

Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich (PTJ)

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC

Statusseminar

## **Thermische Energiespeicherung – mehr Energieeffizienz zum Heizen und Kühlen**

2.-3. November 2006 in Freiburg

Veranstalter / Gefördert von

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU

EU-Projekt PREHEAT Policy reinforcement concerning heat storage technologies

## **Impressum**

Herausgeber:

Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich (PTJ)

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC

Redaktion:

Fraunhofer SOBIC, Dr. Christel Russ

Dr. Klaus Heidler Solar Consulting, Axel Vartmann M.A.

Gestaltung:

Netsyn, Joachim Würger M.A.

Druck:

Netsyn, Joachim Würger M.A.

# Inhalt

## Vorworte

Thermische Energiespeicherung. Ein Förderschwerpunkt bei der Energieforschung der Bundesregierung – A. Wille, Forschungszentrum Jülich GmbH .....	S.	1
PREHEAT. Policy Reinforcement Concerning Heat Storage Technologies – M. Bakker, Coordinator PREHEAT .....	S.	3

## Block 1 - Wärmespeicherung

### Vorträge

Wärmespeicher für Solaranlagen. Historie und zukünftige Entwicklungen – H. Drück, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart .....	S.	7
Modellierung der effektiven Wärmeleitfähigkeit hochporöser schüttfähiger Dämmstoffe in Abhängigkeit von der Temperatur und vom Wassergehalt – F. Ochs, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart .....	S.	17
Saisonale Wärmespeicher: Neue Pilotanlagen im Programm Solarthermie2000plus und Forschungsperspektiven – D. Mangold, Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme .....	S.	21

### Poster

Weiterentwicklung der Erdbecken-Wärmespeichertechnologie – F. Ochs, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik .....	S.	37
Weiterentwicklung und Optimierung von Be- und Entladesystemen für Tank- und Erdbeckenspeicher, BES – J. Bühl, TU Ilmenau .....	S.	49
GFK – Wärmetank im Programm Solarthermie 2000 / 2000plus – J. Bühl, TU Ilmenau .....	S.	53

Be- und Entladesysteme. Von der Recherche zum Experiment – S. Göppert, Technische Universität Chemnitz .....	S.	61
Rechnerunterstützte Entwicklung und Optimierung von Warmwasser- Wärmespeichern für solarthermische Anlagen. Ein Überblick – M. Hampel, Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) .....	S.	69
Optimierung von Be- und Entladesystemen mittels CFD – R. Lohse, Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau .....	S.	79
CO <sub>2</sub> - neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen. Von der Studie in die Praxis – M. Schlosser, Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS), TU Braunschweig .....	S.	87
Solare Nahwärmeversorgung Attenkirchen - M. Reuß, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern .....	S.	97

## **Block 2 - Erdsonden, Aquiferspeicher**

### *Vorträge*

Wärme- und Kältespeicherung im Gründungsbereich energieeffizienter Bürogebäude – C. Sasse, Institut für Gebäude- und Solartechnik, Technische Universität Braunschweig .....	S.	109
Erdwärmesonden als geothermische Wärmeübertrager. Technologie und Planungswerkzeuge – R. Koenigsdorff, Hochschule Biberach .....	S.	121
Wärme- und Kälteversorgung der Parlamentsbauten im Berliner Spreebogen mit Aquiferspeicher – S. Köhler, GeoForschungsZentrum Potsdam .....	S.	131

### *Poster*

Saisonale Speicherung von Überschusswärme aus einem Heizkraftwerk in einen Aquifer in Neubrandenburg – F. Kabus, GTN Geothermie Neubrandenburg GmbH .....	S.	143
Kältespeicher – Einsatz zur Optimierung der Energieversorgung – T. Urbaneck, Technische Universität Chemnitz .....	S.	153

## Block 3 - Latentspeicher

### Vorträge

Forschungsnetzwerk LWSNet: Grundlagenaspekte in der aktuellen PCM-Forschung – H.-P. Ebert, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern .....	S.	165
Baustoffe mit Phasenwechselmaterialien als Kältespeicher für energieeffiziente Gebäude – T. Haussmann, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE .....	S.	171
PCM Slurries als Hochleistungs-Kältespeicher / Kälte-träger – C. Dötsch, Fraunhofer Umsicht, Oberhausen .....	S.	181
Hochtemperatur-Latentwärmespeicher für Prozessdampf und solare Kraftwerkstechnik – R. Tamme, DLR, Institut für Technische Thermodynamik .....	S.	191

### Poster

Ummantelung von organischen und anorganischen Latentwärmespeichermaterialien (PCM-Ummantelung) – J. Manara, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern .....	S.	201
Einsatz von Phasenwechselmaterialien in Holzbauten und Holzbauteilen zur Verbesserung des thermischen Komforts im Dachgeschoss – H. Fröhlich, RENSCH-HAUS GmbH .....	S.	207
Bestimmung der Nukleations- und Schmelztemperaturen von Salzhydraten bei statischen Drücken bis zu 800 Mpa – E. Günther, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern .....	S.	213
Kenndatenerfassung von PCM-Systemen im realen Betrieb – H. Weigl, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern .....	S.	223
Bestimmung des Ladezustandes von PCM-Paraffin-Speichern – U. Fischer, Lehrstuhl Angewandte Physik/Thermophysik, TU Cottbus .....	S.	227

PCM-Nutzung in Bürogebäuden. Latente Wärmespeicher zur Verbesserung des thermischen Komforts in der Sanierung – L. Kühl, Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS), TU Braunschweig .....	S.	237
--	----	-----

## **Block 4 - Thermochemische Speicher**

### *Vorträge*

Möglichkeiten offener Sorptionsspeicher zum Heizen, Klimatisieren und Entfeuchten – A. Hauer, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern .....	S.	249
--	----	-----

Neue Materialien und Systemkonzepte für Adsorptionswärmespeicher – Ergebnisse des BMBF-Netzwerks – F. Schmidt, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE .....	S.	259
--	----	-----

### *Poster*

MonoSorp. Ein integrales Konzept zur solarthermischen Gebäudeheizung mit Sorptionswärmespeicher – H. Kerskes, Universität Stuttgart, Inst. für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) .....	S.	269
---	----	-----

Raumklimatisierung und Kältespeicherung in offenen Sorptionssystemen – E. Lävemann, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern .....	S.	277
--	----	-----

Abwärmennutzung durch mobile Energiespeicher – A. Hauer, Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern .....	S.	289
---	----	-----

## **Vorworte**



## **THERMISCHE ENERGIESPEICHERUNG – EIN FÖRDERSCHWERPUNKT BEI DER ENERGIEFORSCHUNG DER BUNDESREGIERUNG**

Energieeffizienz und Ausbau der erneuerbaren Energien – das sind die Schlüsselbegriffe, die sich wie ein roter Faden durch das aktuelle 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung ziehen.

So strebt die Bundesregierung eine Verdopplung der Energieproduktivität der deutschen Volkswirtschaft bis 2020 gegenüber 1990 an, das entspricht einer jährlichen Reduktion des Primärenergieverbrauchs von durchschnittlich 2,3% pro Jahr. Gleichzeitig soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch bis 2010 auf 4,2% gegenüber ca. 1,6% im Jahr 1990 gesteigert werden.

Ein wichtiger Aspekt, der beide Ziele miteinander vereint, ist die konsequente Förderung von Techniken zur Energiespeicherung – sowohl der thermischen als auch der elektrischen. Die elektrische Energiespeicherung wird beim aktuellen Statusseminar allerdings nicht thematisiert.

Thermische Energiespeicher sind ein Schlüssel zur Effizienzsteigerung und damit zur Primärenergieeinsparung: Die Möglichkeiten reichen mittlerweile von der kurzfristigen Speicherung bis hin zur langfristigen Speicherung. Dabei kommen Verfahren von der sensiblen Speicherung über Latentwärmespeicher bis hin zur Speicherung in Form von chemischer Energie zum Einsatz. So gelingt es, die zeitliche Diskrepanz zwischen Energieangebot und Nachfrage zum Beispiel im Bereich der solarthermischen Anwendungen zu beseitigen und so den Einsatz konventioneller Energieträger zu reduzieren.

Auch ermöglicht die Energiespeicherung die effiziente Nutzung von Abwärme - z.B. aus konventionellen Kraftwerken oder Blockheizkraftwerken - und führt so zu einer höheren Effizienz in der Nutzung der eingesetzten Brennstoffe - seien sie aus fossilen Quellen oder Biomasse - und reduziert so den Bedarf an Kraftwerks- und Leistungskapazität. Speichermaterialien haben darüber hinaus auch im Gebäudebereich Einzug gehalten: Phasenwechselmaterialien (PCM) zum Beispiel erhöhen die thermische Kapazität von Gebäuden und führen zu einem gleichmäßigeren Innenraumklima, was insbesondere die Vermeidung von sommerlicher Überhitzung zur Folge hat.

Natürlich gibt es bereits zahlreiche erprobte Speicherkonzepte und -systeme, die schon heute einen wichtigen Beitrag zur Energieeffizienzsteigerung leisten sowie den Einsatz erneuerbarer Energien ermöglichen. Dennoch ist der Forschungs- und Entwicklungsbedarf nach wie vor hoch, insbesondere um zu wirtschaftlichen und langzeitstabilen Systemen und Materialien zu kommen.

Die Bundesregierung stellt zwischen 2006 und 2009 fast 1,2 Milliarden Euro für die Themengebiete Rationelle Energieverwendung sowie Erneuerbare Energien zur Verfügung, thermische Energiespeicherung bildet dabei einen wichtigen Schwerpunkt. Informationen über Fördermöglichkeiten finden sich unter [www.fz-juelich.de/ptj/](http://www.fz-juelich.de/ptj/). Über Fördermöglichkeiten speziell für Gebäudeanwendungen informiert [www.enob-info.de](http://www.enob-info.de)

und über Möglichkeiten im Bereich der solarthermischen Anwendungen  
[www.solarthermie200plus.de](http://www.solarthermie200plus.de).

Dr. Astrid Wille

Geschäftsbereich ERG,  
Projekträger Jülich (PTJ), Forschungszentrum Jülich GmbH

## **PREHEAT – POLICY REINFORCEMENT CONCERNING HEAT STORAGE TECHNOLOGIES**

Heat storage is an essential part of a very broad range of renewable energy systems: from solar collectors to biomass boilers, from micro-cogeneration to heat pumps. The technologies available for heat storage are also very diverse, including hot water tanks, phase change materials, and sorption storages.

Heat storage is an enabling technology: without it, renewable heating would not be possible. Although a heat storage itself is rather invisible, its impact on the amount of renewable energy generated in your house, your city, and your country is huge.

By improving the effectiveness of heat storage, we can improve the effectiveness of all renewable energy technologies that use heat storage. With advanced heat storage technologies, it becomes possible to store summer solar heat for the winter, raising the solar fraction to 100%. With compact heat storages, fuel cells and Stirling engines can be operated more efficiently by closely following the electricity demand.

Due to the large diversity in heat storage technologies and systems, the number of companies and institutes working on heat storage technologies is very large. Most of these companies are small to medium sized enterprises with small R&D budgets and no possibilities for long-term investments. And because it is difficult to express heat storage in terms of policy goals, there is currently no long-term strategy by European and national policy makers. To effectively develop and improve heat storage technologies, a coordinated and programmed international approach is required.

PREHEAT, a European project within the Intelligent Energy for Europe framework, aims to increase the visibility of heat storage and the funding possibilities for development and implementation of improved heat storage technologies. On the long term, PREHEAT aims at a coherent European promotion program with a collective approach by the industry, R&D institutions and other market actors.

To achieve this, PREHEAT has started by analyzing the decision making process, and by finding the most effective ways to reinforce existing policies. By describing present and future markets for heat storage technologies, PREHEAT will provide European industry and decision makers with a reference framework to maximize the environmental, commercial and economic benefits of heat storage. An important contribution is anticipated from leading industry representatives and decision makers, by means of two high-level international events in 2007 and 2008, as well as a series of national workshops.

