

Diese Unterlagen sind zunächst ausschließlich für den persönlichen Gebrauch durch die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der *GeoTHERM expo & congress am 29.02.2024 & 01.03.2024* in Offenburg bestimmt. In diesen Unterlagen ist geistiges Eigentum verschiedener Urheber wiedergegeben, weshalb eine unrechtmäßige Weiterverbreitung dieser Unterlagen neben ideellen auch finanzielle Schäden nach sich ziehen kann, für die der Verursacher haftbar gemacht wird.

Eine Weitergabe an außenstehende Dritte in irgendeiner Form ist deshalb grundsätzlich nicht gestattet. Für die Teile dieses Dokuments, an denen die Verfasser selbst die Urheberrechte halten, werden auf Anfrage gerne weitergehende Nutzungsrechte (für Zwecke der Lehre und Forschung kostenlos) gewährt.

Die vorgestellten Zahlenwerte & Berechnungen sind beispielhafter Natur und ersetzen keine objektspezifische Fachplanung. Auch lassen sich trotz aller Sorgfalt Fehler nicht ausschließen. Es kann deshalb keinerlei Haftung für die Anwendbarkeit oder Tauglichkeit in einem konkreten Anwendungsfall übernommen werden.

## Modellierung saisonaler Erdwärmesonden-Speicher und Integration in eine Kraftwerks-Simulationsumgebung im FuE-Projekt HeatSHIFT

Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff (Hochschule Biberach – HBC)

Prof. Dr.-Ing. Matthias Finkenrath (Hochschule Kempten)

M.Sc. Fabian Neth (Hochschule Biberach – HBC)

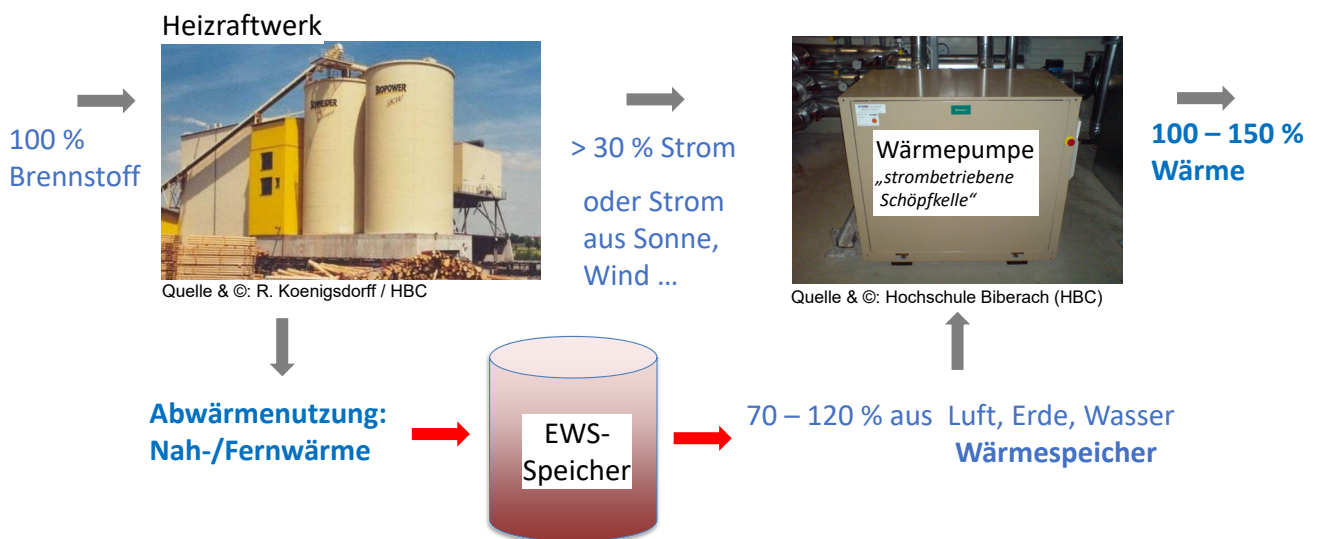
M.Eng. Christian Pressa (Hochschule Kempten)

B.Eng Nicole Negele (Hochschule Kempten)

- Aufgabenstellung & Projekt HeatSHIFT
- Einstieg: dynamisches Speichermodell
- Ansatz #1: Modellierung EWS-Speicher direkt in EBSILON®Professional
- Ansatz #2: Co-Simulation
  - Kopplung EBSILON®Professional mit Python
  - semi-analytisches EWS-Speichermodell
- Aktueller Stand und Ausblick

