



Langzeit-Wärmespeicher für solare Nahwärme

Einführung

T. Schmidt ¹⁾
D. Mangold ¹⁾
M. Benner ¹⁾
W. Heidemann ¹⁾
H. Müller-Steinhagen ¹⁾²⁾

¹⁾ Institut für
Thermodynamik und
Wärmetechnik (ITW),
Universität Stuttgart
schmidt@itw.uni-stuttgart.de

²⁾ Institut für Technische
Thermodynamik (ITT),
DLR Stuttgart

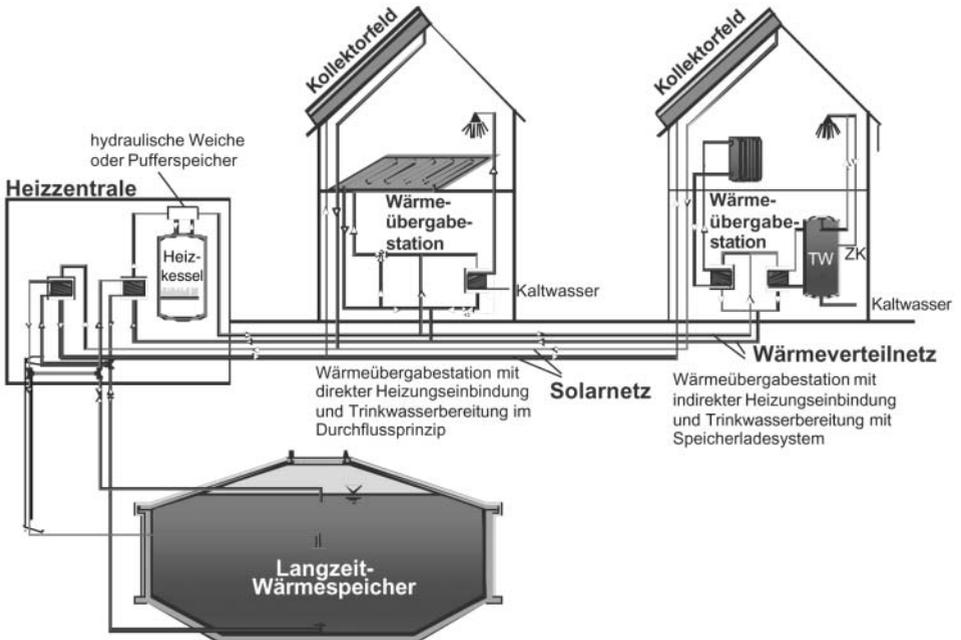
Solarthermische Großanlagen bieten im Wohnungsbau die derzeit kostengünstigste Möglichkeit, Solarenergie zur Trinkwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung zu nutzen. Durch die Einbindung von Langzeit-Wärmespeichern kann über 50 % der bei konventioneller Wärmeversorgung notwendigen fossilen Energiemenge eingespart werden. Das Forschungsprogramm Solarthermie-2000 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) fördert im Teilprogramm 3 solar unterstützte Nahwärmesysteme mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher. Innerhalb des Programms mit einer Laufzeit von 1993 bis 2002 sind mittlerweile sieben Anlagen mit Langzeit-Wärmespeicher verwirklicht, denen vier solare Nahwärmeeinrichtungen mit Kurzzeit-Wärmespeicher vorausgingen. Alle Anlagen werden im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Programmbegleitung, die für das Teilprogramm 3 durchgeführt wird, detailliert vermessen und untersucht.

Solar unterstützte Nahwärmesysteme mit Langzeit-Wärmespeicher

Diese Systeme versorgen größere Wohnsiedlungen mit mindestens 100 Wohneinheiten. Die zeitliche Verschiebung zwischen Solarstrahlungsangebot im Sommer und maximalem Wärmebedarf im Winter wird über die saisonale Wärmespeicherung ausgeglichen. Die deutschen Pilotanlagen sind auf solare Deckungsanteile von 40 bis 60 % des Gesamtwärmebedarfs ausgelegt.

Abb. 1 zeigt das Schema einer solar unterstützten Nahwärmeverorgung mit Langzeit-Wärmespeicher. Die von den Sonnenkollektoren gewonnene Wärme wird über das Solarnetz zur Heizzentrale transportiert und bei Bedarf direkt an die Gebäude verteilt. Die Kollektoren sind auf den Dächern der Wohngebäude montiert, der saisonale Wärmespeicher ist in das Gelände der Siedlung integriert. Die im Sommer anfallende Überschusswärme wird in den saisonalen Wärmespeicher eingespeist und im Herbst und Winter zur Heizung und Trinkwassererwärmung genutzt.