The status seminar for which you now hold the book of abstracts in your hands is the second one in this series of workshops. Your participation and contribution are greatly appreciated: with your help, we can work towards a successful and widely supported international heat storage community!

Marco Bakker, MSc MTD

Coordinator PREHEAT



## **Block 1 - Wärmespeicherung**



# **WÄRMESPEICHER FÜR SOLARANLAGEN - HISTORIE UND ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN**

Harald Drück, Stephan Bachmann, Hans Müller-Steinhagen  
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711/685-63536, Fax: +49 (0)711/685-63503  
E-Mail: drueck@itw.uni-stuttgart.de

## **Kurzfassung**

Ausgehend von ersten, vor mehr als 100 Jahren in den USA eingesetzten Warmwasserspeichern für thermische Solaranlagen wird über den aktuellen Entwicklungsstand der Speichertechnologie berichtet. Die heute für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und für solare Kombianlagen üblichen Speicherkonzepte werden vorgestellt. Im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen werden die Potenziale innovativer Speichertechnologien auf der Basis einer Simulationsstudie untersucht. Als Ergebnis dieser Untersuchung wird gezeigt, dass durch den Einsatz von Latent- und Sorptionsspeichern eine deutliche Reduktion des Speichervolumens bei gleicher Wärmekapazität bzw. gleicher anteiliger Energieeinsparung der Gesamtanlage erreicht werden kann.

## **1 Einleitung**

Aufgrund seiner thermodynamischen Eigenschaften und der daraus resultierenden Vorteile wird in Wärmespeichern für haustechnische Anlagen fast ausschließlich Wasser als Speichermedium eingesetzt. Entscheidend hierfür ist insbesondere die hohe volumetrische Wärmekapazität von Wasser sowie die mit der Temperatur abnehmende Dichte, die eine Ausprägung einer stabilen thermischen Schichtung in Warmwasserspeichern ermöglicht.

Obwohl Warmwasserspeicher, im Folgenden vereinfachend meist Speicher genannt, bereits seit Längerem Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen und Forschungsarbeiten sind, existieren noch eine Reihe offener Fragen. Von besonderem Interesse ist hier insbesondere das genaue Verständnis und die numerische Berechnung der in den Speichern auftretenden Wärmetransport- und Strömungsvorgänge. Ebenso sind die Optimierung und die Entwicklung von Verfahren zur Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern Gegenstand mehrerer wissenschaftlicher Arbeiten.

## **2 Historie**

1909 war die Geburtsstunde der Warmwasserspeicher in Solaranlagen, als William Bailey in den USA den sogenannten „Day and Night“-Kollektor entwickelte. Im Gegensatz zu den zuerst üblichen „Integrierten-Kollektor-Speicheranlagen“ (IKS-Systeme) waren hier erstmalig Kollektor und Speicher getrennt. Dies führte zu einer deutlichen Steigerung des Wirkungsgrads. Bei der Entwicklung von William Bailey

handelte es sich um eine thermosiphonisch betriebene Anlage mit einem drucklosen Speicher der direkt be- und entladen wurde (Abb. 1).

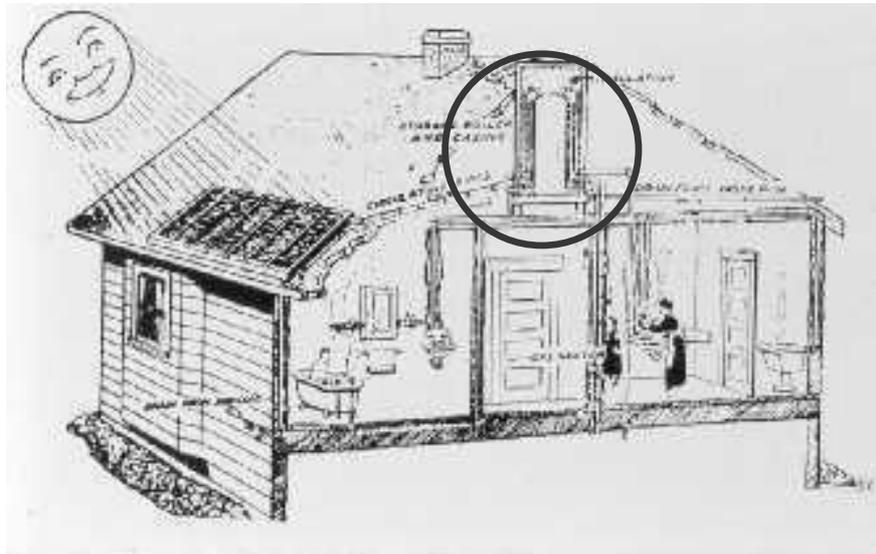


Abbildung 1: Erster (druckloser) Speicher in Solaranlagen in den USA im Jahr 1909

Auftretende Frostschäden an Kollektor und Speicher führten bald danach zu einer Trennung von Kollektor- und Wasserkreislauf, so dass im Jahr 1913 die ersten Wärmeübertrager in die Speicher eingebaut wurden. In den folgenden Jahren verlor jedoch die thermische Nutzung der Solarenergie an Bedeutung, da für die Warmwasserbereitung die damals in Amerika neu entdeckten Erdöl- und Erdgasvorkommen sowie die zunehmend verbreitete Elektrizität genutzt wurden. Eine weitere Entwicklung von Solarspeichern erfolgte daher zunächst nicht.

Der Einsatz von Warmwasserspeichern hat insbesondere mit dem wachsenden Hygiene- und Komfortbedürfnis der im Wohlstand lebenden Menschen stark zugenommen. In Verbindung mit dem gegen Ende des 19. Jahrhunderts zu beobachtenden Aufkommen von Zentralheizungsanlagen mit Wasser als Wärmeträgermedium wurde auch der Einsatz von Warmwasserspeichern eine Selbstverständlichkeit.

Ausgelöst durch die Öl(Preis)Krisen wird seit den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts erneut über die Nutzung von Solarenergie zur Erwärmung des Trinkwassers und zur Raumheizung nachgedacht. Die Einkoppelung solar gewonnener Wärme in die Haustechnik führte zur Entwicklung neuer Speichertechniken.

### 3 Aktueller Status

Für die solare Trinkwassererwärmung wurden sogenannte bivalente Speicher entwickelt. Der Aufbau eines solchen Speichers, wie er in Deutschland häufig in Verbindung mit einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung eingesetzt wird, ist in Abb. 2 dargestellt.

Als Speichermedium dient das Trinkwasser, welches sich im Wasserraum befindet. 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 wird, befindet sich im oberen Bereich des Speichers (Bereitschaftsvolumen) ein elektrischer Heizstab oder ein zweiter Wärmeübertrager, der an den Heizkessel der Zentralheizung des Gebäudes angeschlossen ist. Für den Anschluss einer Zirkulationsleitung oder für die direkte Beladung des oberen Speicherbereiches ist im Bereich des Bereitschaftsteils noch ein weiterer Anschluss angebracht.

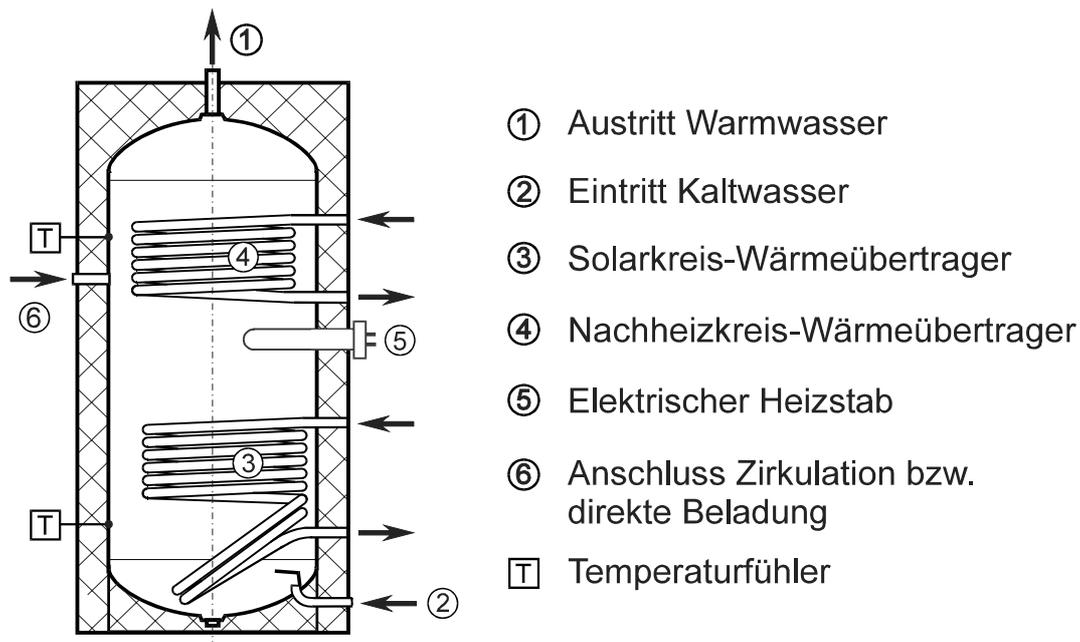


Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau eines Speichers einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung

Die solare Unterstützung der Raumheizung wurde zunächst als Erweiterung der Solaranlage zur Trinkwassererwärmung als 2-Speicher-Anlage mit zusätzlichem Pufferspeicher für die Raumheizung ausgeführt. Der hohe Platzbedarf, der große Installationsaufwand und die hohen Wärmeverluste der beiden Speicher führten bald darauf zur Entwicklung von Kombispeichern, die sowohl die Funktion des Trinkwasserspeichers als auch des Heizungspufferspeichers übernehmen. In den letzten Jahren sind hier eine Vielzahl unterschiedlicher Kombispeichertypen für den Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern entwickelt worden. Gleichzeitig mit der Entwicklung der Kombispeicher ging auch die Entwicklung von Einrichtungen zur thermisch geschichteten Be- und Entladung einher, durch die eine Steigerung der Effizienz der Speicher erreicht werden kann. Der prinzipielle Aufbau einer solaren Kombianlage ist in Abb. 3 dargestellt.

In einer solaren Kombianlage stellt der Kombispeicher die zentrale Komponente für die Sammlung, Speicherung und Verteilung der Energie dar. Im Einzelnen muss er die folgenden vier elementaren Aufgaben wahrnehmen:

- Aufnahme der von der Solaranlage gelieferten Energie
- Aufnahme der vom Heizkessel abgegebenen Energie bzw. Bereitstellung eines Bereitschaftsvolumens für die Trinkwassererwärmung
- Erwärmung des Trinkwassers
- Wärmeversorgung der Raumheizung

Die Erfüllung dieser Aufgaben kann durch diverse konstruktive Ausführungen realisiert werden. Auf dem Markt gibt es daher eine Vielzahl von unterschiedlichen Kombispeichern. Eine Diskussion der unterschiedlichen Konzepte sowie der individuellen Vor- und Nachteile wurde z.B. in /1/ vorgenommen.

