

Wärmespeicher für die Hausenergieversorgung

Peter Schossig
Fraunhofer ISE
schossig@ise.fraunhofer.de

Dr. Christian Dötsch
Fraunhofer UMSICHT
christian.doetsch@umsicht.fraunhofer.de

Harald Drück
ITW
drueck@itw.uni-stuttgart.de

Dr. Joachim Götsche
Solar-Institut Jülich
goetsche@sij.fh-aachen.de

Dr. Ernst Huenges
GFZ
huenges@gfz-potsdam.de

Dr. Frank Kabus
GTN
Geothermie
Neubrandenburg GmbH
gtn@gtn-online.de

Dr. Rainer Tamme
DLR
rainer.tamme@dlr.de

1. Einleitung

Gerade bei der Nutzung regenerativer Energiequellen für die Hausenergieversorgung stimmen Angebot und Bedarf der benötigten Energie zeitlich oft nicht überein. Durch die Nutzung thermischer Energiespeicher lassen sich jedoch die Deckungsraten regenerativer Energien deutlich steigern und damit Ressourcen schonen. Da nach wie vor der größte Teil des Energieverbrauchs in Haushalten für den Bereich der Raumwärme und Brauchwasserbereitung verwendet werden muss, ist das Einsparpotenzial durch thermische Energiespeicherung beträchtlich.

2. Techniken

Je nachdem welche Zeitspanne durch den Speicher überbrückt (Saisonal- oder Kurzzeitspeicher) und auf welchem Temperaturniveau die Energie gespeichert werden soll, kommen unterschiedliche Speichertechniken zum Einsatz. Während für die saisonale Wärmespeicherung in der Regel große Wasserspeicher bzw. Aquifere oder Erdsondenspeicher eingesetzt werden, kommen für Kurzzeitspeicher auch andere Speichertechniken in Frage, die nicht nur die Wärmekapazität eines Materials nutzen. Während im Temperaturbereich der Trinkwassererwärmung und Raumheizung klassische Wasserspeicher den bei weitem größten Teil des Marktes decken, kommen für den stark wachsenden Markt der Kältespeicherung für die Raumklimatisierung zunehmend Alternativen wie Phasenwechselmaterialien als Latentwärmespeicher in die Anwendung.

2.1 Warmwasserspeicher für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung

Ein Speicher, wie er in Deutschland im Allgemeinen in Verbindung mit einer Solaranlage eingesetzt wird, ist in *Abb. 1* dargestellt. Als Speichermedium dient Trinkwasser. Die Sonnenenergie

wird dem Trinkwasser durch den Kollektorkreislauf mittels eines Wärmeträgerfluids (Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel) über den unteren Wärmeübertrager zugeführt. Da der jährliche Warmwasserbedarf nicht vollständig solar gedeckt werden kann, befindet sich im oberen Bereich des Speichers (Bereitschaftsvolumen) ein elektrischer Heizstab oder ein zweiter Wärmeübertrager.

Die zur Charakterisierung des thermischen Verhaltens von Warmwasserspeichern dienenden Kenngrößen werden in *Abb. 1* vorgestellt:

Die **Wärmekapazität** des gesamten Speichers **2** gibt an, welche Wärmemenge der Speicher beim üblichen Betrieb je Grad Temperaturänderung des Speichermediums aufnehmen bzw. abgeben kann.

Die **Wärmeverlustrate** **1** gibt den vom Speicher an die Umgebung übertragenen Wärmestrom an bezogen auf ein Grad Temperaturdifferenz zwischen Speichermedium und Umgebung. Insbesondere bei relativ kleinen Speichern, wie sie im Ein- und Zweifamilienhaus eingesetzt werden, wird die Wärmeverlustrate maßgeblich durch die am Speicher vorhandenen Wärmebrücken (z. B. Anschlüsse, Tauchhülsen) bestimmt. Ein gut wärmegeämter Speicher zeichnet sich daher nicht nur durch eine möglichst dicke Dämmung mit einem schlecht wärmeleitenden Material aus, sondern auch dadurch, dass die Dämmung keine signifikanten Wärmebrücken aufweist.