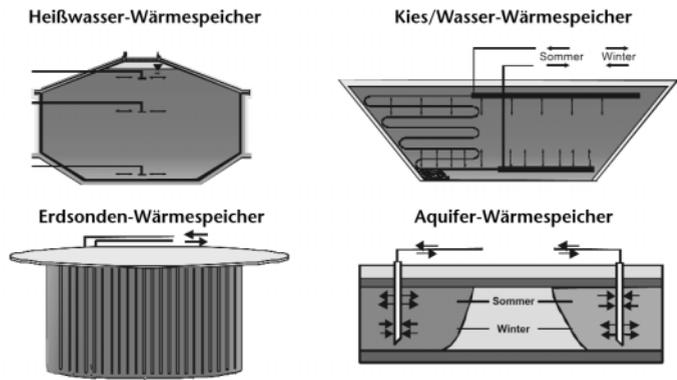
Abbildung 1
Solar unterstützte Nahwärmeverorgung mit Langzeit-Wärmespeicher in Friedrichshafen



Langzeit-Wärmespeicher

Die Entwicklung von Speichertypen zur saisonalen Wärmespeicherung wird am ITW seit 1984 kontinuierlich fortgeführt. Basierend auf früheren Forschungsvorhaben wurden nachfolgende Speichertypen (*siehe Abb. 2*) konzipiert. Die Entscheidung für einen bestimmten Speichertyp hängt im wesentlichen von den örtlichen Gegebenheiten, dem Volumen und insbesondere von den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen im Untergrund des jeweiligen Standortes ab.

Abbildung 2
Langzeit-Wärmespeichertypen



Heißwasser-Wärmespeicher

Die vielseitigsten Einsatzbereiche eröffnen sich dem Heißwasser-Wärmespeicher. Er kann unabhängig von der Geologie und auch in kleiner Baugröße, z.B. als Wärmespeicher für einen Zeitraum von Tagen bzw. Wochen, eingesetzt werden. Die wassergefüllte Tragkonstruktion aus z.B. Stahlbeton ist teilweise im Erdreich eingebaut. Die Wärmedämmung ist zumindest im Bereich des Deckels und der Seitenwände angebracht. Die wasserdichte Auskleidung des Speichers ist in den ersten Pilotspeichern (Projekte in Rottweil, Hamburg

und Friedrichshafen) aus Edelstahlblech ausgeführt. In Hannover kommt eine neuartige Betonmischung zum Einsatz, deren Wasserdampfdurchlässigkeit so gering ist, dass auf eine zusätzliche Auskleidung verzichtet werden kann.

Die Speicher werden drucklos im Temperaturbereich von 30 bis 95 °C betrieben. Die Ladewechseleinrichtungen, d.h. die Vorrichtungen zur Be- und Entladung, sind als Prallteller ausgeführt, um eine Durchmischung des Speicherinhaltes zu verhindern. Sie sind mindestens oben und unten im Behälter anzubringen, ggf. auch in einer mittleren Ebene, um unabhängig voneinander zeitgleich auf unterschiedlichem Temperaturniveau Be- und Entladen zu können.

Eine Alternative zur beschriebenen Betonkonstruktion stellen Behälter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen dar, deren Entwicklung die TU Ilmenau zusammen mit einem Industriepartner betreibt. Ein Pilotspeicher mit dieser Bauweise ist seit 1998 erfolgreich in Betrieb. *Tabelle 1* gibt einen Überblick über die gebauten Speicher und die zugehörigen Baukosten.

Projekt	Speichervolumen	Baukosten	auf das Nutzvolumen bezogene Baukosten
Rottweil '95	600 m ³	531.871 DM	886 DM/m ³
Friedrichshafen '96	12.000 m ³	2.643.582 DM	220 DM/m ³
Hamburg '96	4.500 m ³	1.878.500 DM	417 DM/m ³
Ilmenau '97/98	300 m ³	274.500 DM	915 DM/m ³
Hannover*, '00	2.750 m ³	1.300.000 DM	473 DM/m ³

Tabelle 1

Baukosten von Heißwasser-Wärmespeichern (o. Planung u. MwSt),

**: Angabe IGS Universität Braunschweig*

Die Querschnitte durch die Wärmespeicher, eine Darstellung der jeweiligen Wandaufbauten sowie die Kostenanteile der einzelnen Gewerke an den Gesamtkosten sind in *Abb. 3* angegeben.

