

Neue Anwendungen und Technologien saisonaler Wärmespeicher

Dipl.-Ing. Thomas Schmidt, Dipl.-Ing. Dirk Mangold
Solites - Steinbeis Forschungsinstitut für
solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme
Nobelstr. 15, 70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 6732000-0, Fax: +49 (0)711 6732000-99
E-Mail: info@solites.de, Internet: www.solites.de

Im Rahmen der wirtschaftlich-technischen Programmbegleitung der Pilotprojekte mit saisonalem Wärmespeicher des Forschungsprogramms Solarthermie2000plus bzw. der seit 2009 geltenden „Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich Erneuerbarer Energien“ des BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) werden die Technologien zur saisonalen Wärmespeicherung Schritt für Schritt weiterentwickelt. Ziel ist es, bis zum Jahr 2020 eine Marktfähigkeit dieser Technologien zu erreichen.

Seit Anfang der 1990'er Jahre wurden in Deutschland vier Grundkonzepte zur saisonalen Wärmespeicherung entwickelt und teilweise auch kombiniert: Behälter-, Erdbecken-, Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher, siehe z.B. [Mangold, D.; Schmidt, T; 2006]. Die technische Machbarkeit der saisonalen Wärmespeicherung konnte bereits mit den jeweils ersten Pilotprojekten für die einzelnen Speicherkonzepte nachgewiesen werden. Die angestrebten Werte der Speicher- und Systemeffizienz wurde bei manchen Konzepten erst in der folgenden Speichergeneration erreicht.

Dank der Erfahrungen und Entwicklungen aus den realisierten Pilotprojekten konnten die Baukosten der Speicher nennenswert reduziert und die Effizienz und Zuverlässigkeit der Speicherkonstruktionen deutlich gesteigert werden. Dies führte zu einer Halbierung der Kosten für die aus dem Speicher genutzte Wärme seit den ersten Speichern aus dem Jahr 1996 [BMU 2006].

Weitere Kostensenkungen oder Effizienzsteigerungen sind bei Saisonspeichern durch verbesserte und kostengünstigere Bauweisen möglich. Dies zeigte zum Beispiel der 2008 realisierte Kies-Wasser-Wärmespeicher in Eggenstein-Leopoldshafen.

Eine weitere Chance der Optimierung bietet jedoch auch die **Erweiterung des Betrachtungsraumes auf das gesamte Versorgungssystem**. Im den folgenden Beispielen soll insbesondere das durch eine systemweite Betrachtung vorhandene Op-

timierungspotential zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von saisonalen Wärmespeichern aufgezeigt werden.

Der Erdsonden-Wärmespeicher in Crailsheim

In Crailsheim ist es gelungen, durch eine individuell an die örtlichen geologischen Gegebenheiten angepasste Planung einen havariesicheren, robusten und kostengünstigen Speicher zu errichten. Zusätzlich konnte durch eine systemweite Betrachtung die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems verbessert werden.

Der Erdsonden-Wärmespeicher wurde im August 2008 fertig gestellt und wird im Mai 2009 in Betrieb genommen. Er besteht in einer ersten Ausbaustufe aus 80 Erdwärmesonden (Doppel-U-Rohr-Sonden aus vernetztem Polyethylen (PEX)), die in eine Tiefe von 55 m reichen. Das dadurch erschlossene Erdreichvolumen beträgt 37 500 m³. Der Speicher ist zur Oberfläche hin wärmedämmend (50 cm Schaumglasschotter) und wird bei Temperaturen zwischen 20 und 65 °C betrieben. Die maximalen Beladetemperaturen liegen bei über 90 °C. In einer zukünftigen Erweiterung des Speichers ist ein Ausbau auf 75 000 m³ geplant. Die abgerechneten Baukosten betragen rund 600.000 € netto einschl. Planung. Dies entspricht Baukosten von rund 60 € je m³ Wasseräquivalent. Damit ist der Erdsonden-Wärmespeicher in Crailsheim der kostengünstigste der bis jetzt gebauten Speicher.