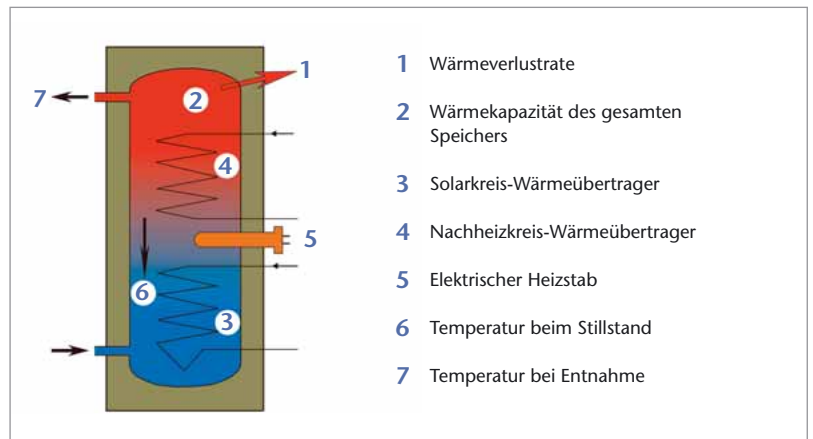
Die wichtigste Größe zur Beschreibung des thermischen Verhaltens des **Solarkreis-Wärmeübertragers** **3** ist sein Wärmeübertragungsvermögen. Dieses ist neben dem Wärmeübertrager selbst, auch vom Massenstrom durch den Wärmeübertrager und der Temperaturdifferenz zwischen Wärmeübertrager und Speicher sowie von der Temperatur abhängig. Sinnvoll dimensionierte Solarkreis-Wärmeübertrager weisen bei typischen Betriebsbedingungen pro Quadratmeter

angeschlossener Kollektorfläche ein Wärmeübertragungsvermögen von ca. 60 bis 80 Watt pro Grad auf.

Die wichtigste Größe neben dem Wärmeübertragungsvermögen des **Nachheizkreis-Wärmeübertragers 4** ist die vertikale Position seines unteren Anschlusses. Diese Größe liefert Informationen zur Versorgungssicherheit mit warmem Wasser, da durch sie das maximal zur Verfügung stehenden Bereitschaftsvolumen vorgegeben wird.

Bei Verwendung eines **elektrischen Heizstabs 5** ist zusätzlich zu seiner Heizleistung ebenfalls seine vertikale Position innerhalb des Speichers relevant, da durch diese das bei elektrischer Beheizung maximal zur Verfügung stehende Bereitschaftsvolumen und damit die Versorgungssicherheit vorgegeben wird.

Eine gute **Temperaturschichtung bei der Entnahme 6** ist wichtig, damit dem Speicher möglichst viel Wasser mit einer konstanten hohen Temperatur entnommen werden kann. Ein Abbau der Temperaturschichtung bei der Entnahme findet durch Vermischungen mit dem von unten nachströmenden kalten Wasser statt. Um diese Vermischungen zu reduzieren, sollte der in den Speicher eintretende kalte Wasserstrahl durch ein Prallblech „beruhigt“ werden. Die Temperaturschichtung bei der Entnahme kann, durch eine so genannte Schichtungskennzahl quantifiziert werden.



Der Abbau der **Temperaturschichtung im Stillstand 7** wird durch die effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit beschrieben. Gründe dafür, dass sich die Temperaturschichtung in einem ruhenden Speicher abbaut, sind Wärmeleitungseffekte im Wasser und in der Behälterwand sowie auftretende Konvektionsströmungen.

Abbildung 1
Warmwasserspeicher einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung

• **Solare Kombispeicher**

Soll die Solarenergie zusätzlich zur Trinkwassererwärmung noch zur Unterstützung der Heizung genutzt werden, kommen solare Kombianlagen zum Einsatz. Diese Anlagen unterscheiden sich durch den eingesetzten Speicher und die Funktionen die von diesem Speicher übernommen werden [1]. In **Abb. 2** ist exemplarisch der prinzipielle Aufbau einer solaren Kombianlage dargestellt.

