



Eine gleichmäßige und konstante Energiequelle mit der neu entwickelten Energiesäule

Thomas Friedrich, Sebastian Groh

Eine gleichmäßige und konstante Energiequelle mit der neu entwickelten Energiesäule

Um unsere Gebäude zukünftig zu klimatisieren, müssen wir erneuerbare Energien nutzen. Ein wichtiger Baustein auf dem Weg dorthin wird die Wärmepumpe sein. Diese nutzt als Energiequelle die verschiedenen Alternativen der erneuerbaren Energie. Die Leistungsfähigkeit der Wärmepumpe wird von der Temperaturdifferenz zwischen Quelle und Raumtemperatur bestimmt. Je geringer dieser Wert ausfällt, umso geringer ist der Stromverbrauch. Das vorgestellte Verfahren stellt eine Form von Zwischenspeicher zum Sammeln von Strahlungsenergie dar. Dabei wird die Temperatur in dem Speicher auf ein höheres Niveau als die Ausgangsquellen angehoben. Wird Wärmeenergie gebraucht, kann die Wärmepumpe immer auf eine Quelle mit hohem Temperaturniveau zurückgreifen. Die vorgestellte Energiesäule ist in der Lage, Energie aus Strahlung auf einem hohen Temperaturniveau einzusammeln. Die beiden zugehörigen Wärmespeicher bevorraten die erzeugte Wärmeenergie als Input für die Wärmepumpe im Heizfall. Sofern überschüssiger Strom vorhanden ist, wird das Temperaturniveau in den beiden Speichern angehoben.

Stichworte Energieerzeugung; Energiespeicher; erneuerbare Energie; PCM-Speicher; Phasenwechselmaterial; Solarthermie; Wärmepumpe; Wärmespeicher

1 Einleitung

Für die Klimatisierung unserer Gebäude nutzen wir bislang fossile Brennstoffe und zum Kühlen verbrauchen wir mit der aktuellen Generation von Klimaanlage den aus den Kraftwerken hergestellten Strom. Wir müssen die Aufgaben der Gebäudeklimatisierung zukünftig mit erneuerbarer Energie bewerkstelligen.

Ein wesentliches Element der Wärme- bzw. Kälteerzeugung wird die Wärmepumpe sein. Hierbei gelingt es, die Quellen aus erneuerbarer Energie zu nutzen und mithilfe der Wärmepumpe auf ein brauchbares Temperaturniveau zu bringen. Der Wirkungsgrad und damit die Leistungsfähigkeit der Wärmepumpe werden entscheidend von der Ausgangstemperatur der verwendeten Quelle bestimmt. Ist die Temperaturdifferenz zwischen der Ausgangstemperatur der Quelle und der Raumtemperatur groß, so wird auch der Wärmepumpe eine entsprechende Leistung abverlangt. Je geringer die Temperaturdifferenz ausfällt, umso größer wird die Jahresarbeitszahl (JAZ) und umso geringer der Stromverbrauch für die Wärmepumpe (Bild 1).

A uniform and constant energy source with the newly developed energy column

In order to air-condition our buildings in the future, we must use renewable energies. The heat pump will be an important factor on the way there making use of various renewable energy alternatives as an energy source. The performance of the heat pump is determined by the temperature difference between the source and room temperatures. The lower this value is, the lower the power consumption. The method presented here represents a form of intermediate storage for collecting radiant energy. The temperature in the storage is raised to a higher level than the output sources. If thermal energy is needed, the heat pump can always rely on a source with a high temperature level. The presented energy column is able to collect energy from radiation at a high temperature level. The two associated heat storage units store the heat energy generated as input for the heat pump when heating. If there is excess electricity, the temperature level in the two storage units is raised.

Keywords energy generation; energy storage; heat pump; heat storage; PCM storage; phase change material; renewable energy; solar thermal system

Es geht zukünftig auch darum, den Strom aus erneuerbaren Energien dann zu nutzen, wenn er ansteht. Anstelle von großen Batteriespeichern brauchen wir Alternativen für die Wärmespeicherung.

