

# Auswertung eines Eisspeichers in Verbindung mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe zur Heizungswärmeversorgung eines Effizienzhaus Plus Gebäudes

Kevin Settler, Hochschule für angewandte Wissenschaften Ansbach  
Autorenanschrift: Residenzstraße 8, 91522 Ansbach, Kevin.Settler@HS-Ansbach.de

## **Abstract:**

*Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Auswertung des Wärme erzeugungssystems am Campus Feuchtwangen der Hochschule Ansbach. Dieses wird mittels einer Sole-Wasser-Wärmepumpe, die überwiegend einen Eisspeicher als Primärwärmequelle nutzt, mit Energie versorgt. Hierzu wurde die installierte Sensorik am Campus und die der Stadtwerke ausgelesen und ausgewertet. Darüber hinaus war eine Substitution mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zu simulieren, um die Effizienz der Wärmeerzeuger miteinander zu vergleichen. Die Ergebnisse zeigen zum einen, dass sich die Jahresarbeitszahl der bestehenden Wärmepumpe, mit dem Eisspeicher als Wärmequelle, im Bereich der erwarteten Größenordnung befindet. Zum anderen erweist sich das installierte System als effizienter als das simulierte Anlagenmodell mit der Luft-Wasser-Wärmepumpe.*

## **1 Motivation**

Die Forschungshalle des Campus Feuchtwangen der Hochschule Ansbach ist gemäß dem Effizienzhaus Plus Standard errichtet worden. Dies ist ein Modellprojekt der Bundesregierung, das jahresbilanziell mehr Nutzenergie produzieren als verbrauchen soll. Hierfür ist ein eigener Förderzweig etabliert, der auf Bildungsbauten zugeschnitten ist [1]. Um dieses Ziel der positiven Energiebilanz erreichen zu können, ist neben einer hochdämmenden Gebäudehülle eine möglichst integrierte Gebäudetechnik mit einem geringen Primärenergieeinsatz notwendig. Während der Planungsphasen eines Gebäudes wird von einem idealisierten Modell ausgegangen und damit gerechnet. Es kann der Fall eintreten, dass ein Gebäude im realen Betrieb nicht die Effizienz erreicht, die durch die Planungsunterlagen signalisiert wurde. Um den erwünschten Zustand der Auslegung zu verwirklichen, geht die Bundesregierung mit dem Modellprojekt des Effizienzhaus Plus Standards den Weg der extensiven Datenerfassung mittels Sensorik. Die daraus resultierenden Datensätze werden am Campus Feuchtwangen seit der abschließenden Errichtung zu Beginn des Jahres 2019 automatisch auf einen Datenträger abgelegt. Mit dieser Grundlage wird eine umfangreiche Auswertung der gebäudetechnischen Systeme von nahezu drei Jahren durchgeführt.

## **2 Grundlagen**

Das Niveau des Effizienzhaus Plus Standards ist erreicht, wenn dem Gebäude über das komplette Jahr ein negativer Primär- und Endenergiebedarf nachgewiesen werden kann. Darüber hinaus sind alle Bedingungen des geltenden Gebäudeenergiegesetzes (GEG) einzuhalten. Für ein Effizienzhaus Plus Gebäude ist der Nachweis in Anlehnung an das GEG gemäß der DIN V 18599 zu führen. Als Bilanzierungsgrenzen sind die Grundstücksgrenzen anzusetzen, was sich von dem aktuellen GEG unterscheidet. Hier werden nur die

Energieströme berücksichtigt, die von Anlagen generiert werden, die unmittelbar im räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude stehen. Zusätzlich wird empfohlen, dass das Bauwerk gesamtheitlich mit Geräten und Anlagen der höchsten Energieeffizienzlabels und intelligenten Zählern ausgestattet wird. Als zusätzliche Information ist des Weiteren der Eigenversorgungsanteil als Monatsbilanz anzugeben [2].

