

# Weiterentwicklung und Verifizierung eines Energie- und Leistungsbilanzverfahrens für Erdwärmekollektoren

Sebastian Braun, Fabian Neth, Roland Koenigsdorff  
 Hochschule Biberach (HBC), Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)

## Zielsetzung

- analytisches Modell für die Dimensionierung von horizontalen Erdwärmekollektoren
  - In Aufwand und Genauigkeit zwischen statischen Tabellenverfahren und aufwendigen numerischen Simulationen liegend
- Erweiterung des Energie- und Leistungsbilanzverfahren, aus dem Vortrag von Van de Ven et al. (Geothermiekongress 2023)
  - Ergänzung mit instationärer Wärmeleitung (IPS-Modell)
- Vergleich mit numerischer Simulation

## Analytisches Modell

- Berechnung der Temperaturreaktionen auf Basis der **Infinite Plane Source (IPS)** mit **zeitlicher Superposition**
- Verwendung der **Spiegelquellenmethode**, um isotherme Randbedingungen einzuhalten
- Für zwei isotherme Randbedingungen → Spiegelquellenmethoden mit n-Schichten von Spiegelquellen (siehe Abb. 1 → Beispiel für eine Schicht)

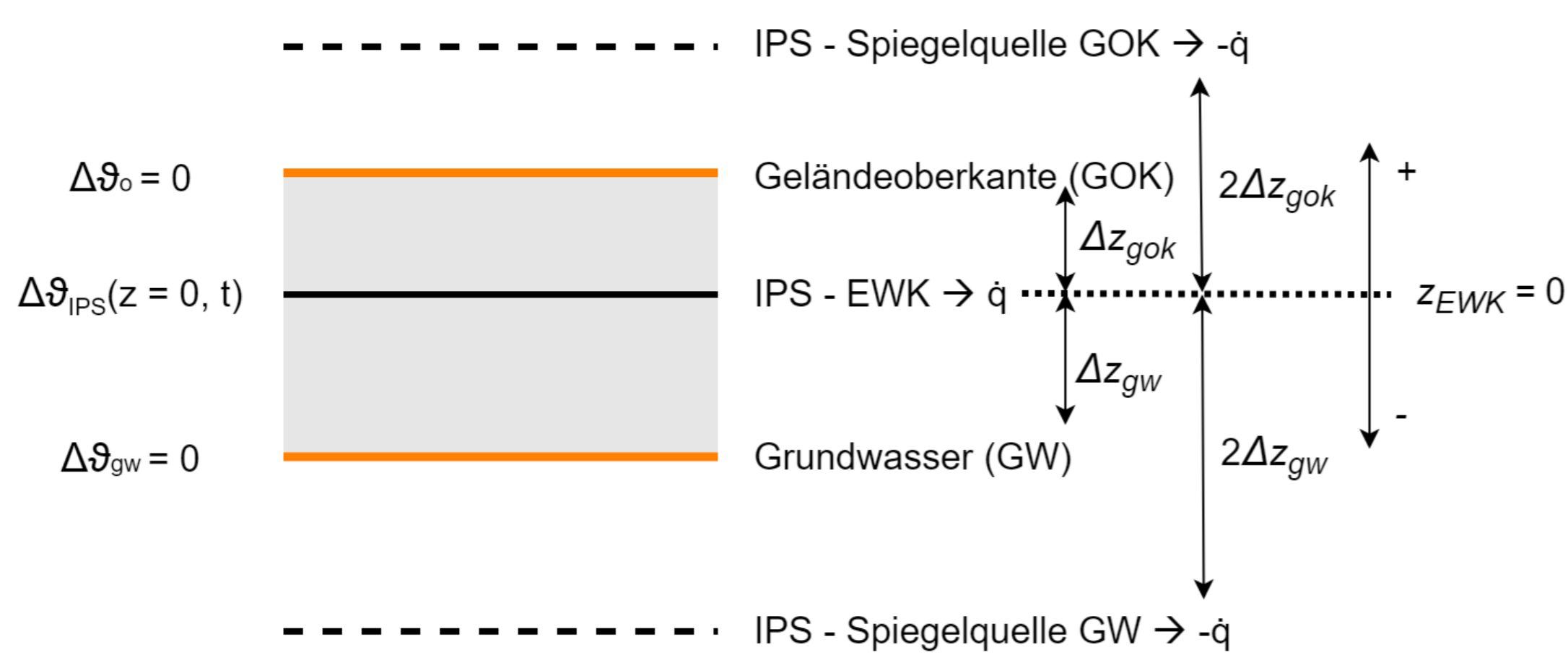


Abb. 1: Skizze der Modellierung mithilfe von IPS mit Haupt- und Spiegelquellen für den Fall einer festen Temperatur an der Geländeoberkante und in der Grundwasserebene

- Für die Berücksichtigung des Eisbildungsprozesses werden zwei Ansätze untersucht:
  1. Ansatz nach Van de Ven et al. (2025) (V1)
  2. Angepasster Ansatz 1 mit variabler Bilanzenebene (V2)

## Numerisches Modell

- Simulationsprogramm: COMSOL Multiphysics®
- Zwei 2D-Modelle (Rohr- und Flächenquelle) mit Phasenübergang

- Temperaturrandbedingung (konstant oder Schwingung)
- adiabate Randbedingung
- Kollektoroberfläche (aufgeprägter Wärmeentzug)