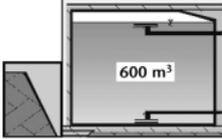
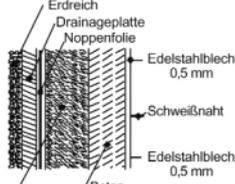
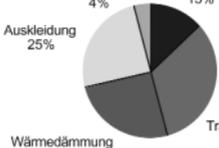
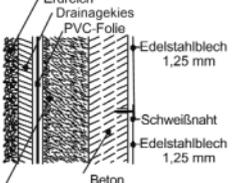
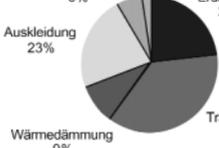
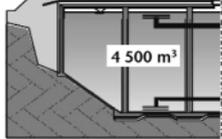
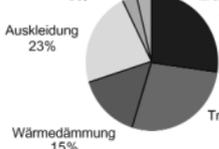
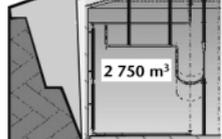
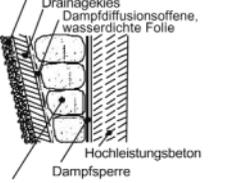
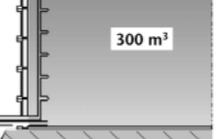
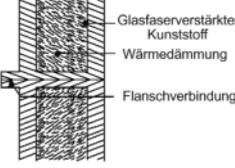
<p>Rottweil</p>  <p>600 m³</p>	 <p>Wärmedämmverbundsystem</p>	 <p>Stand 12/1996</p>
<p>Friedrichshafen</p>  <p>12 000 m³</p>	 <p>Wärmedämmung aus Mineralfaser</p>	 <p>Stand 1/2001</p>
<p>Hamburg</p>  <p>4 500 m³</p>	<p>Die Wandaufbauten in Hamburg und in Friedrichshafen sind identisch ausgeführt.</p>	 <p>Stand 1/2001</p>
<p>Hannover</p>  <p>2 750 m³</p>		<p>Eine detaillierte Kostenabrechnung liegt derzeit noch nicht vor.</p> <p>Erdarbeiten und Tragwerk bestimmen die Gesamtkosten jedoch maßgeblich.</p>
<p>Ilmenau</p>  <p>300 m³</p>		<p>Eine Kostenaufteilung ist hier nicht durchführbar, da Tragwerk, Wärmedämmung sowie Auskleidung eine Einheit darstellen und Erdarbeiten infolge der oberirdischen Aufstellung nicht notwendig waren.</p>

Abbildung 3

Querschnitt durch die Wärmespeicher Rottweil, Friedrichshafen, Hamburg, Hannover und Ilmenau, sowie Darstellung der jeweiligen Wandaufbauten und Kostenanteile

Kies/Wasser-Wärmespeicher

Eine mit wasserdichter Kunststoffolie ausgekleidete Grube wird mit einem Kies/Wasser-Gemisch als Speichermedium gefüllt. Der Speicher ist seitlich und oben, bei geeigneter Druckfestigkeit des Dämmstoffes auch unten wärmege-dämmt. Die Ein- und Ausspeicherung der Wärme erfolgt über direkten Wasseraustausch oder indirekt über Rohr-schlangen. Eine statische Tragkonstruktion ist nicht not-wendig, da die auftretenden Lasten über den Kies an die Seitenwände und den Boden abgetragen werden. Derzeitig eingesetzte Abdichtfolien begrenzen die Maximaltempera-turen auf ca. 90 °C. Bedingt durch die geringere Wärmeka-pazität des Kies/Wasser-Gemisches im Vergleich zu Wasser muss das Speichervolumen ca. 50 % größer gewählt werden, um die gleiche Wärmemenge wie in einem Heißwasser-Wärmespeicher speichern zu können.

Projekt	Speicher-volumen	Baukosten	auf das Nutzvolumen bezogene Baukosten
Chemnitz '97	8.000 m ³	1.230.408 DM	230 DM/m ³ WÄ
Steinfurt '99	1.500 m ³	794.358 DM	794 DM/m ³ WÄ