Das Gebäude hat aufgrund der guten Dämmung einen niedrigen spezifischen Heizenergiebedarf, weshalb flächige Übergabesysteme eingesetzt werden können, um behagliche Raumtemperaturen zu realisieren. In den Böden sind Fußbodenheizungsleitungen verlegt. Diese beziehen während der Heizperiode das notwendige Heizungswasser von einer Sole-Wasser-Wärmepumpe, die ihre Primärenergie aus zwei Wärmequellen beziehen kann. Entweder aus einem solarthermischen Luftabsorber, der westlich vor dem Eingang des Gebäudes als Energiezaun aufgestellt ist, wie in Abb. 1 zu sehen ist, oder einem Eisspeicher, der unterhalb des Parkplatzes in das Erdreich eingelassen ist. Beide Wärmequellen nutzen ausschließlich Umweltenergie und sind daher mit einem Primärenergiefaktor von 0 zu bewerten [3]. Der Latentwärmespeicher weist eine deutlich höhere Energiespeicherdichte als ein gewöhnlicher, mit Wasser gefüllter, Pufferspeicher auf. Während dem herkömmlichen Speichersystem ausschließlich die sensible Wärme des Wassers mit  $4,183 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  zur Verfügung steht, wird über den Eisspeicher zusätzlich die Kristallisationsenthalpie von  $332,5 \text{ kJ}/\text{kg}$  genutzt [4]. Durch das Gefrieren des Wassers kann bei gleicher Masse des Speichermediums so viel zusätzliche Energie entzogen werden, wie beim Abkühlen von ca.  $80^\circ\text{C}$  heißem Wasser auf  $0^\circ\text{C}$ . Darüber hinaus schwankt die Quelltemperatur für die Wärmepumpe nicht so stark wie beispielsweise bei der Außenluft, was einen effizienteren Betrieb im Winter erlaubt. Bei Heizbedarf werden die Fühler im Vorlauf der jeweiligen Quelle miteinander verglichen. Es wird jenes Ventil geschaltet, das die höhere Temperatur zu verzeichnen hat.

Sowohl die Sole-Wasser-Wärmepumpe als auch der Eisspeicher sind für den zusätzlichen Bedarf eines zweiten Gebäudes, das am Campus Feuchtwangen errichtet werden soll, ausgelegt.

Die Trinkwarmwasserversorgung findet dezentral über elektrisch beheizte Durchlauferhitzer statt. Infolgedessen wird hierfür keine bereitgestellte Energie von der Wärmepumpe benötigt.

Gekühlt wird die gebäudehohe Forschungshalle über thermische Bauteilaktivierung. Hierfür sind in den Betonboden zusätzliche wassergeführte Rohrleitungen verlegt. Der Beton des Bodens dient als Pufferspeichermedium, indem die eingelassenen Leitungen von kühlem Wasser durchströmt werden, wodurch die Raumtemperatur zum sommerlichen Wärmeschutz herabgesenkt wird.



**Abb. 1:** Forschungshalle und Außenanlagen des Campus Feuchtwangen der Hochschule Ansbach [5]

### 3 Methodik

Die notwendigen Kernaspekte, die in dieser Arbeit herausgearbeitet werden, wurden zu Beginn des Projektes festgelegt. Diese sind die Jahresarbeitszahl (JAZ) der bestehenden Sole-Wasser-Wärmepumpe, die Anteile der verschiedenen Wärmequellen, die simulierte Substitution und der anschließende Vergleich des realen Wärmeversorgers durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe sowie die jährlichen Temperaturverläufe im Eisspeicher.

Die Messdaten werden mittels eines Matlab-Skriptes ausgelesen, erfasst und gespeichert. Die benötigten Daten werden als Monats- oder Tageswerte durch ein weiteres Skript angesprochen und in Excel-Mappen ausgegeben.