2 Die üblichen Wärmequellen für die Wärmepumpe

Als Quelle für die Wärmepumpe stehen die erneuerbaren Energien wie Luft, Sonnenstrahlung, Wasser und Erdreich zur Verfügung. Zukünftig werden wir noch weitere Quellen, wie z. B. Abwasser oder die Abwärme von Industrieanlagen, nutzen müssen. Allerdings ist die damit einhergehende Temperatur i. d. R. gering und zudem unterschiedlich hoch. So muss z. B. eine Luftwärmepumpe bei winterlichen Außenlufttemperaturen eine hohe Temperaturdifferenz überwinden, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen. Wasser und Erdreich als Quelle starten mit einer höheren und über das Jahr gleichmäßigeren Temperatur. Diese Bedingungen reduzieren den Stromverbrauch. Unter Umständen kann dann eine geringe Menge an Strom genutzt werden, weil dieser gerade

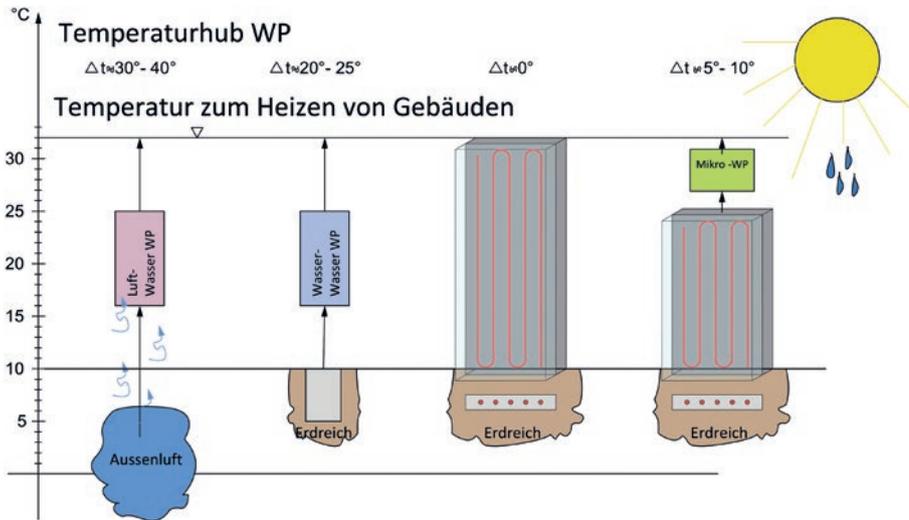


Bild 1 Vergleich der Energiequellen in Verbindung mit der Temperaturdifferenz
Comparison of the energy sources in connection with the temperature difference

aufgrund einer Wind- bzw. Sonnenflaute in voller Höhe vorhanden ist.

3 Nutzung der Strahlungsenergie als Quelle

In den Diskussionen über mögliche Energiequellen werden derzeit die Möglichkeiten, aus Strahlung Energie „einzusammeln“ nicht weiterverfolgt. Es gibt zwar die Möglichkeit der klassischen Solarthermie mit den entsprechend konstruierten Absorbern. Allerdings wird bei diesem System eine sehr hohe Temperatur erzeugt, die überwiegend für die Warmwasserbereitung genutzt werden kann. Für die Wärmepumpe scheidet diese Quelle aufgrund der hohen Temperatur aus. Man erkennt jedoch an den erzielbaren Temperaturen, wie leistungsstark die Sonnenstrahlung sein kann.

Um die Strahlung auch als Quelle für den Betrieb mit einer Wärmepumpe zu nutzen, braucht es angepasste Absorber und die Möglichkeit, die so gewonnene Wärme direkt zu speichern. Die derart bevorratete Wärmeenergie kann dann bedarfsweise als Quelle für die Wärmepumpe genutzt werden.