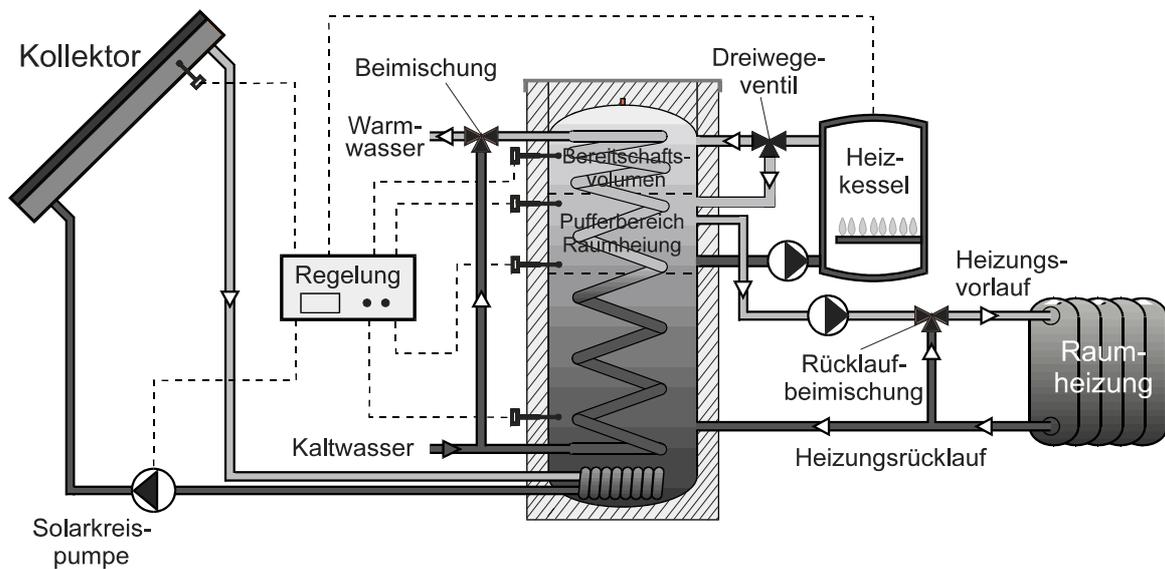


Abbildung 3: Prinzipieller Aufbau einer solaren Kombianlage mit einem Kombispeicher

Für die Beschreibung des thermischen Verhaltens von Solarspeichern werden Informationen über die folgenden Kennwerte benötigt:

- Wärmekapazität bzw. Speichervolumen
- Wärmeverlustrate
- Wärmeübertragungsvermögen, Anlauf- und Schichtungsverhalten der Wärmeübertrager
- Bereitschaftsvolumen oder nutzbares Warmwasservolumen
- Radiale Anschlüsse für direkte Be- und Entladung
- Temperaturschichtung bei der Entnahme
- Temperaturschichtung im Stillstand
- Positionen der Temperaturfühler

Eine Ermittlung dieser Kennwerte ist nach der europäischen Vornorm ENV 12977-3 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile, Kundenspezifisch gefertigte Anlagen, Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen“ möglich. Diese Vornorm wurde in den Jahren 1996 bis 2000 unter maßgeblicher Mitarbeit des ITW entwickelt und im Jahr 2001 verabschiedet. Gegenwärtig wird sie überarbeitet und insbesondere im Hinblick auf Kombispeicher erweitert.

Einer der wichtigsten Kennwerte eines Speichers ist seine Wärmeverlustrate. Diese Größe gibt an, welcher Wärmeverluststrom je Kelvin Temperaturdifferenz zwischen Speichermedium und Umgebung an die Umgebung abgeführt wird. In Abbildung 4 ist die Wärmeverlustrate der in den letzten Jahren am ITW geprüften Speicher dargestellt. Zusätzlich ist die nach ENV 12977-1 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile, Kundenspezifisch gefertigte Anlagen, Allgemeine Anforderungen“ maximal zulässige Wärmeverlustrate eingezeichnet.

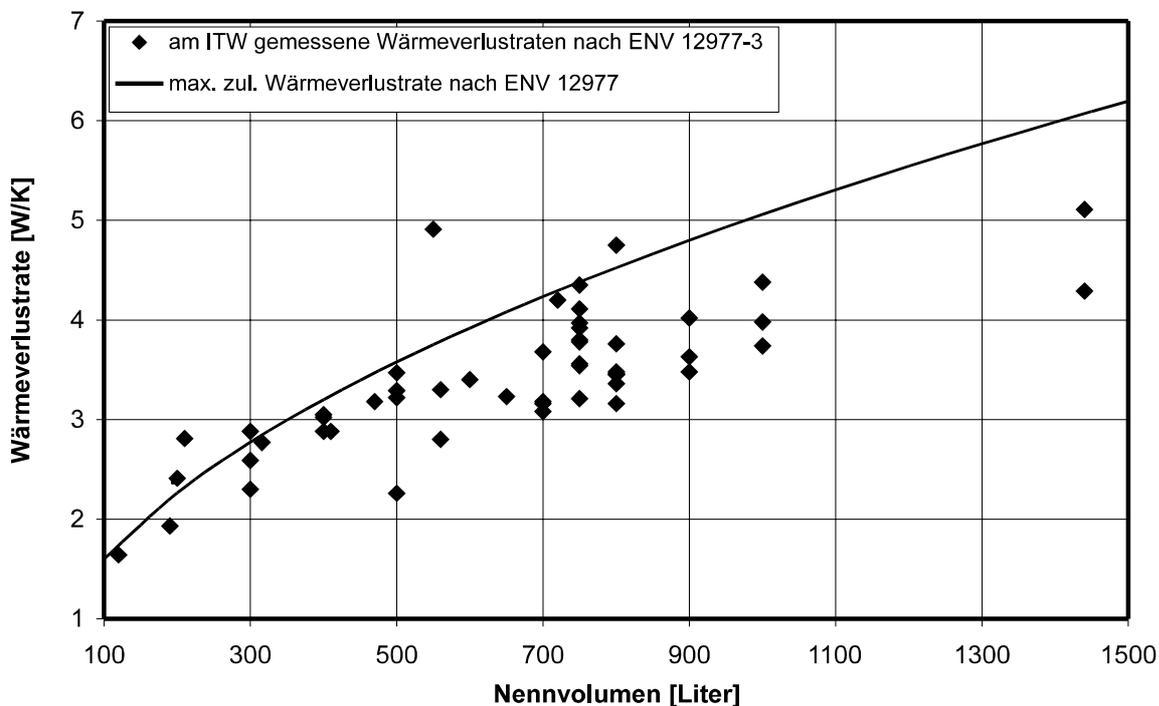


Abbildung 4: Wärmeverlustrate der am ITW geprüften Speicher

Wie aus Abb. 4 ersichtlich ist, erfüllen die meisten der auf dem deutschen Markt angebotenen Solarspeicher die Anforderungen nach ENV 12977-1. Des Weiteren ist aus Abb. 4 ersichtlich, dass die Wärmeverlustraten von Speichern (bei gleichem Volumen) teilweise um bis zu 30 % differieren. Der hieraus resultierende Einfluss auf die thermische Leistungsfähigkeit einer Solaranlage ist um ein Vielfaches größer, als die Ertragssteigerungen, die durch den Einsatz von Schichtbeladeeinrichtungen erzielbar sind.

## 4 Innovative Speicherkonzepte

Es ist offensichtlich, dass ein Ziel zukünftiger Entwicklungen eine deutliche Steigerung des solaren Deckungsanteils sein muss. Hierbei stehen solare Kombianlagen im Fokus, da sie zusätzlich zur Trinkwassererwärmung auch einen solaren Beitrag zur Raumheizung leisten und somit insgesamt eine größere Energieeinsparung ermöglichen. Welche Potenziale hierbei durch den Einsatz innovativer Speicherkonzepte vorhanden sind, wurde im Rahmen einer Simulationsstudie untersucht.

### 4.1 Randbedingungen

Die Simulationsstudie basiert auf einem Einfamilienhaus am Standort Würzburg mit einer Wohnfläche von 128 m<sup>2</sup>. Die Dachfläche, auf welcher die Kollektoren montiert sind, ist nach Süden ausgerichtet und weist eine Dachneigung von 45° auf. Der Heizwärmebedarf des Gebäudes, das der Energieeinsparverordnung (EnEv) entspricht, beträgt 71 kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. 9090 kWh/a. Die Heizungsregelung wurde witterungsgeführt mit maximalen Vor- / Rücklauftemperaturen von 50/30 °C gewählt. Der Warmwasserwärmebedarf für eine tägliche Entnahme von 200 Litern bei 45 °C beträgt 28 kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. 3590 kWh/a. Der Gesamtwärmebedarf für die Trinkwassererwärmung und Raumheizung ergibt sich somit zu 12680 kWh/a. Beim Einsatz eines Öl- oder Gasheizkessels mit einem Nutzungsgrad von 85 % beträgt der insgesamt jährlich benötigte Energiebedarf ca. 14900 kWh. Als Bewertungsgröße für die Solaranlage dient die jährliche anteilige Energieeinsparung  $f_{sav}$ . Diese Größe gibt an, wie viel Energie durch die Solaranlage im Vergleich zu einer konventionellen, nicht solaren Wärmeversorgungsanlage eingespart werden kann.

### 4.2 Große Warmwasserspeicher

Zunächst wurde untersucht, welche Energieeinsparungen sich durch den Einsatz von Speichern mit Wasser als Speichermedium erreichen lassen. Diese auf dem Einsatz konventioneller Speichertechnologien basierenden Varianten weisen im Gegensatz zu den unter Punkt 4.3 angeführten Entwicklungen neuer bzw. innovativer Speichertechnologien den Vorteil auf, dass sie zu großen Teilen auf eine bereits bekannte Technologie zurückgreifen und daher in einem kürzeren Zeitrahmen realisierbar sind.

In Abb. 5 ist die erzielbare anteilige Energieeinsparung in Abhängigkeit von der Kollektorfläche und vom Speichervolumen eines mit Wasser gefüllten Pufferspeichers dargestellt. Für den Kollektor wurden hierbei die Kennwerte eines „guten“ Flachkollektors<sup>1)</sup> (FK) angenommen.

---

<sup>1)</sup> Jahresenergieertrag 485 kWh/(m<sup>2</sup>a) nach ITW-Randbedingungen bei  $A_c = 5 \text{ m}^2$  am Standort Würzburg

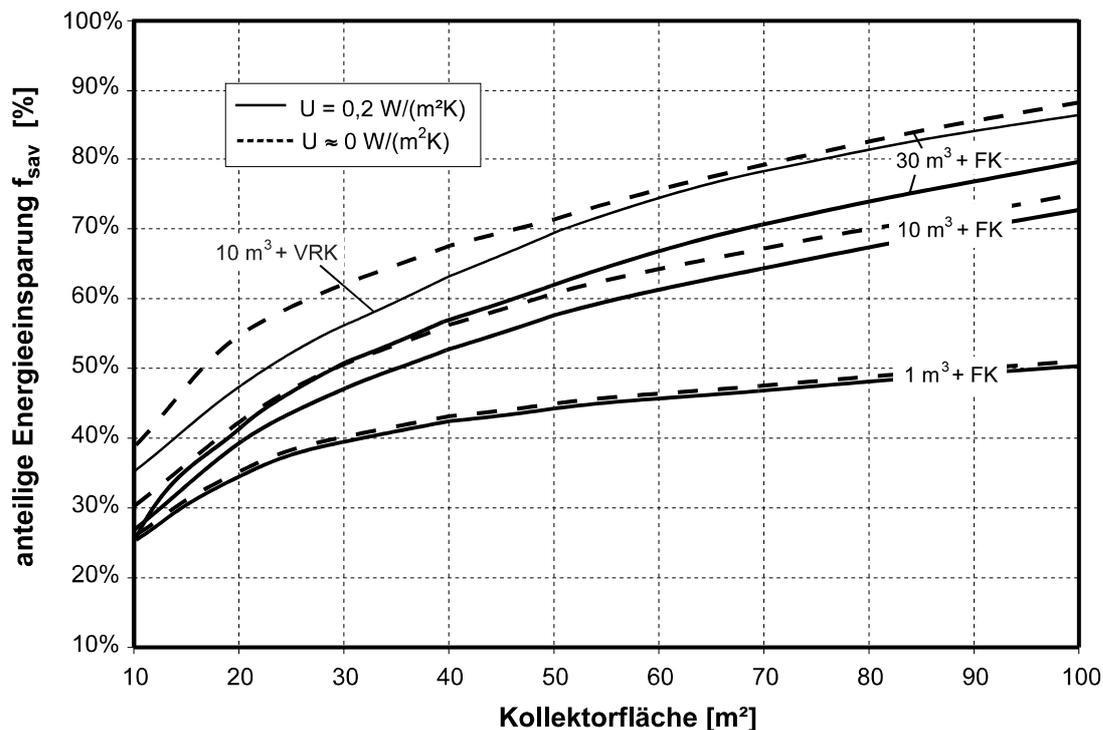


Abbildung 5: Einfluss Kollektorfläche (Flachkollektor) und Pufferspeichervolumen auf die anteilige Energieeinsparung (Volumen Trinkwasserspeicher 300 Liter).