## Aufgabenstellung: Abwärmenutzung unter dynamischen Randbedingungen

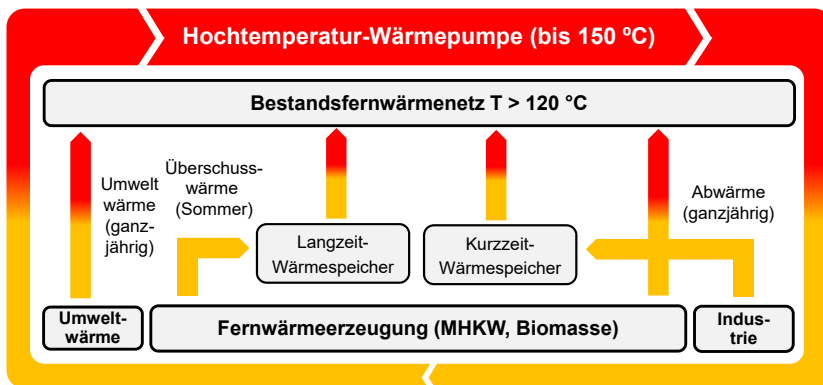
Verbesserte Abwärmenutzung mittels Wärmepumpe & Zwischenspeicherung



EnEff:Wärme: HeatSHIFT - Untersuchung effizienter Einbindungsmöglichkeiten von Hochtemperatur-Wärmepumpen in Bestandsfernwärmenetze mit Vorlauftemperaturen von typischerweise bis über 120 °C

- Betrachtung unterschiedlicher Wärmepumpen (inkl. Rotations-WP, mechanische Brüdenverdichtung)
- Kopplung mit saisonalen Wärmespeichern (Anhebung von ca. 50 °C auf 120 °C)

⇒ Energetische, wirtschaftliche, technische Bewertung (plus Online-Erstauslegungs-Tool)



Prozesssimulation Hochschule Kempten University of Applied Sciences
Wärmenetzbetreiber FUG FERNEWÄRME ULM ZAK
Wärmepumpenhersteller SIEMENS energy ecop
Fernwärmedachverband AGFW
Wärmespeicherauslegung HBC HOCHSCHULE BIBERACH UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES solites

## Einstieg: dynamisches EWS-Speichermodell

### Basismodell EWS-Speicher als Grundlage und Referenzmodell

- 2D-Modell in COMSOL Multiphysics®
- Anordnung der Sonden am Beispiel des EWS-Speichers in Crailsheim
- Modellierung der Sonden als Linienquellen, keine Effekte im Bohrloch berücksichtigt
- zunächst Jahresbetrachtung: ½ Jahr Beladung, dann ½ Jahr Stillstand
- konstante Beladungsleistung von  $40\text{ W/m}_{\text{EWS}}$
- Ungestörte Untergrundtemperatur: 10 °C
- Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds: 2,5 W/m/K
- spezifische Wärmekapazität des Untergrunds: 1000 J/kg/K
- Dichte des Erdreichs: 2180 kg/m<sup>3</sup>


→ Abschätzung eingespeicherte Wärmeenergie und sowie Speicherverluste

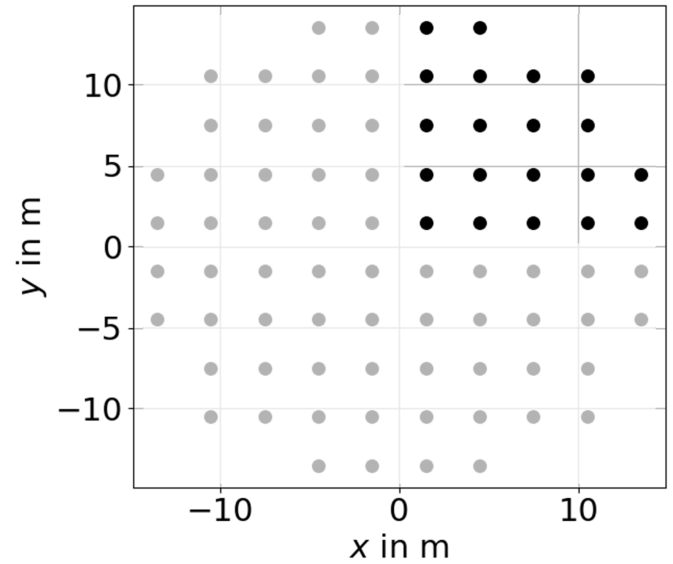
## Einstieg: dynamisches EWS-Speichermodell

