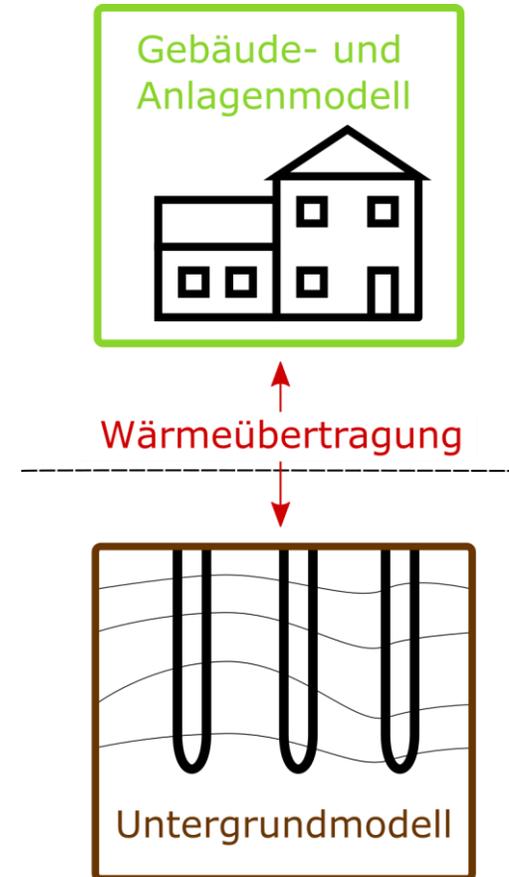


# Kopplung zwischen Haustechnik- und Untergrundsimulation

# Einführung

- Unterschiedliche Programme
  - Gebäude- und Anlagenmodell
  - Untergrundmodell
- **Wichtige Randbedingungen**
  - Heiz- und Kühlbedarf hat den **zweithöchsten Einfluss** auf die Untergrundtemperatur
  - Flüssigkeitstemperatur aus dem Untergrundmodell hat hohen Einfluss auf die Anlageneffizienz
- Wie werden diese Informationen definiert?



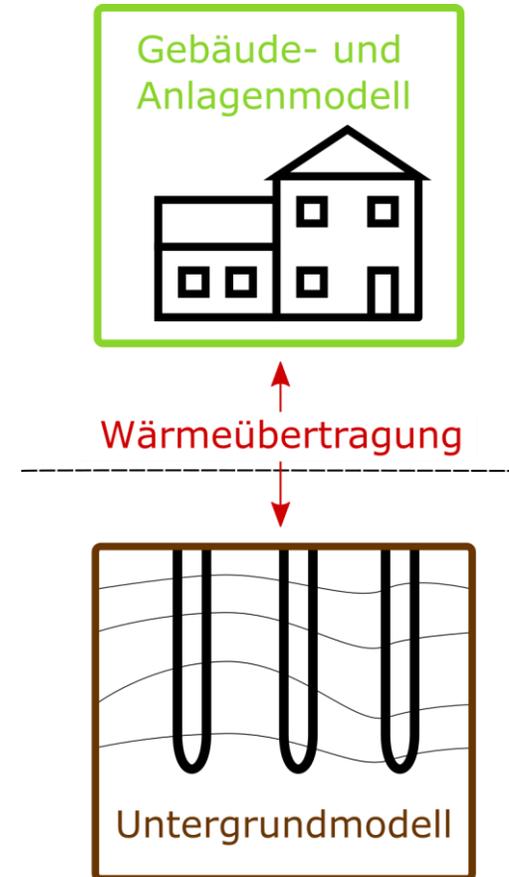
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

# Motivation

- Auslegung von Geothermieanlagen **sequentielle Simulation**
  - Verbraucher als Leistungs- oder Energiemengenverlauf definiert
  - Oft fehlen Informationen zu Temperaturen und Volumenströmen
  - Randbedingungen müssen **a priori** bekannt sein
    - Welche Annahmen werden getroffen?
    - Keine Beeinflussung der Systeme zur Laufzeit
  - Wie relevant sind diese vernachlässigten Einflüsse?



Gefördert durch:

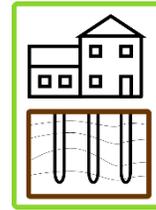


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Methodik

- Grundlegende Ansätze

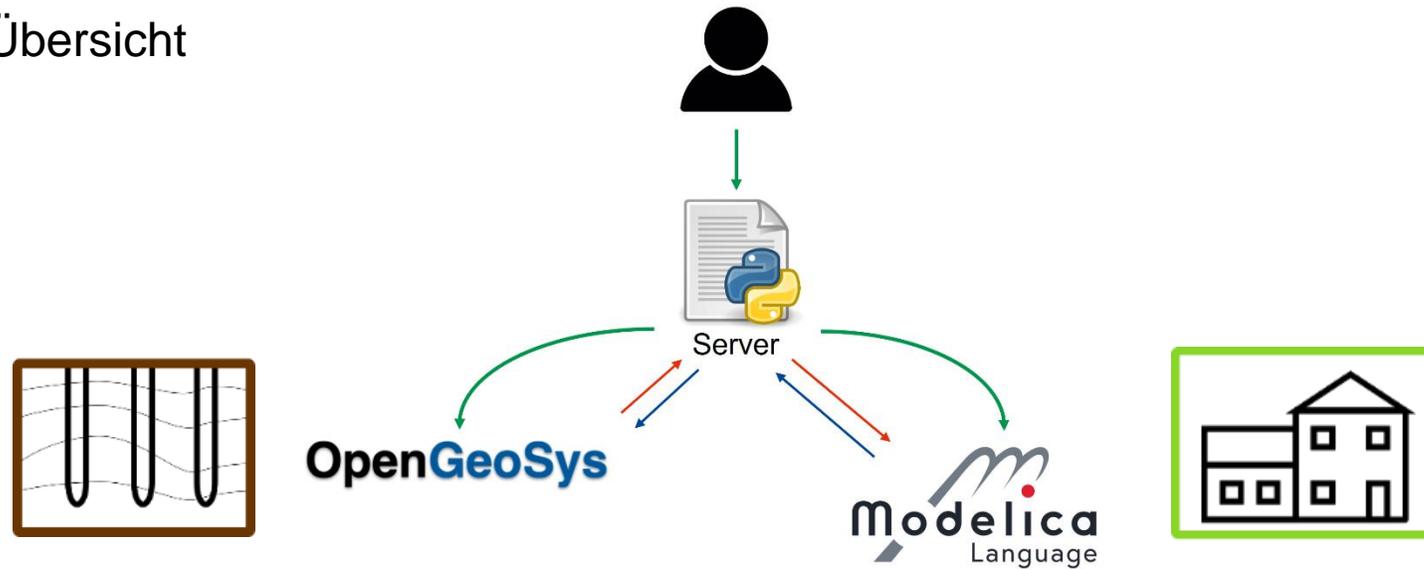
Model Exchange



Co Simulation



- Schematische Übersicht



Gefördert durch:

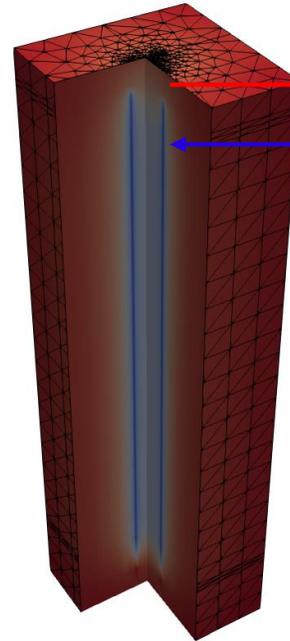


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Methodik

- Darstellung der Teilsysteme
- Modellierung der gebäudeseitigen Anlagentechnik
  - Wärmepumpe
  - Heizpufferspeicher
  - Plattenwärmeübertrager
  - Fußbodenheizung
- Informationsaustausch von:
  - Temperaturen  $\theta$
  - Volumenstrom  $\dot{V}$
  - Index: S ... Sonde, A ... Anlage

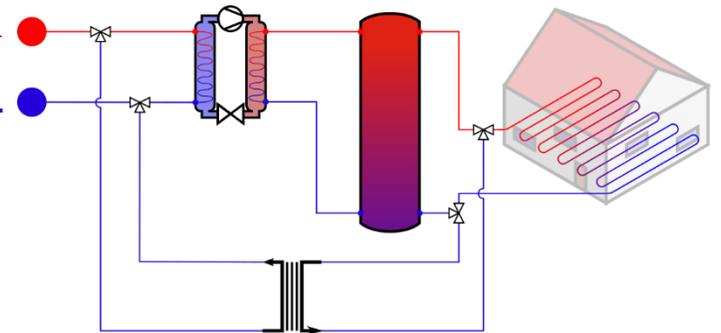
OpenGeoSys



$\theta_{S \rightarrow A}$

$\theta_{A \rightarrow S}$

Modelica  
Language



Simulationsumgebung:

Bibliothek:

SimulationX

GreenCity

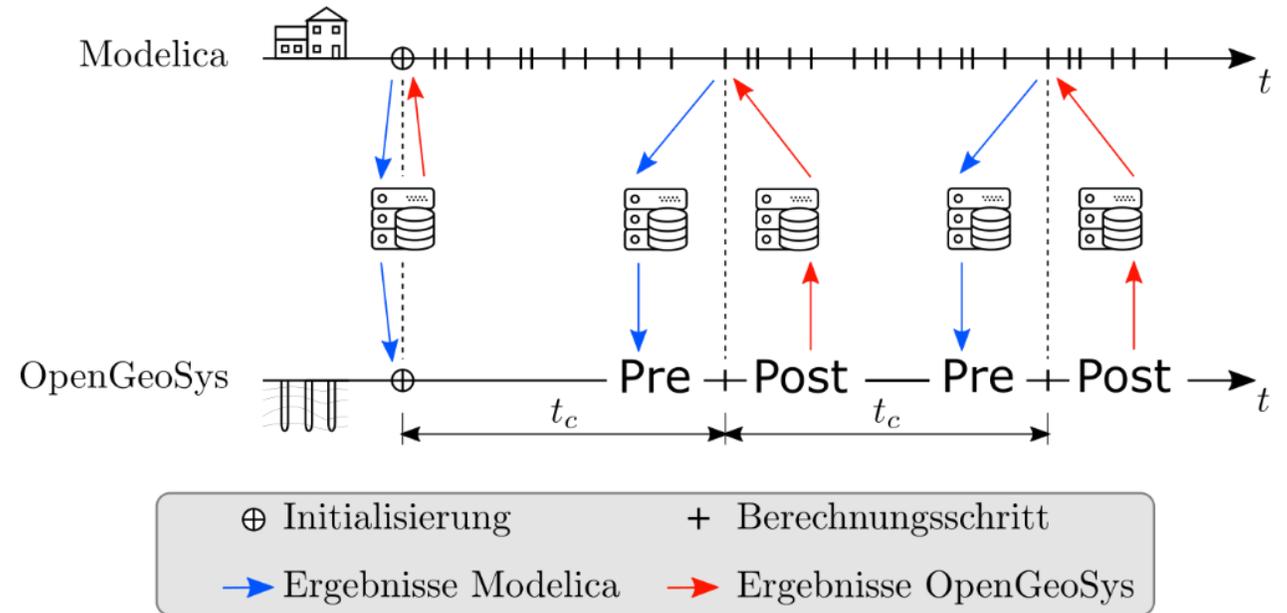
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