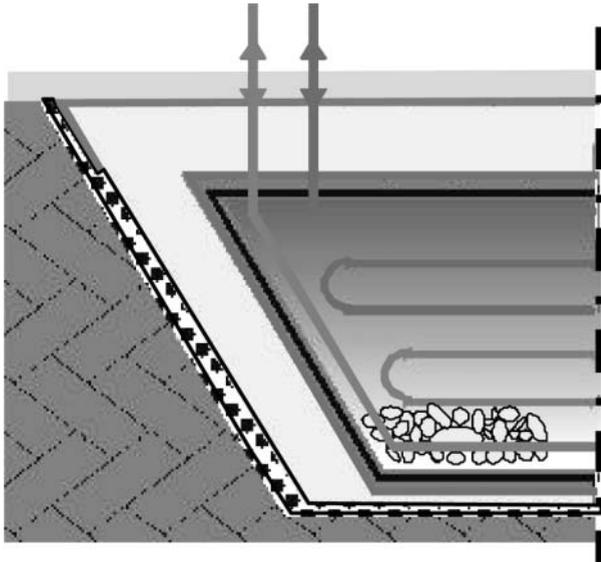
Tabelle 2

*Baukosten von Kies/
Wasser-Wärmespeichern
(o. Planung u. MwSt)*

Speicher dieser Art sind am ITW der Universität Stuttgart seit 1985 sowie in Chemnitz, Augsburg und Steinfurt-Borghorst in Betrieb. *Tab.2* zeigt die Baukosten realisierter Kies/Wasser-Wärmespeicher, in *Abb. 4* ist ein Schnitt durch den Speicher in Steinfurt-Borghorst dargestellt. Die Wärme-dämmung besteht bei diesem Speicher aus Blähglas-Granulat, die Auskleidung wurde mit einer zweilagigen

Polypropylen-Folie (PP) ausgeführt. Zwischen den beiden PP-Lagen ermöglicht ein Vakuum eine Dichtigkeitskontrolle der Auskleidung.

Abbildung 4
Querschnitt durch
den Speicher in
Steinfurt-Borghorst



Erdsonden-Wärmespeicher

Beim Erdsonden-Wärmespeicher wird die Wärme direkt im Erdreich gespeichert. Über Erdwärmesonden wird die Wärme in den Untergrund ein- bzw. aus diesem ausgespeichert.

Abb. 5 zeigt verschiedene Typen von Erdwärmesonden sowie einen vertikalen Schnitt durch eine Erdwärmesonden-Bohrung. Geeignete Untergründe für Speicher dieser Art sind wassergesättigte Tone bzw. Tonsteine mit keiner oder nur geringer Grundwasserbewegung.

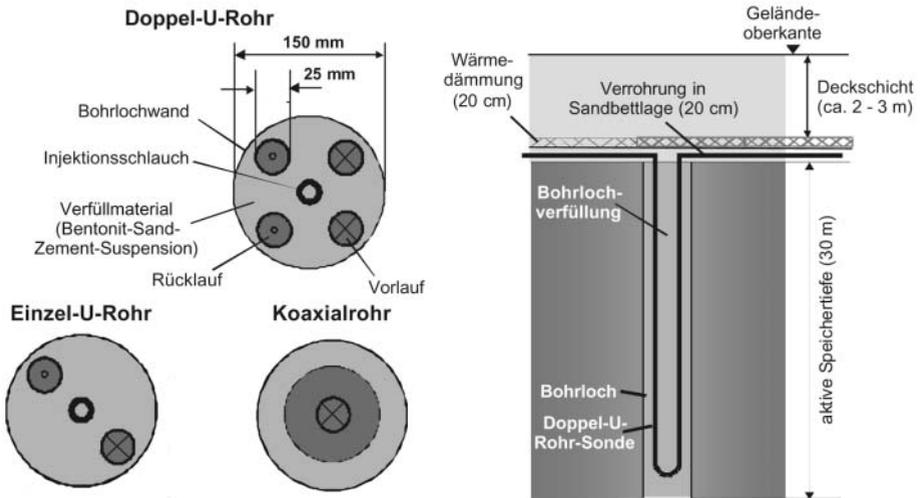


Abbildung 5

Aufbau von Erdwärmespeichersonden (Bemaßungswerte: Speicher in Neckarsulm)

Typische Werte für Bohrloch-Durchmesser liegen bei 100 – 200 mm, Abstände zwischen zwei Bohrlöchern bei 1,5 – 3 m, Bohrlochtiefen bei 20 – 100 m. Aufgrund seiner Bauweise kann dieser Speichertyp nur zur Oberfläche hin wärmege-dämmt werden. Aufgrund der dadurch bedingten höheren Wärmeverluste zu den Seiten bzw. nach unten hin sind nur große Speicher (> 50 000 m³) dieses Typs sinnvoll, bei denen kleine Oberflächen/Volumen-Verhältnisse erreicht werden können. Maximale Speichertemperaturen liegen bei ca. 80 °C, begrenzt durch die Lebensdauer des Erdwärmesonden-Materials. Durch die geringere Wärmekapazität des Speichermediums gegenüber Wasser und aufgrund einer geringeren Temperaturspreizung im Betrieb, müssen Wärmespeicher dieser Bauart im Vergleich zu Heißwasser-Wärmespeichern ein etwa 3 bis 5 mal größeres Volumen besitzen. Vorteil dieses Speichertyps ist der im Vergleich zum Heißwasser-Wärmespeicher geringere Bauaufwand sowie ein möglicher modularer Aufbau bzw. eine sich dem Baufort-

schrift eines Wohngebietes anpassende Speichergröße. Ein Speicher dieser Bauart ist in Neckarsulm in Betrieb. Er wird im Jahr 2001 auf ein Volumen von 63.360 m³ ausgebaut (2. Ausbaustufe). *Tab.3* zeigt die Baukosten der ersten Ausbaustufe.