4 Absorber zur Nutzung der Strahlungsenergie

Die passenden Absorber bestehen aus einer glatten schwarzen Fläche mit integriertem Rohrregister, um die gewonnene Wärme abführen zu können. Idealerweise sollte eine Glasfläche vor der eigentlichen Absorberoberfläche angeordnet werden; so wird der Luftraum zwischen Glas und Absorber durch die Strahlung erwärmt. Die erwärmte Luft kann jedoch in dem Zwischenraum nicht entweichen und erwärmt den Raum vor der Fläche zusätzlich. Hier spricht man von der sogenannten unterdrückten Konvektion. Gewächshäuser funktionieren nach dem gleichen Prinzip. Die erwärmte Luft erhöht die Temperatur auf dem Absorber zusätzlich. Ein derartig konstruierter Absorber ist eine zuverlässige Energiequel-

le, sobald die Strahlung der Sonne vorhanden ist. Die Leistung des Absorbers wird von der Strahlungsintensität und der Sonnenscheindauer bestimmt.

Ergebnisse mit solchen Absorbern zeigen auch bei niedrigen Außentemperaturen eine sehr hohe Temperatur auf der Absorberfläche. Werte von über 100°C sind üblich. Sobald jedoch die Energie über die integrierten Rohrleitungen abgeführt wird, sinkt auch die Oberflächentemperatur.

Diese Form von Absorberfläche kann man sowohl in einer Gebäudefassade unterbringen als auch in einem separaten Bauteil einbauen. Die Fläche sollte nach Süden ausgerichtet sein. Um die Vorteile dieser Technik auch für einen nachträglichen Einbau zu nutzen, bietet sich die eigenständige Konstruktion in Form einer Säule an. Die Säule bietet gleichzeitig mehrere Vorteile. Drei Oberflächen der Säule (Osten, Süden, Westen) können unabhängig voneinander betrieben werden, um so den gesamten Sonnenverlauf über einen Tag zu nutzen. Das Volumen der Säule aus Beton wird direkt als Wärmespeicher verwendet, ebenso wie das zugehörige Fundament. Wie eingangs erwähnt, wird beides benötigt: die Flächen zum Einsammeln der Strahlung, aber auch die Speicher, um die gewonnene Wärmeenergie zu bevorraten. Zur Umsetzung dieser beiden Anforderungen ist die Konstruktion einer Säule mit Fundament bestens geeignet. Säule und Fundament werden aus bewehrtem Beton erstellt, um die statischen Anforderungen zu erfüllen. Zur Speicherung der Wärme im Beton muss die Konstruktion vollständig isoliert werden. Die Absorberflächen werden an den Flächen der Säule angebracht. Dabei liegt i. d. R. eine Blechtafel auf der Isolierung. Der Wärmetransport von der Sammelstelle zum Speicher erfolgt über die im Absorber integrierten Rohrregister sowie den entsprechenden Wärmtauscher in der Betonkonstruktion.

5 Erhöhung der Wärmespeicherkapazität

Das Betonmaterial besitzt eine hohe Wärmespeicherkapazität. Um diese Eigenschaft weiter zu optimieren, werden in dem Volumen Behältnisse als Einbauteile angeordnet, die mit Phasen-Wechsel-Material (PCM) gefüllt sind. Die Behältnisse bestehen aus quadratischen Stahlrohren mit einer innenliegenden Leitung für den Wassertransport und mit Wärmeleitblechen (Fans), die sternförmig um die zentrale Leitung angeordnet sind (Bild 2). Diese Elemente dienen dazu, die aufgenommene Wärmeenergie gleichmäßig im Querschnitt zu verteilen und das gesamte Material des PCM zu aktivieren.



Bild 2 Mit PCM gefüllte Behältnisse als Einbauteile für Betonelemente
Built-in parts for the concrete elements, filled with PCM

Die Verwendung von PCM bietet nun mehrere Vorteile. Die Wärmespeicherkapazität wird deutlich erhöht (Bild 3). Mit der Auswahl einer sogenannten Schalttemperatur für das PCM lässt sich die Wärme für längere Zeit zugleich auf einem festgelegten Niveau speichern. Bei der Speicherung auf einer konstanten Temperatur sind die Wärmeverluste deutlich geringer als bei reinem Beton mit gleichem Speicherniveau und demzufolge höherer Temperatur (Bild 4).

