

# Gekoppelte Simulation von Erdsonden-Wärmespeichern und solar unterstützten Nahwärmenetzen



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Julian Formhals<sup>a,b,c</sup>, Daniel Schulte<sup>a,b</sup>, Bastian Welsch<sup>a,b</sup>, Ingo Sass<sup>a,b</sup>

Technische Universität Darmstadt - [a] Fachgebiet Angewandte Geothermie - [b] Graduate School of Excellence Energy Science and Engineering [c] M.Sc. Energy Science and Engineering

## Einleitung

Der Ausgleich der zeitlichen Differenz zwischen dem Bedarf von Wärme im Winter und dem großen solaren Angebot im Sommer kann durch solar unterstützte Nahwärmenetze mit saisonalem Erdsonden-Wärmespeicher (ESWS) erfolgen (Bär et al., 2015). Um ein gutes Verständnis über die Zusammenhänge eines solchen Systems zu erlangen und eine angemessene Dimensionierung durchführen zu können, sind vorweg transiente Simulationen notwendig. Modelle von solar unterstützten Nahwärmenetzen und ESWS stellen hierbei sehr unterschiedliche Anforderungen an die Simulationsprogramme. Aus diesem Grund bietet sich eine gekoppelte Simulation an, bei der die Modelle jeweils in einem eigenen Programm abgebildet werden (Welsch et al., 2016). Die vorgestellte Arbeit widmet sich der Untersuchung einer gekoppelten Simulation der Modelle eines ESWS in Matlab (MathWorks, 2016) und eines solar unterstützten Wärmenetzes in SimulationX (ITI, 2016).

## Schema der gekoppelten Simulation

Für die Simulation des Erdsonden-Wärmespeichers wurde das in MATLAB realisierte Tool BASIMO (Borehole heat exchanger Array SIMulation and Optimization) verwendet (Schulte et al., 2016). Hierin wird das Wärmeübertragungsproblem in einen lokalen Anteil, der eine analytische Lösung der Erdwärmesonden beinhaltet, und einen globalen Anteil, der die Wärmeverteilung im Untergrund mittels der Finite Elemente Methode berechnet, unterteilt.

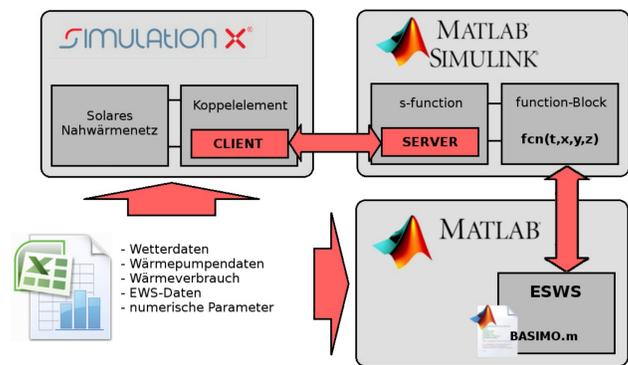


Abbildung 1: Schema der gekoppelten Simulation

Das solar unterstützte Nahwärmenetz wurde in der Simulationsumgebung SimulationX, welche die akasale objektorientierte Modellierungssprache Modelica verwendet, umgesetzt. Die beinhaltete Komponentenbibliothek „Green Buildings“ stellte hierbei bis auf den ESWS alle benötigten Komponenten zur Verfügung. Um die beiden verwendeten Simulationsumgebungen miteinander zu koppeln, wurde MATLAB-Simulink zwischengeschaltet, welches per TCP/IP-Protokoll mit SimulationX kommuniziert und BASIMO als MATLAB-Funktion aufruft (siehe Abb.1). Die gewählte Kommunikationsschrittweite zwischen den Programmen beträgt eine Stunde und es wird hierbei jeweils die Temperatur und der Volumenstrom des zwischen Nahwärmenetz und ESWS ausgetauschten Fluids sowie der Betriebsmodus der Sonden (CXC/CXA) übermittelt.

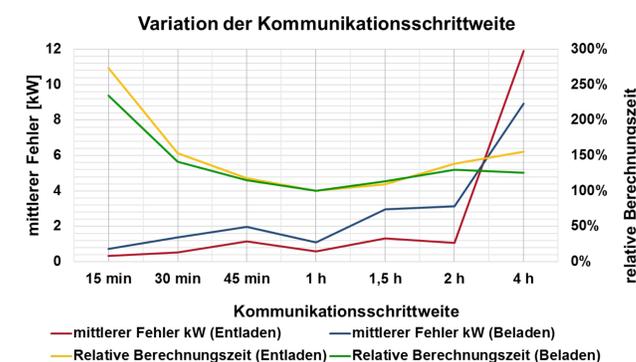


Abbildung 2: Untersuchung des Einflusses der Kommunikationsschrittweite zwischen den Programmen auf die Berechnungsdauer und den Fehler der zwischen ESWS und Nahwärmenetz übertragenen Leistung.