Um die Jahresarbeitszahl zu ermitteln wird der Zähler, der die Wärmemenge auf der Sekundärseite der Wärmepumpe erfasst, mit dem für die eingesetzte Hilfsenergie ins Verhältnis gesetzt, wie in Gl. 1 dargestellt ist.

$$JAZ = \frac{\text{Nutzwärme Wärmepumpe}_{\text{sekundärseite}}}{\text{eingesetzte Hilfsenergie}} \quad (\text{Gl. 1})$$

Um ein Ergebnis für ein Jahr zu erhalten, ist es nötig den Zählerstand am 01. Januar eines bestimmten Jahres vom darauffolgenden am gleichen Tag zu subtrahieren. Das Resultat ist die Energiemenge, die während dieses Zeitschrittes umgesetzt wurde. Zusätzlich werden die Arbeitszahlen für jeden Monat des Jahres 2021 ermittelt, um den Jahresverlauf der Effizienz beurteilen zu können. Diese werden aufgrund des gewählten Zeitschrittes als Leistungszahl oder coefficient of performance (COP) bezeichnet. Als Referenzjahr wird das Jahr 2021 verwendet, da bis dahin bereits geringfügige Fehler behoben wurden.

Die zur Wärmeerzeugung als Primärenergiequelle verwendeten Anteile sind ebenfalls als Differenz der Zählerstände der definierten Zeitschritte zu bilden. Sowohl im Vorlauf des Entzugswärmetauschers des Eisspeichers als auch in dem des solarthermischen Luftabsorbers sind Wärmemengenzähler installiert, die hierfür verwendet werden.

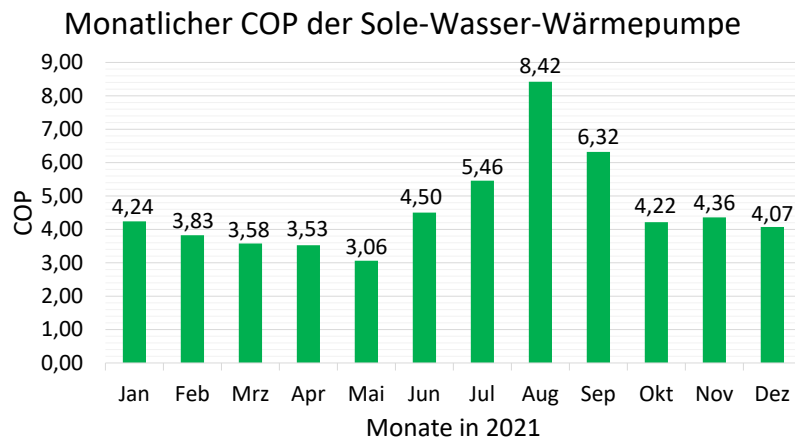
Zur Darstellung und weiterführenden Interpretation des jährlichen Temperaturverlaufes im Eisspeicher werden drei Fühler ausgelesen, die auf unterschiedliche Höhen im Speicher angebracht sind. Diese geben seit der Inbetriebnahme im Jahr 2019 gemittelte Tageswerte an, die ohne Umformungen oder Differenzbildungen verwendet werden.

Für die simulierte Substitution der bestehenden Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe, die ausschließlich die Außenluft als Wärmequelle verwendet, wird die Software Polysun von Vela Solaris eingesetzt. Nach der Eingabe des realen Systems, um dieses zu validieren, wird der Wärmeerzeuger ausgetauscht und die Anlage im Programm über ein Jahr am eingegebenen Standort in Feuchtwangen simuliert. Eines der resultierenden Ergebnisse ist die Jahresarbeitszahl. Während der Simulation sind alle Verbrauchsmerkmale des realen Systems, wie die Energieverbrauchsmengen, Vor- und Rücklauftemperaturen der Heiz- und Kühlflächen oder die Art und Fläche der Übergabesysteme, beizubehalten, sodass potenzielle Unterschiede direkt auf das ausgetauschte Wärmeerzeugungssystem zurückzuführen sind.