### EWS-Speicher in Crailsheim:

80 EWS im Abstand von 3 m in einem Radius von 15 m, Tiefe 55 m, Speichervolumen 39000 m<sup>3</sup>

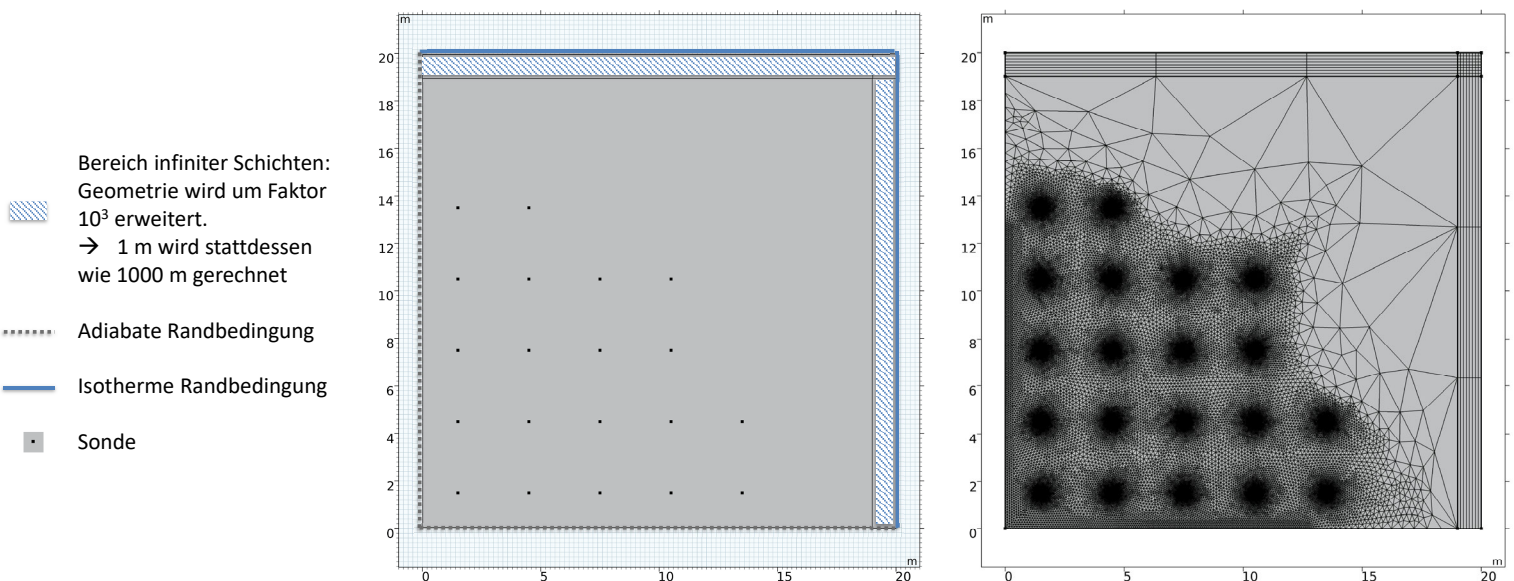


Quelle: Stadtwerke Crailsheim GmbH: Technik, Ökologie und Lebensqualität im Einklang – Das Crailsheimer Solarthermie-Projekt im Überblick, 2021 



## Einstieg: dynamisches EWS-Speichermodell

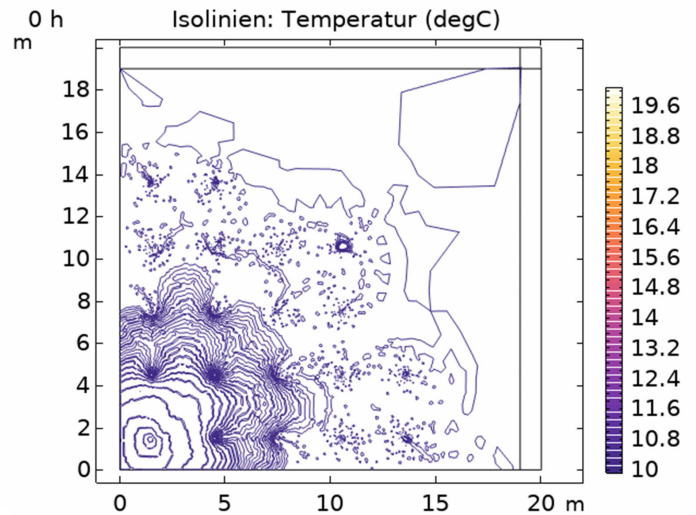
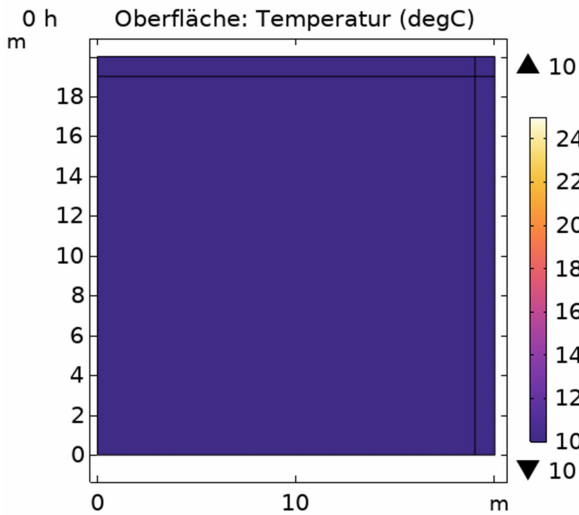
Aufbau des Simulationsmodells als Draufsicht auf das EWS-Feld: Betrachtung eines Viertels aufgrund der Symmetrie hinreichend. Am Rand sind „infinite Schichten“ implementiert, die ein weiteres Simulationsfeld bilden.