## Fallstudie

Anhand einer Fallstudie wurde ein solar unterstütztes Nahwärmenetz mit Erdsonden-Wärmespeicher für die Deckung eines Heizwärmebedarfs von 1.100 MWh konzipiert und dimensioniert. Der benötigte Wärmebedarf des neuen Bauingenieurgebäudes der TU Darmstadt lag als Heizlastkurve mit stündlichen Werten vor und wurde für die vorgesehene Systemgröße skaliert. Für den Anteil von solarer Wärme an der Heizwärme wurde ein Wert von 50 % angestrebt, die durch den saisonalen Wärmespeicher bereitgestellt werden soll. Die Größe des Speichers wurde hierbei nach (Schulte et al., 2016) auf 10 Sonden à 135 m Länge festgelegt, sodass schätzungsweise jährlich 1.268 MWh eingespeichert und 550 MWh ausgespeichert werden können, was einer Speichereffizienz von 43,6 % entspräche. Anhand vereinfachter Simulationen wurde die solarthermische Kollektorfläche kalkuliert, die notwendig ist, um die zuvor berechnete einzuspeichernde Wärmemenge zu erhalten. Hierdurch ergab sich eine Anzahl von 3.450 Flachkollektormodulen. Um den Speicher auf niedrigere Temperaturen entladen zu können und die ausgespeicherte Wärme auf das Temperaturniveau des Heizungsanlasses anzuheben, wurde eine Hochtemperatur-Wärmepumpe, die eine maximale thermische Leistung von 325 kW besitzt, in das System integriert. Diese wurde zwischen zwei Pufferspeichern mit je 100 m<sup>3</sup> Volumen angeordnet, von denen einer auf einem niedrigen Temperaturniveau und einer auf einem höhe-

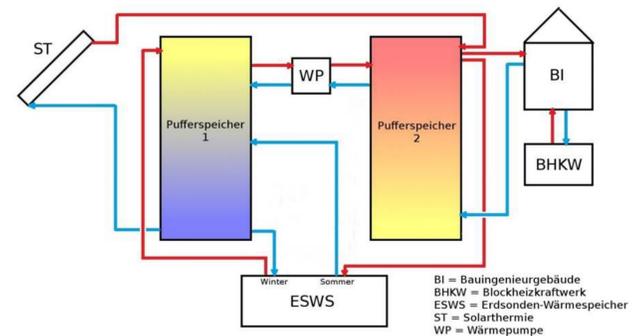


Abbildung 3: Anlagenkonzept der Wärmeversorgung für die Fallstudie

Temperaturniveau betrieben wird (siehe Abb. 3). Die Pufferspeicher sorgen dafür, dass die Wärmepumpe gleichmäßig und ohne häufiges Takten betrieben werden kann und dass die täglichen Erzeugungs- und Lastspitzen ausgeglichen werden. Der Wärmebedarf, der durch das solar unterstützte Nahwärmenetz nicht gedeckt werden kann, wird durch eine Nachheizung durch das Blockheizkraftwerk der TU Darmstadt gedeckt.

## Simulationsergebnisse

Das zuvor entworfene System wurde anhand einer gekoppelten Simulation über einen Zeitraum von sieben Jahren untersucht. Hierbei wurde die Funktionsfähigkeit des Systems nachgewiesen und es konnte eine detaillierte Analyse der Leistungsfähigkeit erfolgen. Im siebten Jahr zeigte sich sowohl für den solaren Deckungsgrad, als auch für den Speichernutzungsgrad noch eine steigende Tendenz, wobei der veranschlagte solare Deckungsgrad mit 36,6 % den Zielwert von 50 % unterschritt und der Speichernutzungsgrad mit 56,6 % deutlich besser als der Auslegungswert ausfiel (siehe Abb. 4). Abb. 5 zeigt die Wärmebilanz des siebten simulierten Jahres, in der zu sehen ist, dass im Sommer solare Wärme in den ESWS eingespeichert wird (hellgraue Balken) und im Winter diese Wärme wieder ausgespeichert werden kann und so zur Wärmeversorgung beiträgt (blaue Balken). Eine detaillierte

