

Solare Nahwärme und saisonale Speicherung

Dr. Wolfgang
Heidemann

Universität Stuttgart
Institut für
Thermodynamik und
Wärmetechnik

heideman@
itw.uni-stuttgart.de

Christian Dötsch

Fraunhofer UMSICHT
(Institut für Umwelt-,
Energie-, und
Sicherheitstechnik)

christian.doetsch@
umsicht.fraunhofer.de

Prof. Dr. Hans
Müller-Steinhagen

DLR

hans.muellersteinhagen@
dlr.de

Einleitung

Die Nutzung thermischer Solarenergie (Solarthermie) erfreut sich zunehmender Beliebtheit. In den vergangenen Jahren stieg die jährlich installierte solarthermische Kollektorfläche in Deutschland um durchschnittlich ca. 20 % und beträgt derzeit ca. 900.000 m²/a. Diese Kollektorfläche dient entweder ausschließlich der Trinkwassererwärmung oder der kombinierten Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Während bei der Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen unweigerlich Schadstoffe durch Verbrennen entstehen – vorrangig das für die globale Erwärmung verantwortliche Kohlendioxid (CO₂) – lassen sich diese Emissionen beim zusätzlichen Einsatz einer Solaranlage deutlich vermindern. Thermische Solaranlagen stellen daher einen wichtigen Baustein für eine umweltfreundliche und nachhaltige Energieversorgung dar.

Eine Übersicht der in Deutschland zur thermischen Solarenergienutzung eingesetzten Anlagentypen ist in [Abb. 1](#) gezeigt. Kleinanlagen mit typischerweise 1 bis 1,5 m² Kollektorfläche pro Person, wodurch sich Kollektorflächen pro Haus unter 10 m² bzw. 20 m² ergeben, kommen sehr häufig in Ein- oder Zweifamilienhäusern zum Einsatz. Der durch Solarenergie abdeckbare Anteil am Gesamtwärmebedarf beträgt bei Kleinanlagen 15 % für Trinkwassererwärmung und für die kombinierte Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung 25 %.

Großanlagen mit mehr als hundert bis zu einigen tausend Quadratmetern Kollektorfläche sind relativ selten anzutreffen. Sie bieten jedoch die Möglichkeiten großer Preisreduktionen, da die spezifischen Anlagenkosten mit der Anlagengröße abnehmen. So betragen die Systemkosten für große Solaranlagen ca. 500 Euro pro Quadratmeter Kollektorfläche gegenüber ca. 1000 Euro pro Quadratmeter Kollektorfläche bei Kleinanlagen. Für die Wärmeversorgung von größeren Wohnsiedlungen mit mindestens 100 Wohn-

einheiten wurden in den vergangenen Jahren Anlagen entwickelt, die den fossilen Brennstoffbedarf zur Wärmeversorgung um bis zu 50 % und mehr reduzieren. Ein wichtiger Baustein dieser Versorgungskonzepte ist die Nutzung von solarthermischer Energie in Nahwärmeversorgungssystemen mit saisonaler Wärmespeicherung.

Innerhalb der Förderprogramme Solarthermie 2000 und Solarthermie 2000 plus wurden seit 1993 insgesamt neun Pilotanlagen mit Langzeit-Wärmespeicher in Deutschland in die Praxis umgesetzt, von denen sechs in [Abb. 2](#) gezeigt sind. Große Solaranlagen mit bis zu 3000 m² Kollektorfläche sind heutzutage Stand der Technik. Derzeit entsteht in Crailsheim eine Solarthermieanlage, die nach ihrer Fertigstellung mit 259 Wohneinheiten, 7325 m² Flachkollektoren und 40.500 m³ Erdsonden-Wärmespeicher zu den größten Deutschlands gehören wird. Im Rahmen der von der Bundesregierung initiierten Innovationsagenda wurde das Projekt Crailsheim im Dezember 2004 vom Impulskreis Energie als eines von vier innovativen „Leuchtturmprojekten“ und einziges auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien ausgewählt. Die vom Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik wissenschaftlich-technisch betreuten Pilotanlagen im Rahmen von Solarthermie 2000 plus befinden sich in Friedrichshafen, Neckarsulm, Rostock und Crailsheim.