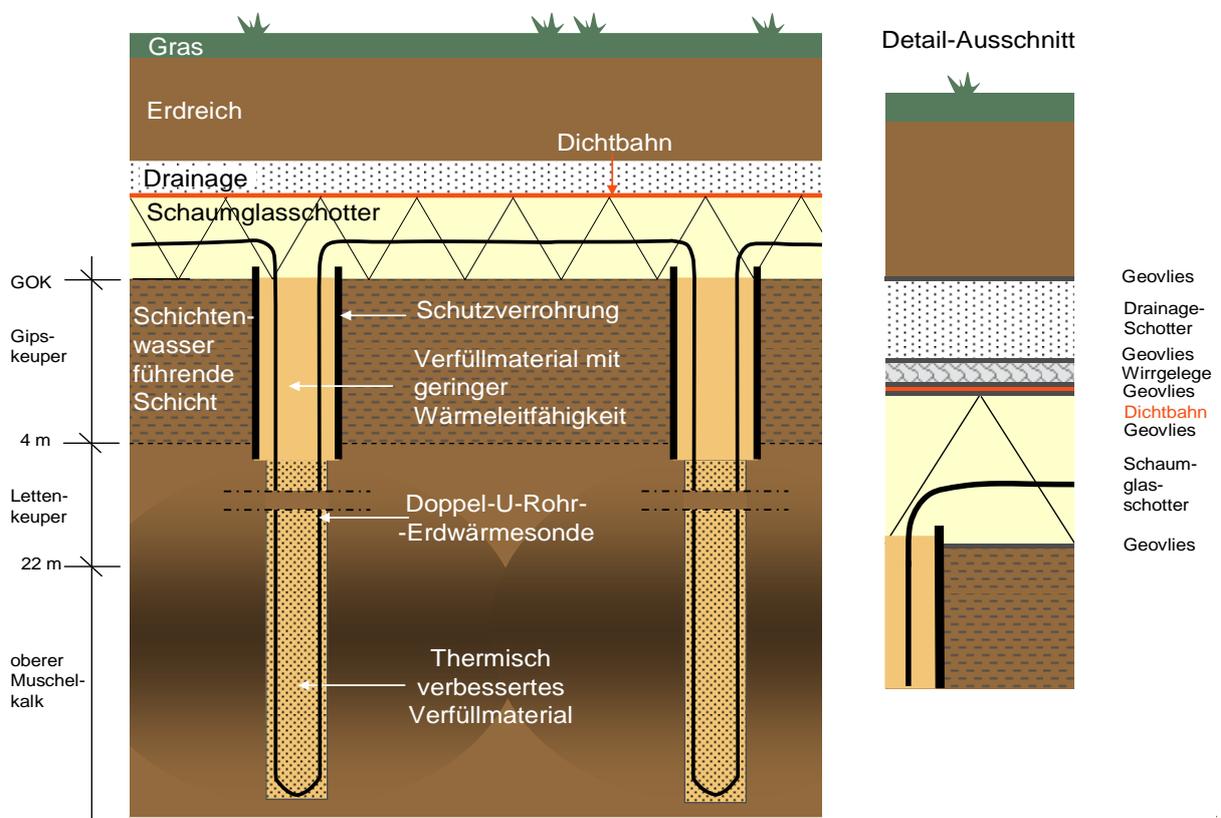


Bild 1: Vertikalschnitt durch den Erdsonden-Wärmespeicher

Während der hydrogeologischen Voruntersuchung wurde im Bereich bis 4 m unter Geländeoberkante (GOK) eine zeitweise auftretende Schichtenwasserbewegung festgestellt. Bild 1 zeigt das Konzept, einen dadurch erhöhten Wärmeverlust in diesem Speicherbereich zu minimieren: Die ersten 5 m des Bohrlochs wurden mit einem größeren Durchmesser gebohrt und mit einem Dämmstoff verfüllt, um den Wärmeeintrag und damit auch mögliche Wärmeverluste durch Schichtenwasser in diesem Bereich zu reduzieren. Der restliche Bereich des Bohrlochs wurde mit einem thermisch verbesserten Verfüllmaterial verfüllt. Die Horizontalverrohrung zur hydraulischen Verbindung der Erdwärmesonden wurde mittig zwischen zwei Lagen Schaumglaschotter ohne Sandbett 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 wird das versickernde Oberflächenwasser seitlich abgeleitet.