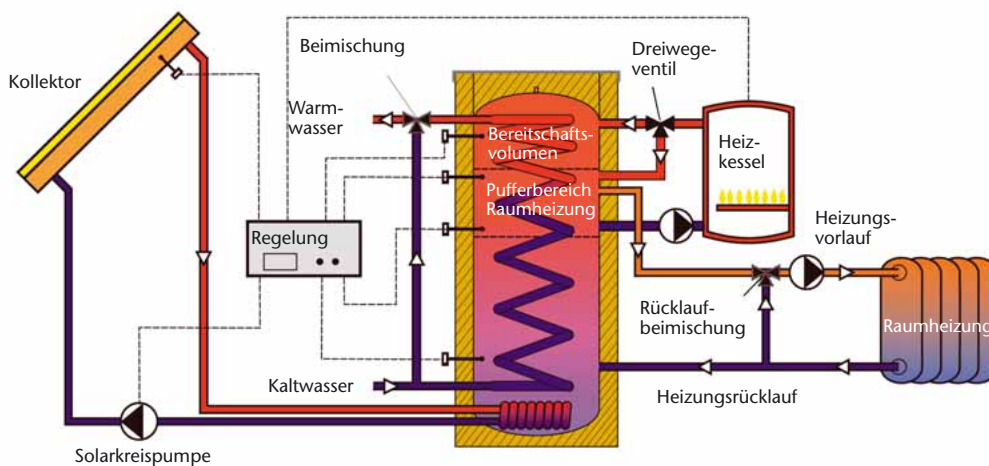


Abbildung 2
Prinzipieller Aufbau einer solaren Kombianlage (mit Pufferfunktion für den Heizkessel)

Die Charakterisierung des thermischen Verhaltens von Kombispeichern erfolgt ebenfalls auf der Basis der im vorangegangenen Abschnitt erläuterten Kenngrößen [2].

- **Prüfung von Warmwasserspeichern**

Zur Prüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen existiert seit einigen Jahren die europäische Vornorm ENV 12977-3. Bei der thermischen Prüfung von Warmwasserspeichern werden Kenngrößen ermittelt, die eine detaillierte Charakterisierung des thermischen Verhaltens des Speichers ermöglichen.

Die Kenntnis dieser Eigenschaften bzw. entsprechender thermischer Kenngrößen ist besonders wichtig

- für den Vergleich und die Bewertung von Speichern
- um für einen bestimmten Anwendungsfall einen geeigneten Speicher auswählen zu können
- zur thermischen Leistungsprüfung von Solaranlagen auf der Basis von Komponententests nach ENV 12977-2

2.2 Saisonale Wärme- und Kältespeicherung

Sommerliche Wärmequellen für die winterliche Heizung sind z. B. Solarenergie und Abwärme, vor allem aus der Kraft-Wärme-Kopplung, Kondensationswärme von Kältemaschinen und aus der Abluft. Als winterliche Kältequellen für die sommerliche Kühlung können z. B. Außenluft (Zuluft), Oberflächenwasser oder auch „Abkälte“ aus Wärmepumpen genutzt werden.

Darüber hinaus ist die Verbindung von sommerlichen Wärme- mit winterlichen Kältequellen zu einer gekoppelten Wärme- und Kältespeicherung möglich sowie ökologisch und ökonomisch erstrebenswert.

Zur saisonalen Speicherung steht zum einen der bekannte Heißwasser-Behälterspeicher zur Verfügung, der oftmals wegen des benötigten großen Volumens als in den Erdboden eingelassener, druckloser Stahlbetonspeicher, zum

Teil mit einer wasserundurchlässigen Auskleidung, ausgeführt wird. Systemgrößen bis zu 12.000 m³ (Solarprojekt Friedrichshafen) wurden bereits gefertigt. Daneben kommen auch Stahltanks und neuerdings GFK-Behälter¹ (50 bis 6.000 m³) zum Einsatz. Zum anderen sind sogenannte Erdbeckenspeichereine kostengünstige Alternative. Hier werden große Gruben mit wasserdichten Folien ausgelegt, anschließend mit einer Kies-Wasser-Mischung gefüllt und seitlich sowie oben wärmedämmend. Wie bei allen bisher beschriebenen Speichervarianten ist hier besonderer Wert auf die Ladewechsel-einrichtung zu legen, um eine gute Temperaturschichtung zu erzielen.