Kleinanlagen

<p>Trinkwassererwärmung</p> <p>Kollektorfläche < 10 m²</p> <p>Ein- und Zwei-Familienhäuser</p> <p>15% solarer Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf</p> <p>Einsatz im Alt- und Neubau</p>	<p>Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung</p> <p>Kollektorfläche < 20 m²</p> <p>Ein- und Zwei-Familienhäuser</p> <p>25% solarer Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf</p> <p>Einsatz im Alt- und Neubau</p>
--	--

Großanlagen

<p>Trinkwassererwärmung</p> <p>Kollektorfläche > 100 m²</p> <p>Mehrfamilienhäuser, Krankenhäuser</p> <p>15 – 20% solarer Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf</p> <p>Einsatz im Alt- und Neubau</p>	<p>Nahwärme mit Kurzzeit-Wärmespeicher</p> <p>> 30 – 40 Wohneinheiten</p> <p>Mehrfamilienhäuser, Krankenhäuser</p> <p>15 – 20% solarer Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf</p> <p>Einsatz im Neubau</p>	<p>Nahwärme mit Langzeit-Wärmespeicher</p> <p>> 100 Wohneinheiten</p> <p>Ein- und Zwei-Familienhäuser</p> <p>50% solarer Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf</p> <p>Einsatz im Neubau</p>
---	---	---

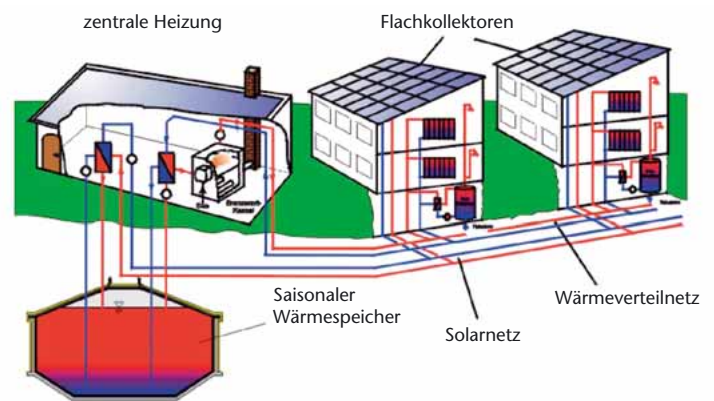
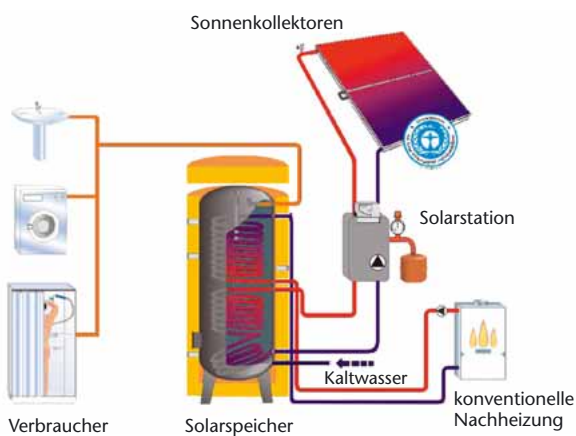


Abbildung 1 Anlagentypen in Deutschland



Friedrichshafen-Wiggenhausen (1996)
380 Wohnungen, 4.050 m² Flachkollektor, 12.000 m³ Heißwasser-Wärmespeicher

Steinfurt-Borghorst (1999)
23 Reihenhäuser, 510 m² Flachkollektor, 1.500 m³ Kies/Wasser-Wärmespeicher

Hamburg-Bramfeld (1996)
124 Reihenhäuser, 3.000 m² Flachkollektor, 4.500 m³ Heißwasser-Wärmespeicher

Abbildung 2 Pilotanlagen zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung

Bildquelle: a, b, d, e Uni Stuttgart, ITW

Bildquelle: c, f Prof. Em. Gockell, IGS, Uni Braunschweig



Rostock-Brinkmannshöhe (1996)
108 Wohnungen, 1.000 m² Flachkollektor, 20.000 m³ Aquifer-Wärmespeicher

Neckarsulm-Amorbach (1998)
5.263 m² Flachkollektor, 63.360 m³ Erdsonden-Wärmespeicher

Hannover-Kronsberg (2000)
106 Wohnungen, 1.350 m² Flachkollektor, 2.750 m³ Heißwasser-Wärmespeicher