### 4 Auswertung

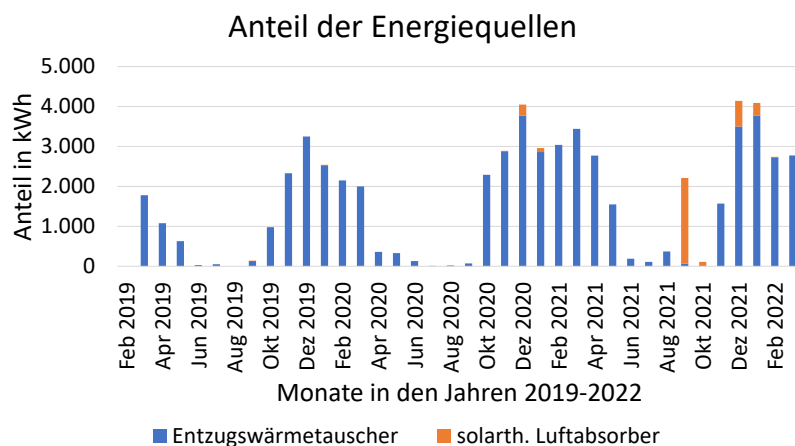
Über die vorgestellte Herangehensweise und auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten werden die Kenngrößen ermittelt. Die JAZ des Systems ergibt sich im Jahr 2021 zu 4,63. Ein idealisiertes System, mit einem Eisspeicher als Quelle, erreicht eine Jahresarbeitszahl von bis zu 5,5 [6]. Zu Beginn des Jahres, wenn großer Wärmebedarf besteht und im Eisspeicher vergleichsweise hohe Temperaturen vorherrschen,

liegt der COP des realen Systems bei 4,24. Umso mehr Energie entzogen wird, desto kälter wird es im Eisspeicher, der als Wärmequelle für die Wärmepumpe dient, weshalb die Effizienz des Systems bis auf 3,06 sinkt. Im Sommer, während hoher Außentemperaturen, ist die Leistungszahl höher. Sie erreicht zum Anfang September 8,42. Zu beachten ist, dass während der warmen Monate wenig bis gar kein Wärmebedarf besteht und deshalb die hohen Leistungszahlen einen geringen Beitrag zur Jahresarbeitszahl leisten. Zur Veranschaulichung ist in Abb. 2 der monatliche COP der Wärmepumpe visualisiert.



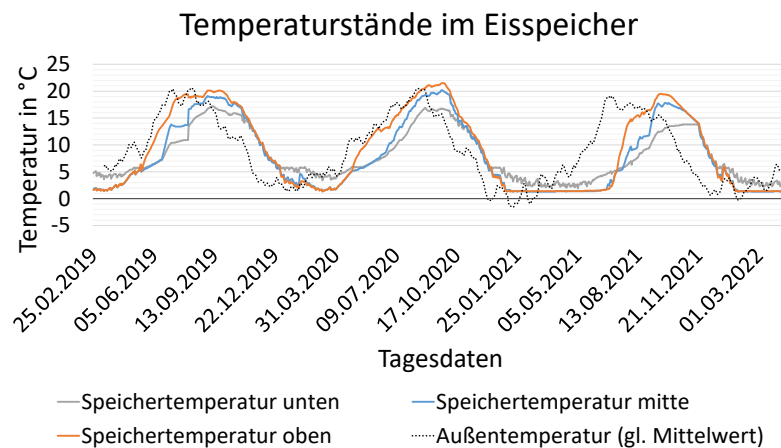
**Abb. 2:** Monatlicher COP der Sole-Wasser-Wärmepumpe (2021) am Campus Feuchtwangen

In Abb. 3 sind die gestapelten Anteile der Primärenergiequellen, welche die Wärmepumpe bezieht, zu sehen. Zur besseren Darstellung ist lediglich jeder zweite Monat auf der horizontalen Achse notiert. Die Auffälligkeit des Septembers im Jahr 2021 lässt sich über einen Zählerdefekt begründen. Zu dieser Zeit bestand nahezu kein Wärmebedarf. Darüber hinaus ist zu sehen, dass überwiegend der Eisspeicher als Quelle dient. Dies liegt daran, dass er für ein zweites Gebäude dimensioniert ist und der derzeitige Wärmebedarf im Winter zu nahezu keiner Kristallisation im Speicher führt, weshalb er ganzjährig wärmer ist als er sein sollte. Infolgedessen ist der Vorlauf meistens wärmer als der des solarthermischen Luftabsorbers, weshalb dieser seltener als Quelle verwendet wird.