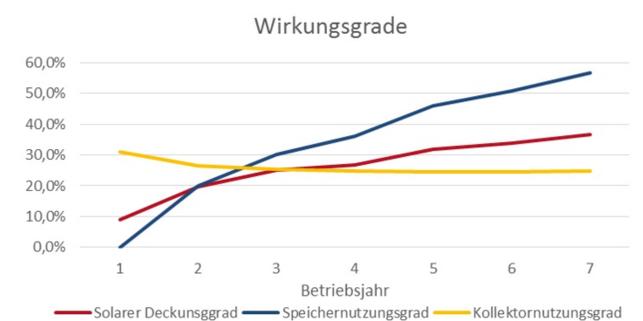


Abbildung 4: Entwicklung der relativen Systemkenngrößen im Verlauf des Simulationszeitraums

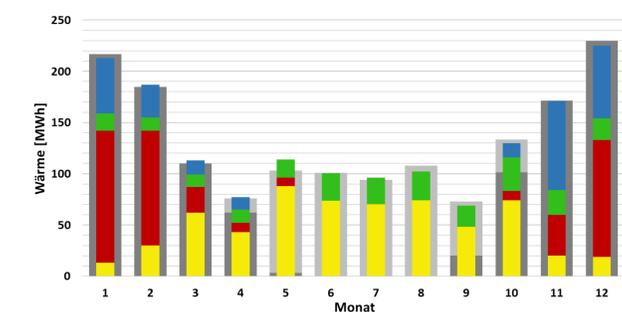


Abbildung 5: Monatlich in das Nahwärmenetz ein- und ausgespeicherte Wärmemengen im letzten simulierten Jahr. Breiten Balken stellen Wärme dar, die das Netz verlassen hat und schmale Balken Wärme die dem Netz zugeführt wurde.

## Fazit und Ausblick

Als Ergebnis der Arbeit konnte die Funktionsfähigkeit einer gekoppelten Simulation von Erdsonden-Wärmespeichern mit BASIMO und solaren Nahwärmenetzen in SimulationX nachgewiesen und bewertet werden. Die verwendete Methodik kann für transiente Simulationen solcher Wärmeversorgungssysteme über längere Zeiträume eingesetzt werden. Anhand der Fallstudie ließ sich weiterhin aufzeigen, dass eine integrale Betrachtung eines solchen Systems für eine korrekte Auslegung notwendig ist. Die aufgezeigte Methodik der Simulation bietet die Möglichkeit, dieses in einem iterativen Prozess zu verbessern. Hierdurch können Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit des Systems vor einer Realisierung besser abgeschätzt und optimiert werden.

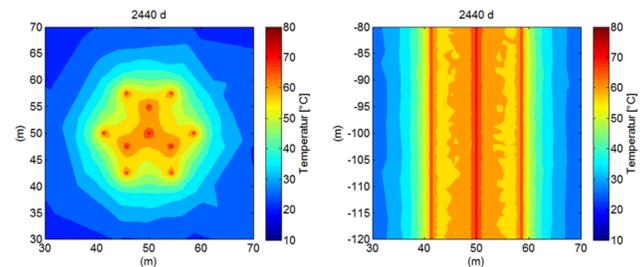


Abbildung 6: Temperaturverteilung im Speicher am Ende der letzten simulierten Beladungsphase. Links: Horizontaler Schnitt in 100 m Tiefe. Rechts: Vertikaler Schnitt durch die Speichermitte.

## Danksagung

This work is financially supported by the DFG in the framework of the Excellence Initiative, Darmstadt Graduate School of Excellence Energy Science and Engineering (GSC 1070).



## Literatur

- K. BÄR, W. RÜHAACK, B. WELSCH, D. SCHULTE, S.HOMUTH, I. SASS (2015): Seasonal high temperature heat storage with medium deep borehole heat exchangers, Energy Procedia, 76, 351-360.  
ITI GmbH (2016): SimulationX, <https://www.simulationx.de/>.  
D.O. SCHULTE, W. RÜHAACK, S. OLADYSHKIN, B. WELSCH, I. SASS (2016): Optimization of Medium Deep Borehole Thermal Energy Storages, Energy Technology, 4; 104-113.  
The MathWorks Inc. (2016): MATLAB, <https://de.mathworks.com/products/matlab/>.  
B. Welsch, W. Rühaak, D.O. Schulte, K. Bär, I. Sass (2016): Advanced Coupled Simulation of Borehole Thermal Energy Storage Systems and Above Ground Installations, European Geosciences Union General Assembly, 17.-22.04.2016, Vienna.

## Kontakt



Julian Formhals  
Technische Universität Darmstadt  
Geothermal Science & Technology  
Darmstadt Graduate School of Excellence  
Energy Science and Engineering  
Schnittspahnstrasse 9  
D-64287 Darmstadt  
Email: formhals@geo.tu-darmstadt.de