Solarthermische Großanlagen zur solarunterstützten Nahwärmeversorgung

Abb. 3 zeigt das Schema einer Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher, in die solarthermische Kollektorfelder integriert sind. Die von den Sonnenkollektoren gewonnene Wärme wird über das Solarnetz in Form heißen Wassers zur Heizzentrale transportiert und bei Bedarf direkt an die Gebäude verteilt. Die Kollektoren sind auf den Dächern der Gebäude montiert, die möglichst nahe an der Heizzentrale liegen. Die im Sommer anfallende Überschusswärme wird in den saisonalen Wärmespeicher eingespeist, der in den Untergrund des Siedlungsgebietes eingebaut ist.

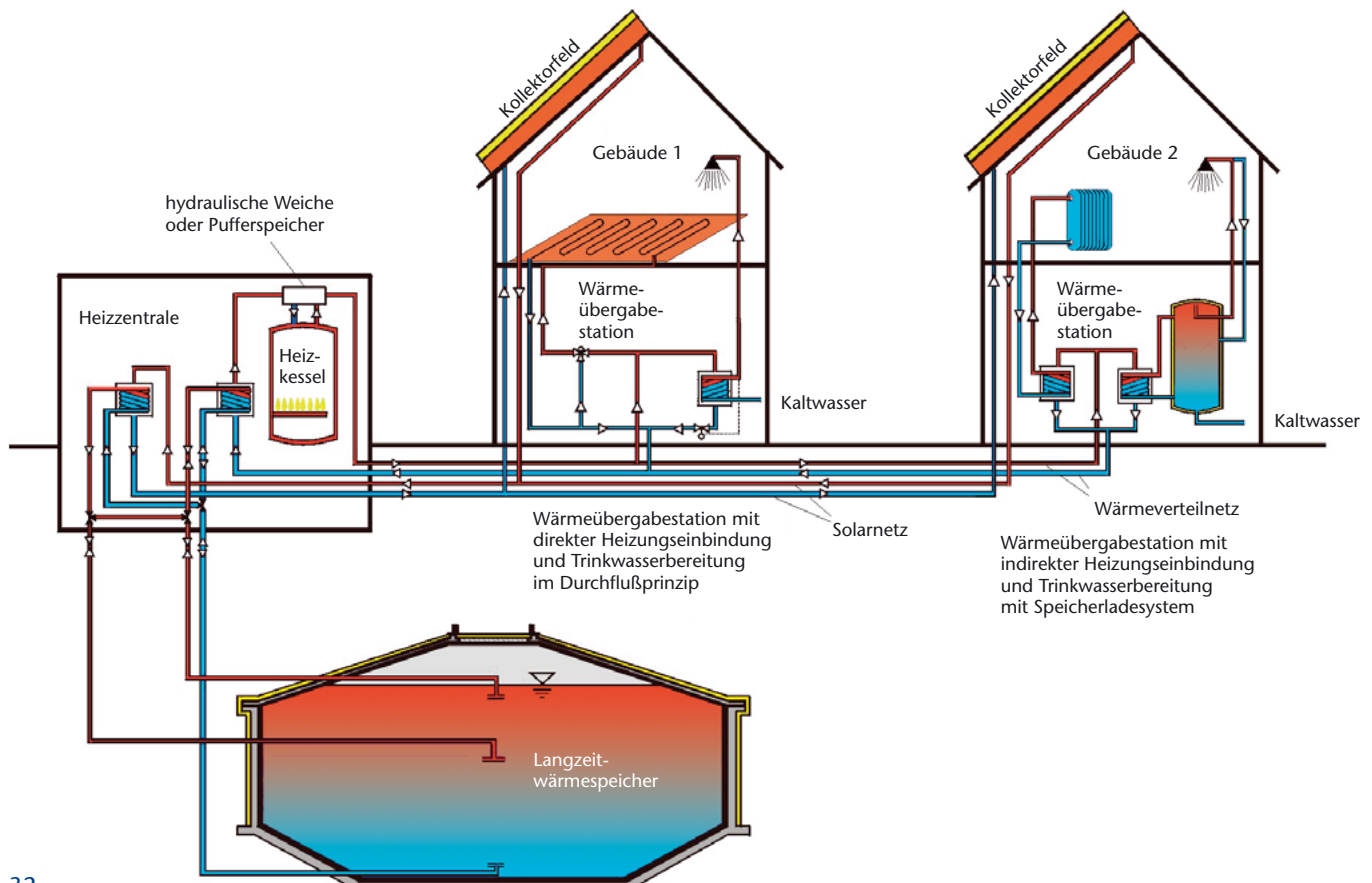
als Verbindung zwischen dem Wärmeverteilnetz und den hausinternen Installationen. Die Heizzentrale verwendet die im Langzeit-Wärmespeicher gespeicherte Solarwärme und heizt bei Bedarf konventionell nach, z. B. mit einem Gasbrennwertkessel. Ein Vorteil einer zentralen Wärmeversorgung ist, dass der zusätzliche Wärmeversorger schnell an neue technische Entwicklungen angepaßt werden kann.