Um aufzuzeigen, welches Potenzial sich durch mögliche Optimierungsmaßnahmen realisieren lässt, ist in dem Diagramm zusätzlich noch die Energieeinsparung eingezeichnet, die sich für einen verlustfreien Speicher (Wärmedurchgangskoeffizient  $U \approx 0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) ergeben würde.

Wie aus Abb. 5 ersichtlich ist, kann eine anteilige Energieeinsparung von 50 % bei Verwendung von Wasser als Speichermedium mit  $10 \text{ m}^3$  Volumen und - je nach eingesetzter Wärmedämmung - mit einer Kollektorfläche von 30 bis  $35 \text{ m}^2$  erzielt werden. Insbesondere beim Einsatz von solchen, relativ großen Speichern im Gebäudebestand kann der Einbau im Gebäude praktische Probleme bereiten. Wenn das Einbringen komplett vorgefertigter Stahl-Speicher nicht möglich ist, werden diese bisher häufig im Keller aus einzelnen Segmenten zusammengeschweißt. Diese Vorgehensweise ist relativ aufwändig und damit kostenintensiv. Eine interessante Alternative stellt daher die Verwendung von Kunststoff als Behältermaterial dar. Von der Fa. Haase aus Großröhrsdorf (Internet: [www.ichbin2.de](http://www.ichbin2.de)) werden Speicher bis zu einem Volumen von  $40 \text{ m}^3$  angeboten, die vor Ort aus glasfaserverstärktem Kunststoff aufgebaut werden können. Hierbei sind die einzelnen Segmente und die Wärmedämmung so ausgeführt, dass sie durch Türen üblicher Größe in das Gebäude eingebracht werden können.

In Abbildung 6 ist exemplarisch der Aufbau eines Speichers aus glasfaserverstärktem Kunststoff dargestellt.



Abbildung 6: Speicher aus glasfaser-  
verstärktem Kunststoff

### 4.3 Latent- und Sorptionsspeicher

Auf der Basis der Simulationsstudie wurden ebenfalls die Potenziale von Latent- und Sorptionsspeichern untersucht. Die hierfür ermittelten Ergebnisse sind in Abbildung 7 zusammengestellt. Als Referenz sind hier zusätzlich zwei Kurven für einen Warmwasserspeicher mit konventioneller Wärmedämmung eingezeichnet (vgl. Kapitel 4.2).

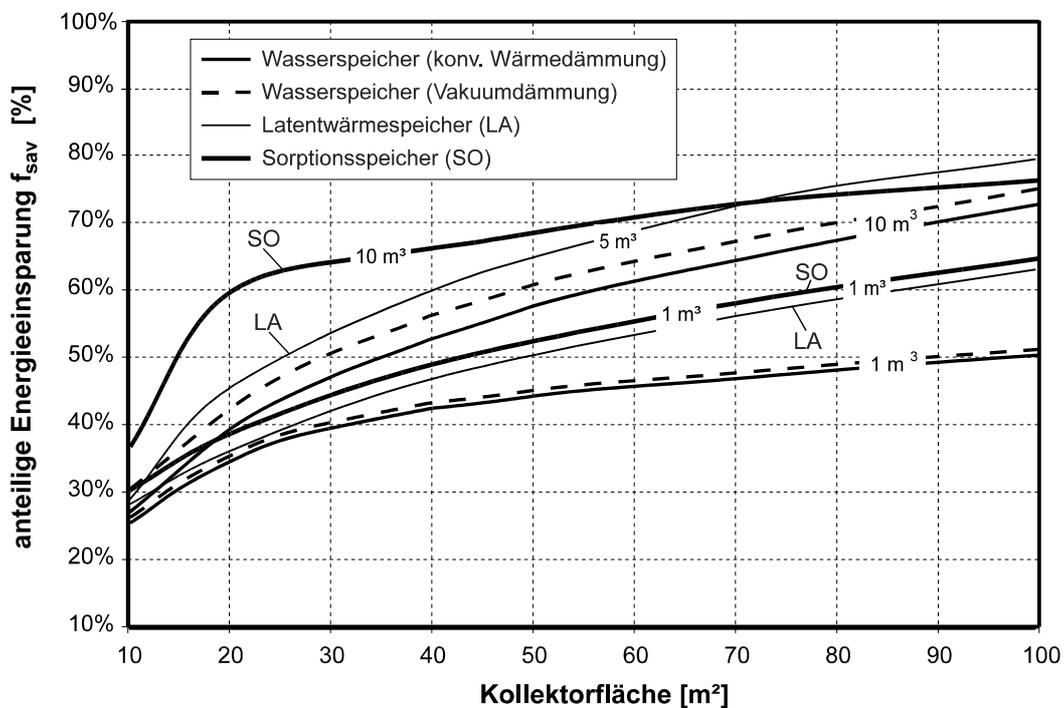


Abbildung 7: Anteilige Energieeinsparung für unterschiedliche Speichertechnologien und Speichervolumina (zzgl. 750 Liter Volumen des „konventionellen“ Kombispeichers) in Abhängigkeit von der Kollektorfläche (Flachkollektor)

Aus Abb. 7 ist ersichtlich, dass es beim Einsatz von Latentwärme- oder Sorptionsspeichern bereits mit einem wirksamen Speichervolumen von ca. 1 m<sup>3</sup> (zzgl. 750 Litern für einen „konventionellen“ Kombispeicher) und Kollektorflächen im Bereich von etwa 45 m<sup>2</sup> bis 50 m<sup>2</sup> (Flachkollektor) möglich ist mehr als die Hälfte des Wärmebedarfs durch Solarenergie zu decken. Bei Einsatz eines konventionellen Wasserspeichers wäre hierfür bei einem Volumen von 10 m<sup>3</sup> eine Kollektorfläche von 35 m<sup>2</sup> erforderlich.

Bei den in Abb.7 für die Latent- und Sorptionsspeicher angegebenen Speichervolumina ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich aufgrund der hier idealisiert getroffenen Annahmen um die effektiv wirksamen Speichervolumina handelt und die tatsächlich benötigten Volumina aufgrund der notwendigen Wärmeübertrager bzw. Kondensatbehälter durchaus um den Faktor zwei größer sein können.

Gegenwärtig befindet sich sowohl die Latentwärme- als auch die Sorptionsspeichertechnologie für den hier zugrunde gelegten Anwendungsfall noch in der wissenschaftlichen und industriellen Entwicklungsphase. Entsprechende Speicher werden bisher nur von einigen wenigen Firmen angeboten. Langfristig sollte jedoch kein Weg an diesen Technologien vorbei führen.

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

In diesem Beitrag wurde über die historische Entwicklung, den aktuellen Stand sowie die Potenziale zukünftiger, innovativer Speichertechnologien berichtet.

Die zu Beginn der thermischen Solarenergienutzung vor bereits mehr als 100 Jahren in den USA in Solaranlagen eingesetzten Warmwasserspeicher wurden vorgestellt. Der prinzipielle Aufbau und die Funktion der heute in Verbindung mit Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und für solare Kombianlagen verwendeten Speicherbauweisen wurden beschrieben. Abschließend ist auf der Basis einer Simulationsstudie aufgezeigt worden, welche Potenziale beim Einsatz innovativer Speicherkonzepte vorhanden sind.

Die kostengünstige, effiziente und umweltfreundliche Speicherung von Wärme ist eine der Schlüsseltechnologien für die weitere Entwicklung der Solartechnik. Im Hinblick auf das sich aufgrund der Siedlungsstruktur und des zur Modernisierung anstehenden Gebäudebestandes zur Verfügung stehende Marktpotenzial gilt dies insbesondere für sogenannte solarthermische „Kleinanlagen“.

Aus diesem Grunde wurde, unter maßgeblicher Mitarbeit des ITW, von der IEA (Internationale Energieagentur) im Solar Heating and Cooling Program eine entsprechende Arbeitsgruppe (Task 32) etabliert. Die Task 32 hat die Bezeichnung „Advanced Storage Concepts for Solar Buildings“ /3/. In ihr bemühen sich gegenwärtig europäische Firmen und Forschungsinstitute gemeinsam darum, die Speichertechnologie und damit auch die Solartechnologie einen entscheidenden Schritt voran zu bringen.

## **6 Literatur**

**/1/ Drück H., Hahne E.,** (1998), Kombispeicher auf dem Prüfstand, Tagungsband zum achten Symposium Thermische Solarenergie, Seiten 90 - 94, Otti-Technologie-Kolleg, Regensburg

**/2/ Drück H., Heidemann W., Müller-Steinhagen H.,** (2004), Potenziale innovativer Speichertechnologien für solare Kombianlagen, Tagungsband zum 14. Symposium Thermische Solarenergie, Seiten 104 – 109, Otti, Regensburg, 2004, ISBN 3-934681-33-6

**/3/ Kerskes H., Drück H., Müller-Steinhagen H.,** (2006), Verbesserte Speicherkonzepte für solare Gebäude und Niedrigenergie-Häuser – Ein Überblick über die Arbeiten der IEA-SHC Task 32, Tagungsband zum 16. Symposium Thermische Solarenergie, Otti, Regensburg

# MODELLIERUNG DER EFFEKTIVEN WÄRMELEITFÄHIGKEIT HOCHPORÖSER SCHÜTTFÄHIGER DÄMMSTOFFE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TEMPERATUR UND VOM WASSERGEHALT

Dipl.-Ing. Fabian Ochs <sup>1)</sup>, H. Müller-Steinhagen <sup>1) 2)</sup>

<sup>1)</sup> Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 6, 70569 Stuttgart,

Fon ++49 711 685 6 3278 – Email ochs@itw.uni-stuttgart.de

<sup>2)</sup> DLR Stuttgart, Institut für Technische Thermodynamik

Der Einsatz von Wärmedämmstoffen in erdvergrabenen thermischen Speichern, wie sie z.B. für die saisonale Wärmespeicherung in solar unterstützten Nahwärmesystemen benötigt werden, erfordert die Kenntnis der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs als Funktion der Temperatur und des Wassergehalts. Im vorliegenden Beitrag wird die Modellierung der effektiven Wärmeleitfähigkeit von schüttfähigen und druckbeständigen Dämmstoffen im für saisonale Wärmespeicher relevanten Temperaturbereich zwischen 10 und 90 °C beschrieben.

Unter den im VDI Wärmeatlas [1] genannten Modellen ist das von Krischer [2] entwickelte Schichtenmodell am besten geeignet, um die effektive Wärmeleitfähigkeit von porösen Stoffen und Schüttungen unter Feuchte- und Temperatureinfluss zu berechnen.

Die Erweiterung des Schichtenmodells um eine zusätzliche Schicht, die den Anteil der geschlossenen und somit von der Feuchte unbeeinflussten Poren berücksichtigt, erlaubt die exaktere Modellierung der effektiven Wärmeleitfähigkeit hochporöser Schüttungen mit teilweise geschlossener Porenstruktur.