Weiterhin besteht beim Einbau der vorgenannten Behältnisse die Option, die Zu- und Abfuhr der Wärmeenergie über zwei Wärmetauscher umzusetzen. Einerseits über die Register, die im Beton eingebaut sind, und andererseits über die Leitungen, die innerhalb der Behältnisse einge-

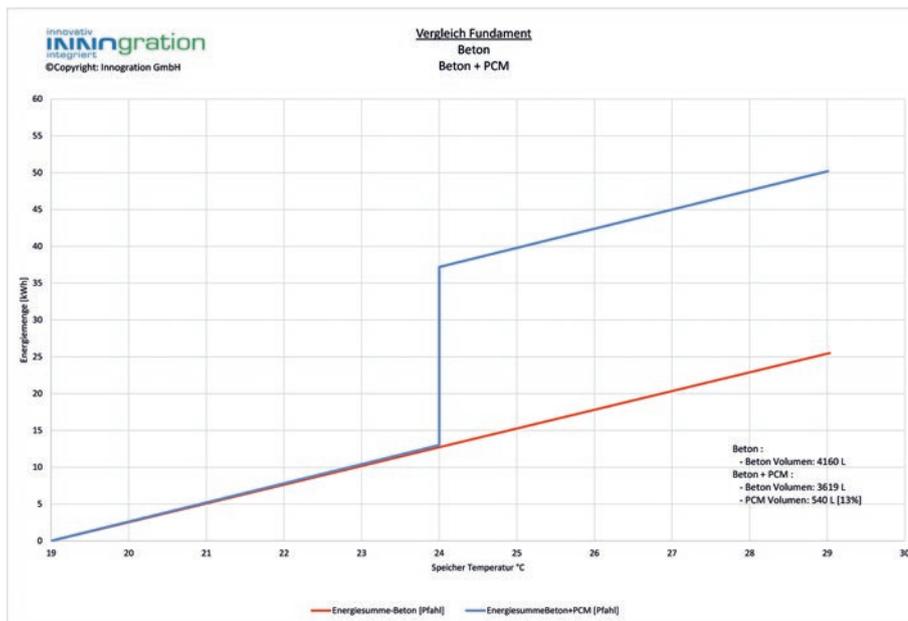


Bild 3 Steigerung der Energiedichte durch Einbauteile mit PCM
Increasing the energy density using built-in parts with PCM

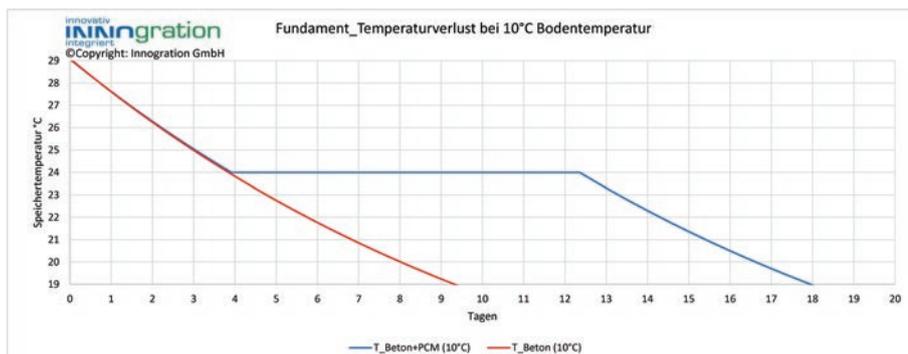


Bild 4 Vergleich der Energieverluste von Betonbauteilen mit und ohne Einlagen mit PCM
Comparison of the energy losses of the concrete components with and without PCM inserts

baut sind. Diese zweifache Versorgungsleitung eröffnet auch die Option, den Speicher gleichzeitig zu beladen, aber auch parallel zu entladen.

Die Verwendung von zwei verschiedenen Betonelementen bietet zudem den Vorteil, dass die Schaltemperatur des PCM individuell angepasst werden kann. Im Turm wird ein PCM mit hoher Schaltemperatur (29°C) und im Fundament wird eine niedrigere Temperatur (24°C) verwendet. Je nach anstehender Wärme aus dem Absorber wird entweder der eine oder der andere Speicher geladen. Auch wenn die eingesammelte Temperatur niedrig ausfällt, kann zumindest ein Speicher befüllt werden. Bei unterschiedlichem Temperaturverlauf über den Tag kann immer ein Speicher bedient werden.