Betrachtung der Temperaturverteilung im untersuchten Gebiet:

Maximale Speichertemperatur in unmittelbarer Nähe der Sonden erreicht knapp 24 °C.

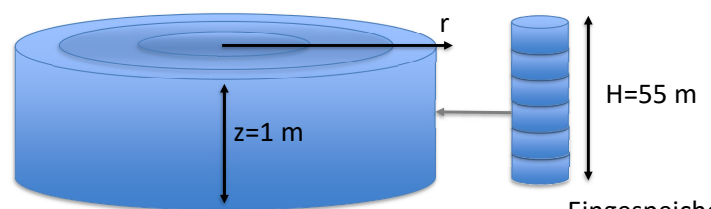
Speicherverluste sind an Isothermen zu erkennen, die auch nach der Beladephase vom EWS-Speicher entfernen.



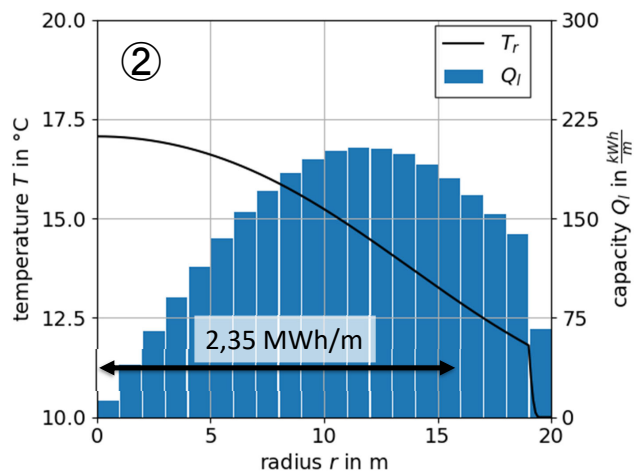
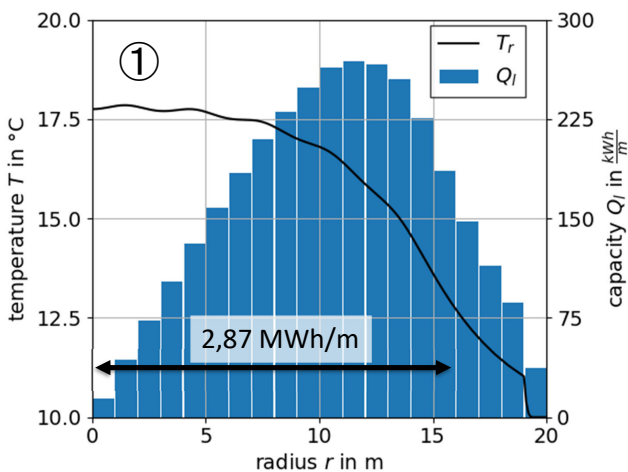
## Modellierung von EWS-Speichern

Temperaturverlauf entlang Mittelachse des Speichers:

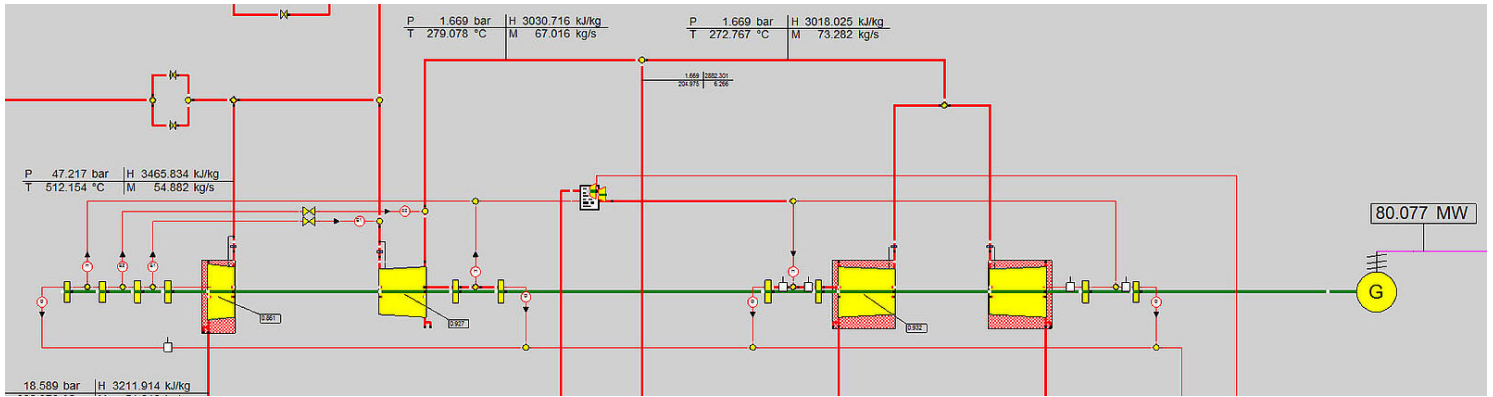
- ① Nach einem halben Jahr Beladung (40 W/m → 180 kW)
- ② Nach einem weiteren halben Jahr ohne Be- oder Entladung



Eingespeicherte Wärme:  
 ① 158 MWh  
 ② 129 MWh



- Kommerzielle Software zur Modellierung thermodynamischer Prozesse
- Hauptanwendung: Kraftwerks-Kreisprozesse
- grundsätzlich (quasi-)stationär
- ergänzt um Bauteilmodelle zur Abbildung instationärer Vorgänge (Speichereffekte)

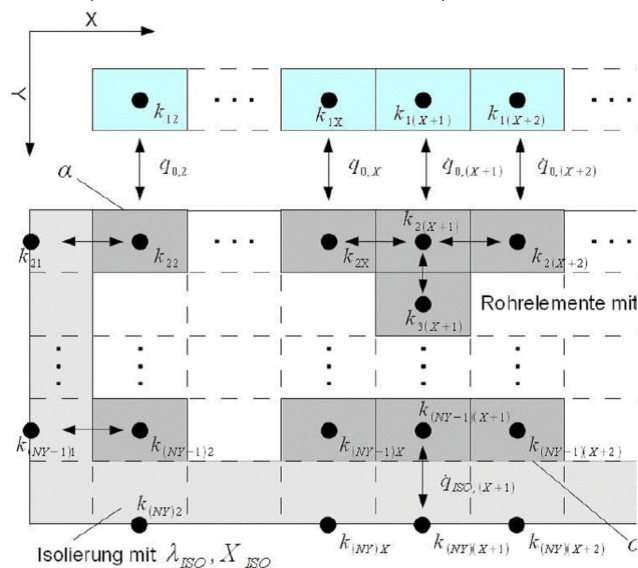
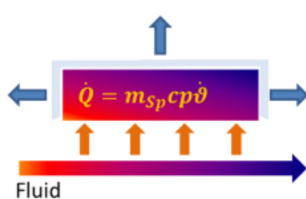
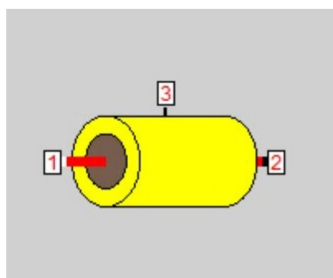


© & Quelle: Iqony Solutions GmbH; <https://www.ebsilon.com/de/module/basismodul-ebsilon-professional>

## Ansatz #1: Modellierung EWS-Speicher direkt in EBSILON®Professional

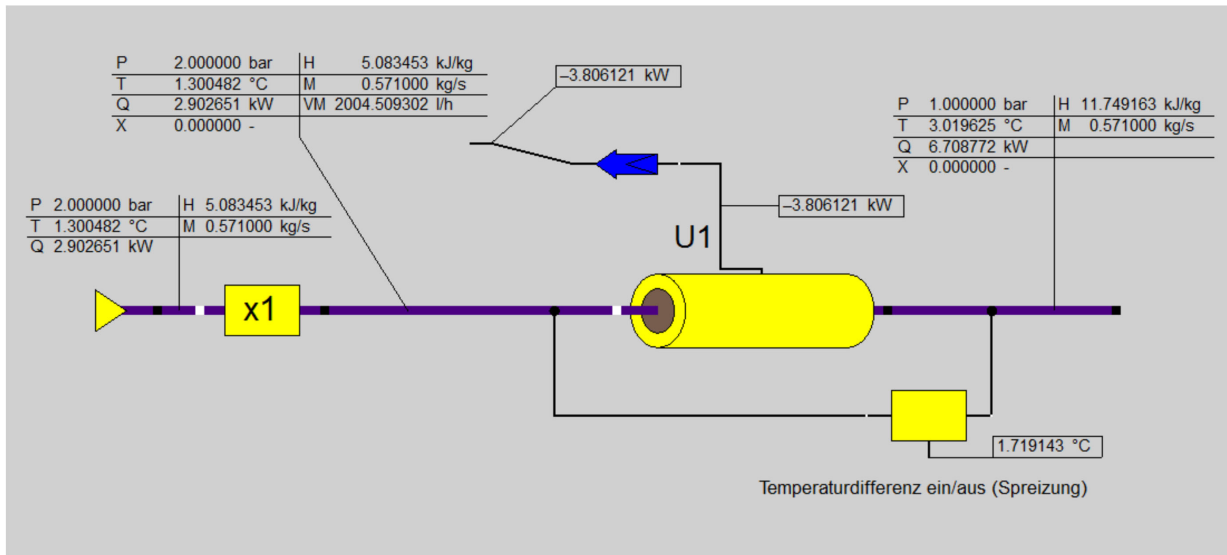
### Bauteil 119: Indirekter Speicher in EBSILON®Professional