Tabelle 3

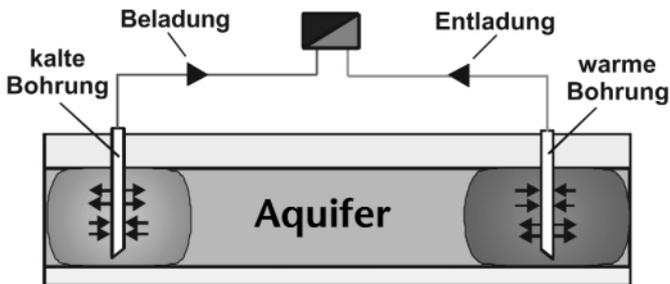
Baukosten des Erdsonden-Wärmespeichers in Neckarsulm (o. Planung u. MwSt)

Projekt	Speicher-volumen	Baukosten	auf das Nutzvolumen bezogene Baukosten
Neckarsulm '97+'98	20.160 m ³	908.369 DM	182 DM/m ³ WÄ

Aquifer-Wärmespeicher

Beim Aquifer-Wärmespeicher werden natürlich vorkommende, nach oben und unten abgeschlossene Grundwasserschichten zur Wärmespeicherung genutzt (*siehe Abb. 6*).

*Abbildung 6
Aufbau eines Aquifer-Wärmespeichers*



Über eine Brunnenbohrung („kalte Bohrung“) wird dem Speicher Grundwasser entnommen, dieses über einen Wärmeübertrager erwärmt und über eine weitere Bohrung („warme Bohrung“) wieder in den Untergrund eingeleitet.

Die Ausspeicherung erfolgt durch eine Umkehrung der Durchströmungsrichtung.

Aquifer-Wärmespeicher stellen sehr hohe Anforderungen an die geologischen Verhältnisse des jeweiligen Standortes bezüglich hydraulischer Durchlässigkeit, Grundwasserfließgeschwindigkeit, biologischer und chemischer Zusammensetzung des Grundwassers etc.. Sie können nicht zur Umgebung hin wärmegeklärt werden. Wie beim Erdsonden-Wärmespeicher sind Speicher mit hoher Temperatur deshalb nur bei großen Speichern zu empfehlen.

Bei Temperaturen oberhalb 50 °C kann es je nach örtlichen Gegebenheiten zu biologischen und geochemischen Veränderungen des Grundwassers kommen. Dies kann gegebenenfalls zu Ablagerungen an Wärmeübertragern und den Brunnenfiltern führen, wodurch es im Extremfall zu einem Erliegen der Förderfähigkeit der Brunnen kommen kann. Um dies zu verhindern, muss in solchen Fällen eine geeignete Wasseraufbereitung während des Betriebs erfolgen.

Aquifer-Wärmespeicher sind in Berlin (Reichstagsgebäude) und in Rostock in Betrieb. *Tab.4* zeigt die Baukosten des Wärmespeichers in Rostock.

Projekt	Speicher- volumen	Baukosten	auf das Nutzvolumen bezogene Baukosten
Rostock '99	20.000 m ³	335.260 DM	66 DM/m ³ WÄ