Die Dimensionierung des saisonalen Erdsonden-Wärmespeichers erfolgte mit Hilfe von dynamischen Simulationsrechnungen, in denen die gesamte Nahwärmeversorgung von den Solarkollektoren bis hin zu den Hausübergabestationen der Verbraucher berücksichtigt wurde. Nach Betrachtung der täglichen Lastgänge bei der Beladung des Speichers und der insgesamt jährlich zu speichernden Wärmemenge wurde zusätzlich ein Pufferspeicher mit 480 m³ Wasservolumen als Leistungspuffer für die Solarkollektoren vorgesehen. Er dient der Pufferung der im Sommer täglich von den Kollektorflächen gelieferten Wärmemenge, die vorwiegend in den Erdsonden-Wärmespeicher eingespeichert werden muss. Durch den Pufferspeicher kann die maximale Beladeleistung des Erdsonden-Wärmespeichers deutlich unter der maximalen Wärmeleistung der Kollektorflächen gehalten werden. Als Folge davon wurde die Zahl der benötigten Erdwärmesonden deutlich reduziert, wodurch trotz der Baukosten des Pufferspeichers eine verbesserte Wirtschaftlichkeit des gesamten Speichersystems erreicht wurde.

Wärmespeicher unter Innendruck

Am Beispiel Crailsheim soll ebenfalls erläutert werden, wie durch größere Wärmespeicher, die unter Innendruck betrieben werden können, Kostenreduzierungen im Gesamtsystem durch eine einfache Systemeinbindung von Speichern möglich werden.

Ein erstes Hydraulikkonzept des Speichersystems in Crailsheim enthielt insgesamt fünf Wärmeübertrager. Zwei dieser Wärmeübertrager wurden notwendig, um die beiden in Bild 2 dargestellten und ursprünglich drucklos geplanten Beton-Pufferspeicher betreiben zu können. Nachteile von Wärmeübertragern sind neben deren bei dieser Größe nicht unerheblichen Investitionskosten die Temperatur- bzw. Exergieverluste,

die durch den Temperaturabfall bei jeder Wärmeübertragung verursacht werden. Außerdem werden in jedem durch die Wärmeübertrager abgetrennten hydraulischen Kreis gegebenenfalls zusätzliche Komponenten wie beispielsweise Sicherheitseinrichtungen, Druckhaltungen o. Ä. notwendig, durch die das Gesamtsystem teurer und komplexer und damit auch störanfälliger wird.

Durch eine Optimierung konnte ein energetisch effizienteres, einfacheres und in der Summe kostengünstigeres Konzept gefunden werden, indem auf Seiten der Pufferspeicher geringe Mehrkosten für die Druckbeaufschlagung in Kauf genommen wurden, die jedoch den Wegfall der zusätzlichen Wärmeübertrager ermöglicht haben, siehe Bild 2.