Um die bei solarthermischen Großanlagen angestrebten hohen solaren Deckungsgraden von 40 - 50 % am Wärmebedarf von Haushalten zu erreichen, muss die solare Wärmestrahlung im Sommer über eine saisonale Wärmespeicherung im Winter zu Verfügung stehen. Derzeit stehen dafür vier erprobte Techniken zur Verfügung, die im Abb. 4 gezeigt sind.

Abbildung 3
Schema einer solarunterstützten Nahwärmeversorgungsanlage

Das über das Wärmeverteilnetz gelieferte Heizwasser versorgt die Heizung und Trinkwassererwärmung der Gebäude. Jedes Gebäude verfügt über eine eigene Wärmeübergabestation

Alle Langzeit-Wärmespeichertypen funktionieren zuverlässig, sie müssen jedoch noch weiterentwickelt werden, um die derzeit hohen Baukosten zu reduzieren. Die Entscheidung für einen



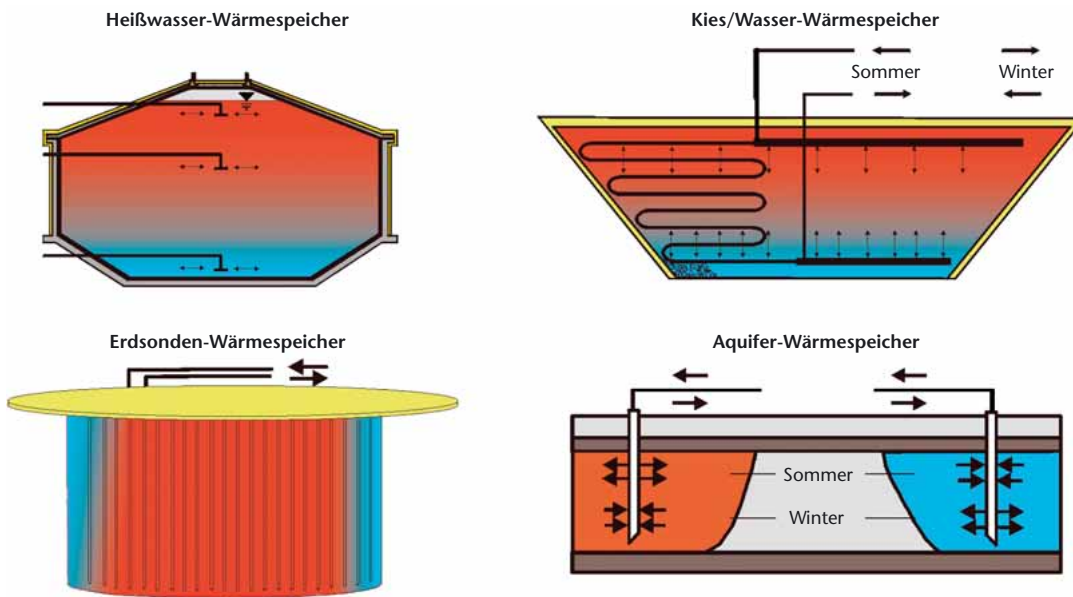


Abbildung 4
Langzeit-Wärmespeichertypen

bestimmten Speichertyp hängt im Wesentlichen von den örtlichen Gegebenheiten, dem notwendigen Speichervolumen und insbesondere von den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen im Untergrund des jeweiligen Standortes ab:

Heißwasser-Wärmespeicher

Heißwasser-Wärmespeicher können 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 Stahlbeton ist teilweise im Erdreich eingebaut. Eine Wärmedämmung ist besonders im Bereich des Deckels und der Seitenwände vorteilhaft beziehungsweise meist notwendig. Die wasserdichte Auskleidung des Speichers musste in früheren Projekten (Rottweil, Hamburg und Friedrichshafen vgl. *Abb. 2*) aus Edelstahlblech ausgeführt werden. In Hannover konnte im Jahr 2000 zum ersten Mal eine neuartige Betonmischung erfolgreich eingesetzt werden, deren Wasserdampfdurchlässigkeit so gering ist, dass auf eine zusätzliche Auskleidung verzichtet werden kann.



Abbildung 5
Heißwasser-Wärmespeicher (12000 m³) während der Bauphase (Friedrichshafen)

Quelle: Uni Stuttgart, ITW

Diese Vorgehensweise stellt heutzutage den Stand der Technik dar.

Eine Alternative zur beschriebenen Betonkonstruktion stellen Behälter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen dar. Die Speicher werden drucklos im Temperaturbereich von 30 bis 95 °C betrieben. Um eine Durchmischung des Speicherinhaltes beim Be- und Entladen des Speichers zu verhindern, sind spezielle Vorrichtungen notwendig, die den Zu- und Ablauf wirbelfrei gewährleisten müssen. Derartige Ladewechseleinrichtungen werden zum Beispiel oft als Prallteller ausgeführt.

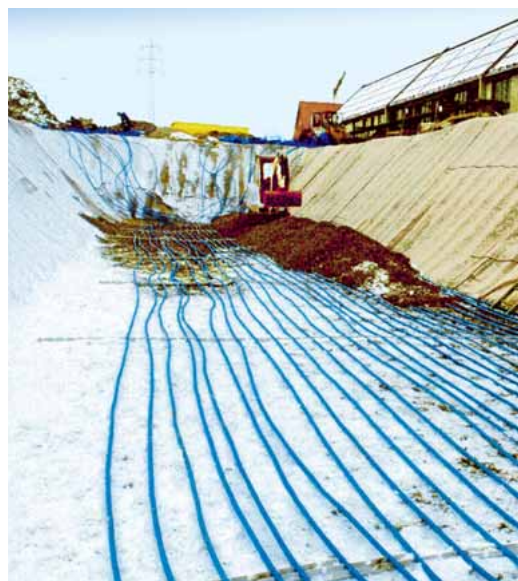
Abbildung 6
Aufbau des Kies/
Wasser-Wärme-
speichers (1500 m³)
in Steinfurt-Borghorst

Quelle: Uni Stuttgart, ITW

Kies/Wasser-Wärmespeicher

Kies/Wasser-Wärmespeicher haben eine mit wasserdichter Kunststoffolie ausgekleidete Grube, die mit einem Kies/Wasser-Gemisch als Speichermedium gefüllt ist (Abb. 6). Der Speicher ist seitlich und oben, bei geeigneter Druckfestigkeit des Dämmstoffes auch unten wärmedämmt. Die Ein- und Ausspeicherung der Wärme erfolgt über direkten Wasseraustausch oder indirekt über Rohrschlangen. Eine statische Tragkonstruktion ist nicht notwendig, da die auftretenden Lasten über den Kies an die Seitenwände und den Boden abgetragen werden.

Derzeitig eingesetzte Abdichtfolien begrenzen die Maximaltemperaturen auf ca. 90 °C. Bedingt durch die geringere Wärmekapazität 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. Speicher dieser Art sind am ITW der Universität Stuttgart seit 1985 sowie in Chemnitz, Augsburg und Steinfurt-Borghorst in Betrieb.