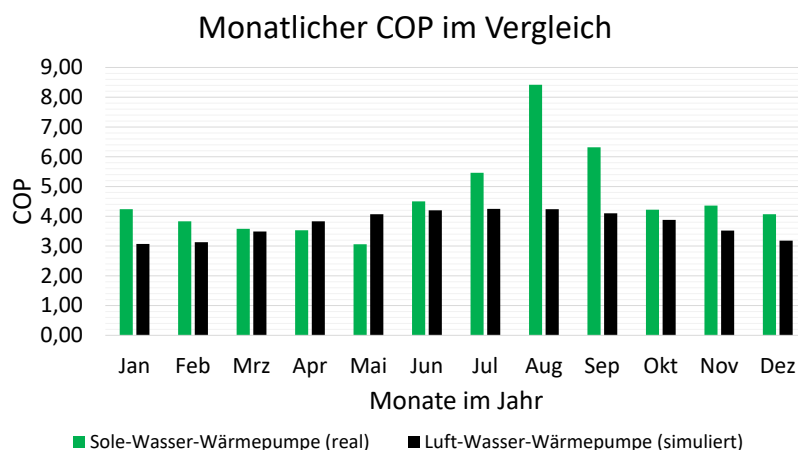
**Abb. 3:** Anteil der Energiequellen der Sole-Wasser-Wärmepumpe am Campus Feuchtwangen

Die Temperaturen in den drei Schichten seit der Inbetriebnahme des Eisspeichers sind in Abb. 4 dargestellt. Zuzüglich ist der tägliche Mittelwert der Außentemperatur aufgezeigt. Dieser Wert ist als gleitender Mittelwert ausgebildet, um eine Glättung der potenziell stark schwankenden Umweltbedingung zu erreichen. Im Zusammenhang mit dieser Größe ist in dem Diagramm die Verzögerung der Abkühlung des Eisspeichers im Herbst zu erkennen. Dieser Effekt führt zu einem höheren COP der Sole-Wasser-Wärmepumpe während der Übergangszeit. Wenn mit dem zweiten Gebäude der tatsächliche Heizbedarf gleich dem ausgelegten Bedarf ist, wird die Temperatur im Sommer nicht mehr so weit ansteigen. Zudem kann erst dann die Kristallisationsenthalpie genutzt werden.



**Abb. 4:** Temperaturen der Schichten im Eisspeicher des Campus Feuchtwangen

Die Simulation mit der verwendeten Software Polysun ergibt, dass die Luft-Wasser-Wärmepumpe mit den Verbrauchsdaten des Campus Feuchtwangen eine Jahresarbeitszahl von 3,74 erreichen würde. Diese ist um 19 % geringer als die 4,63, die das reale System im Jahr 2021 erreicht hat. In Abb. 5 sind die monatlichen Leistungszahlen der Simulation visualisiert. Zusätzlich werden die Daten aus der Abb. 2 erneut dargestellt, um die Werte miteinander vergleichen zu können. Hierbei ist zu erkennen, dass die Sole-Wasser-Wärmepumpe vor allem zu Zeiten kalter Außentemperaturen eine bessere Leistungszahl vorweisen kann.