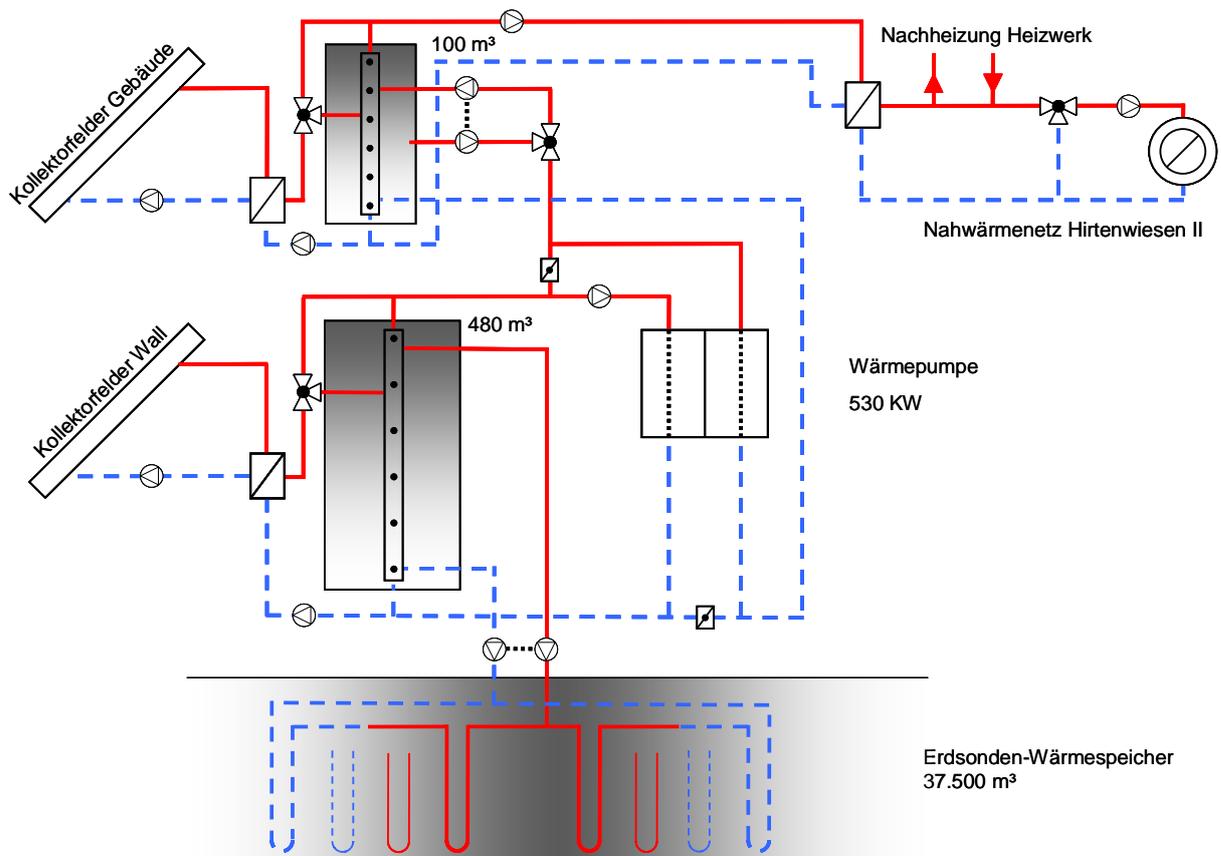


Bild 2: Vereinfachtes Hydraulikschema der solaren Nahwärme in Crailsheim

Beide Pufferspeicher werden nun mit maximal 3 Bar Innendruck betrieben. Da dadurch im oberen Speicherbereich kein Luftvolumen zur Aufnahme der Wasserausdehnung vorhanden ist, kann die innere Auskleidung ohne wesentlich erhöhte Korrosionsgefahr aus Schwarzstahl anstatt aus Edelstahl ausgeführt werden.

Ein weiterer Vorteil der Druckbeaufschlagung ist, dass die Kollektorfelder zur Stagnationsvermeidung auf höheren Vorlauftemperaturen bis ca. 110 °C betrieben werden können. Untersuchungen und Betriebserfahrungen früherer Anlagen zeigen, dass

dadurch in außergewöhnlich strahlungsstarken Sommermonaten die Stagnationszeiten im Solarkreis stark reduziert werden können.

Weiterhin erhöht der Verzicht auf zusätzliche Wärmeübertrager die Effizienz des Solarsystems, da die Solarkollektoren auf einem niedrigeren Temperaturniveau betrieben werden können.

Der größtenteils frei stehende 100 m³ Pufferspeicher wurde aus vorgefertigten Betonzyklindern, ähnlich den bekannten Abwasserrohren, errichtet, vorgespannt und mit Edelstahlblech ausgekleidet¹. Als Wärmedämmung wurde in Gewebesäcke eingefülltes Blähglasgranulat verwendet. Außen ist der Speicher durch eine hinterlüftete Verkleidung vor der Witterung geschützt.

Der 480 m³ Pufferspeicher ist in einen Lärmschutzwall integriert. Er wurde aus Ortbeton mit Fertigschalungen erstellt, da aufgrund des größeren Durchmessers keine sinnvoll transportierbaren Fertigteile hergestellt werden konnten. Als Dämmmaterial wurde ebenfalls Blähglasgranulat verwendet, das mit Hilfe einer Membranschalung eingebaut wurde. Der Dämmaufbau ist zum Erdreich hin durch die Membranschalung wasserdicht jedoch diffusionsoffen abgetrennt. Dadurch kann eventuell in das Dämmmaterial eintretende Feuchtigkeit wieder entweichen.