Erdsonden-Wärmespeicher

Erdsonden-Wärmespeicher speichern die Wärme in den Untergrund bzw. ziehen sie aus diesem wieder heraus. Abb. 7 zeigt verschiedene Typen von Erdwärmesonden sowie einen vertikalen Schnitt durch eine Erdwärmesonden-Bohrung. Geeignete Untergründe für Speicher dieser Art sind wassergesättigte Tone bzw. Tonsteine ohne oder mit nur geringer Grundwasserbewegung. Typische Werte für Bohrloch-Durchmesser liegen bei 100 - 200 mm, die Abstände zwischen zwei Bohrlöchern bei 1,5 - 3 m und die Bohrloch-tiefen bei 20 - 100 m. Eine Wärmedämmung kann nur zur Oberfläche hin erfolgen. Aufgrund der dadurch bedingten höheren Wärmeverluste zu den Seiten und 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. Vorteilhaft ist bei diesem Speichertyp der im Vergleich zum Heißwasser-Wärmespeicher geringere Bauaufwand sowie ein möglicher modularer Aufbau bzw. eine sich dem Baufortschritt eines Wohngebietes anpassende Speichergröße.

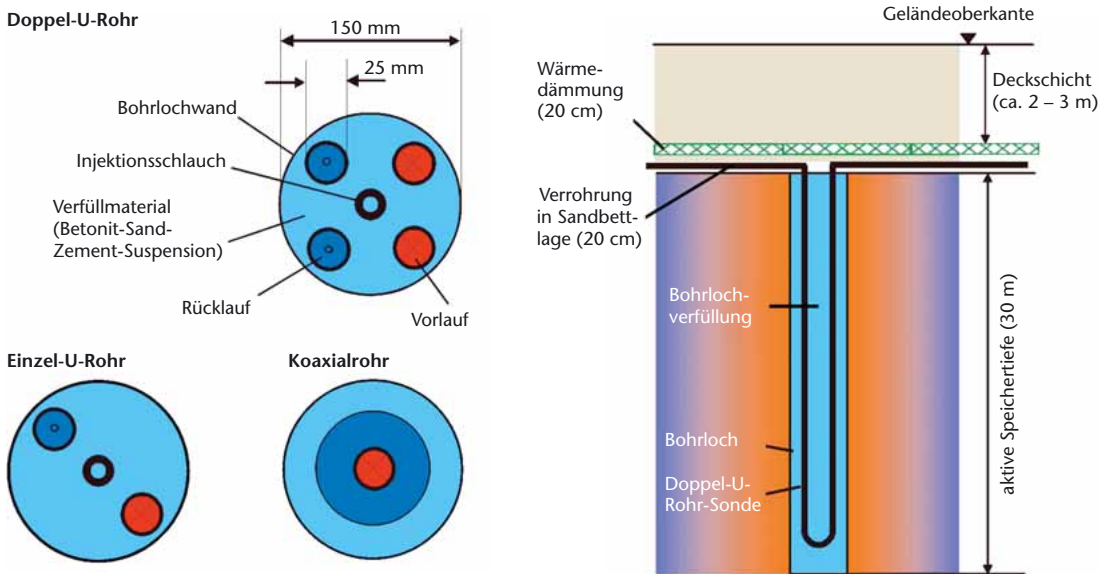


Abbildung 7
Aufbau von Erdwärmesonden

Aquifer-Wärmespeicher

Aquifer-Wärmespeicher nutzen natürlich vorkommende, nach oben und unten abgeschlossene Grundwasserschichten zur Wärmespeicherung. 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 (Abb. 8). Die Entnahme der Wärme 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.

