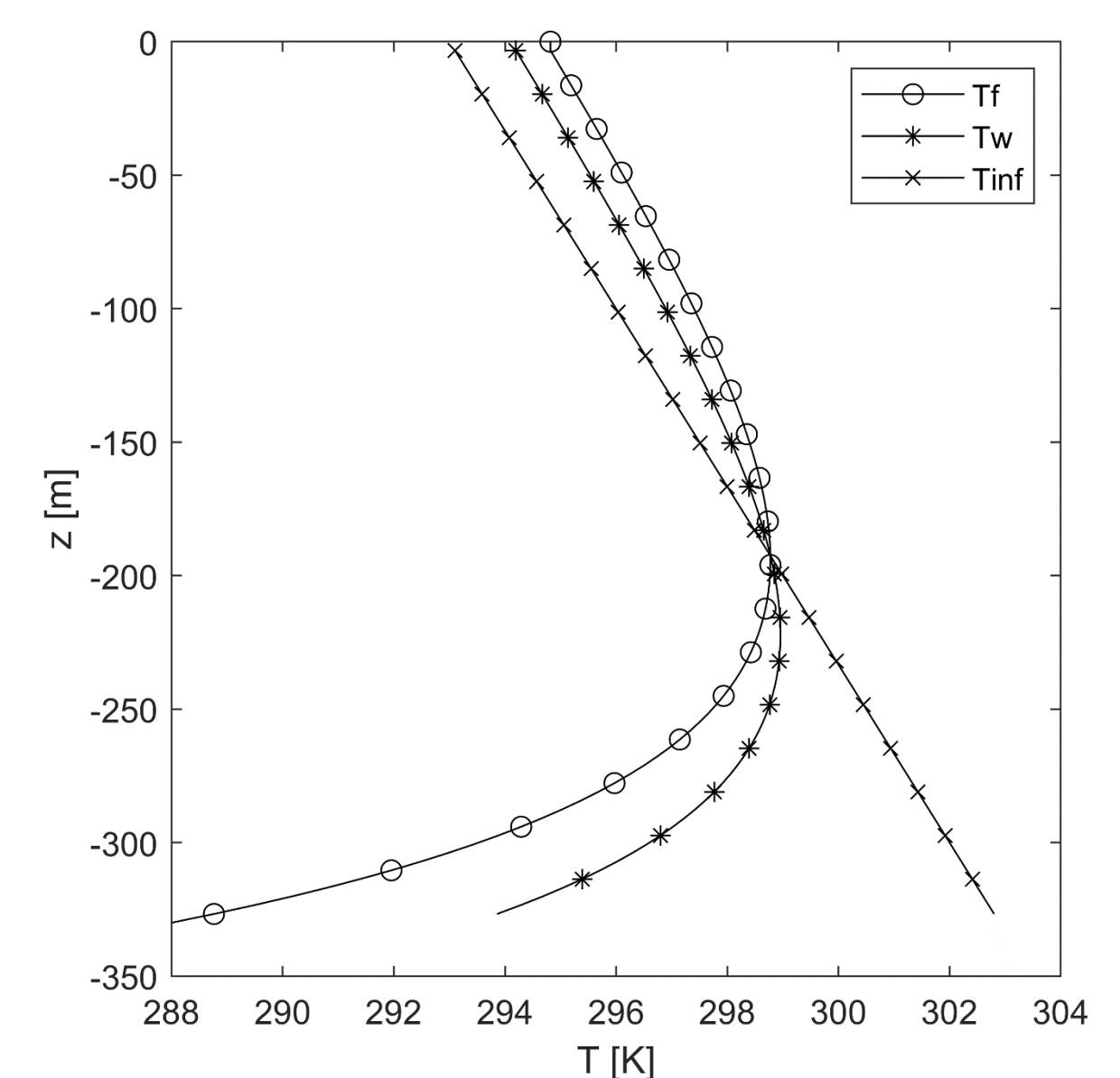
- Wie lässt sich die stationäre/transiente Temperaturverteilung in der Sonde und der Formation vorhersagen?
- Welche Faktoren beeinflussen die Effizienz der Sonde?
- Wie können Modifikationen an Prozessparametern und Materialeigenschaften die thermische Leistungsfähigkeit verbessern?