Rohr-Wärmeübertrager mit umgebendem Speichermedium (2D-Finites-Differenzen-Modell)



Quelle: Online-Dokumentation Ebsilon®Professional [https://help.ebsilon.com/DE/Component\\_119.html](https://help.ebsilon.com/DE/Component_119.html)

Instationäre Speichermodellierung (Bachelorarbeit Negele) mit „Bauteil 119 – indirekter Speicher“:

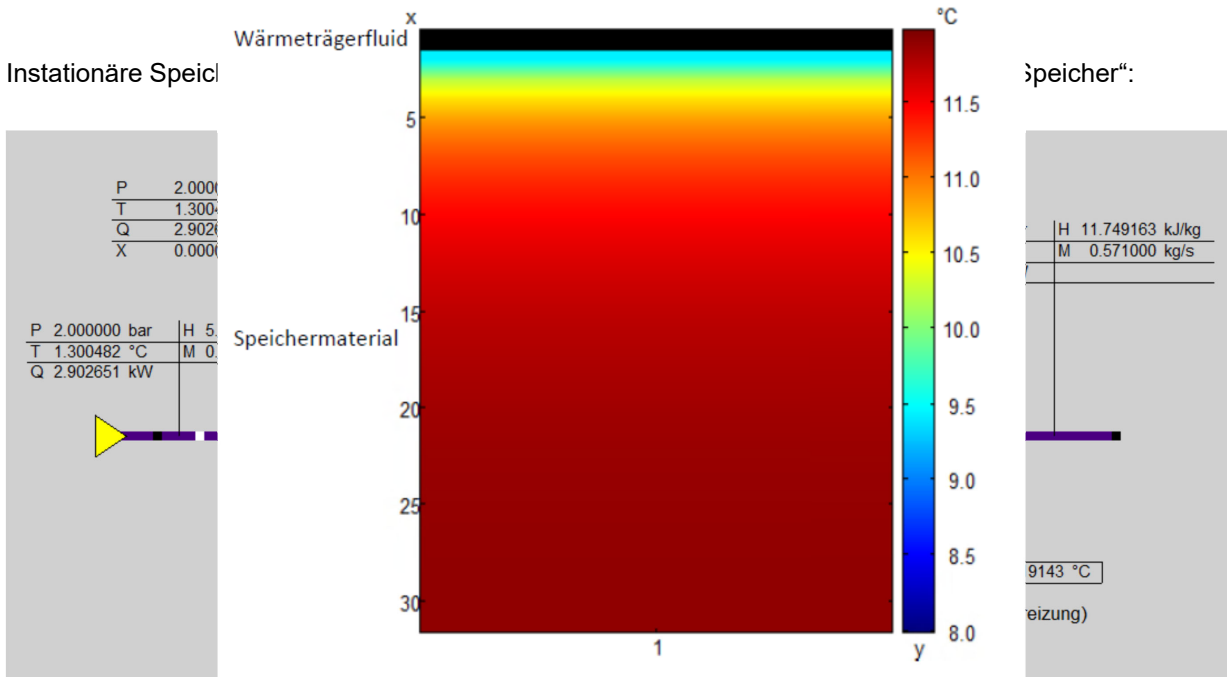


Quelle: Negele, N: Modellierung und Simulation von saisonalen Erdwärmesondenspeichern, Bachelorarbeit, HS Kempten, 2023