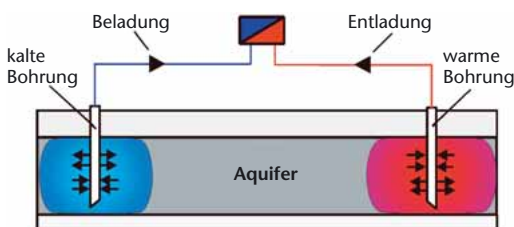
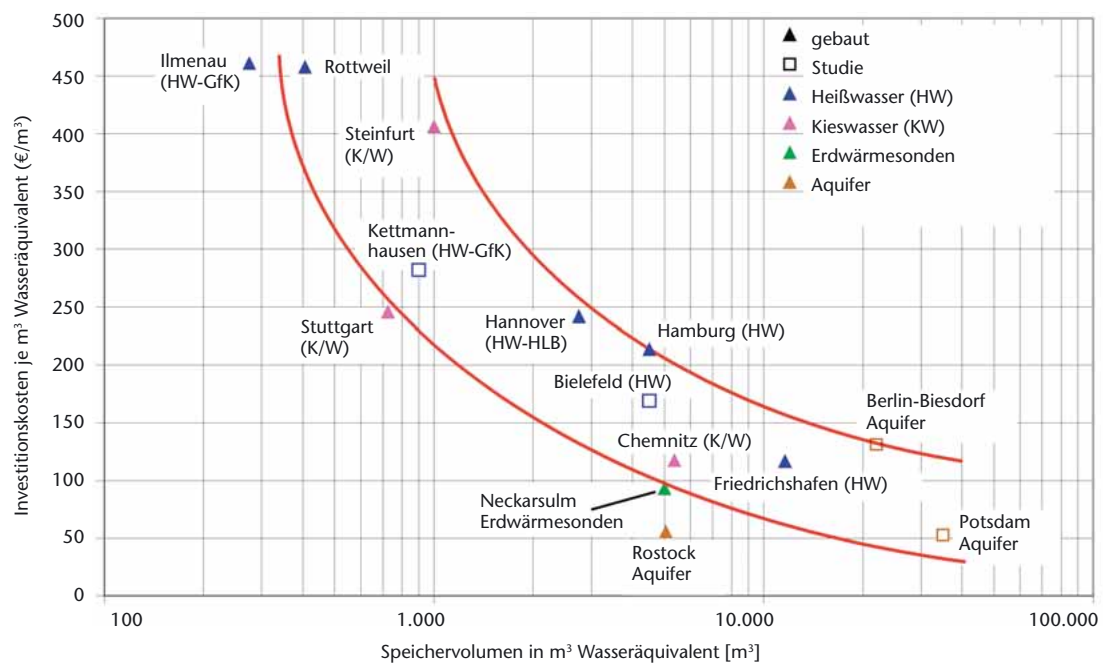


Abbildung 8
Aufbau eines Aquifer-Wärmespeichers

Sie können nicht zur Umgebung hin wärmege-dämmt werden. 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 Wärmeüber-tragern und den Brunnenfiltern führen, wodurch es im Extremfall zu einem Erliegen der Förder-fähigkeit der Brunnen kommen kann. Um dies zu verhindern, muss in solchen Fällen eine geeignete Wasseraufbereitung während des Betriebs erfolgen.

In Abb. 9 sind die spezifischen Speicherkosten der verschiedenen Langzeitspeicher in Abhän-gigkeit vom Speichervolumen aufgetragen. Aufgeführt sind Kostenberechnungen, die durch Planungsstudien oder beim Bau erster Pilotan-lagen in Deutschland ermittelt wurden. Zum besseren Vergleich verschiedener Speicherkon-zepte ist das Speichervolumen auf Volumen-Wasseräquivalent umgerechnet. Die Investitionskosten liegen für Wärmespeicher größer als 10.000 m³ derzeit zwischen 70 und 120 Euro pro m³ Wasseräquivalent. Da alle gebauten Langzeitspeicher Pilotcharakter haben, sind deren Baukosten stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Insgesamt zeigt sich eine starke Kostenreduktion mit zunehmender Speichergöße.

Abbildung 9
Kosten verschiedener
Langzeit-Wärme-
speicher



Auslegungsrichtlinien, Erfahrungen und Empfehlungen

Betriebserfahrungen und Ergebnisse der wissenschaftlich/technischen Begleitforschung der Pilotanlagen zur solarunterstützten Nahwärmeversorgung können in den folgenden Auslegungsrichtlinien (deutsche Anlagen, solarer Deckungsanteil 40 - 50 %) zusammenfasst werden:

- Mindestgröße des Wohngebietes: 100 Wohneinheiten je 70 m²
- Kollektorfläche: 1,4 - 2,4 m² Flachkollektoren/ MWh jährlichem Wärmebedarf
- Speichervolumen: 1,4 - 2,1 m³ Wasser /m² Flachkollektoren.

Gut geplante und ausgeführte Anlagen weisen folgende Merkmale auf:

- Kompakte Bebauungsstruktur (gut: Reihen-/Mehrfamilienhäuser, schlecht: Einfamilienhäuser), wodurch sich geringe Rohrleitungslängen und damit geringe Wärmeverluste ergeben.
- Gebäude mit Sonnenkollektoren sollten nahe der Heizzentrale gelegen sein sowie mög-

lichst eine Ost/West-Dachfirstorientierung aufweisen. Dadurch ergibt sich eine optimale Südorientierung der Kollektorflächen. Abweichungen von bis zu 30 % von dieser optimalen Südausrichtung sind tolerierbar.