Tabelle 4

*Baukosten des Aquifer-
Wärmespeichers
in Rostock
(o. Planung u. MwSt)*

Übersicht

Tab. 5 fasst die wichtigsten Daten der Speichertypen zusammen

Heißwasser-Wärmespeicher	Kies/Wasser-Wärmespeicher	Erdsonden-Wärmespeicher	Aquifer-Wärmespeicher
Speicheraufbau			
Wärmedämmter, wasser-gefüllter, ins Erdreich eingrabener Behälter mit Tragwerkskonstruktion meist aus Stahlbeton	Wärmedämmtes, zum Erdreich hin mittels Kunststoffolie abgedichtetes Kies/Wasser-Gemisch	vertikale Erdwärmesonden in wasser-gesättigtem Erdreich	Verfilterte Brunnen in natürlich vorkommenden, möglichst nach oben und unten abgeschlossenen Grundwasserschichten
Anforderungen an den Standort			
gut stehender Boden, Bodenklasse II-III, möglichst kein Grundwasser, 5 bis 15 m Tiefe	gut stehender Boden, Bodenklasse II-III, möglichst kein Grundwasser, 5 bis 15 m Tiefe	gut bohrbarer Boden, Bodenklasse I-III, Grundwasser günstig, geringe Durchlässigkeit ($k_f < 10^{-10}$ m/s), geringe Fließgeschwindigkeit (< 1 m/a), 20 bis 100 m tief	abgeschlossen nach oben und unten durch dichte Schicht, hohe Porosität, Grundwasser und hohe Durchlässigkeit ($k_f < 10^{-4}$ m/s) notwendig; geringe Fließgeschw., 20 bis 50 m mächtig
Speichermedium			
Wasser	Kies/Wasser-Gemisch	Formation im Untergrund, bevorzugt wassergesättigt	Wassergesättigte Formation im Untergrund
Speicherkapazität			
60 bis 80 kWh/m ³	30 bis 50 kWh/m ³	15 bis 30 kWh/m ³	30 bis 40 kWh/m ³
Speichervolumen für 1 m³ Wasseräquivalent			
1 m ³	1,3 bis 2 m ³	3 bis 5 m ³	2 bis 3 m ³
Erwartete Baukosten für einen Speicher mit 10.000m³ Wasseräquivalent, bezogen auf 1m³ Wasseräquivalent (inkl. Planung, ohne MwSt.)			
180 bis 220 DM/m ³	160 bis 200 DM/m ³	160 bis 200 DM/m ³	140 bis 180 DM/m ³
Realisierte Projekte (Standort, Speichervolumen, Betrieb seit)			
Hamburg, 4.500 m ³ '96 Friedrichshafen, 12.000 m ³ '96 Hannover, 2.700 m ³ '00	Stuttgart, 1.050 m ³ , '85 Chemnitz 8.000 m ³ , '95-99 Augsburg 6.500 m ³ , '96 Steinfurt, 1.500 m ³ , '99	Neckarsulm, 63.360 m ³ , '98	Berlin, keine Angabe, '99 Rostock, 20.000 m ³ , '00

Pilotanlagen zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher in Deutschland

Im Rahmen des am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) durchgeführten Forschungsvorhabens Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher [2, 3] wurden verschiedene Pilotprojekte realisiert.

Die ersten Pilotanlagen zur solaren Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher wurden im Herbst 1996 (Hamburg, Friedrichshafen) und im Januar 1999 (Neckarsulm) in Betrieb genommen. In *Tab. 6* sind die wichtigsten Daten der drei Projekte zusammengestellt:

Tabelle 6
*Technische Daten der Pilotanlagen in Hamburg, Friedrichshafen und Neckarsulm (MFH: Mehrfamilienhaus, *: mit TRNSYS berechnete Werte für langfristigen Betrieb)*

	Hamburg	Friedrichshafen	Neckarsulm II
Versorgungsgebiet	124 Einfamilienreihenhäuser	570 Wohneinheiten in 8 MFH	6 MFH, Schule, Altenwohnheim, Ladenzentrum
Beheizte Wohn-/ Nutzfläche in m ³	14.800	39.500	20.000
Solaranlage			
Kollektorfläche in m ³	3.000	5.600	2.700
Speichertyp	Heißwasser	Heißwasser	Erdsonden
Speichervolumen in m ³	4.500	12.000	20.000
Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale in MWh/a*	1.610	4.106	1.663
Nutzwärmelieferung Solarsystem in MWh/a*	789	1.915	832
Solarer Deckungsanteil in %*	49	47	50
Kosten Solarsystem in Mio. DM	4,3	6,3	2,9
Solarer Wärmepreis in Pf/kWh (ohne Förderung, ohne MWSt., inkl. Planung)	50,2	31,1	33,7

Tabelle 7

Technische Daten der Pilotanlagen in Steinfurt, Chemnitz, Rostock und Hannover

(EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus, WE: Wohneinheit, VR: Vakuumröhre, BA: Bauabschnitt)

1: Angaben TU Chemnitz;

2: Angaben IGS, Uni

Braunschweig,

*: mit TRNSYS berechnete

Werte für langfristigen

Betrieb

Die Langzeit-Wärmespeicherung über Erdwärmesonden direkt im Erdreich wurde in einem Vorprojekt erforscht [4]. Der 1997 in Neckarsulm gebaute Pilotspeicher mit einem Volumen von ca. 4.300 m³ bestätigte die Forschungsergebnisse. Der erste Bauabschnitt des Speichers (1. BA, 20.000 m³) wurde 1998 gebaut. Im Jahr 2001 wird der zweite Bauabschnitt des Wärmespeichers gebaut. Das gesamte Volumen beträgt dann 63.360 m³. Im August 1998 ging die Pilotanlage in Steinfurt-Borghorst in Betrieb. Sie wurde im Rahmen des Projektes „50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen“ errichtet und versorgt 42 Wohneinheiten in 15 Einfamilien- und 7 Mehrfamilienhäusern mit Wärme (siehe Tab. 7). Als Langzeit-Wärmespeicher kommt hier ein Kies/Wasser-Wärmespeicher zum Einsatz, der über Rohrschlangen indirekt be- bzw. entladen wird.