6 Herstellung der Betonbauteile

Die Abmessungen von Säule und Fundament wurden aufgrund der statischen Anforderungen dimensioniert. Beide wurden als Fertigteile im Werk hergestellt (Bild 5). Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass die Einbauteile der mit PCM gefüllten Behältnisse strukturiert und zuverlässig eingebaut werden konnten. Die länglichen Behältnisse werden mithilfe einer Schablone in mehreren Reihen montiert. Die zugehörigen Leitungen werden angeschlossen, sodass sie gleichmäßig durchströmt werden. Die ergänzenden Rohrregister für den Energieaustausch mit dem Beton werden ebenfalls bei der Vormontage aller Einbauteile berücksichtigt.

Die Schalung für Säule und Fundament wurde mit der zugehörigen Bewehrung vorbereitet. Nachdem die vorgefertigte Einheit für die Einbauteile in der Schalung fixiert war, wurden die Bauteile betoniert. Wegen der hohen Dichte von Einbauteilen wurde ein selbstverdichtender Beton mit einer Korngröße von 8mm verwendet.

Unter den geschützten Verhältnissen im Werk konnten die heiklen Einbauarbeiten zuverlässig erledigt werden.



Bild 5 Vorgefertigter Fundamentblock für die Energiesäule
Prefabricated foundation block for the energy column

7 Montage der vorgefertigten Bauteile

Die einzelnen Bauteile werden zum Bestimmungsort geliefert und montiert (Bild 6). Dann erfolgen die restlichen Arbeiten wie die Isolation, der Einbau der Absorberflächen und der vorgesetzten Glasscheibe. Die Leitungen von den Absorbern müssen an die Verteiler angeschlossen werden, ebenso wie die Leitungen der Register des Wärmespeichers. Diese Arbeiten werden in einem Schaltschrank zusammengeführt, der auf der Nordseite der Säule integriert ist. Ein Steuerungsprogramm übernimmt nun die Entscheidungen, welche Rohrleitungen in den Absorberflächen aktiv werden und welcher Speicher geladen wird.

8 Messergebnisse

Die bisherigen Ergebnisse zeigen das ausgeprägte Verhalten der einzelnen Absorberflächen entsprechend dem Tagesgang der Sonnenstrahlen. Da die Register einzeln schaltbar sind, lässt sich jeweils das Maximum an Wärmeenergie einsammeln (Bilder 7, 8).

In Funktion der gemessenen Strahlungsintensität (Bild 9) stellt sich die Leistung der Energiespeicherung (Bild 10) dar. Die Ergebnisse wurden mit der Simulation verglichen und die Annahmen für die Simulation validiert



Bild 6 Montage der Energiesäule mit den vorgefertigten Elementen für das Fundament und den Turm
Assembly of the energy column with the prefabricated elements for the foundation and the tower

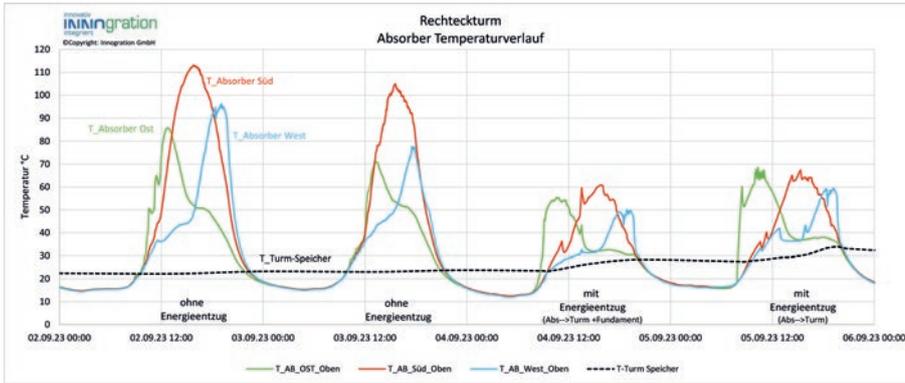


Bild 7 Temperaturverhalten in den Absorbern mit und ohne Energieentzug
Temperature behaviour in the absorbers with and without energy extraction