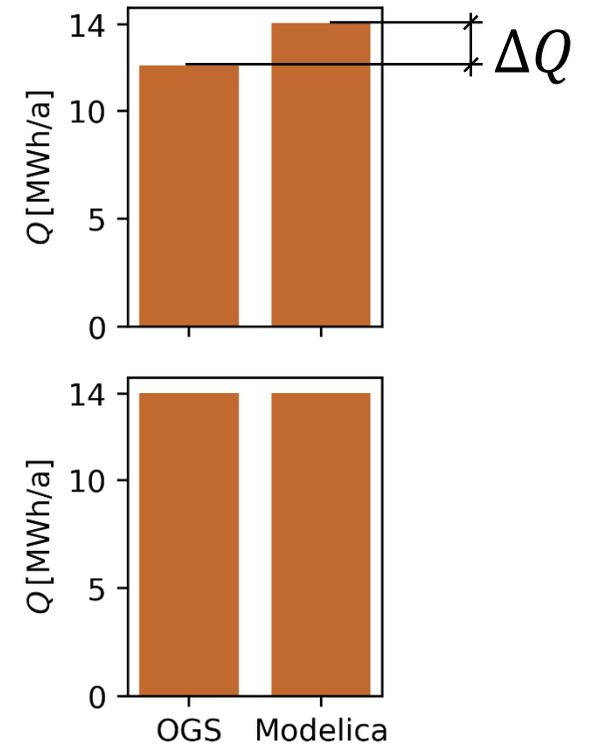
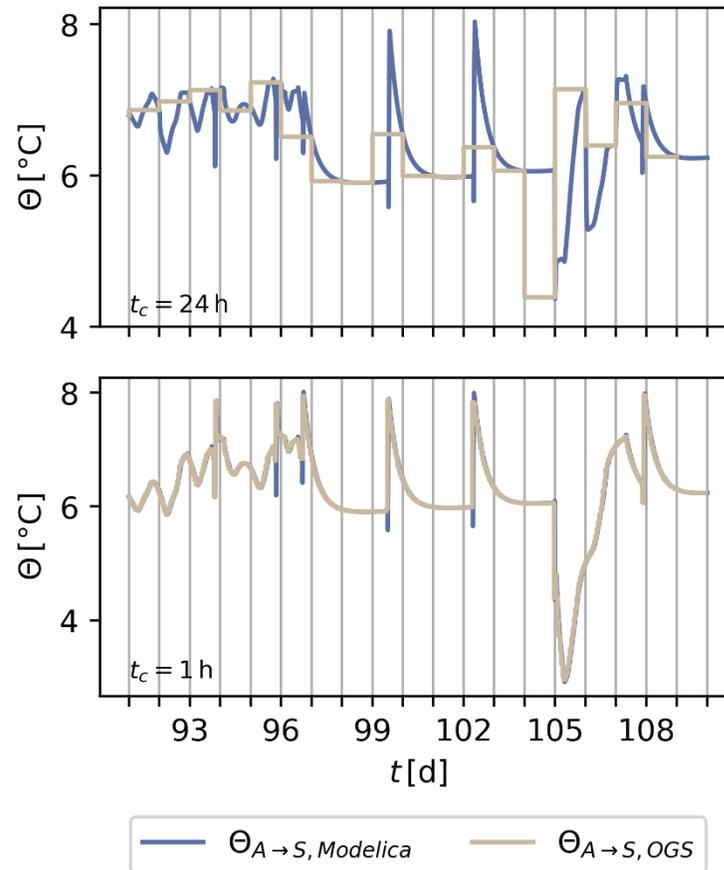
# Methodik

- Struktur und Häufigkeit der Kommunikation
  - OpenGeoSys → relativ flexibel
  - Modelica → Einschränkungen durch verwendete Komponente
    - **Konstante**  
Kommunikationsschrittweite  $t_c$
- Herausforderung Berechnungsschrittweiten
  - Modelica im Bereich von Sekunden
  - OpenGeoSys im Bereich von Stunden oder Tagen



# Analyse der Schnittstelle

- Modelle
  - Einfamilienhaus (210 m<sup>2</sup>)
  - 3 Doppel U-Rohr Sonden (100 m)
  - Auswertung: Monat April
- **Differenz der Energiemenge  $\Delta Q$** , die
  - dem Untergrund entzogen wird
  - bzw. in der Anlage ankommt