	Steinfurt	Chemnitz ¹ 1. BA	Rostock	Hannover ²
Versorgungsgebiet	42 WE in 15 EFH und 7 MFH	Bürogebäude	108 WE in MFH	106 WE
Beheizte Wohn-/ Nutzfläche in m ³	3.800	4.680	7.000	7.365
Solaranlage Kollektorfläche in m ³ Speichertyp Speichervolumen in m ³	510 Kies/Wasser 1.500	540 VR Kies/Wasser 8.000	1.000 Aquifer 20.000	1.350 Heißwasser 2.750
Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale in MWh/a*	325	1. BA: 573	497	694
Nutzwärmelieferung Solarsystem in MWh/a*	110	1. BA: 169	307	269
Solarer Deckungsanteil in %*	34	1. BA: 30	62	39
Kosten Solarsystem in Mio. DM	1,0	1. + 2. BA: 2,8	2,4	2,4
Solarer Wärmepreis in Pf/kWh (ohne Förderung, ohne MWSt., inkl. Planung)	82,8	1. + 2. BA: 47	49,9	81

Die Gebäude in Steinfurt sind mit Fußbodenheizungen ausgestattet, wodurch niedrige Betriebstemperaturen ermöglicht werden. Das Wärmeverteilnetz wird in der Heizzeit auf dem niedrigen Temperaturniveau der Heizungen betrieben, um die Netzverluste zu reduzieren und möglichst niedrige Netzrücklauftemperaturen zu erzielen. Sind zur Trinkwassererwärmung höhere Temperaturen erforderlich, so werden diese über Nachheizungen in den Gebäuden ermöglicht.

In Chemnitz wurde im Rahmen einer notwendigen Boden-sanierung 1996 ein Kies/Wasser-Wärmespeicher gebaut, der für eine Maximaltemperatur von 85 °C ausgelegt ist und direkt be- und entladen wird. Der Speicher ist bei einem solaren Deckungsanteil von 42 % für einen jährlichen Wärmebedarf von 1.200 MWh/a ausgelegt. Mit den Kollektorf lächen des ersten Bauabschnitts wird der Speicher seit dem Frühjahr 2000 beladen.

In Rostock ging im Frühjahr 2000 die erste solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit einem Aquifer-Wärmespeicher in Betrieb. Die Anlage versorgt ein großes Mehrfamilienhaus mit 108 Wohneinheiten. Der Speicher liegt in einer Tiefe von ca. 15 bis 30 Meter und wird, um die Wärmeverluste zu reduzieren und auf eine Wasseraufbereitung verzichten zu können, auf niedrigem Temperaturniveau betrieben (max. 50 °C). Um trotzdem einen hohen Speichernutzungsgrad zu gewährleisten, ist eine Wärmepumpe in die Wärmeversorgung integriert. Zur Wärmeverteilung wurde ein Nieder-temperatur-Heizsystem (VL/RL: 50/30) mit Radiatoren realisiert, um niedrige Betriebstemperaturen zu gewährleisten und damit günstige Betriebsbedingungen für die Solaranlage und die Wärmepumpe zu garantieren.

In Hannover befindet sich die derzeit neueste Anlage. Als Wärmespeicher wurde hier ein Heißwasser-Wärmespeicher aus einem neuartigen Hochleistungsbeton verwirklicht. Dieses Material besitzt eine genügend hohe Wasserdampfdichtigkeit, um auf eine innere Auskleidung aus Edelstahlblech verzichten zu können. Weiterhin wurde hier als Neuerung eine zusätzliche, in der Höhe variable Beladetasche in mittlerer Speicherhöhe angebracht. Hiermit kann das Schichtungsverhalten im Speicher verbessert werden und ein gleichzeitiges Ein- und Ausspeichern wird ermöglicht. Die Anlage ging im Juni 2000 in Betrieb.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit der heute bekannten Technik kommen für saisonale Wärmespeicher in solar unterstützten Systemen aus Kostengründen und wegen der Wärmeverluste nur große Speicher in Frage, die entsprechend große Wärmeabnehmer versorgen. Dem Nachteil einer hohen Anfangsinvestition stehen als Vorteile hohe Einsparungen an fossiler Primärenergie und eine Reduktion der CO₂-Emissionen gegenüber, ein erklärtes Ziel der Enquete Kommission des Bundestages zum Schutz der Erdatmosphäre.