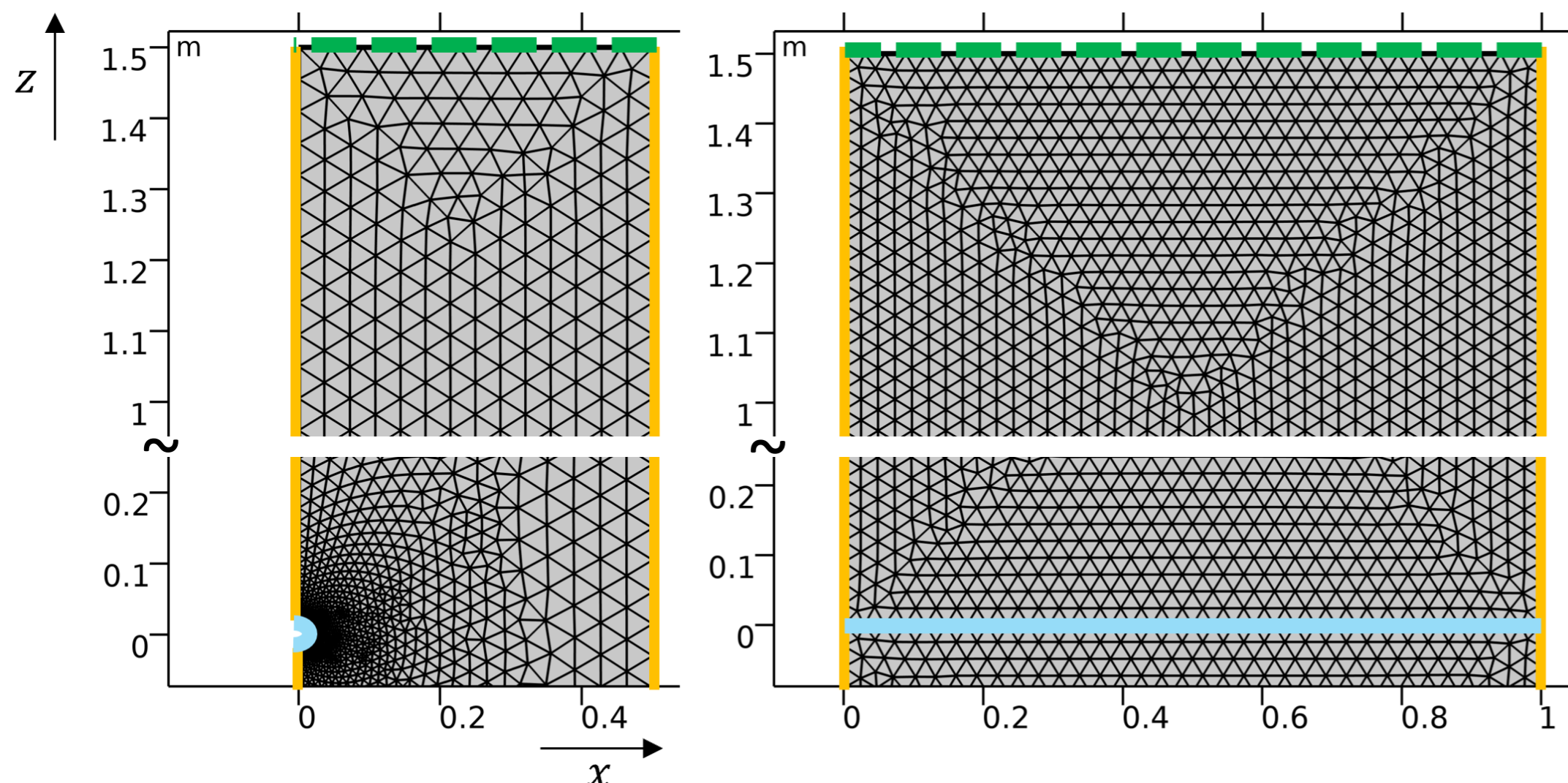


Abb. 2: Netz der erstellten Modelle in COMSOL Multiphysics®: Modell mit Rohrquelle (links), Modell mit Flächenquelle (rechts)

## Untergrundparameter

Parameter	Feststoff	Wasser	Eis
Dichte $\rho$ in $\text{kg/m}^3$	2180	1000	900
Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ in $\text{W/mK}$	1,5	0,58	2,33
Spezifische Wärmekapazität $c_p$ in $\text{J/kgK}$	1000	4200	2000

## Ergebnisse

- Betrachtungszeitraum zwei Jahre ab Oktober (2x Heizperiode)
- Realistisches Lastprofil (Abb. 3)
- Sinusförmige Temperaturschwingung an der Oberfläche (Abb. 3)
- Gesättigter Untergrund mit einer Porosität von 20 % und den Untergrundparameter aus vorstehender Tabelle