Unter Einfluss von Feuchte wird die effektive Wärmeleitfähigkeit bei hohen Temperaturen (> 60 °C) überwiegend durch Porendiffusion bestimmt. Der Anteil der benetzten Poren, in denen die Porendiffusion stattfindet, wird, analog zu einem Vorschlag zur Beschreibung der Sorptionsisotherme von Holms et al. [3], als materialspezifische Funktion beschrieben:

$$b = \exp\left(m_1 \cdot \left(\frac{u_{fs}}{u} - 1\right)^{m_2}\right) \quad (1)$$

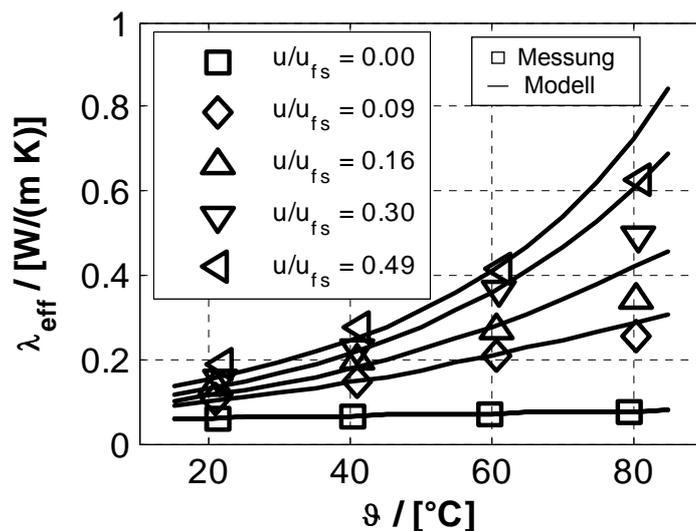


Bild 1: Messwerte und Modellkurven der effektiven Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{\text{eff}}$  von Blähglasgranulat, 4-8 mm Körnung mit  $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$  und  $u_{fs} = 500 \text{ kg/m}^3$

Die darin enthaltenen Anpassungsparameter  $m_1$  und  $m_2$  können bei Kenntnis der freien Sättigung ( $u_{fs}$ ) als Funktion des Wassergehalts ( $u$ ) z.B. mit dem Nelder-Mead Verfahren [4] bestimmt werden.

Für sieben hochporöse Schüttungen (Blähglasgranulat (3), Blähton (3) und Schaumglasschotter (1)), sowie für Mineralwolle wurden die Modelldaten mit Messwerten verglichen. Dafür wurde die effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe bei unterschiedlichen Wassergehalten unterhalb der freien Sättigung im Temperaturbereich zwischen 20 und 80 °C mit einer modifizierten Zwei-Platten-Apparatur in Anlehnung an die DIN 52612 [5] gemessen.

Der Vergleich von Mess- und Rechenwerten zeigt im gesamten Temperaturbereich eine gute Übereinstimmung (vgl. Bild 1). Insbesondere im Bereich höherer Temperaturen ( $> 40 \text{ °C}$ ) liefert das vorgestellte Modell wesentlich zuverlässigere Werte als eine nach dem Stand der Technik übliche temperaturunabhängige Beschreibung der effektiven Wärmeleitfähigkeit (vgl. [6]).

## Literatur

- [1] VDI-Wärmeatlas, Kap. Dee, 9. Auflage, Springer Verlag, 2002.
- [2] Krischer O., Kast W.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, 3. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992.
- [3] Holm A., Krus M., Künzel H. M.: Approximation der Feuchtespeicherfunktion aus einfach bestimmbar Kennwerten, IBP-Mitteilungen 406, 29 (2002), Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart, 2002.
- [4] Nelder J. A., Mead R., A Simplex Method for Function Minimization, Computer Journal, Vol. 7, p. 308-313, 1965.

[5] **DIN 52 612**, Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät, 1979.

[6] **Ochs F., Stumpp H., Mangold D., Heidemann W., Müller-Steinhagen H.:** Bestimmung der feuchte- und temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen , OTTI, 14. Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, 2004.



# **Saisonale Wärmespeicher: Neue Pilotanlagen im Programm Solarthermie2000plus und Forschungsperspektiven**

D. Mangold, Th. Schmidt  
Solites – Steinbeis Forschungsinstitut für solare  
und zukunftsfähige thermische Energiesysteme  
Nobelstr. 15, 70569 Stuttgart  
Tel.: +49-711 / 673 2000 0; Fax: +49-711 / 673 2000 99  
E-Mail: info@solites.de; www.solites.de

## **1. Einleitung**

Die Entwicklung von Techniken zur saisonalen Wärmespeicherung begann in Deutschland mit dem Bau eines Forschungsspeichers im Jahr 1984 (Hahne, 2000). Durch das Forschungs- und Demonstrationsprogramm Solarthermie-2000 konnten in den Jahren 1995 bis 2002 acht Pilotanlagen zur solarthermischen saisonalen Wärmespeicherung realisiert und wissenschaftlich-technisch begleitet werden. Der saisonale Wärmespeicher nimmt hierbei die durch große Kollektorflächen vorwiegend in den Sommermonaten gewonnene Solarenergie auf und speichert diese bis zur Heizsaison.

Durch das wissenschaftlich-technische Begleitprogramm wurde die Dimensionierung der Kollektorfläche und des Speichervolumens vorgegeben und die Planung und Realisierung der Pilotanlagen begleitet. Durch das daran anschließende umfangreiche Messprogramm konnte die Funktion von allen realisierten Speicherkonzepten nachgewiesen werden.

Seit Februar 2004 wird das Forschungs- und Demonstrationsprogramm unter dem Namen Solarthermie2000plus durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) fortgesetzt. Dies ermöglicht nun nach der für Pilotanlagen dieser Größe notwendigen jahrelangen Projektentwicklung den Bau weiterer saisonaler Wärmespeicher: im Jahr 2006 werden die saisonalen Wärmespeicher in München gebaut und in Crailsheim begonnen. Im Jahr 2007 wird ein Speicher in Eggenstein-Leopoldshafen folgen. Weitere Projekte sind in Planung.

Solites führt unter anderem die wissenschaftlich-technische Programmbegleitung für alle Anlagen mit saisonalem Wärmespeicher durch, deren Realisierung mit Fördermitteln von Solarthermie2000plus erfolgt. Die Pilotprojekte, die saisonale Wärmespeicher meist in ein Nahwärmenetz einkoppeln, werden in Zusammenarbeit mit den beteiligten Forschungspartnern und Planern entwickelt. Hierbei werden mehrere technische Schwerpunkte parallel verfolgt: neben den Techniken zur saisonalen Wärmespeicherung sind dies hauptsächlich die technologische Weiterentwicklung großer solarthermischer Kollektorfelder, die Integration des Solarsystems und des Wärmespeichers in das restliche Energieerzeugungssystem, Niedertemperatur-Nahwärmenetze, Technologien zur Reduzierung der Netzurücklaufemperatur und zur Erhöhung des solaren Nutzwärmeertrages bei hoher Netzurücklaufemperatur und

Methoden zur Qualitätssicherung und praxisgerechten Umsetzung der Anforderungen dieser innovativen Techniken. Ziel ist hierbei, eine gleichzeitige Effizienzerhöhung bei sinkenden Investitionskosten der solar unterstützten Nahwärmesysteme mit saisonalem Wärmespeicher zu erreichen, um die Wirtschaftlichkeit der genutzten Solarwärme Schritt für Schritt zu verbessern, bis in einigen Jahren die Wirtschaftlichkeit der saisonalen Wärmespeicherung von Solarwärme erreicht werden kann.

Im Folgenden werden die Entwicklungen der saisonalen Wärmespeicher, die durch die mit Unterstützung von Solarthermie-2000 begleiteten acht Pilotanlagen entstanden sind, zusammengefasst und hieraus die Entwicklungen der aktuellen Speicherkonzepte für die Projekte in München und in Crailsheim abgeleitet. Eine Projektion dieser Entwicklungen in die Zukunft zeigt die Forschungsperspektiven auf.

## 2. Der Technologiefortschritt in den letzten 10 Jahren

Eine der Hauptaufgaben der ersten beiden Pilotanlagen mit saisonalem Wärmespeicher, die Ende 1996 in **Friedrichshafen und Hamburg** in Betrieb gingen, war der Nachweis, dass eine saisonale Wärmespeicherung von Solarwärme im Siedlungsmaßstab umsetzbar ist und funktioniert. Diesen Nachweis konnten beide Anlagen vollständig erbringen, auch wenn der Nutzwärmeertrag der Speicher geringer als erwartet ist. Die Ursachen hierfür sind:

1. Die Netzurücklauftemperatur, auf die der Speicher auskühlen kann, ist durchschnittlich bis über 15 K höher als erwartet. Dies reduziert die maximal nutzbare, gespeicherte Wärmemenge, und die Wärmeverluste durch den ungedämmten Speicherboden sind deutlich höher als geplant.
2. Die Dämmwirkung der in beiden Projekten eingesetzten Mineralfaser nimmt bei höheren Temperaturen (40 bis 90 °C) aufgrund der durch den Einbau im Erdreich verursachten geringen Feuchte wesentlich stärker zu als zum Planungszeitpunkt bekannt war. Hierzu zeigt der Beitrag von F. Ochs genaue Werte.
3. Die Temperaturschichtung in den Speichern ist geringer als die mit den damals vorhandenen Rechenmodellen berechnete. Dadurch reduziert sich die nutzbare Temperatur im Deckenbereich und erhöht sich die Temperatur und damit der Wärmeverlust im ungedämmten Bodenbereich.

Mit dem Bau des Kies-Wasser-Wärmespeichers in **Steinfurt-Borghorst** im Jahr 1998 wurde zum einen die Notwendigkeit einer niedrigen Netzurücklauftemperatur konsequent in die Praxis umgesetzt. Das Nahwärmenetz erreicht leistungsgemittelte Netzurücklauftemperaturen von rund 35 °C. Zum anderen wurde erstmals ein robuster, feuchteunempfindlicher und schüttfähiger Dämmstoff verwendet: Blähglasgranulat. Im Juni 2000 führte ein Ausfall beider Drainagepumpen des Speichers zu einer völligen Flutung der Wanddämmung. Aufgrund der guten Drainagewirkung der Blähglasgranulatschüttung und der Feuchteunempfindlichkeit der Dämmkugeln konnte die Dämmung innerhalb von rund zwei Jahren wieder austrocknen und ein grundlegendes Bauprinzip für das Wärmedämmsystem von im Erdreich vergrabenen Wärmespeichern war gefunden: Es muss havariesicher sein.

Auch im Abdichtsystem zeigt sich dieser Ansatz: während der Kies-Wasser-Wärmespeicher in Chemnitz, der zwei Jahre vor dem Speicher in Steinfurt-Borghorst geplant wurde, eine einlagige Abdichtfolie besitzt, wurde in Steinfurt-Borghorst eine zweilagige Abdichtfolie aus PP eingebaut. Das zwischen den beiden Folienlagen erzeugte geringe Vakuum wurde während der Bauphase durch Löcher in der Abdichtbahn mehrmals zerstört. Diese konnten dann repariert werden – auch hier zeigt sich das Prinzip der Havariesicherheit.

Zur Reduzierung der spezifischen Baukosten der ersten Behälterspeicher in Friedrichshafen und Hamburg durch den Verzicht auf die teure Edelstahlauskleidung wurde währenddessen an der Universität Stuttgart ein neuartiger Hochleistungsbeton entwickelt, der auch bei hohen Temperaturen wasserdicht bleibt. Im Behälterspeicher in **Hannover-Kronsberg** wurde im Jahr 2000 dieser Beton eingesetzt. Es zeigte sich jedoch, dass zur Sicherstellung der Dichtheit eine Rissbreitenbeschränkung notwendig ist, die eine sehr hohe und dadurch kostenintensive Bewehrung des Betons erfordert – die geplante Kostenreduktion konnte nicht erzielt werden.

In **Rostock** wurde im Jahr 2000 erstmals ein Aquifer-Wärmespeicher erschlossen, der im oberflächennahen Bereich bis in 30 m Tiefe Solarwärme auf einem Temperaturniveau bis maximal 50 °C speichert. Durch eine konsequent umgesetzte Niedertemperatur-Haustechnik – die Radiatoren-Raumheizung ist auf eine Vorlauftemperatur von 45 °C ausgelegt – und den Einsatz einer Wärmepumpe, die auf einen Pufferspeicher mit 30 m<sup>3</sup> arbeitet, konnte diese Anlage im Jahr 2002 erstmals den geplanten solaren Deckungsanteil von 50 % des jährlichen Gesamtwärmebedarfs erzielen.