Außerdem nutzt der Mensch schon seit Urzeiten das thermische Speichervermögen des Erdbodens. Große Speichervolumina können sehr kostengünstig hergestellt werden, da man bei der unterirdischen Speicherung entweder

- direkt das in natürlichen Hohlräumen (Poren, Kavernen, Klüften) vorhandene Wasser als Energieträger verwendet,
- Hohlräume mit spezifisch geringem Aufwand erstellt oder ausschließlich
- auf indirektem Wege (z. B. über moderne Erdsonden) den festen Boden als Speichermedium verwendet.

Neben den notwendigen Speichervolumina bestimmen Temperaturniveaus, bauliche und geologische Randbedingungen und Anforderungen an die Umweltverträglichkeit des Systems die Auswahl des konkret geeigneten Verfahrens.

- **Aquiferspeicher**

Bei günstigen geologischen Bedingungen und vor allem für großformatige Energiesysteme sind Aquiferspeicher zu favorisieren. Wärme- oder Kälte-träger ist hier direkt das Grundwasser und die Speicherung erfolgt im Grundwasser sowie im porösen Gestein. Derartige Speicher bestehen aus zwei Bohrungen bzw. Bohrungsgruppen, die den gleichen Grundwasserleiter (Aquifer) erschließen. Sie werden in der Regel in einem Abstand von 50 bis 300 m angeordnet, um die gegenseitige