Bei allen Speichertypen, insbesondere bei Aquifer- und Erdwärmesonden-Wärmespeichern, ist eine hydrogeologische Voruntersuchung des Speicherstandortes unbedingt erforderlich. Geklärt werden müssen unter anderem die Schichtenabfolge, Lage und Neigung des Grundwasserspiegels, hydraulische Durchlässigkeit des Untergrunds, Strömungsgeschwindigkeit und -richtung des Grundwassers.

Da es sich derzeit bei allen Speicherbauwerken noch um Pilotanlagen handelt, muss in vielen Bereichen Neuland

betreten werden. Die Technik der Langzeit-Wärmespeicherung befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Es existiert kein Standardkonzept, die Wärmespeicher müssen für den jeweiligen Standort individuell geplant werden und sind darum oft Bestandteil eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes.

Bei der Auswahl des Speicher- oder Baumaterials müssen vielerlei Eigenschaften berücksichtigt werden. Für viele Materialien ist die schwierigste Anforderung, dass sie in einem Langzeit-Wärmespeicher gleichzeitig hoher Temperatur- (bis 95 °C) und Feuchtbelastung (Wasserspeicher) bei hohem Druck (im Erdreich) ausgesetzt sind. Zusätzlich müssen die eingesetzten Materialien eine Lebensdauer von 30 bis 50 Jahren versprechen.

Weitere Forschungsarbeiten sowie der Bau von Pilotanlagen werden Bautechnik, Baumaterialien sowie Aufbau der Wärmespeicher weiter verändern und die Baukosten senken. Dies hat die Vergangenheit bewiesen, indem durch jedes realisierte Projekt die praktischen Erfahrungen erweitert wurden sowie die mit diesem Wissen konfrontierten Betreiber national wie international verbesserte Systeme errichten konnten.

Literatur

- [1] Hahne, E. et. al.:
Solare Nahwärme – Ein Leitfadens für die Praxis,
BINE-Informationspaket,
TÜV-Verlag, Köln, 1998, ISBN 3-8249-0470-5

- [2] Guigas, M.; Kübler, R.; Lutz, A.; Schulz, M.;
Fisch, N.; Hahne, E.:
Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und
ohne Langzeitwärmespeicher, Forschungsbericht,
ITW, Universität Stuttgart, 1995, ISBN 3-9802243-9-2

- [3] Benner, M.; Mahler, B.; Mangold, D.; Schmidt, T.;
Schulz, M.; Seiwald, H.; Hahne, E.:
Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und
ohne Langzeit-Wärmespeicher, Forschungsbericht
zum BMFT-Vorhaben 0329606C, ITW, Universität
Stuttgart, Nov. 1999, ISBN-Nr.: 3-9805274-0-9

- [4] Seiwald, H.; Kübler, R.; Fisch, N.; Hahne, E.:
Saisonale Wärmespeicherung mit vertikalen
Erdsonden im Temperaturbereich von 40 bis 80 °C,
Forschungsbericht, ITW, Universität Stuttgart, 1995

- [5] Mangold, D.; Hahne, E.:
Technische Erfahrungen aus den solar unterstützten
Nahwärmeeinrichtungen des Förderprogramms
Solarthermie-2000, 10. Symposium thermische
Solarenergie, OTTI, Tagungsband, S. 106-113,
Kloster Banz, 2000

- [6] Schmidt, T.; Mangold, D.; Benner, M.;
Müller-Steinhagen, H.:
Saisonale Wärmespeicherung in Verbindung mit

solaren Nahwärmesystemen,
Tagungsband S. 140-149; OTTI, Informationsforum
Geothermie in der Praxis, Passau, 29.-30. Juni 2000

- [7] Benner, M.; Heidemann, W.; Hahne, E. und
Müller-Steinhagen, H.:
Entwicklungen bei Langzeit-Wärmespeichern:
Erfahrungen aus den in Deutschland realisierten
Anlagen, Fachkonferenz der VDI-Gesellschaft
Energietechnik, Fortschrittliche Energiewandlung
und -anwendung, Schwerpunkt: Dezentrale
Energietechnik, Speichersysteme, Ruhr-Universität
Bochum, 13.-14. März 2001

Dieser Bericht stellt im wesentlichen eine Zusammenfassung der Veröffentlichungen [6] und [7] dar. Das dem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 0329606 S gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.