Ansatz #1: Mo

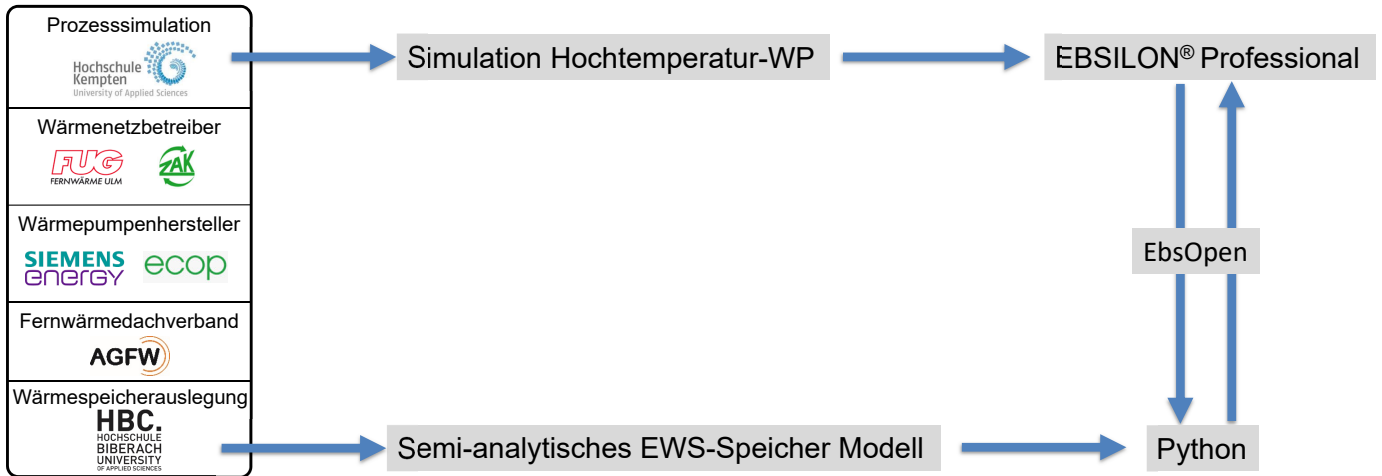
Instationäre Speic

Speicher“:

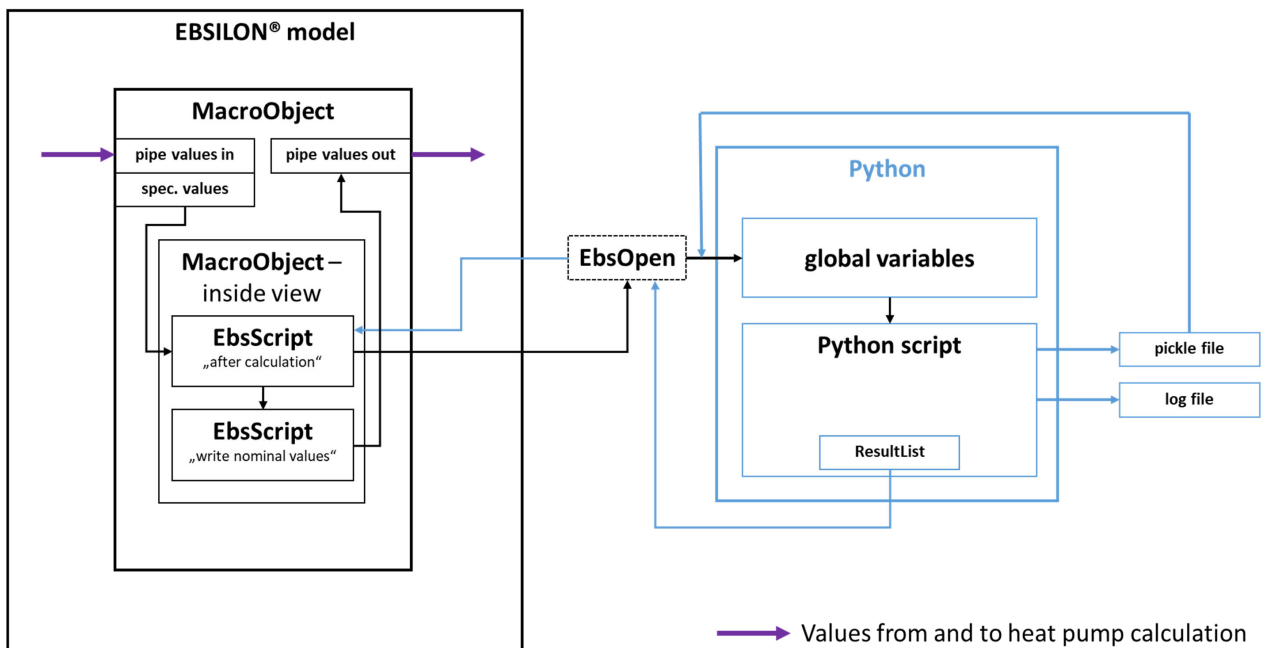


Quelle: Negele, N: Modellierung und Simulation von saisonalen Erdwärmesondenspeichern, Bachelorarbeit, HS Kempten, 2023