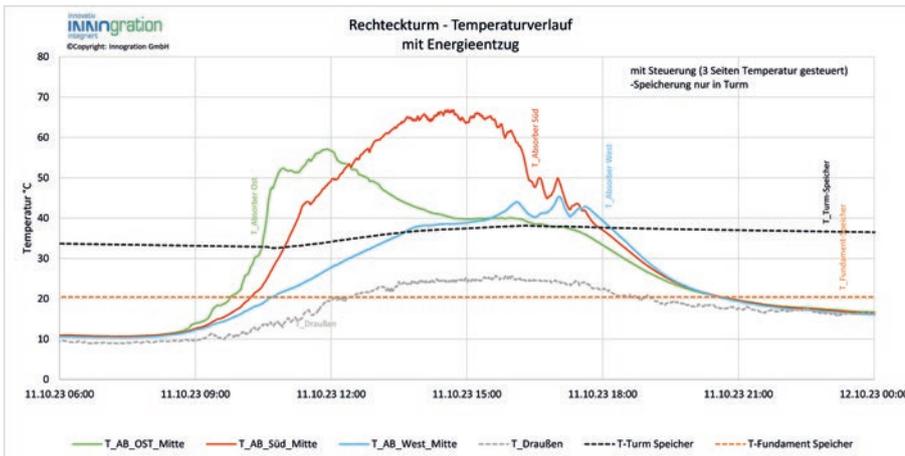


Bild 8 Vergleich der Energiegewinnung auf den drei Seiten der Absorber (Ost, Süd, West)
Comparison of energy generation on the three sides of the absorbers (east, south, west)

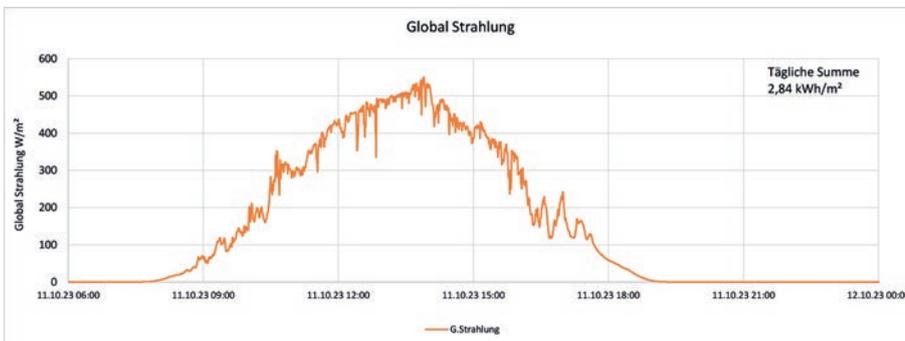


Bild 9 Zugehörige globale Strahlung
Associated global radiation

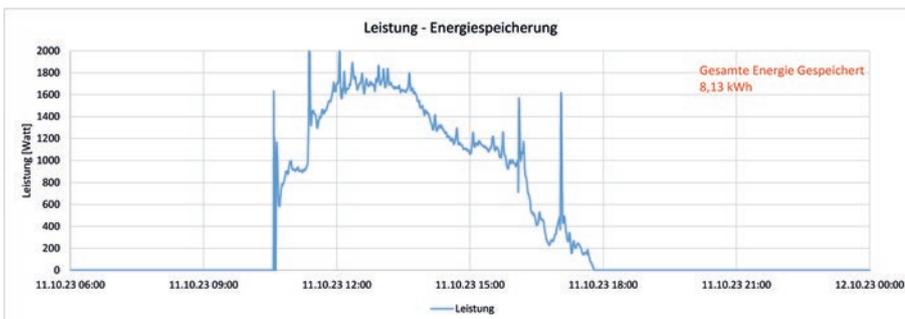


Bild 10 Zur Strahlung zugehörige Energieausbeute über die Absorber
Energy yield via the absorbers associated with the radiation

(Bild 11). In Abhängigkeit von einem Wetterdiagramm mit den Angaben über die Strahlungsintensität (Bild 9) und der Sonnenscheindauer lässt sich das Ergebnis der Wärmeausbeute im Voraus berechnen. Entsprechend können der Einsatz der Säule und ihr Ergebnis an jedem Ort vorausgeplant werden.