¹ Behälter aus glasfaserverstärktem Kunststoff

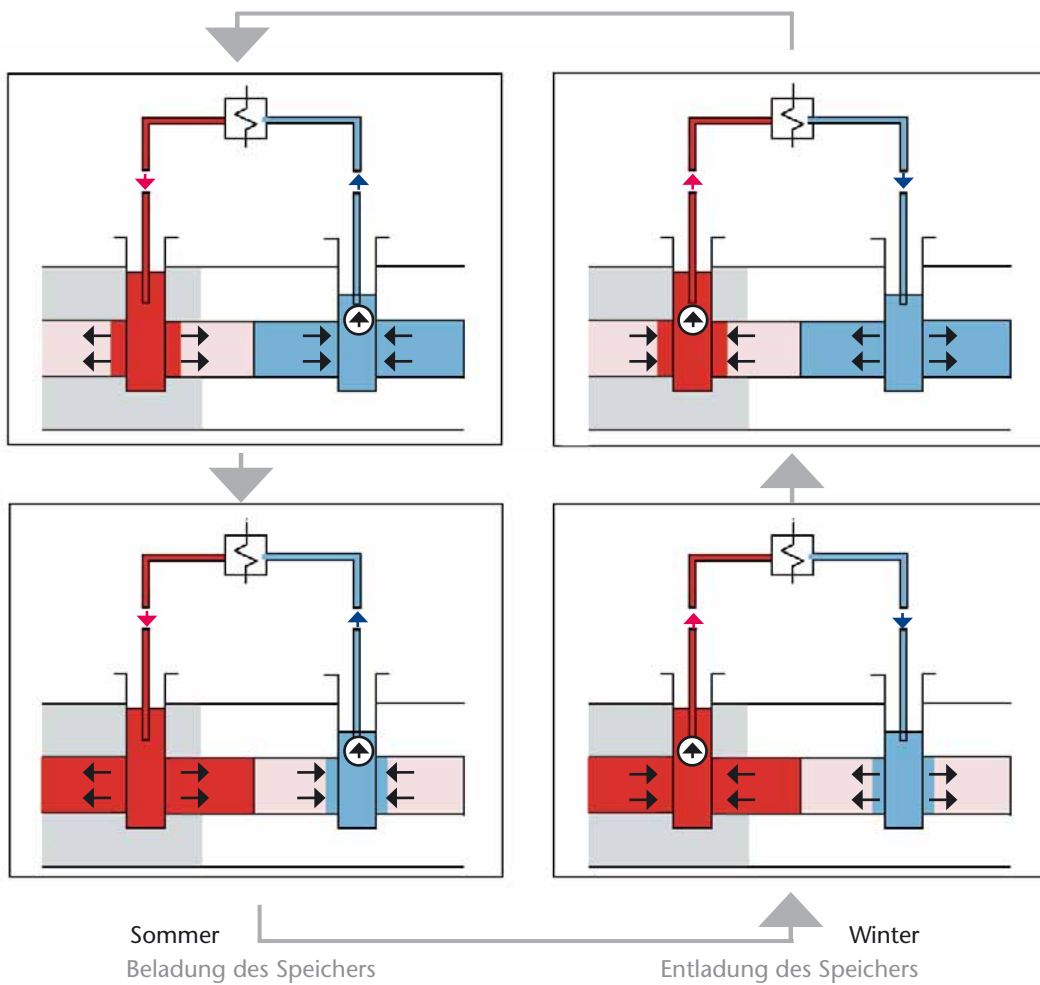


Abbildung 3
 Schema der Gestaltung
 und der Funktion eines
 Aquiferspeichers

thermische Beeinflussung auszuschließen. Beide Bohrungen sind mit Pumpen sowie einem Injektionsstrang ausgestattet, die das Durchströmen der Anlage in beiden Richtungen erlauben. Typische Tiefen von Aquiferspeichern beginnen bei 100 m. Bei Einlagerungstemperaturen größer 50 °C müssen in der Regel Maßnahmen zur Stabilisierung der Wasserqualität ergriffen werden.

Das aus der kalten Bohrung entnommene Wasser wird im Sommer mit Wärme beladen und in die warme Bohrung injiziert, wo sich im Aquifer eine Wärmeblase bildet. Im Winter wird diese Wärmeblase dann mit umgekehrter Strömungsrichtung abgefördert. Im einfachsten Fall erfolgt die Regeneration mit Umgebungskälte, idealerweise wird die gespeicherte Wärme über Wärmetauscher oder Wärmepumpen aber genutzt und der Speicher auf diese Weise für den nächsten Zyklus abgekühlt.

• **Erdsondenspeicher**

Bei dieser Art der Speicherung wird nicht das Grundwasser direkt als Wärmeträger genutzt, sondern in bis zu 100 m tiefe Bohrungen werden langgestreckte U-Rohrförmige bzw. koaxiale Wärmetauscher eingebracht, in denen ein Wärmeträger zirkuliert. Zwischen den Bohrungen eines Feldes ist ein Abstand von 1,5 bis 3 m einzuhalten. Der Wärmetransport an das Erdreich bzw. vom Erdreich erfolgt durch Wärmeleitung. Dies macht das Betriebsverhalten der Systeme träge und hat zur Folge, dass Spitzenlasten bei Be- und Entladung durch separate Pufferspeicher ausgeglichen werden müssen. Bei der Konzipierung der Speichergeometrie müssen zur Verlustminimierung die Berandungsflächen möglichst klein gehalten werden. Auch kann bei höheren Speichertemperaturen eine an der Oberfläche angebrachte Wärmedämmung gleichen Zwecken dienen.

2.3 Luftdurchströmte Steinspeicher

Als weitere Variante der solaren Heizungsunterstützung kommen luftdurchströmte Steinspeicher in Frage. *Abb. 4* stellt ein einfaches System eines über Luftkollektoren gespeisten Wandspeichers dar. Die auf dem Dach montierten Luftkollektoren erwärmen über einen Ventilator einen kaminförmigen Kiesspeicher. Derartig einfache und kostengünstige Systeme sind insbesondere für Entwicklungsländer interessant.