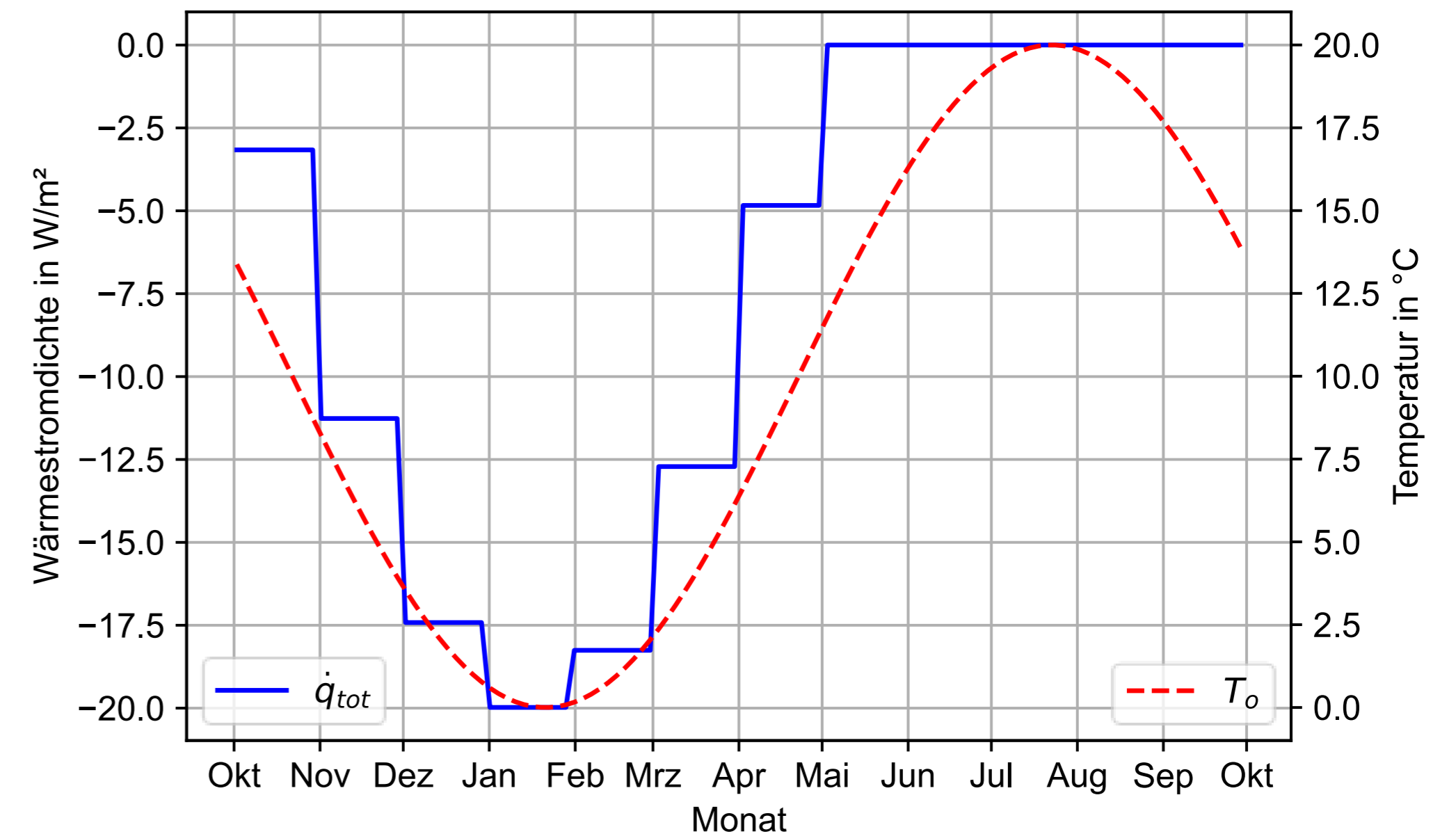


Abb. 3: Lastprofil und Temperaturschwingung an der Geländeoberkante

## Ohne Eisbildung

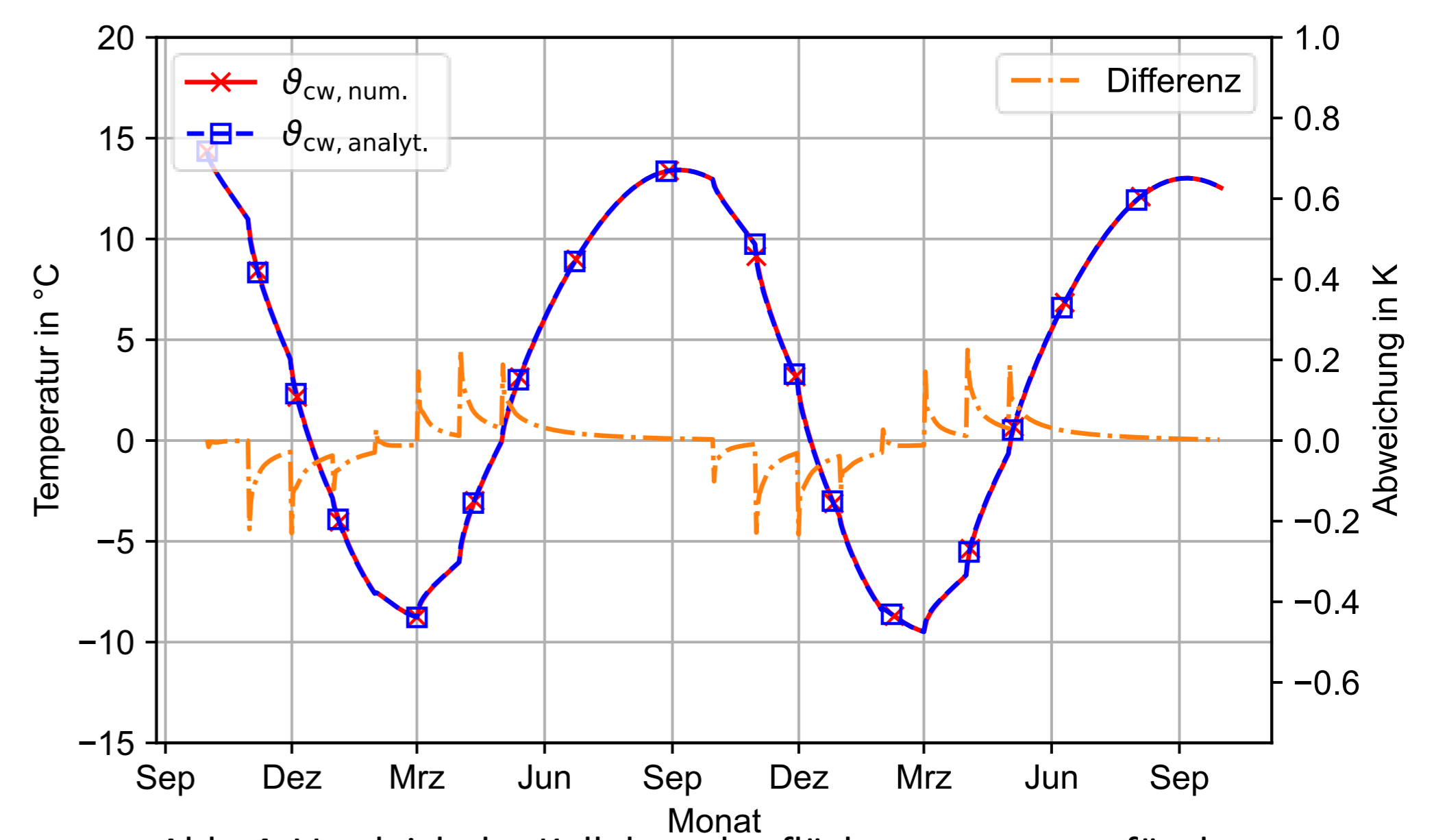


Abb. 4: Vergleich der Kollektoroberflächentemperatur für das Flächenmodell ohne Eisbildung (ohne Grundwasser)

- **Temperaturreaktionen (Flächen- und Rohrmodell) werden sehr gut vom analytischen Modell abgebildet**
- Geringfügige Abweichungen (Spitzen bei Änderung Entzugsleistung) können durch Schrittweite in der numerischen Simulation erklärt werden