## Ansatz #2: Co-Simulation – Kopplung EBSILON®Professional mit Python



## Ansatz #2: Co-Simulation – Kopplung EBSILON®Professional mit Python





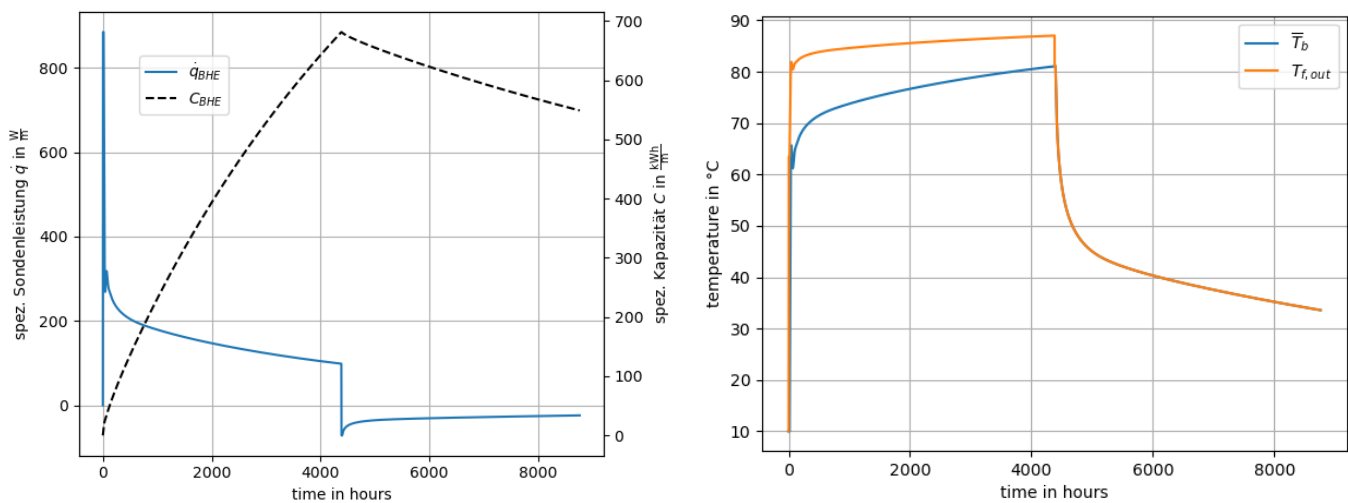
## Ansatz #2: Co-Simulation – semi-analytisches EWS-Speichermodell **Heat SHIFT**

Externes Speichermodell in Python:

- Basierend auf g-functions und Superpositionsprinzip
- Umstellung der Randbedingung auf konstante Eintrittstemperatur über äquidistante Zeitschritte
- Dynamische Berechnung des Bohrlochwiderstands durch vereinfachte Modellansätze nach Hellström und Fluiddaten basierend auf CoolPack
- Berechnung u. a. der mittleren Bohrlochrandtemperatur, Austrittstemperatur, spez. Entzugsleistung pro Zeitschritt, Druckverlust über die Sonde

## Ansatz #2: Co-Simulation – semi-analytisches EWS-Speichermodell **Heat SHIFT**

Beispielhafte Berechnung des EWS-Speichers in Crailsheim mit konstanter Eintrittstemperatur von 90° C über ein halbes Jahr, anschließend keine Be- oder Entladung des Speichers:



### Aktueller Stand:

- EWS-Speichermodellierung prototypisch erstellt
- 2 Ansätze für weiteren Vergleich:
  - #1: Internes Modell in Epsilon®Professional implementiert
  - #2: Co-Simulation mit externem, semi-analytischem Modell in Python implementiert

### Ausblick:

- Detaillierter Vergleich der beiden Modellansätze – methodisch und quantitativ
- EWS-Speichermodell in Python weiterentwickeln:
  - weitere Detaillierung des Modells
  - Verbesserung Performance/Rechenzeit
- Vergleich mit Messdaten und Anwendung im Projekt



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ansprechpartner Hochschule Biberach:

Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff  
Institut für Gebäude- und Energiesysteme  
Karlstraße 11  
88400 Biberach an der Riß  
Tel.: 07351 582-255  
koenigsdorff@hochschule-bc.de

Ansprechpartner Hochschule Kempten:

Prof. Dr.-Ing. Matthias Finkenrath  
Institut für Energie- und Antriebstechnik  
Bahnhofstraße 61  
87435 Kempten  
Tel.: 0831 2253-229  
matthias.finkenrath@hs-kempten.de

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen:  
03EN3073