2.4 Phasenwechselspeicher für die Klimatisierung

Aufgrund steigender Komfortansprüche und veränderter Architektur ist der Energiebedarf für Gebäude-Klimatisierung in Europa stark steigend. Da hier die Spitzenlasten der benötigten Kälteerzeugung mit den ohnehin ausgeprägten Spitzen des Stromnetzes zusammen fallen und die Kälteerzeugung nachts in der Regel aufgrund tieferer Temperaturen deutlich effizienter erfolgt, bewirkt ein 12 Stundenpeicher bereits eine signifikante Reduktion des Energieverbrauchs. Während bei der Speicherung von Wärme in

der Regel große Temperaturspreizungen in Kauf genommen werden können, ist bei Anwendungen der Klimatechnik meist nur ein sehr enges Temperaturband nutzbar. Dies macht die Nutzung von Phasenwechselmaterialien, die in einem geringen Temperaturbereich große Mengen an Wärme speichern können, attraktiv.

Eine passive Speicheranwendung ist dabei das Einbringen von mikroverkapselten Paraffinen mit einem Schmelzbereich zwischen 24 °C und 26 °C in Baustoffe. Steigt die Raumtemperatur über 24 °C an, beginnt das Paraffin zu schmelzen und nimmt dabei große Mengen an Wärme auf, sodass der Raum deutlich kühler bleibt. Durch eine ausreichende Lüftung nachts kann das Material wieder entladen werden, so dass im Idealfall eine Lüftung ausreicht und auf aktive Kälteerzeugung verzichtet werden kann. *Abb. 5* zeigt den schematischen Aufbau einer Leichtbauwand mit in den Putz integrierten mikroverkapselten Latentwärmespeichern und den gemessenen Temperaturverlauf der Wandoberflächentemperaturen in identischen Räumen mit und ohne diesen Additiven im Putz.