Der Aquifer-Wärmespeicher funktioniert zuverlässig. In den letzten beiden Jahren hat sich der Gehalt an organischen Substanzen im Speicherhorizont zwar nicht besorgniserregend, aber doch leicht erhöht. Dies wird in den folgenden Monaten detailliert untersucht.

Der Erdsonden-Wärmespeicher in **Neckarsulm** ist in beiden realisierten Ausbaustufen aus Polybuten-Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonden gebaut. Dieses im Vergleich zu sonstigen Sonden aus PE sehr teure Sondenmaterial war das zum damaligen Zeitpunkt einzig verfügbare, das dem notwendigen Innendruck bei der gegebenen Temperaturbelastung bis 95 °C dauerhaft standhält und schweißbar ist, um den Sondenfuß herstellen zu können. In der ersten Ausbaustufe besteht die Wärmedämmung, die in rund 2 bis 3 m Tiefe auf dem Speicherhorizont liegt, aus direkt im Erdreich liegenden, extrudierten Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS). Messungen an dieser Wärmedämmung, die während den Bohrarbeiten zur zweiten Ausbaustufe durchgeführt werden konnten, zeigten, dass das XPS entgegen der Herstelleraussage aufgrund der Temperaturbelastung von dauerhaft über 50 °C stark durchfeuchtet ist. Die Dämmwirkung ist dadurch deutlich reduziert. In der zweiten Ausbaustufe wurden die XPS-Platten daher in Dichtbahnen eingeschweißt. Diese Ausführung stellte sich jedoch als sehr kostenintensiv dar.

Eine Übersicht der Pilotanlagen zeigt Tabelle 1. Zu jedem Speicher sind umfangreiche, detaillierte Ergebnisse dokumentiert – z.B. in den Forschungsberichten der wissenschaftlich-technischen Projektbegleitung (Benner, 2004; Mangold, 2005a).

Tabelle 2 fasst den Technologiefortschritt der letzten 10 Jahre für die Behälter-, Erdbecken- und Erdsonden-Wärmespeicher zusammen und zeigt die derzeitigen Entwicklungslinien auf. Aquifer-Wärmespeicher wurden kaum mehr für eine solarthermische Wärmespeicherung angefragt. Seit rund zwei Jahren steigt jedoch das Interesse an Aquifer-Wärmespeichern zur Speicherung von Abwärme aus Gebäuden oder aus der Stromerzeugung.

Zur Weiterentwicklung der Erdbecken-Wärmespeichertechnologie wird auf den Beitrag von F. Ochs verwiesen, der einen Teil der Ergebnisse des gleichnamigen Forschungsvorhabens vorstellt.

Tabelle 1: Übersicht der Pilotanlagen aus Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus

		<b>Hamburg<sup>1</sup></b>	<b>Friedrichshafen<sup>1</sup></b> Planung im Endausbau (Stand)	<b>Neckarsulm<sup>1</sup></b> Phase I (Phase II)	<b>Steinfurt<sup>1</sup></b>	<b>Chemnitz<sup>2</sup></b> (1. BA)
Jahr der Inbetriebnahme		1996	1996	1997 (2001)	1998	2000
Versorgungsgebiet		124 RH	Endausbau:  570 WE in MFH  (390)	6 MFH, Einkaufszentrum, Schule, Sporthalle, Altenheim etc.	42 WE in 22 EFH und kleinen MFH	Planung:  Bürogebäude, Hotel und Einkaufszentrum
Beheizte Wohn- / Nutzfläche	m <sup>2</sup>	14 800	39 500 (33 000)	(25 000)	3 800	4 680
Kollektorfläche (A-pertur)	m <sup>2</sup>	3 000 FK	5 600 FK (4 050)	2 700 FK (5 260)	510 FK	540 VRK
Speichervolumen	m <sup>3</sup>	4 500 HWWS	12 000 HWWS	100 HWWS + 20 000 EWS (200 + 63 300)	1 500 KWWS	8 000 KWWS
Gesamtwärmebedarf	MWh/a	1 610	4 106 (3 000)	1 663 (2 200)	325	1. BA: 573
Nutzwärmelieferung Solarsystem*	MWh/a	789	1 915	832	110	1. BA: 169
Solarer Deckungsanteil*	%	49	47	50	34	1. BA: 30
Kosten Solarsystem (ohne Förderung)	Mio. Euro	2,2	3,2	3,5	0,5	1. und 2. BA: 1,4
Solare Wärmekosten* (o. MwSt. u. Förderung, inkl. Planung)	Ct./kWh	25,7	15,9	26,5	42,3	1. und 2. BA: 24,0

		Rostock <sup>3</sup>	Hannover <sup>4</sup>	Attenkirchen <sup>5</sup>	München (in Realisierung)	Crailsheim (in Realisierung, 1.BA)
Jahr der Inbetriebnahme		2000	2000	2002	2006	2006
Versorgungsgebiet		108 WE in MFH	106 WE in MFH	30 EFH	300 WE in MFH	260 WE in EFH, DH u. RH, Schule, Sporthalle
Beheizte Wohn- / Nutzfläche	m <sup>2</sup>	7 000	7 365	6 200	24 800	40 000
Kollektorfläche (A-pertur)	m <sup>2</sup>	1 000 FK	1 350 FK	800 FK	2 900 FK	7 300 FK
Speichervolumen	m <sup>3</sup>	30 HWWS 20 000 AWS	2 750 HWWS	500 HWWS + 9 350 EWS	5 700 HWWS	480 + 100 HWWS + 37 500 EWS
Gesamtwärmebedarf	MWh/a	497	694	487	2 300	4 100
Nutzwärmelieferung Solarsystem*	MWh/a	307	269	378	1 080 <sup>5</sup>	2 050 <sup>1</sup>
Solarer Deckungsanteil*	%	62 <sup>3</sup>	39	55 <sup>#</sup>	47 <sup>5</sup>	50 <sup>1</sup>
Kosten Solarsystem (ohne Förderung)	Mio. Euro	0,7	1,2	0,76	2,9	4,5
Solare Wärmekosten* (o. MwSt. u. Förderung, inkl. Planung)	Ct./kWh	25,5	41,4	19,0	24,0	19,0

\*: Berechnete Werte für den langfristigen Betrieb, #: Primärenergieeinsparung  
<sup>1</sup>: Angaben ITW Universität Stuttgart, <sup>2</sup>: Angaben TU Chemnitz, <sup>3</sup>: Angaben GTN Neubrandenburg, <sup>4</sup>: Angaben IGS Universität Braunschweig, <sup>5</sup>: Angaben ZAE Bayern

WE: Wohneinheit, EFH: Einfamilienhaus, DH: Doppelhaus, RH: Reihenhause, MFH Mehrfamilienhaus, BA: Bauabschnitt

FK: Flachkollektor, VRK: Vakuum-Röhren-Kollektor

HWWS: Heißwasser-Wärmespeicher, KWWS: Kies/Wasser-Wärmespeicher, EWS: Erdsonden-Wärmespeicher, AWS: Aquifer-Wärmespeicher

Tabelle 2: Übersicht der Technologieentwicklung der saisonalen Wärmespeicher

Behälter-Wärmespeicher

	<b>Erste Generation</b>	<b>Zweite Generation</b>	<b>Dritte Generation</b>
<b>Speicherkonstruktion</b>	Ortbetonbehälter; Wand und Dach gedämmt	Ortbetonbehälter; Wand und Dach gedämmt	Ortbetonbehälter oder vorgespannte Fertigteilkonstruktion; ggf. unter Innendruck; Boden, Wand und Dach gedämmt
<b>Abdichtung</b>	Edelstahlblech, verschweißt	Hochleistungsbeton (HLB)	Edelstahl- oder Schwarzstahlblech, auf Fertigteilen vormontiert und verschweißt
<b>Wärmedämmung</b>	Mineralfaser	Blähglasgranulat in Gewebesäcken	Boden: Schaumglas-schotter; Wand und Dach: Blähglasgranulat in Membranschalung
<b>Schutz der Wärmedämmung</b>	konventionell: Mineralfaser und Abdichtbahn	Dampfsperre, Wärmedämmung und diffusionsoffene Dichtbahn	dampfdiffusionsoffene „Dachdämmkonstruktion im Erdreich“, havariesicher
<b>Be- und Entladesystem</b>	obere und untere Tasse	zusätzlich mittlere Tasse	Schichtbeladesystem, Tassen mit automatischer Höhenregulierung
<b>Pilotprojekte</b>	Friedrichshafen und Hamburg (1995)	Hannover (2000)	München und Crailsheim (2005/ 2006)

Erdbecken-Wärmespeicher

	<b>Erste Generation</b>	<b>Zweite Generation</b>	<b>Dritte Generation</b>
<b>Speicherkonstruktion</b>	Kiesgefüllte Grube mit Berliner Verbau	Kiesgefüllte Grube, natürlich geböscht	Wassergefüllte Grube mit schwimmendem oder freitragendem Dach
<b>Abdichtung</b>	einlagige HDPE-Kunststoffolie, verschweißt	Zwei Lagen PP-Kunststoffolie mit Vakuumkontrolle, verschweißt	Verbundfolie Alu-Kunststoff, verschweißt
<b>Wärmedämmung</b>	XPS-Dämmplatten	Blähglasgranulat in Gewebesäcken	Blähglasgranulat in Membranschalung

	<b>Erste Generation</b>	<b>Zweite Generation</b>	<b>Dritte Generation</b>
<b>Schutz der Wärmedämmung</b>	konventionelle Abdichtbahn	konventionelle Abdichtbahn	dampfdiffusionsoffene „Dachdämmkonstruktion im Erdreich“, havariesicher
<b>Be- und Entladesystem</b>	direkt	Rohrregister in mehreren Ebenen	Schichtbeladesystem
<b>Pilotprojekte</b>	Chemnitz (1996)	Steinfurt-Borghorst (1998)	Eggenstein-Leopoldshafen (2007)

### Erdsonden-Wärmespeicher

	<b>Erste Generation</b>	<b>Zweite Generation</b>
<b>Speicherkonstruktion</b>	Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonden aus Polybuten in rechteckigem Grundriss, parallel erweiterbar	Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonden aus PEX in kreisförmigem Grundriss, konzentrisch erweiterbar
<b>Wärmedämmung</b>	XPS-Dämmplatten	Schaumglasschotter
<b>Schutz der Wärmedämmung</b>	konventionelle Abdichtbahn	dampfdiffusionsoffene Dichtbahn
<b>hydraulische Verbindung</b>	Sonden mit Horizontalverrohrung verschweißt, 10 Schächte mit Verteilern	Sonden mit unterschiedlichen Schenkellängen, 1 zentraler Schacht, minimierte Verbindungen mit Pressfittingen
<b>Pilotprojekte</b>	Neckarsulm (1997/ 2001), Attenkirchen (2002)	Crailsheim (2007)

### 3. Die neuen Pilotanlagen in München und Crailsheim

Die Entwicklung der Pilotprojekte zur solaren Nahwärme mit saisonalem Wärmespeicher in München und in Crailsheim begann im Jahr 2000. Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, wird in beiden Projekten jeweils die nächste Generation der Wärmespeicher umgesetzt. Während in München ein großer Behälterspeicher aus Betonfertigteilen erstellt wird, wurde in Crailsheim schon im Jahr 2004 ein Pufferspeicher mit 100 m<sup>3</sup> in völlig neuartiger Bauweise erstellt. Im Jahr 2007 wird das System in Crailsheim durch den Bau des Erdsonden-Wärmespeichers komplettiert. Im Folgenden werden die Speicherkonzepte dieser Pilotanlagen vorgestellt. Detaillierte Informationen sind z.B. in Mangold (2006) zu finden.

### 3.1. Die solare Nahwärme am Ackermannbogen (SNAB) in München

Die Entwicklung des Speicherkonzeptes für das Pilotprojekt SNAB bezog alle vier Speichertypen Behälter-, Erdbecken-, Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher ein. Aufgrund der geologischen Randbedingungen, der Anforderungen des Wärmeverversorgungssystems und den Wünschen des Bauherrn wurde letztendlich ein Behälterspeicher mit 5.700 m<sup>3</sup> Wasserinhalt zur Ausführungsplanung empfohlen.

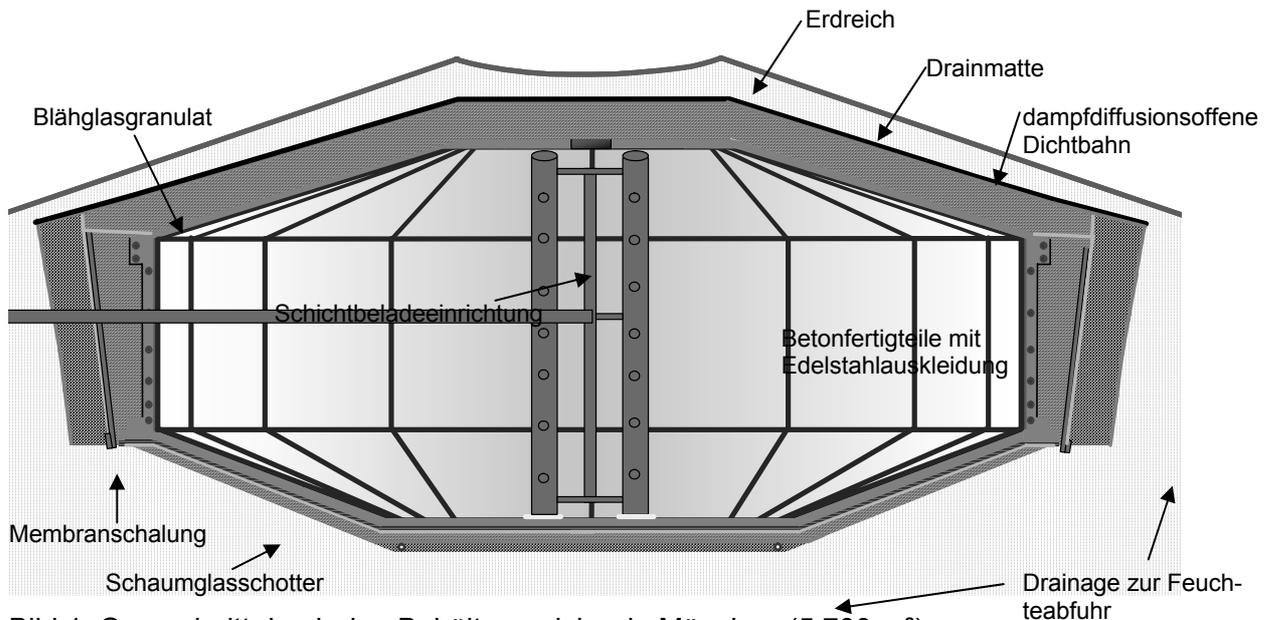


Bild 1: Querschnitt durch den Behälterspeicher in München (5.700 m<sup>3</sup>)

Bild 1 zeigt einen Querschnitt durch den Speicher. Dieser besteht aus einem Kegelstumpf in einer rund 5 m tiefen Baugrube, der in Ort beton ausgeführt wird. Aufgrund der in den seitherigen Wärmespeichern gemessenen Wärmeverluste über die Bodenplatte, die jeweils deutlich über den erwarteten Werten liegen, erhält dieser Speicher eine Wärmedämmung des unteren Speicherbereiches aus Schaumglasschotter. Der auf dem Kegelstumpf ruhende, rund 10 m hohe Zylinder wird aus Betonfertigteilen, die auf der Speicherinnenseite eine Edelstahlauskleidung tragen, aufgestellt und vorgespannt. Hierauf wird ein weiterer Kegelstumpf aus Fertigteilen aufgebaut, die ebenso die Edelstahlauskleidung integrieren. Die Stöße der Edelstahlauskleidung werden von innen verschweißt. Die Speicherform ist dem A/V-Optimum einer Kugel angenähert. Die Speicherwände und der Speicherdeckel werden wie in Hannover mit Blähglasgranulat wärmege dämmt. Die Dämmstärke nimmt dabei vertikal von unten nach oben auf max. 70 cm zu. Die Wärmedämmung wird durch eine vertikale Drainage vor Erdfeuchtigkeit geschützt.

Im Vergleich zu den Bauweisen der ersten und zweiten Generation von Behälterspeichern sind die in München erwarteten Speicherbaukosten um ca. 20 % reduziert – bei gleichzeitig verbesserter Wärmedämmung des Speichers.

### 3.2. Die solare Nahwärme Hirtenwiesen 2 in Crailsheim

Im Jahr 2004 wurde in Crailsheim eine erste Ausbaustufe des solaren Nahwärmenetzes mit insgesamt 700 m<sup>2</sup> Kollektorfläche und einem 100 m<sup>3</sup> großen Heißwasser-Pufferspeicher zur Kurzzeit-Wärmespeicherung in Betrieb genommen. Im Herbst 2006 wird ein weiterer Pufferspeicher mit 480 m<sup>3</sup> fertig gestellt. Dieser dient zur Pufferung der täglichen, von den Kollektorflächen gelieferten Wärmemenge, die vorwiegend in den Erdsonden-Wärmespeicher eingespeichert wird. Hierdurch kann die maximale Beladeleistung des Erdsonden-Wärmespeichers deutlich unter der maximalen Wärmeleistung der Kollektorflächen gehalten werden. Dadurch ist trotz der Baukosten des 480 m<sup>3</sup> großen Pufferspeichers eine bessere Wirtschaftlichkeit des Speichersystems erzielbar. Der Erdsonden-Wärmespeicher soll im Frühjahr 2007 gebaut werden.



Bild 2: Bau des 100 m<sup>3</sup>-Pufferspeichers in Crailsheim im Jahr 2004

Beide Pufferspeicher werden mit 3 bar Innendruck betrieben. Da dadurch kein Luftvolumen zur Aufnahme des Wasserausdehnungsvolumens im Speicherdeckbereich möglich ist, kann die innere Auskleidung aus Schwarzstahl anstatt aus Edelstahl ausgeführt werden. Dieser neuartige Ansatz eines Druckspeichers bietet neben der reduzierten Korrosionsgefahr weitere Vorteile: Die Kollektorfelder können bis auf ca. 110 °C Vorlauftemperatur betrieben werden. Die Betriebserfahrungen der Anlagen in Hamburg und Friedrichshafen zeigen, dass dadurch bei außergewöhnlich strahlungsstarken Sommermonaten die Stagnationsgefahr im Solarkreis stark reduziert werden kann. Zum zweiten sind beide Pufferspeicher direkt ohne Wärmeübertrager in das Wärmeversorgungsnetz eingebunden und dienen zur Druckhaltung in diesem Netz.

Durch diesen Mehrfachnutzen der beiden Speicher können Investitionskosten für die Druckhaltung eingespart werden – wie auch durch den Verzicht auf die sonst zur Trennung der unterschiedlichen Druckniveaus notwendigen Wärmeübertrager. Dieser Verzicht spart nicht nur Investitionskosten ein, sondern erhöht gleichzeitig die Effizienz des Solarsystems, da die Solarkollektoren auf einem um die treibende Temperaturdifferenz der Wärmeübertrager (rund 3 K) niedrigerem Temperaturniveau betrieben werden können.

Der 100 m<sup>3</sup>-Pufferspeicher ist aus Betonzylindern ähnlich den bekannten Abwasserrohren erstellt und vorgespannt. Bild 2 zeigt das Konstruktionsprinzip. Der 480 m<sup>3</sup>-Pufferspeicher ist in Ortbeton mit Fertigschalungen erstellt, da aufgrund des größeren Innendurchmessers keine Fertigteile sinnvoll transportiert werden konnten.

Beide Speicher werden mit denselben Materialien wie der Speicher in München wärmegeklämt. Im 100 m<sup>3</sup>-Pufferspeicher ist das Blähglasgranulat im Wandbereich noch in Gewebesäcken eingebaut, im 480 m<sup>3</sup>-Pufferspeicher wird eine Membranschalung eingesetzt. Der obere Speicherbereich steht jeweils frei und ist mit einer hinterlüfteten Verkleidung witterungsgeschützt.

Um zu ermitteln, welche Typen von Langzeit-Wärmespeichern in Crailsheim anwendbar sind, wurden im Frühjahr 2003 geologische Untersuchungen durchgeführt. Im Untergrund bis zu einer Tiefe von 3 bis 4 m unter Geländeoberkante (GOK) sind deutliche Grundwasserströmungen anzutreffen. Weitere hydrogeologische Untersuchungen zeigten, dass der Untergrund in einer Tiefe von 4 bis 60 m unter GOK aufgrund einer sehr geringen Wasserführung sehr gut für einen Erdsonden-Wärmespeicher geeignet ist.

Der Erdsonden-Wärmespeicher wird durch 80 Bohrungen bzw. 4.800 Bohrmeter in einem kreisförmigen Bohrraster von 3 x 3 m erschlossen. Die maximale Bohrtiefe ist auf 60 m beschränkt, da eine darunter liegende wasserführende Schicht erhöhte Wärmeverluste verursachen würde. Der Erdsonden-Wärmespeicher soll auf Temperaturen von ca. 65 °C beladen und anschließend bis zum Ende der Heizperiode auf Temperaturen von ca. 20 °C entladen werden. Die maximalen Beladetemperaturen des Wassers in den Erdwärmesonden betragen über 90 °C.

Bild 3 zeigt das Konzept, die Erdsonden von einem erhöhten Wärmeverlust durch die Oberflächenwasser führende, obere Schicht zu schützen: Die ersten ca. 5 m des Bohrlochs werden mit einem größeren Durchmesser gebohrt. Als Schutzverrohrung

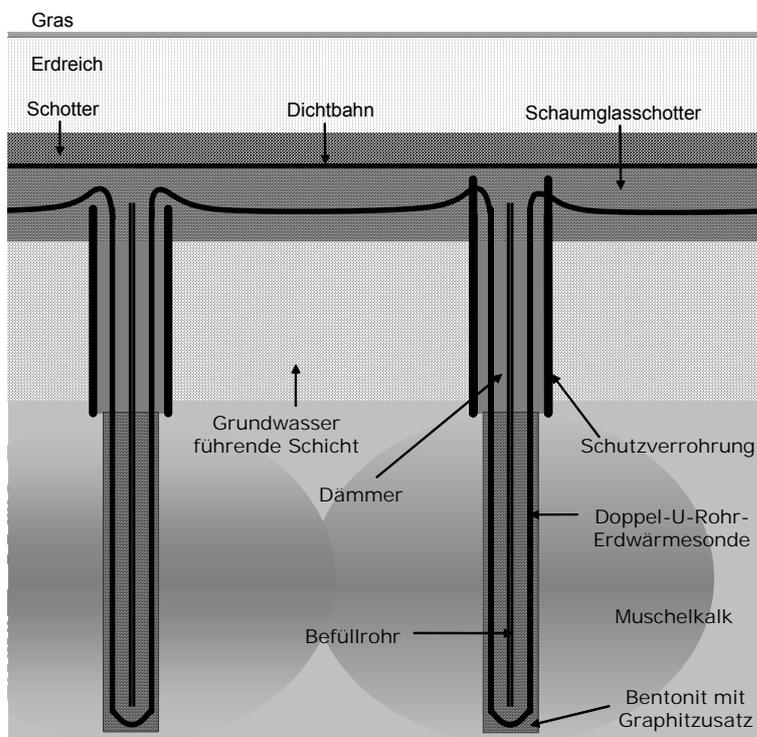


Bild 3: Vertikalschnitt durch den geplanten Erdsonden-Wärmespeicher in Crailsheim (nicht maßstäblich)

wird ein Kunststoffrohr eingestellt, das im Bohrloch verbleibt. Nach Fertigstellung der Bohrung und dem Einbau der Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonde wird das untere Bohrloch bis auf Höhe der Schutzverrohrung verfüllt. Nach dem Abbinden dieser Verfüllung wird die Höhe der Schutzverrohrung mit einem Dämmstoff verfüllt. Die Horizontalverrohrung zur hydraulischen Verbindung der Erdwärmesonden wird mittig zwischen zwei Lagen Schaumglasschotter verlegt, um Wärmeverluste nach oben und unten zu reduzieren. Diese Wärmedämmung wird durch eine von oben wasserdichte,

von unten dampfdiffusionsoffene Folie abgedichtet. Durch die Drainage auf dieser leicht geneigten Folienebene kann das versickernde Oberflächenwasser vom Speicher abfließen.

Ein wichtiges Ziel des Pilotprojektes in Crailsheim ist es, ein neues, im Vergleich zum Speicher in Neckarsulm kostengünstigeres Sondenmaterial einzusetzen, das der Temperaturbelastung, die durch die solarthermische Beladung des Speichers entsteht, dauerhaft standhält. In einer längeren Vorabklärungsphase mit möglichen Sondenlieferanten haben sich die beiden Materialien PEX und PE-RT als grundsätzlich geeignet erwiesen. Aufgrund der höheren Temperaturstandfestigkeit und der umfangreicheren Praxiserfahrung werden in Crailsheim nun PEX-Sonden eingesetzt.

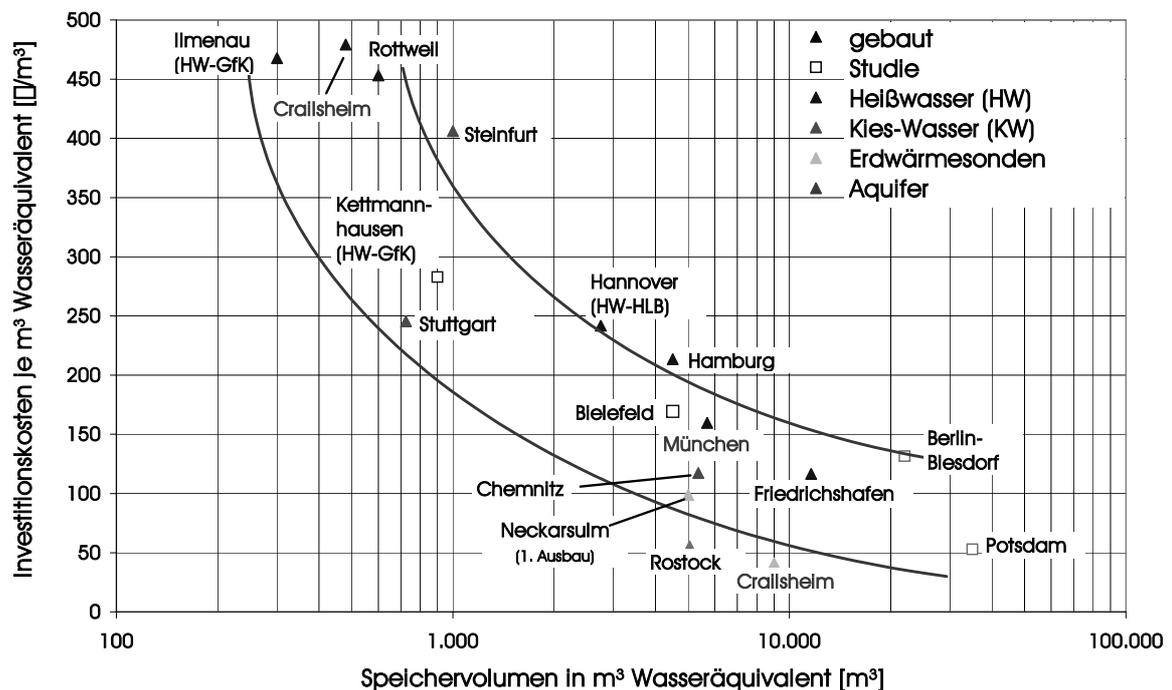


Bild 4: Spezifische Speicherbaukosten (ohne MwSt. und Planung) (GfK: Glasfaserverstärkter Kunststoff, HLB: Hochleistungsbeton)

#### 4. Perspektiven

Die neuen Wärmespeicher in Crailsheim zeigen, dass mit der Begleitforschung in Solarthermie2000plus deutliche Schritte zur Kostenreduktion von großen Wärmespeichern erzielbar sind. Bild 4 zeigt die spezifischen Speicherbaukosten der konzipierten und gebauten saisonalen Wärmespeicher. Hierbei sind die Speicherbaukosten auf das dem jeweiligen Speicher entsprechende, äquivalente Wasservolumen bezogen. Auffällig ist, dass die Pufferspeicher in Crailsheim im mittleren Kostenbereich liegen, obwohl diese Speicher deutlich höhere und dadurch kostenintensive Anforderungen durch den Innendruck von 3 bar haben. Werden die dadurch in der Anlagentechnik einsparbaren Kosten gegengerechnet, sind diese Speicher kostengünstiger als alle seither gebauten Behälterspeicher im selben Größensegment. Der

Erdsonden-Wärmespeicher in Crailsheim wird einen neuen Bestwert der spezifischen Speicherbaukosten erzielen.

Der Behälterspeicher in München ist aufgrund der Baubedingungen vor Ort mit den Speichern in Hannover und Hamburg vergleichbar. Es zeigt sich, dass trotz einer höheren Speichereffizienz durch die Bodendämmung etc. um 20 % geringere Speicherbaukosten erzielt werden können.

Mit den ersten saisonalen Wärmespeichern, die innerhalb von Solarthermie-2000 realisiert wurden, konnten die Bauprinzipien für die vier Speichertechnologien Behälter-, Erdbecken-, Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher entwickelt werden. Alle gebauten Speicher funktionieren zuverlässig, doch zeigte die wissenschaftlich-technische Begleitung auch die Aufgaben, für die optimierte Lösungen zu finden sind:

1. Die **Beanspruchung der eingesetzten Materialien und der statischen Konstruktion** durch bis zu 95 °C heißen Wasserdampf ist härter als noch vor vier Jahren gedacht. Hier zeigte auch das Forschungsvorhaben von F. Ochs, zu dem ein eigener Beitrag vorliegt, dass einige der von den Herstellern als geeignet empfohlenen Materialien als ungeeignet ausgeschlossen werden mussten. Materialien und Konstruktionen, die dieser Belastung dauerhaft standhalten, sind nicht kostengünstig.
2. Neben der Entwicklung großvolumiger Wärmespeicher über 1000 m<sup>3</sup> Wasseräquivalent erfordert der Markt die Entwicklung von Bauprinzipien für **kleinere Speichervolumina** im Größenbereich von 30 bis 500 m<sup>3</sup>.
3. Die Pufferspeicher in Crailsheim zeigen, dass **großvolumige Druckspeicher** trotz höherer Baukosten zum einen durch Mehrfachnutzen kostengünstiger sind, zum anderen aber auch zu Betriebsvorteilen für die Solaranlage führen. Diese Speicher werden aufgrund ihrer höheren Betriebstemperaturen zur Integration in Bestandsgebäude oder Bestandsnetze zu einer besseren Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems führen, da die dort vorhandenen Wärmeverteilungssysteme hohe Betriebstemperaturen aufweisen.
4. Die aktuellen Umsetzungserfahrungen insbesondere aus München zeigen, dass eine **Havariesicherheit** der gesamten Speicherkonstruktion gegeben sein muss, wenn der Speicher zuverlässig gebaut und sicher betrieben werden können soll.
5. Durch **Mehrfachnutzen von Wärmespeichern** kann deren Wirtschaftlichkeit deutlich erhöht werden. Die durch die seitherigen Pilotanlagen gesammelten Erfahrungen zeigen, dass die Zusammenführung unterschiedlicher Wärmeerzeuger im Speicher beherrscht werden kann und zusätzliche Effizienzsteigerungen erzielbar sind. So zeigt z.B. eine aktuelle Untersuchung in Mangold (2005b), dass eine Holzfeuerungsanlage zur Wärmeversorgung eines Nahwärmesystems durch den Einsatz eines Pufferspeichers wirtschaftlich optimiert werden kann.
6. Um z.B. wie in Crailsheim die Pufferspeicher direkt in des Wärmeversorgungssystem einkoppeln und als Druckhaltung nutzen zu können, ist ein **integraler Planungsprozess** notwendig, der den HLK-Planer mit dem Statiker, dem wissenschaftlich-technischen Programmbegleiter und dem Bauherrn zu einem Planungsteam vereint.

7. Die Baukosten können auch durch Materialeinsparung reduziert werden. Hierzu sind, wie z.B. die Behälterspeicher in München und Crailsheim zeigen, Konstruktionen notwendig, deren Statik weit über die bestehenden technischen Regeln hinausgeht. Hier ist umfangreicher **Wissenstransfer** notwendig, um die kostengünstigen Bauweisen auch in der Praxis – bei Prüfstatikern, Genehmigungsbehörden, Gutachtern etc. – verankern zu können.
8. **Unternehmen**, die Speicherbauwerke erstellen oder Materialien dafür liefern, sowie Planungsbüros, die diese Speicher planen, zeigen steigendes Interesse an saisonalen Wärmespeichern. So konnte z.B. in Crailsheim die Bauweise des Erdsonden-Wärmespeichers in enger Kooperation mit den beteiligten Planern und den möglichen Lieferfirmen entwickelt werden. Diese Entwicklung beinhaltete sogar Materialentwicklungen, Tests dieser Materialien, eine Anpassung des Fertigungsablaufs etc. Hier ist zu wünschen, dass diese Unternehmen zukünftig vermehrt Materialien anbieten werden, die den hohen Anforderungen eines erdvergrabenen Wärmespeichers auf hohem Temperaturniveau über die geplante Nutzungszeit von 40 bis 50 Jahren standhalten.

Die neuen Pilotspeicher in München und Crailsheim werden über den Sommer 2007 beladen, um in der Heizperiode 2007/2008 ihre Funktion erstmals beweisen können.

Währenddessen wird dann schon der saisonale Wärmespeicher in Eggenstein-Leopoldshafen gebaut sein. Dieser Speicher wird wiederum eine Weiterentwicklung der seitherigen Speicherkonzepte darstellen. Weitere Speicher werden folgen, um Schritt für Schritt die Speichereffizienz innerhalb des Gesamtsystems erhöhen und die Speicherbaukosten reduzieren zu können.

## 5. Literatur

Hahne, E. (2000). The ITW solar heating system – an oldtimer fully in action. Elsevier, Solar Energy Vol. 69, No. 6, pp. 469-493

Benner M. (2004), et. al. Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher. Forschungsbericht zum BMWi-Vorhaben 0329606S, ITW, Universität Stuttgart, ISBN 3-9805274-2-5

Mangold, D. (2005a), et. al. Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher (Februar 2003 bis Mai 2005). Forschungsbericht zum Vorhaben 0329607F, z.B. unter [www.solites.de](http://www.solites.de)

Mangold, D. (2005b). Kombination von Holzfeuerungen mit Kurz- und Langzeit-Wärmespeichern. 5. Stuttgarter Holzfeuerungs-Kolloquium 6.10.2005, IVD, Universität Stuttgart, Tagungsband

Mangold, D (2006). Die neuen Pilotprojekte mit solarthermischen saisonalen Wärmespeichern. OTTI Profiforum oberflächennahe Geothermie, 5. und 6.4.2006, Freising, Tagungsband

## **Danksagung**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 0329607L gefördert. Die Autoren danken für diese Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtes liegt bei den Autoren.

Der Bau der Pilotprojekte wird gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, das Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg, der Stadt Crailsheim und der Landeshauptstadt München.