## Mit Eisbildung

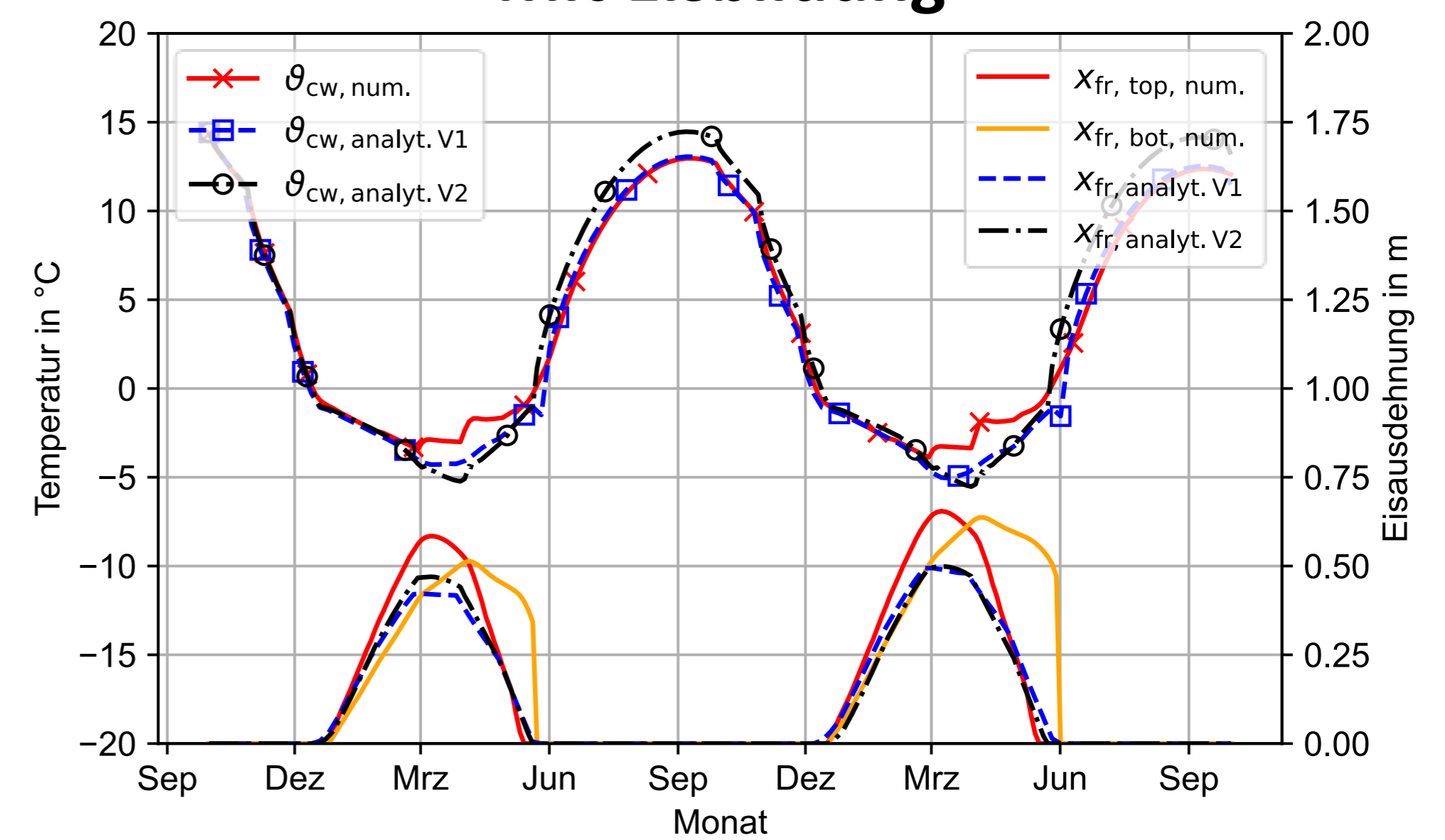


Abb. 5: Vergleich der Kollektoroberflächentemperatur und Eisausdehnung für das Flächenmodell mit Eisbildung (ohne Grundwasser)

- **Asymmetrie** zwischen Eisausdehnung nach oben und unten wird von analytischen Modellen **nicht abgebildet**
- Noch keine übertragbare Lösung für Berücksichtigung der **Eisbildung im Rohrmodell**

## Zusammenfassung und Ausblick

- Analytisches Modell bildet **Temperaturreaktionen ohne Eisbildung sehr gut ab**
- Für die Problematik der **Asymmetrie** und die **Übertragung auf das Rohrmodell** sind **weiterführende Forschungen** notwendig (Work in Progress)