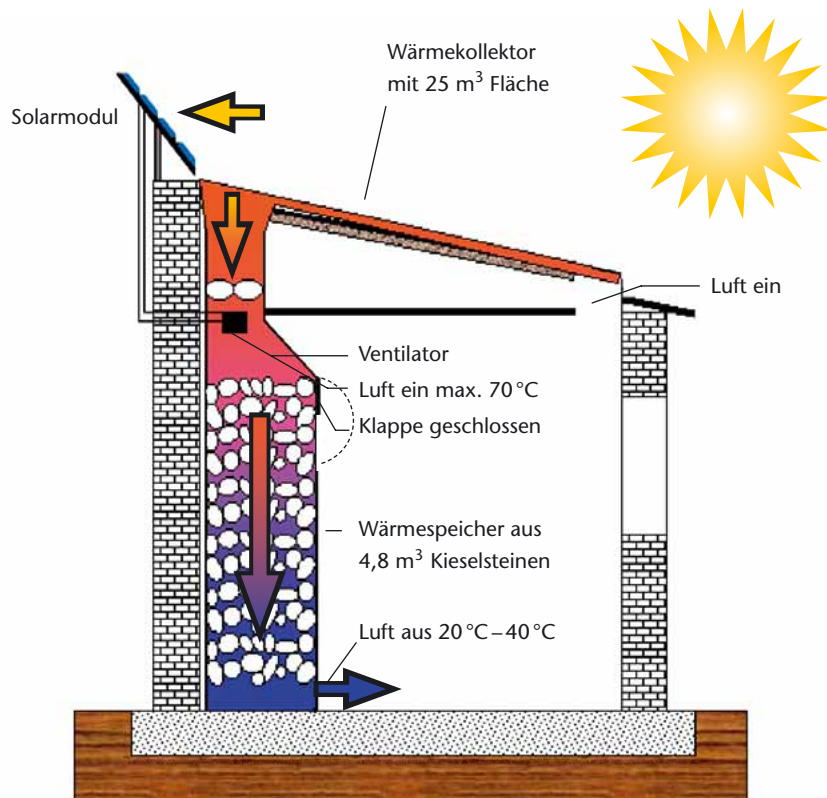


Abbildung 4
Solare Luftheizung mit
Steinspeicher

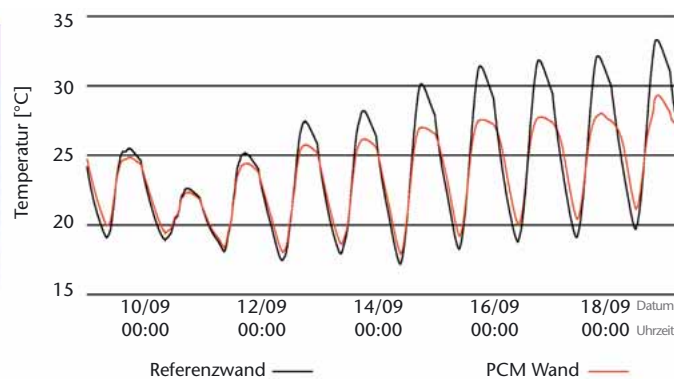


Abbildung 5
Schematische Darstellung von PCM-Mikrokapseln in Putz und gemessener Verlauf der Wandtemperaturen in zwei Räumen mit Leichtbauwänden mit und ohne Phasenwechselmaterialien in Putz

Eine weitere Alternative stellt das Einbringen dieser Mikrokapselfüllungen in Wärmeträgerfluide dar. Dadurch kann in einem gewünschten Temperaturband die Speicherkapazität dieser Fluide deutlich erhöht werden, was kompaktere Speicher ermöglicht und – da für die gleiche Leistung wesentlich geringere Massenströme benötigt werden – geringere Rohrdurchmesser oder verringerte Pumpleistungen erlaubt.

3. Zusammenfassung

Um die Nutzung regenerativer Energiequellen im Gebäudebereich zu erhöhen, sind aufgrund des zeitlichen Versatzes von Angebot und Bedarf thermische Speicher unabdingbar. Da ungefähr ein Drittel des deutschen Primärenergiebedarfs für Raumtemperierung und Warmwasserbereitung verwendet wird, kommt thermischen Speichern eine bedeutende Rolle bei der Erreichung der Ziele in der Klimapolitik zu.

Je nach Dauer und Temperaturniveau der gewünschten Speicherung kommen die unterschiedlichsten Materialien und Konzepte zum Einsatz, vom klassischen Warmwasserspeicher über Stein-, Erd-, und Aquiferspeicher bis hin zu neuartigen Phasenwechselmaterialien als Latentwärmespeicher.

Literatur

[1] H. Drück, E. Hahne,
Der Speicher – das Herz der Kombianlage
Untertitel: Kombispeicher für Ein- und
Zweifamilienhäuser, Tagungsband

„Solares Heizen ,99“, Seiten 23 - 32,
Solar Promotion GmbH, München, 1999,
ISBN 3-934349-04-8

- [2] Drück, H., Hahne E.
Kombispeicher auf dem Prüfstand
Tagungsband zum achten Symposium
Thermische Solarenergie,
Seiten 90 - 94, OTTI-Technologie-Kolleg,
Regensburg, Juni 1998
- [3] Kabus, F.; Hoffmann, F.; Möllmann, G.:
Aquifer Storage of Waste Heat Arising from
a Gas and Steam Cogeneration Plant –
Concept and First Operating Experience“,
Proc. of World Geothermal Congress 2005,
Antalya/Turkey, 2005
- [4] Kabus, F. ; Bartels, J.:
Speicherung von Wärme und Kälte in
Grundwasserleitern. KI Luft- und Kältetechnik,
Hüthig-Verlag Heidelberg, 6/2004, S.
170-175
- [5] Schossig, P.
Henning, H.-M.; Haussmann, T.
Microencapsulated Phase Change Materials
integrated into Construction Materials
“Eurosun 2004“, Freiburg, Proceedings
2-413 - 2-421
- [6] Gschwander, S., Schossig, P.
Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien
in Fluiden zur Erhöhung der Wärmekapazität,
OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium
Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein,
Germany, 14.5.2004, pp. 348-353