**Abb. 5:** Monatlicher COP einer simulierten Luft-Wasser-Wärmepumpe am Campus Feuchtwangen im Vergleich zu den Ergebnissen der bestehenden Sole-Wasser-Wärmepumpe

## 5 Zusammenfassung

Das System um die Sole-Wasser-Wärmepumpe am Campus Feuchtwangen der Hochschule Ansbach erfüllt die Erwartungen durch die Annahme einer ordnungsgemäßen Auslegung, was über die Jahresarbeitszahl von 4,63 im Jahr 2021 begründet werden kann. Wenn das zweite Gebäude auf dem Campusgelände fertiggestellt ist und sich der Wärmebedarf im Winter erhöht, dann ist davon auszugehen, dass das Wasser im Eisspeicher gefrieren wird, wodurch zusätzlich die latente Wärme des Mediums genutzt werden kann. Hierdurch kann dem Saisonspeicher ein Vielfaches der bisherigen Nutzenergie entzogen werden ohne, dass sich die Temperatur der Wärmequelle für die Wärmepumpe verringert. Zudem wird es nicht zu Komplikationen durch eine fehlende Regenerierung im Sommer kommen, da der Kältebedarf durch die freie Kühlung um den gleichen Faktor ansteigen wird. Zusammenfassend wird es möglich sein, dass der Eisspeicher entsprechend der Dimensionierung optimal be- und entladen und somit in vollen Zyklen betrieben wird.

In der Simulation, welche die bestehende Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe, austauscht, ergab sich eine Reduzierung der Effizienz seitens der untersuchten Alternative. Durch die Verwendung der identischen Verbrauchsgrößen in diesem System entsteht eine Jahresarbeitszahl von 3,74. Diese ist um circa 20 % geringer als die des realen Systems. Dadurch wird der Ansatz einer konstanteren Wärmequelle, durch das Verwenden des Eisspeichers, bestätigt.

Im Weiteren wird die durchgeführte Auswertung stundengenau automatisiert und auf einen Bildschirm im Eingangsbereich der Forschungshalle visualisiert. Darauf aufbauend wird Optimierungspotenzial ermittelt und untersucht. Hierfür werden Speicherkonzepte für die von der Photovoltaikanlage gelieferten elektrischen Energie fokussiert, um den Campus, mit dem Effizienzhaus Plus Gebäude, nach der Fertigstellung der zweiten Halle möglichst energieautark zu gestalten.

## Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, *5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard: Erfahrungen aus der Begleitforschung*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/bildungsgebäude-im-effizienzhaus-plus-standard.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/bildungsgebäude-im-effizienzhaus-plus-standard.pdf?__blob=publicationFile&v=2) (Zugriff am: 4. Juni 2022).
- [2] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, *Wege zum Effizienzhaus Plus: Grundlagen und Beispiele für energieerzeugende Gebäude*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/effizienzhaus-plus.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/effizienzhaus-plus.pdf?__blob=publicationFile&v=8) (Zugriff am: 5. Juni 2022).
- [3] „Gebäudeenergiegesetz Anlage 4: GEG“ in *GEG 2020*, 2020. [Online]. Verfügbar unter: [https://geg-info.de/geg/anlage\\_04\\_geg\\_primaerenergiefaktoren.pdf](https://geg-info.de/geg/anlage_04_geg_primaerenergiefaktoren.pdf)
- [4] M. Nitsche, *Nitsche-Planungs-Atlas: Planung und Berechnung verfahrenstechnischer Anlagen*. Berlin: Springer Vieweg, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6188974>
- [5] Hochschule für angewandte Wissenschaften Ansbach, *News Detail: Campus Feuchtwangen als Vorbild für klimagerechtes Bauen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hs-ansbach.de/hochschule/aussenstellen/feuchtwangen/news-detail/news/campus-feuchtwangen-als-vorbild-fuer-klimagerechtes-bauen/> (Zugriff am: 5. Juni 2022).
- [6] S. Minder, R. Wagner, M. Mühlebach und T. Weisskopf, *Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren: Technologiestudie*. Verfügbar unter: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/7589>. Zugriff am: 12. Juni 2022.