- Integrales Energiekonzept: Energieeffiziente Wärmeerzeugung und Verteilung mit Niedertemperaturheizsystemen (Vorlauf/Rücklauf: 60 °C/40 °C, 60 °C/30 °C, 40 °C/25 °C). Hoher Wärmedämmstandard (Niedrigenergiehaus, Passivhaus) der Gebäude.

Die Art der Trinkwassererwärmung sowie die Auslegung des Heizsystems bestimmen die Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes. Diese hat einen signifikanten Einfluss auf die Höhe des solaren Nutzwärmeertrags:

Wird die Wärme aus der Heizzentrale über ein Zwei-Leiter-Wärmeverteilnetz an die Verbraucher weitergegeben (vgl. Abb. 3), so kann dies mit direkter Heizungseinbindung und Trinkwasserbereitung im Durchflussprinzip erfolgen. Vorteilhaft ist dabei eine sehr gute Auskühlung des Vorlaufs sowie die Vermeidung von Legionellenbildung durch häufige Nutzung und einer Erwärmung auf 60 °C von Zeit zu Zeit. Pro Wohneinheit sind dabei Wärmeströme von 20 bis 30 kW zu übertragen.

Eine zweite Möglichkeit der Ankopplung der hausinternen Installationen an das Wärmeverteilnetz besteht in einer indirekten Heizungsanbindung und einer Trinkwasserbereitung mit Speicherladesystem. Dabei wird ebenfalls eine gute Auskühlung bei geringen zu übertragenden Wärmeströmen erreicht. Hier besteht die Gefahr der Legionellenbildung, die aber durch elektrisches Nacherhitzen vermieden werden kann – siehe oben. Durch den Einsatz von Niedertemperaturheizungen können im Vergleich zu konventionellen Heizsystemen niedrige Netzurücklauftemperaturen erreicht und der solare Deckungsanteil des Gesamtsystems deutlich gesteigert werden.

Weitere Möglichkeiten das Wärmeverteilnetz auszubilden sind Drei- und Vier-Leiternetze:

- Drei-Leiternetz: Dabei wird die Hausübergabestation durch eine Solarübergabestation, d. h. einem zusätzlichen Wärmeübertrager ergänzt: Der durch Raumheizung oder Trinkwassererwärmung abgekühlte Rücklauf wird mit dem Solarrücklauf verbunden und damit der Solaranlage zur Erwärmung direkt zur Verfügung gestellt.
- Bei einem Vier-Leiternetz als Wärmeverteilnetz werden je zwei Vor- und Rücklaufleitungen für Trinkwasser und Heizung verwendet. Die Aufteilung in Trinkwasser und Heizungsstrang erfolgt in der Heizzentrale.

Zusammenfassung

Die derzeit in Deutschland betriebenen neun Pilotanlagen zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit Langzeitwärme-Speicher funktionieren ohne wesentliche Probleme. Die technische Machbarkeit und Effizienz der Systemtechnik konnte nachgewiesen werden. Alle vier Konzepte zur saisonalen Wärmespeicherung sind mindestens einmal umgesetzt. Diese Speicherkonzepte müssen nun weiterentwickelt werden, um die derzeit noch hohen Baukosten zu reduzieren. Dies erfolgt durch eine wissenschaftlich-technische Begleitforschung im Rahmen des Forschungskonzepts Solarthermie 2000 plus.

Literatur

- [1] Benner,M; Bodmann,M; Mangold,D; Nußbicker,J; Raab,S; Schmidt,Th; Seiwald,H; 2004: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher (Nov. 98 bis Jan. 03). Forschungsbericht zum BMWi - Vorhaben 0329606 S.
- [2] Raab,S; Mangold,D; Nußbicker, Heidemann, W; Müller-Steinhagen,H; 2004: Solar assisted district heating system with seasonal hot water heat store in Friedrichshafen (Germany). 14. Internationales Sonnenforum, Freiburg, 20.-23.06.
- [3] Raab,S; Mangold,D; Heidemann, W; Müller-Steinhagen,H; 2005: Die solarunterstützte Nahwärmeversorgung in Crailsheim. 15. Symposium Thermische Solarenergie. Kloster Banz, 27.-29.04.