Die Speichertemperatur kann auf lange Sicht gleichmäßig gehalten werden und die Wärmeverluste entsprechen den angestellten Überlegungen, siehe Bild 12. Die Ergebnisse führen auch zu weiteren Überlegungen für eine alternative Dämmung bzw. zu einer angepassten Möglichkeit für das Be- und Entladen.

9 Ergänzungen

Die Säulenkonstruktion wird zukünftig mit Möglichkeiten ergänzt, Strom aus PV zu gewinnen.

Zum Einsatz kommt ein Solartracker, um bei kleiner Fläche die maximale Ausbeute an Strahlung zur Stromerzeugung zu nutzen. Gespeichert wird der Strom in einer Batterie mit 48 V. Die bereits entwickelte thermoelektrische Wärmepumpe kann diesen Strom direkt ohne Umwandlung nutzen. Auch die Pumpen für den Wärmetransport über die wassergeführten Leitungen arbeiten mit dem niedrigen Spannungsniveau.

Auf der Spitze des Turms werden noch kleine Windturbinen angeordnet, um ergänzend zu dem PV-Strom eine weitere Stromquelle zu nutzen, die alternativ zum Sonnenschein arbeiten.

Die Speicherung des Stroms bietet zudem die Option, bei überschüssigem Strom über die integrierte Wärmepumpe das Temperaturniveau in den beiden Speichern kurzfristig zu erhöhen. Das erfolgt dann ohne zusätzliche Kosten. Die Temperaturen der Energiequellen werden in diesem Fall angehoben und für den nächsten Abruf im Heizfall vorbereitet. Bei einer höheren Temperatur braucht die Wärmepumpe weniger Strom. Derart kann der Wärmespeicher den Stromspeicher entlasten, weshalb die Kapazität der Batterie auf einem niedrigen Niveau ausgelegt werden kann.

Die Energiespeicherung erfolgt mit den hier vorgestellten Wärmespeichern. Damit wird eine Alternative zur Strombatterie vorgestellt.

10 Weitere Anwendungen und zukünftige Entwicklungen

Die realisierte Energiesäule zeigt Bild 13. Für zukünftige Entwicklungen ist angedacht, dass Absorber und Wärmespeicher auch an anderer Stelle in Gebäuden vorgesehen werden können. Die Fassade ist eine ideale Fläche zum Sammeln von Strahlung. Die im Gebäude verwendeten Betonbauteile lassen sich auch multifunktional in Verbindung mit den Einbauteilen mit eingebauten Behältnissen mit PCM nutzen. Dazu bieten sich die Bodenplatte und auch die Kellerwände an. An diesen Herausforderungen wird mit der Umsetzung des Gebäudes InnoTiny gearbeitet.

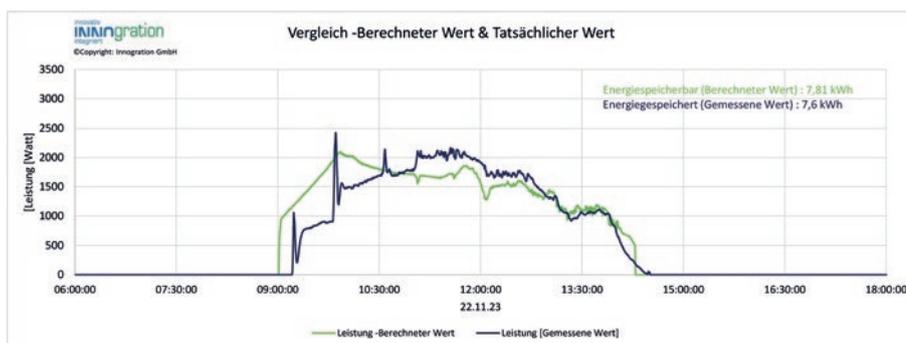


Bild 11 Vergleich der Simulation mit den realen Ergebnissen
Comparison of the simulation with the measured values