Phasenwechsel Wärmesonde



Radiale Temperaturverteilung in der Formation



Einphasige stationäre Verdampfungs- und Rohrwandtemperaturverteilung unter dem geothermischen Gradienten

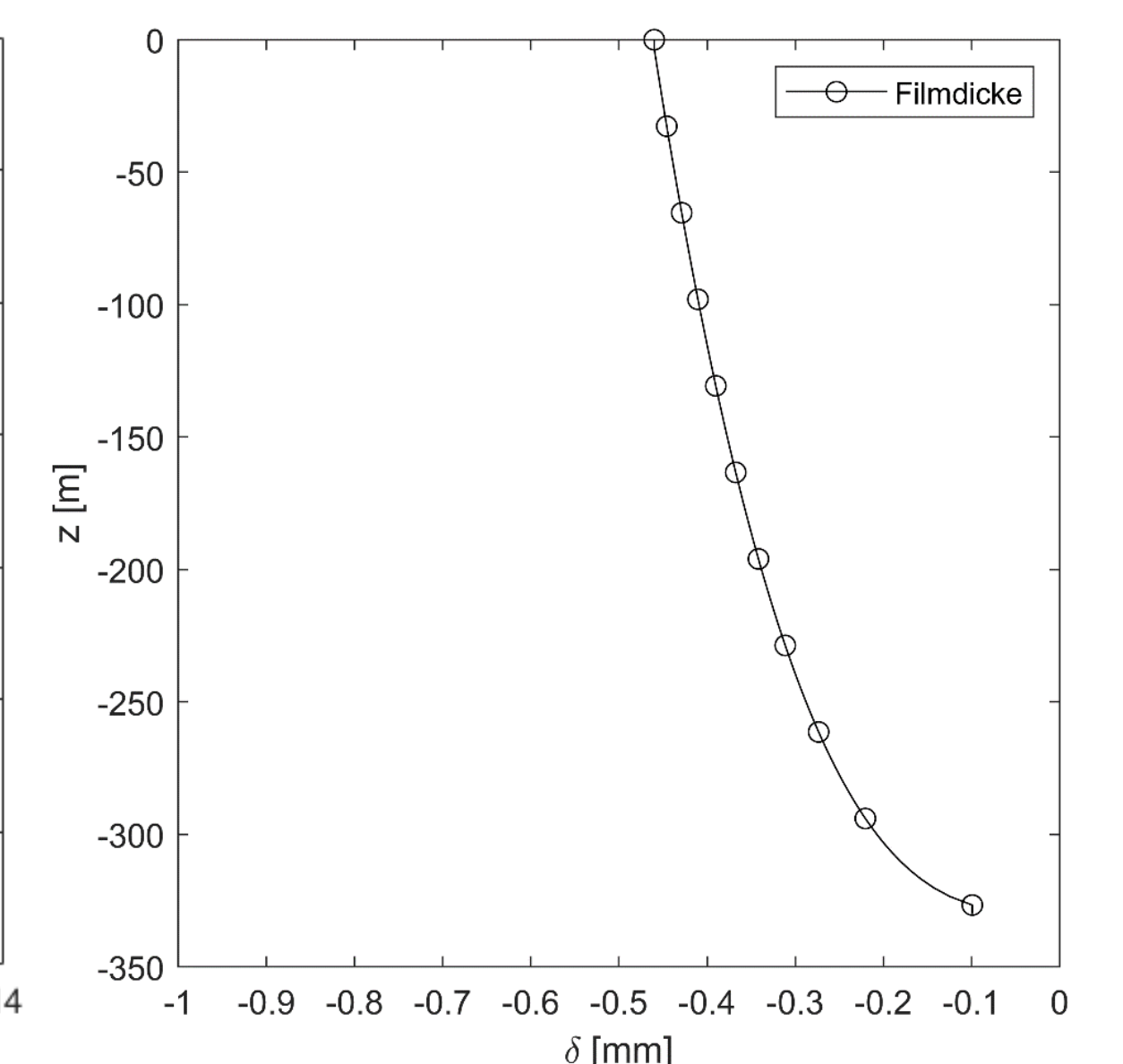
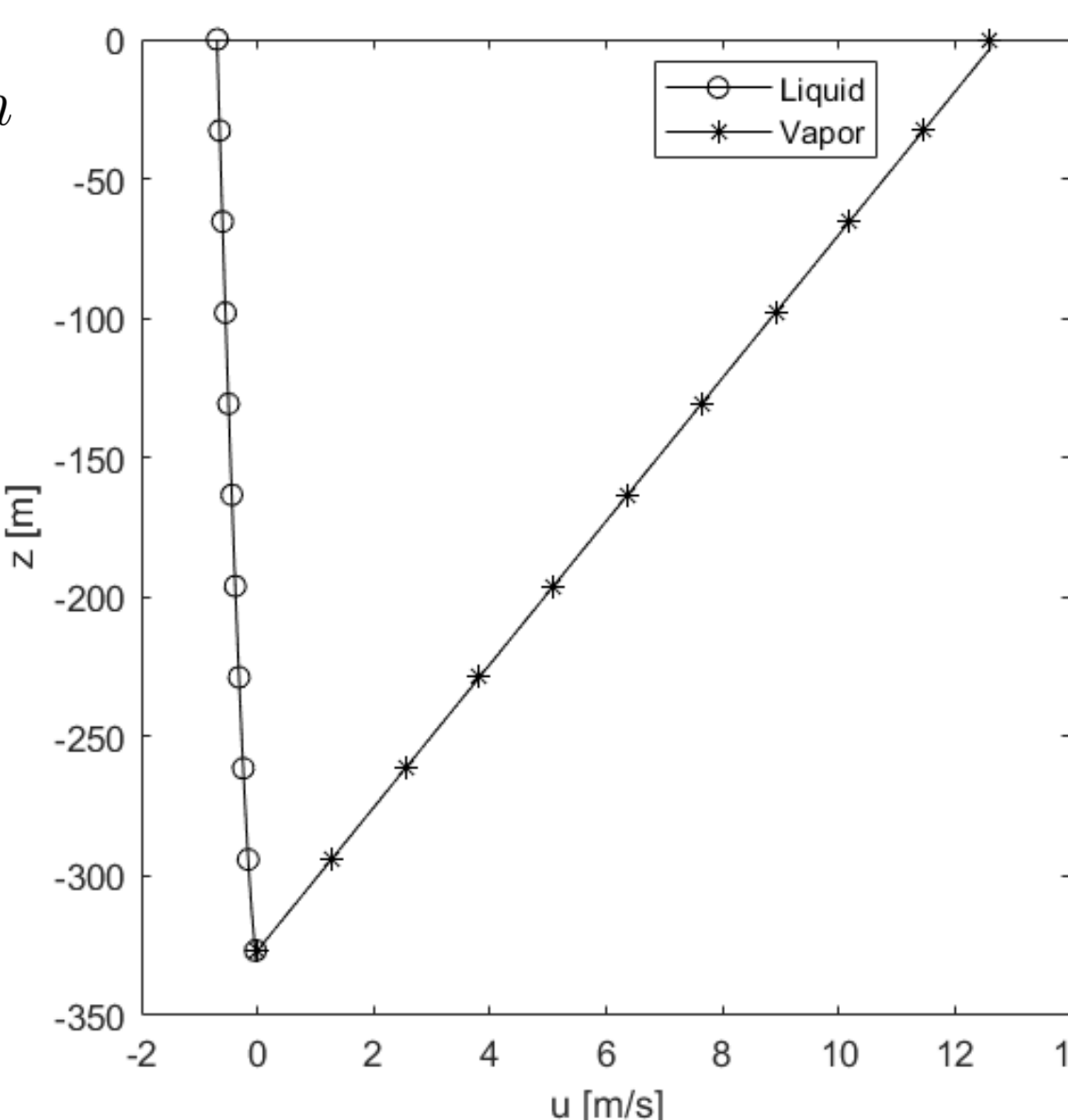
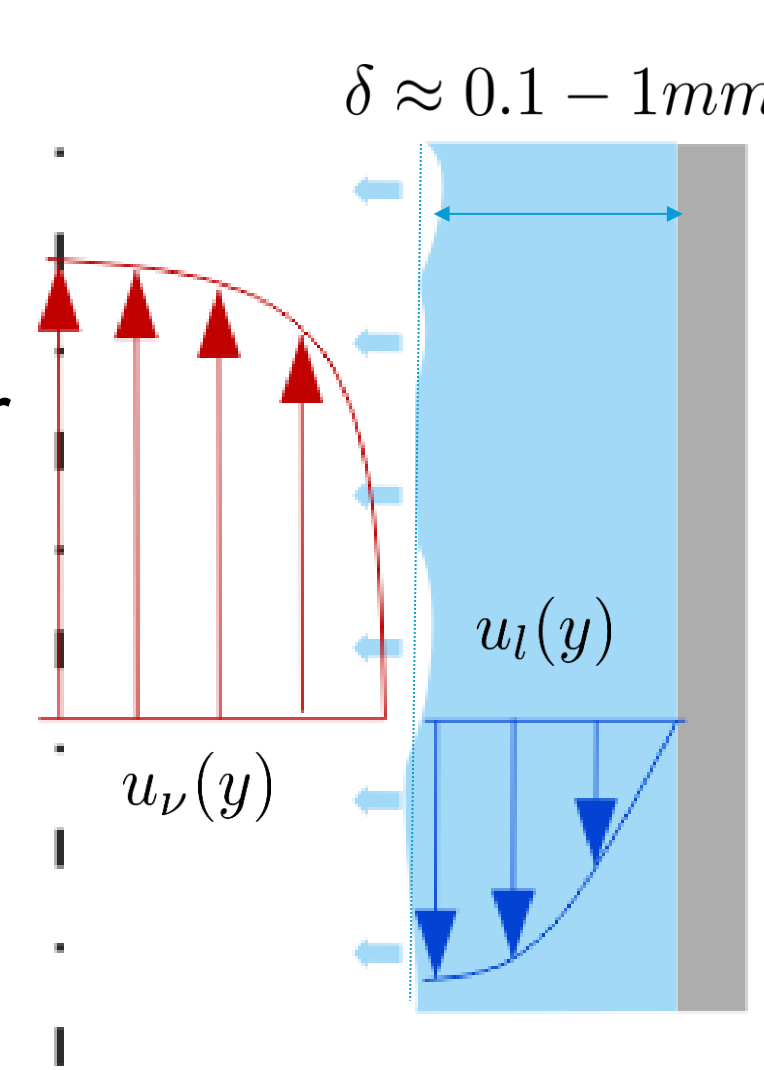
## Lösungsansatz

Makroskopisches Basismodell des Gesamtsystems:

- + Quasi-eindimensionaler stationärer konjugierter Wärmetransport
- + Analytisch bestimmte Wärmeleitung in der Formation
- + Numerisch bestimmter einphasiger konvektiver und diffuser Transport
- + 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 unter der konstante Verdampfungsrate

## Mathematisches Modell

Einphasiger Konvektiver und diffuser 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

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

Modell für laminare Filmströmung

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

## Projektpartner

TU Clausthal

(Institut of Subsurface Energy Systems: Prof. Jaeger)

HS Ostfalia

(Institut für energieoptimierte Systeme: Prof. Kühl)