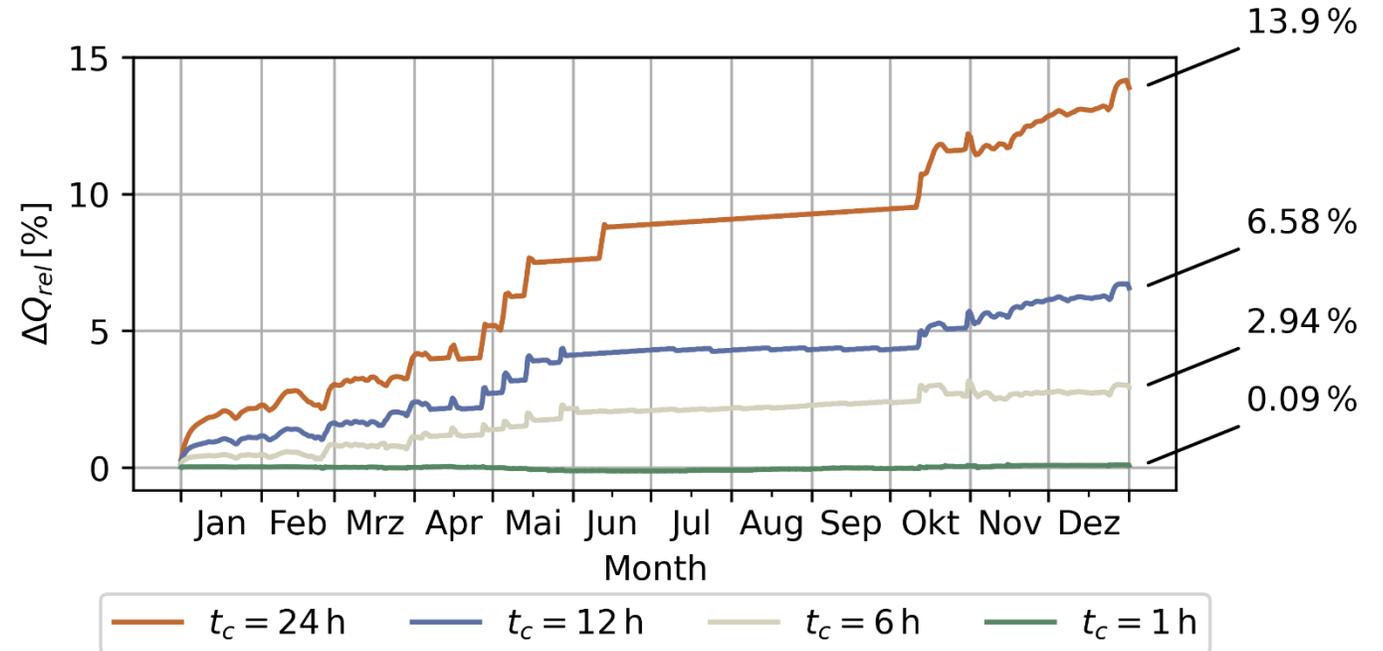
# Analyse der Schnittstelle

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

- Zusammenhang zwischen  $\Delta Q$  und  $t_c$
- **Hohe Änderungsraten** von  $\theta$  und  $\dot{V}$  führen zu **größerem Fehlerwachstum**
  - Gebäude hat keinen Kühlbedarf im Sommer
- Rechenzeiten (OGS/Modelica)
  - $t_c = 24\text{h} \rightarrow (20,5/8,5)\text{min}$
  - $t_c = 12\text{h} \rightarrow (39,95/8,73)\text{min}$
  - $t_c = 6\text{h} \rightarrow (70,25/8,62)\text{min}$
  - $t_c = 1\text{h} \rightarrow (221,90/8,25)\text{min}$



Berechnungsserver: 128 Kerne (2,3 GHz); 1024 GB RAM

# Analyse der Schnittstelle

## Verschiedene Szenarien:

1. Simulation anhand des Jahresenergiebedarfs, der anhand von Gradtagszahlen konstante Wärmebedarfe für die jeweiligen Monate liefert
2. Vorherige Haustechniksimulation (ohne Anlagentechnik), um Wärmebedarf des Gebäudes in Untergrundsimulation berücksichtigen zu können
3. Haus- und Anlagentechniksimulation, um zusätzlich die Parameter der Wärmepumpe (z.B. Durchflussrate) und einen dynamischen COP berücksichtigen zu können
4. Gekoppelte Simulation mit dynamischem Austausch von Simulationsergebnissen

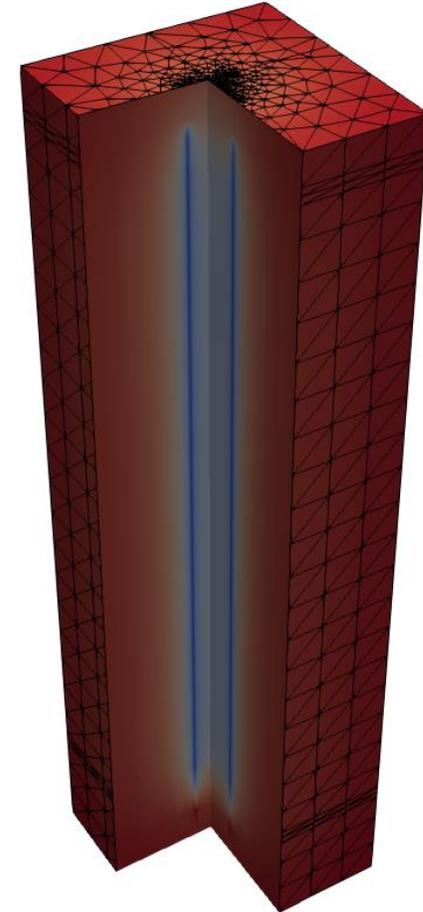
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Homogenes Modell

- einfaches 3-Sonden Modell in symmetrischer Anordnung
- homogener geologischer Aufbau
- kein Grundwasser
- 17.295 Elemente, inkl. 69 Linienelemente für die Sonden



Gefördert durch:



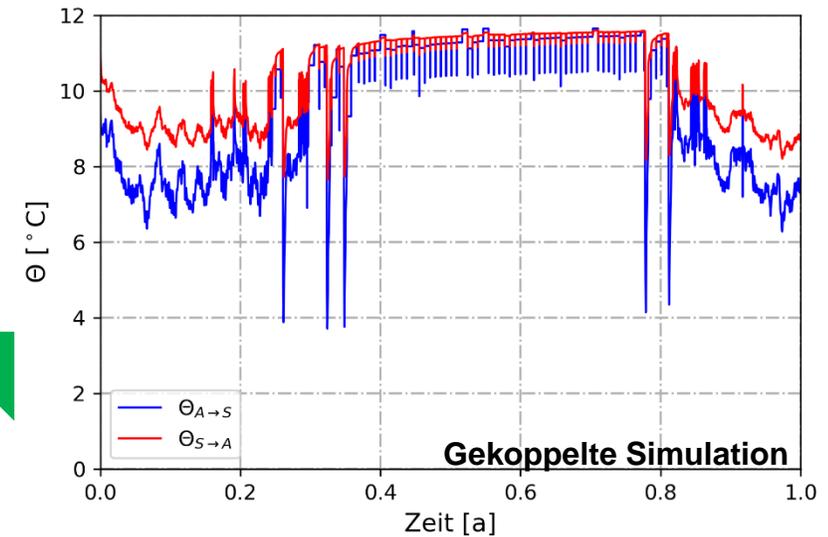
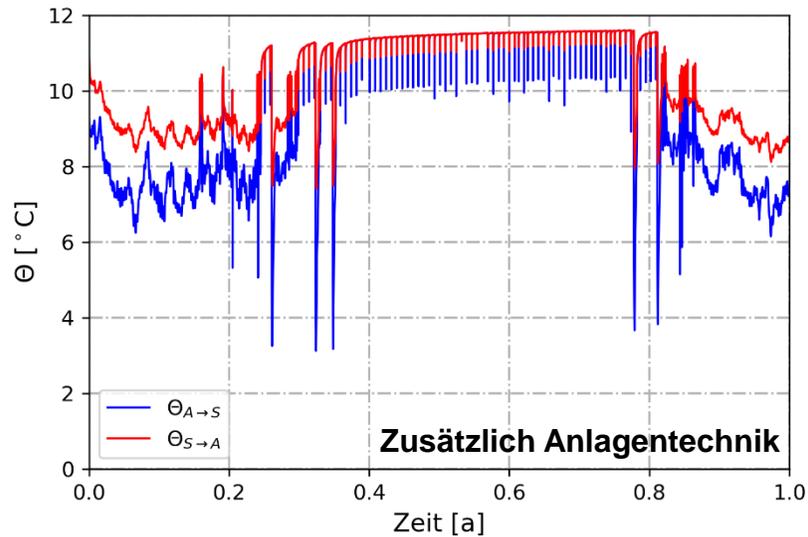
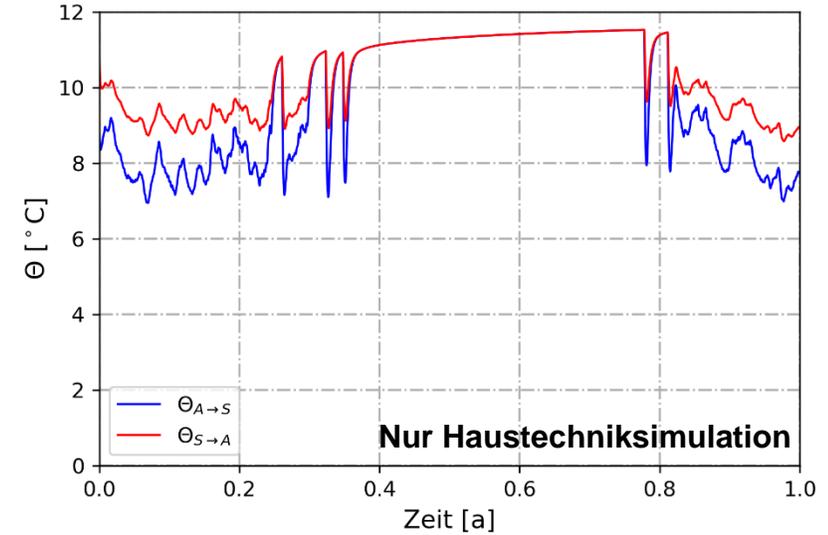
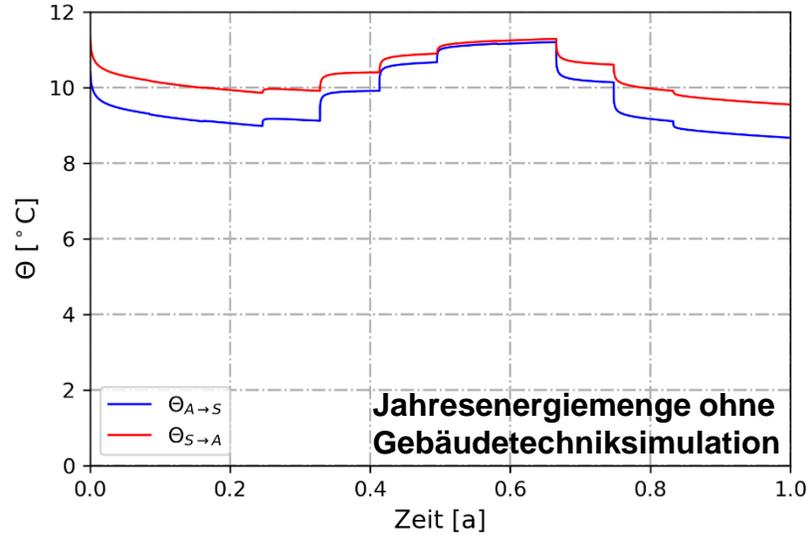
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Fluidtemperaturen – Homogenes Modell

Gefördert durch:



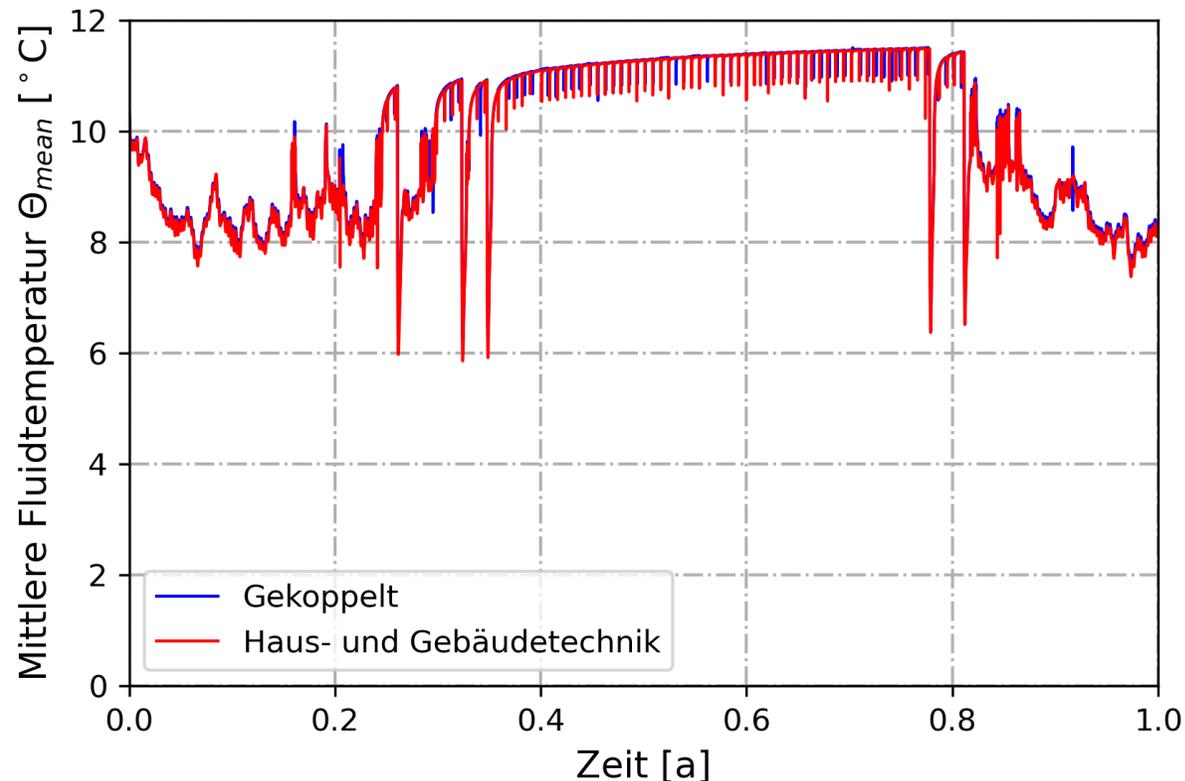
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



**Höchste  
Übereinstimmung**

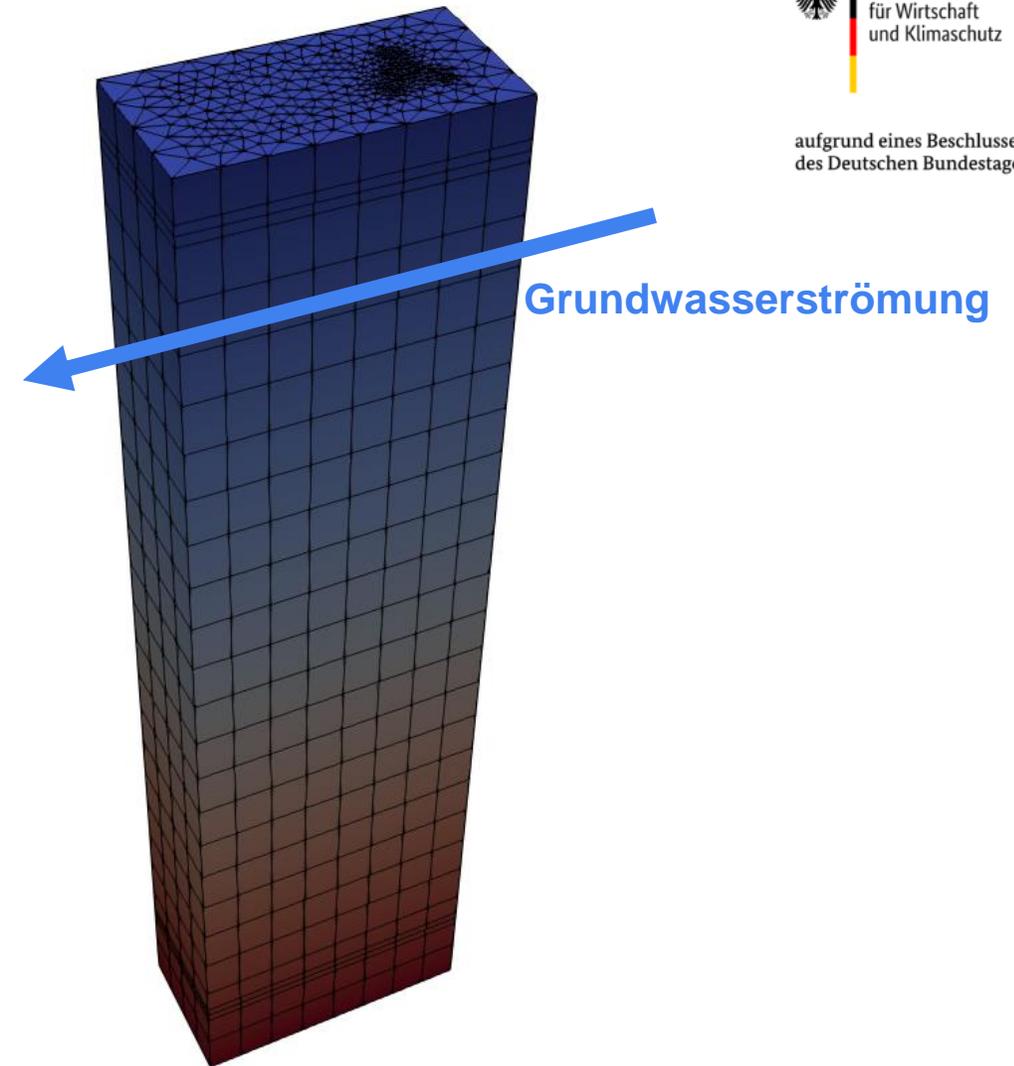
# Vergleich der Simulationen

- die beiden unteren Szenarien besitzen den höchsten Informationsgehalt
- Vergleich der gemittelten Fluidtemperatur zeigt vernachlässigbaren Unterschied
- **einfach gekoppelt (vorherige Haus- und Anlagensimulation)** bzw. **zweifach gekoppelt (Schnittstellensimulation)**



# Inhomogenes Modell

- 3-Sonden Modell in symmetrischer Anordnung
- inhomogener geologischer Aufbau
- Grundwasserströmung vorhanden
- 17.832 Elemente, inkl. 69 Linienelemente für die Sonden



Gefördert durch:



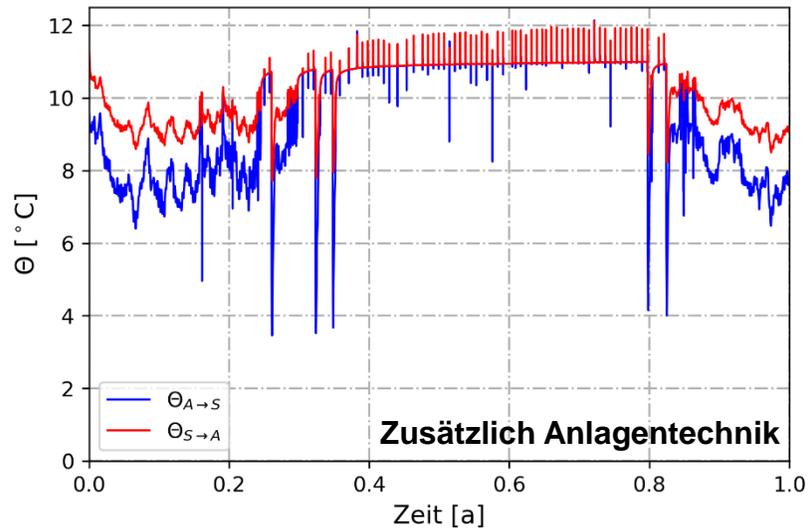
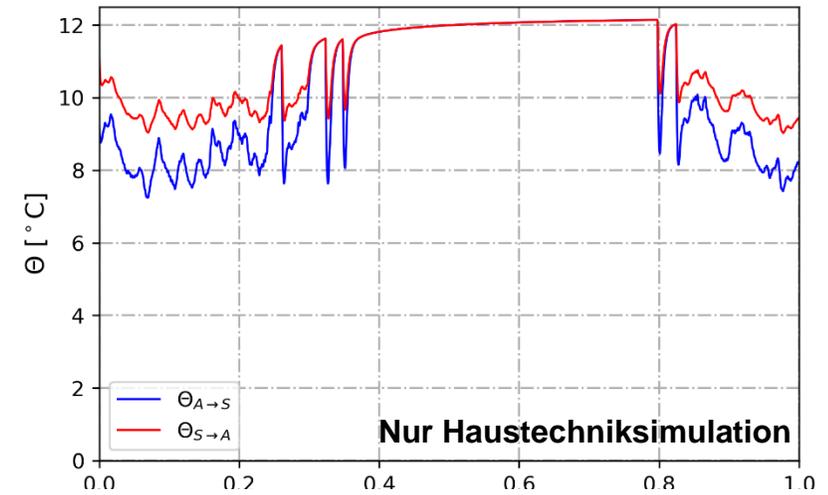
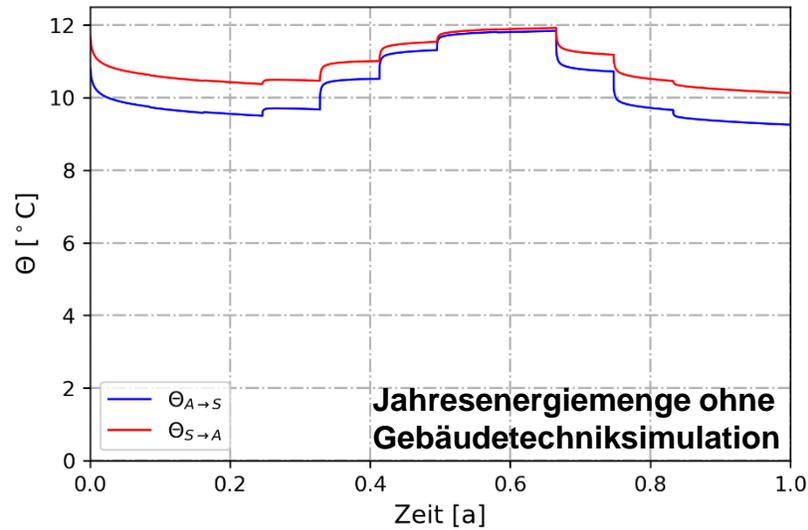
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Fluidtemperaturen – Inhomogenes Modell

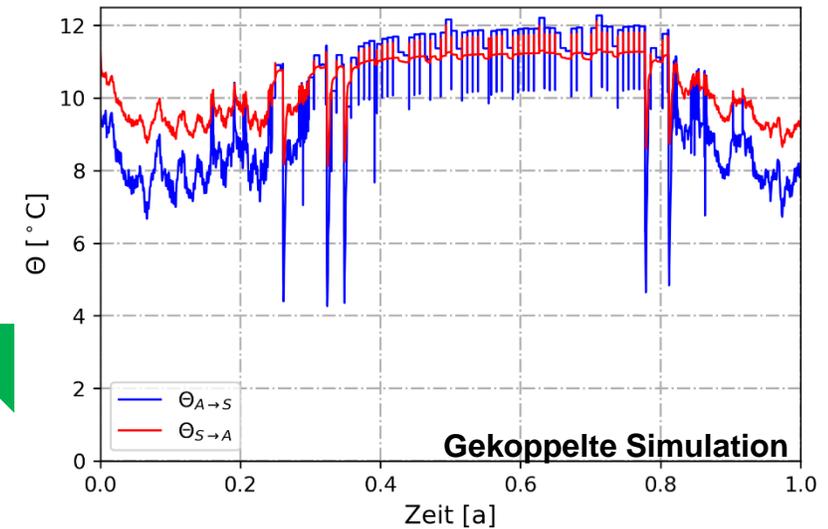
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

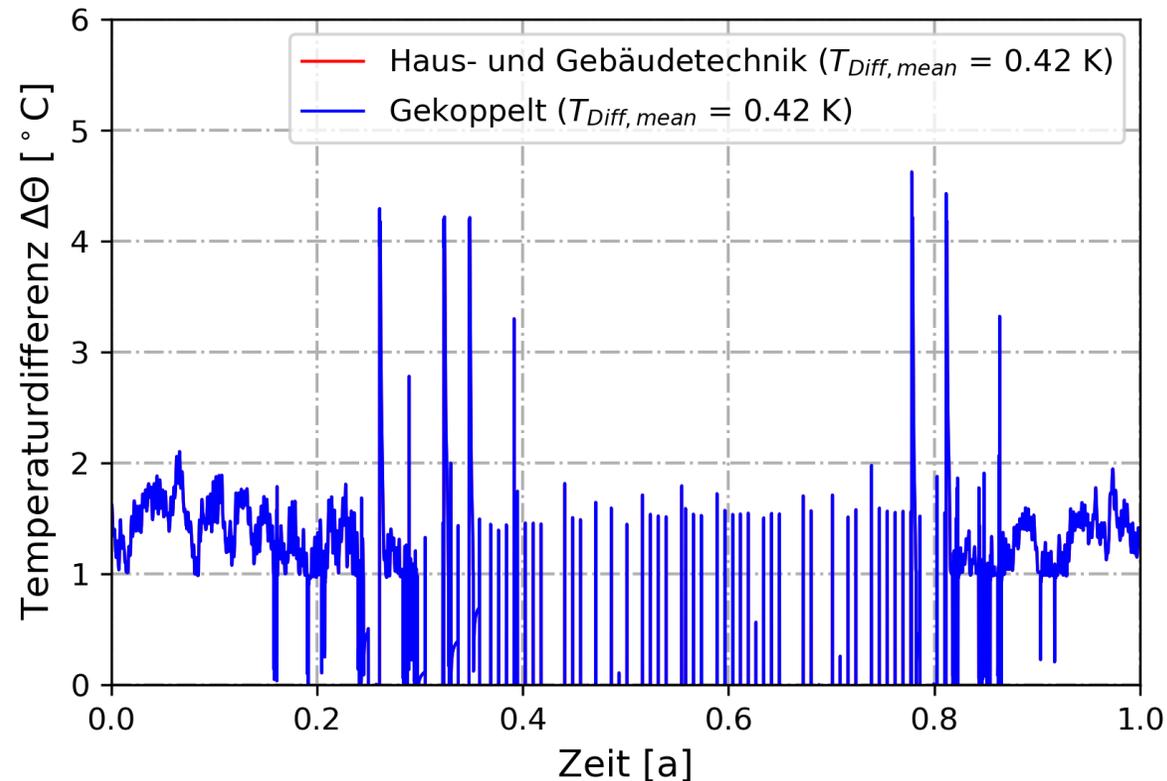


**Höchste Übereinstimmung**



# Vergleich der Simulationen

- erneut sehr ähnliche Simulationsergebnisse bei nacheinander folgenden Simulationen (erst Haus- und Anlagentechnik, anschließend Untergrund) und gekoppelter Simulation
- Vergleich der Temperaturdifferenzen aus Vor- und Rücklauf sind quasi identisch

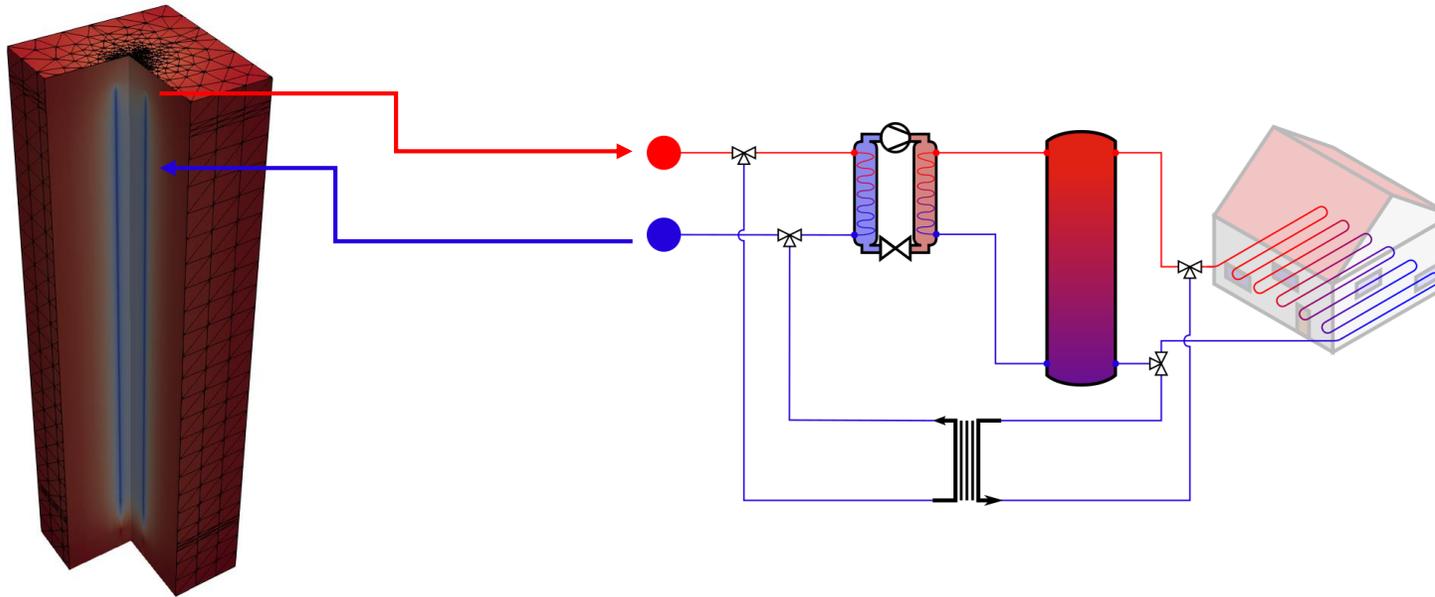


# Diskussion und Ausblick

- in jedem Fall birgt eine **Simulation der Haus- und Anlagenkomponenten** einen deutlichen **Mehrwert des Informationsgehalts**
  - statt zweiseitig, dynamischer gekoppelter Schnittstellensimulation aus Modelica und OpenGeoSys **deuten** die Ergebnisse **darauf hin**, dass eine einseitig gekoppelte, sequentielle Simulation der Komponenten vergleichbar aussagekräftig ist
- **Anwendungsfreundlicher** in der Praxis, da die Kopplung der Simulationen komplexer ist

Weitere Untersuchungen sollen noch komplexeres Verhalten der Simulation analysieren

1. Berlin-Modell als umfangreiches 3D-Modell (inklusive Kühlung)
  2. Langzeitsimulation über mehrere Jahre
- Anpassung der Zeitschrittweiten



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!