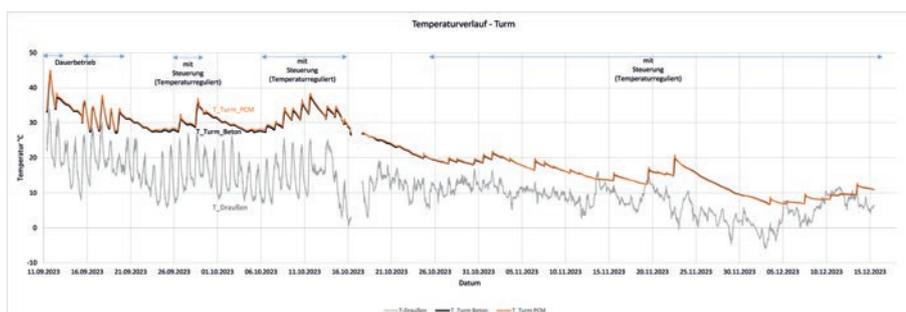


Bild 12 Temperaturverlauf im Betonspeicher des Turms mit und ohne Energiezufuhr
Temperature curve in the tower's concrete storage tank with and without energy supply

11 Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Verfahren wird insbesondere die Strahlungsenergie als Quelle genutzt. Dazu ist es erforderlich, diese Form von erneuerbarer Energie mit entsprechenden Verfahren zu absorbieren. Gleichzeitig braucht es entsprechende Wärmespeicher, um die über die Absorber eingesammelte Wärmeenergie zu bevorraten. Die gespeicherte Wärmeenergie dient dann als Quelle für den eigentlichen und oftmals zeitversetzten Bedarf, um Gebäude zu beheizen. Die vorgestellte Energiesäule bietet sowohl die Möglichkeit, die Strahlungsenergie einzusammeln als auch diese zu speichern. Dieses System bietet eine ideale Ergänzung, um den Bedarf an Heizenergie mit dem zeitversetzten Angebot an erneuerbarer Energie zu kompensieren. Mit dem zweifachen Wärmespeichersystem bietet sich auch die Möglichkeit, Strom zu speichern, indem Wärme erzeugt und abgespeichert wird.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die Förderung

Literatur

- [1] <http://www.effkon.eu>
- [2] Friedrich, T.; Groh, S. (2019) *Effiziente Be- und Entladung von PCM-Speicher ohne jegliche Verkapselung*. Bauphysiktag Weimar 2019.

Autor:innen

Dipl.-Ing. Thomas Friedrich (Korrespondenzautor:in)
th.friedrich@innogration.de
Innogration GmbH
Cusanusstr. 23
54470 Bernkastel-Kues

Dipl.-Ing. Sebastian Groh
s.groh@innogration.de
Innogration GmbH
Cusanusstr. 23
54470 Bernkastel-Kues



Bild 13 Betrieb der Energiesäule
Operation of the energy column

des Projekts „EffKon – Effizientes Wärmespeicher- und Energieerzeugungssystem zur thermischen Konditionierung von Gebäuden“. Gemeinsam mit den Partnern (Courcon GmbH, Panco GmbH, Betonwerk Büscher GmbH & Co. KG, RPTU Kaiserslautern-Landau / Fachgebiet Bauphysik) wurde das Projekt umgesetzt.

- [3] Schröter, B. et al. (2023) *Energiegewinn und Energieeinspeicherung des Prototyps eines neuartigen Wärmespeicher- und Energieerzeugungssystems*. In: Bauphysik 45, H. 5, S. 245–251.

Zitieren Sie diesen Beitrag

Friedrich, T.; Groh, S. (2024) *Eine gleichmäßige und konstante Energiequelle mit der neu entwickelten Energiesäule*. Bauphysik 46, H. 3, S. 161–167.
<https://doi.org/10.1002/bapi.202400016>