Weitere Informationen zum Speicheraufbau und zum Gesamtsystem finden sich in [Riegger M. 2008].

Umnutzung einer der ersten saisonalen Wärmespeicher in Hamburg-Bramfeld zum Multifunktionsspeicher

Die E.ON Hanse Wärme GmbH erweitert die Nutzung des saisonalen Wärmespeichers in Hamburg-Bramfeld, um neben der saisonalen Speicherung solarer Wärme auch den Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung im Fernwärmenetz zu erhöhen.

Es ist beabsichtigt, den 1996 fertig gestellten saisonalen Wärmespeicher in das Wärmeverbundnetz Hamburg-Ost zu integrieren und den Wärmespeicher in bislang ungenutzten Zeiträumen – nachdem die gespeicherte Solarwärme im Winter vollständig entladen ist bis zur Wiederbeladung im Frühjahr – innerhalb des Wärmeverbundnetzes als Kurzzeit-Pufferspeicher zur Spitzenlastpufferung im Bereich von 7 bis 10 MW zu nutzen. Durch diese Spitzenlastpufferung kann der KWK-Anteil im Verbundnetz erhöht und damit die CO₂-Emissionen zusätzlich gesenkt werden. Durch die erweiterte Nutzung wird die Wirtschaftlichkeit des Wärmespeichers verbessert.

¹ Auf die oben erwähnte Möglichkeit der Verwendung von Schwarzstahl wurde verzichtet, da dadurch im vorliegenden Fall keine nennenswerten Einsparungen erzielt worden wären.

Die Umnutzung des Wärmespeichers erfordert eine angepasste hydraulische Einbindung in das Fernwärmenetz sowie eine Umrüstung der Be- / und Entladeeinrichtungen, um höhere Durchflüsse und damit auch größere Wärmeleistungen ermöglichen zu können. Weiterhin ist der Einbau einer Innendämmung notwendig, da zukünftig mit höheren Temperaturbelastungen zu rechnen ist, denen der Speicher aus statischer Sicht ohne Innendämmung nicht standhalten würde.

Mit dem geplanten Vorhaben soll zum einen gezeigt werden, dass eine saisonale Wärmespeicherung von Solarwärme und gleichzeitige eine Nutzung des Speichers zur Erhöhung einer KWK-Nutzung möglich ist. Zum anderen wird erstmals die Möglichkeit des Ausbaus eines bestehenden großen Behälters mit Innendämmung demonstriert. Dabei wird ein Verfahren erarbeitet, das auch auf andere Behälter übertragen werden kann – zum Beispiel auf die zunehmenden Anfragen nach einer Umnutzung bestehender Behälter, wie z.B. Getreidesilos, Gärbehälter, Trinkwasserspeicher etc. zu Wärmespeichern.

Mit dem geplanten Umbau des Wärmespeichers zum Multifunktionsspeicher wurde von der E.ON Hanse Wärme GmbH auch die Erprobung einer verstärkten Nutzung solarer Wärme in Fernwärmenetzen begonnen. In einem ersten Abschnitt sollen bis zu 20 000 m² Solarkollektorfläche in das Wärmeverbundnetz Hamburg-Ost eingebunden werden.

Danksagung

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Vorhaben werden unter anderem mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert. Die Autoren danken für diese Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtes liegt bei den Autoren.

Literatur

Mangold, D., Schmidt, T., (2006), Saisonale Wärmespeicher: neue Pilotanlagen im Programm Solarthermie2000plus und Forschungsperspektiven. BMU/ BMWi-Statusseminar Thermische Energiespeicherung, 2. und 3. 11. 2006, Freiburg

BMU (2006), Jahresberichte 2006, 2007 und 2008 zur Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien, BMU, Berlin

Riegger M. (2008): Saisonalen Erdsonden-Wärmespeicher Crailsheim, bbr - Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, Ausgabe 09/2008, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn