

## **Planungsoptimierung und Bau des solaren Nahwärmesystems mit saisonalem Kies-Wasser-Wärmespeicher in Eggenstein-Leopoldshafen**

Mathieu Riegger, Dirk Mangold  
Solites - Steinbeis Forschungsinstitut für  
solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme  
Tel: 0711 673 2000 0, Fax: 0711 673 2000 99  
info@solites.de, www.solites.de

### **Das solare Nahwärmesystem**

In Eggenstein-Leopoldshafen wurde ein Ende der 1960er gebautes, typisches Schul- und Sportzentrum (Grund- und Hauptschule, Sporthallen, Hallenbad und Feuerwehrhaus mit einer gesamten Bruttogeschoßfläche von rund 12.000 m<sup>2</sup>) inklusive der Nahwärmeversorgung energetisch saniert. Die Wärmeversorgung dieser Gebäude wird zukünftig durch eine Kollektorfläche von 1600 m<sup>2</sup> und einen 4500 m<sup>3</sup> großen Kies-Wasser-Wärmespeicher solar unterstützt.

Das Gesamtkonzept wurde auf dem OTTI-Symposium Thermische Solarenergie 2007 in /1/ erläutert. Dieser Bericht stellt ergänzend die im letzten Jahr erfolgte Optimierung des Gesamtsystems und den Bau des Kies-Wasser-Wärmespeichers dar.

Der Kies-Wasser-Wärmespeicher speichert die vorwiegend im Sommer gewonnene Solarenergie saisonal bis in die Heizperiode. Er wird über eine Wärmepumpe auf Temperaturen bis unter 20 °C entladen. Der Bau des Wärmespeichers wurde im Sommer 2007 durch den Planer der Gesamtmaßnahme Pfeil und Koch Ingenieurgesellschaft funktional ausgeschrieben. Die Vergabe erfolgte an das Unternehmen Züblin Spezialtiefbau GmbH als Generalunternehmer. Im Rahmen der durch Solites erfolgten Projektbegleitung wurde das Gesamtsystem entsprechend den sich durch den weiteren Planungs- und Baufortschritt ergebenden Randbedingungen optimiert und insbesondere die Ausführungs- und Werkplanung und der Bau des Speichers wirtschaftlich-technisch begleitet.

### **Planungsoptimierung**

Die Überprüfung der Anlagendimensionierung sowie eine Optimierung des Regelungskonzepts und der Auslegung einzelner Komponenten erfolgten mit Hilfe

einer detaillierten Systemsimulation mit TRNSYS. Das Ziel dieser Optimierungen ist eine Verbesserung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses, also die Erreichung möglichst hoher Primärenergieeinsparungen bei gleichzeitig minimierten Investitions- und Betriebskosten.

Eine wichtige Rolle kommt hierbei der Wärmepumpe zu, die zur Entladung des Kies-Wasser-Wärmespeichers dient, wenn aufgrund des Temperaturniveaus im Kies-Wasser-Wärmespeicher keine direkte Entladung mehr möglich ist. Bild 1 zeigt ein vereinfachtes Anlagenschema der Einbindung des Kies-Wasser-Wärmespeichers und der Wärmepumpe in das Gesamtsystem.

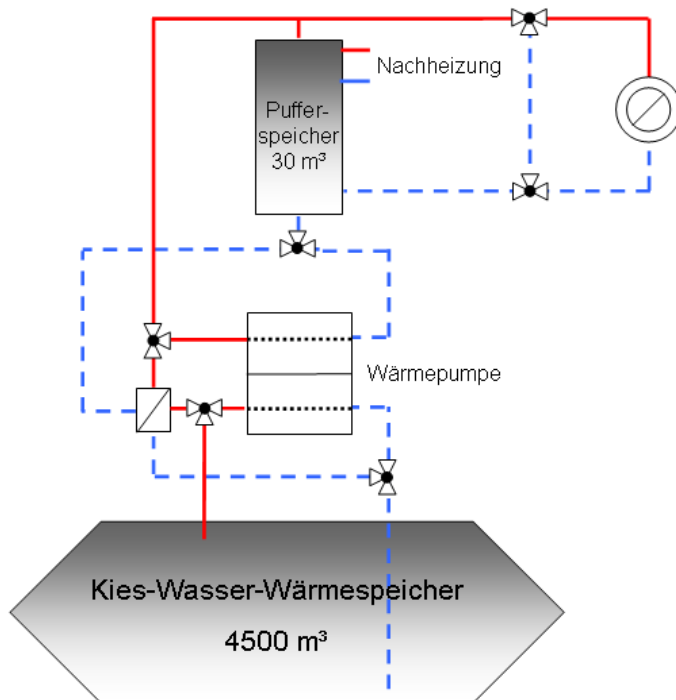


Bild 1: Vereinfachtes Anlagenschema der Einbindung des Kies-Wasser-Wärmespeichers und der Wärmepumpe in das Gesamtsystem.

Der Einsatz der Wärmepumpe bewirkt niedrige Speicherwärmeverluste und eine hohe nutzbare Wärmespeicherkapazität des Speichers durch das niedrige Temperaturniveau im Winter sowie hohe Kollektorerträge durch niedrige Kollektorrücklauftemperaturen. Auch bei der Auswahl der Wärmepumpengröße gilt es, die Investitionskosten gegenüber den erzielbaren Primärenergieeinsparungen, also den verminderten Betriebskosten, abzuwägen. Dies geschieht mit Hilfe von Bild 2, in dem, neben dem solaren Deckungsanteil und der Jahresarbeits-

zahl der Wärmepumpe, die anteilige Primärenergieeinsparung durch die solar unterstützte Nahwärme in Abhängigkeit der Wärmepumpengröße gegenüber einem konventionellen Gas-Heizsystem dargestellt ist. Es wird zwischen verschiedenen Netzurücklauftemperaturen (30 bzw. 35 °C) und einer „guten“ sowie einer „schlechten“ Wärmepumpe unterschieden. Ökonomisch sinnvoll ist eine Erhöhung der Wärmepumpengröße jeweils nur bis zu einer bestimmten minimalen Steigung der anteiligen Primärenergieeinsparung. Das deutliche Abflachen der Kurve der anteiligen Primärenergieeinsparung bei ca. 45 kW thermischer Kondensatorleistung in allen 4 Fällen deutet darauf hin, dass an diesem Punkt das wirtschaftliche Optimum vorliegt.

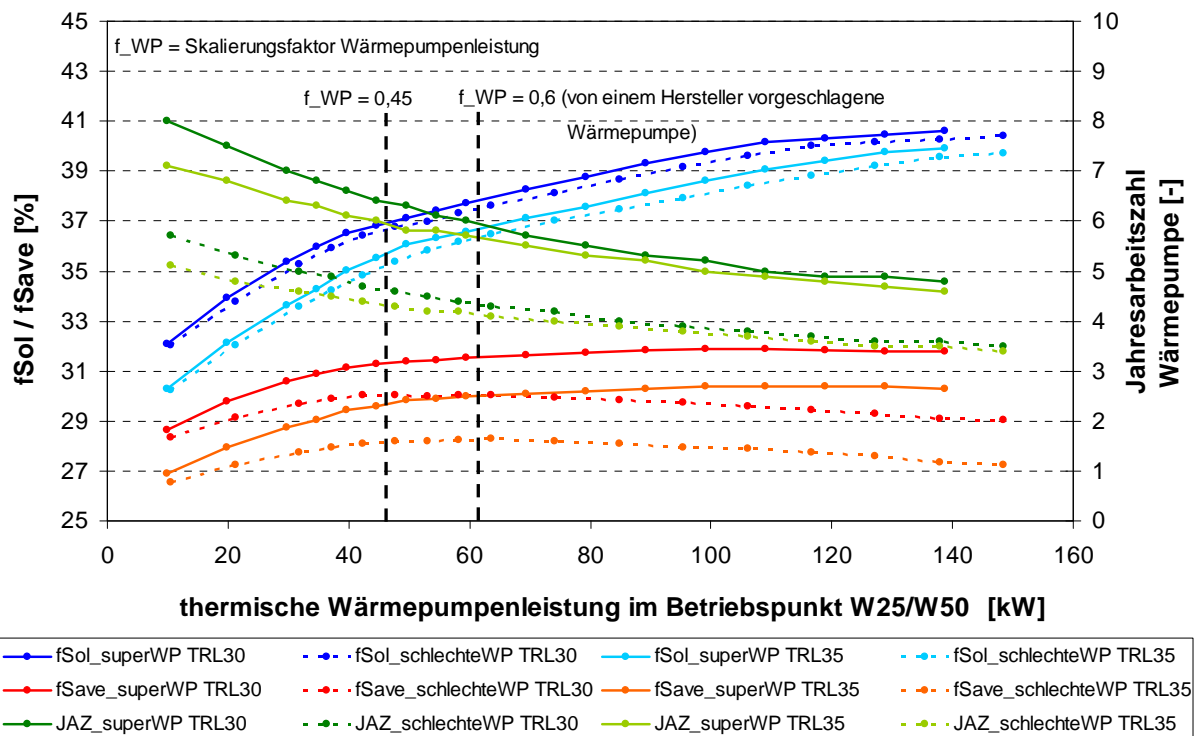


Bild 2: solarer Deckungsanteil (fSol), anteilige Primärenergieeinsparung (fSave) sowie Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe (JAZ) für verschiedene thermische Wärmepumpenleistungen bei Verwendung des Meteororm-Wetterdatensatzes Mannheim, einer maximal zulässigen Temp. von 80 °C im Kies-Wasser-Wärmespeicher und einer Netzlast von 1150 MWh

Betriebspunkt W25/W50: Austrittstemperatur am Verdampfer 25 °C, am Kondensator 50 °C  
 TRL30: Netzurücklauftemperatur = 30 °C; TRL35: Netzurücklauftemperatur = 35 °C  
 superWP = super Wärmepumpe; schlechteWP = schlechte Wärmepumpe, jeweils entsprechend der JAZ (Verdichtergütegrad schlechte WP = ca. 70 % super WP)

Im Folgenden werden ausgewählte in Bild 2 erkennbare Grundzusammenhänge erläutert:

- Mit steigenden Wärmepumpenleistungen im Betriebspunkt W25/W50 sinkt die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Der Grund hierfür ist die Entladung des Kies-Wasser-Wärmespeichers auf niedrigere Temperaturen und damit verbundene geringere Leistungszahlen.  
 Bei kleinen Wärmepumpen hingegen reicht deren Leistung nicht aus, den Speicher in der zur Verfügung stehenden Entladezeit bis auf die minimal zulässige Verdampferaustrittstemperatur von 5 °C auszukühlen.
- Trotz der mit der Wärmepumpengröße sinkenden Jahresarbeitszahl nimmt die anteilige Energieeinsparung bis zu einer bestimmten Wärmepumpengröße zu. Durch weiteres Erhöhen der Wärmepumpengröße wird das Maximum der anteiligen Energieeinsparung überschritten, da bei sehr geringen Speicher-

temperaturen die Leistungszahl so stark absinkt, dass der Primärenergiebedarf für den elektrischen Antrieb der Wärmepumpe höher ist als beim Betrieb des Gaskessels. Je schlechter der Gütegrad der Wärmepumpe ist, desto geringer ist die maximal erreichbare anteilige Energieeinsparung. Bei schlechten Wärmepumpengütegraden wird dieses Maximum außerdem bei einer geringeren Wärmepumpengröße erreicht.

- Im Gegensatz zur anteiligen Primärenergieeinsparung steigt der solare Deckungsanteil im untersuchten Bereich (d.h. von ca. 10 bis ca. 150 kW thermischer Wärmepumpenleistung im Betriebspunkt W25/W50) stetig an. Allerdings ist auch bei dieser Bewertungsgröße zu erkennen, dass sie sich asymptotisch einem Maximalwert nähert.
- Der solare Deckungsanteil bzw. die anteilige Primärenergieeinsparung sinken bei einer Erhöhung der Netzurücklauftemperatur von 30 auf 35 °C im Mittel um absolut circa 1,25 bzw. 1,7 %, was einem relativen Rückgang um 3,4 bzw. 5,6 % entspricht.

## **Bau des Kies-Wasser-Wärmespeichers**

Auf Basis des Planungsstandes der Funktionalausschreibung, der in /1/ beschrieben ist, wurden in Kooperation mit dem Planer und dem Generalunternehmer die Bauteile des Kies-Wasser-Wärmespeichers in folgenden Punkten weiterentwickelt:

- Nach Aushub der Speichergrube zeigte sich, dass im Untergrund fast nur Sand und kaum Kies vorhanden ist. Zur Reduzierung der Speicherbaukosten wurde anzufahrender Kies nur im unteren und oberen Bereich des das Speichervolumen bildenden Doppelkegelstumpfes eingebaut. In diesen Kies wird der Speicherkreislauf durch Brunnen hydraulisch direkt eingebunden. Der mittlere Bereich des Speichers wurde mit dem ausgehobenen Sand aufgefüllt, nachdem vorhergehende Messungen ergaben, dass dieser für die geringen Volumenströme eines saisonalen Wärmespeichers ausreichend durchlässig ist.
- Aufgrund der oben beschriebenen Simulationsergebnisse wurde die Wärmedämmung des Speichers erhöht. Der Speicher ist heute am Boden und in den Seitenwänden mit 50 cm Blähglasgranulat, auf dem Speicherdeckel mit 90 cm Schaumglasschotter wärmegeklämt. Die Dämmstärken entsprechen dem unter Berücksichtigung der Einbaukosten und dem zur Verfügung stehenden Gesamtbudget möglichen wirtschaftlichen Optimum.

- Das Speichervolumen wird durch eine 2,5 mm starke Kunststoffbahn mit mittig liegender Alusperrschicht wasserdampfdicht abgedichtet. Zur Überwachung und Überprüfung der dauerhaften Dichtigkeit dieser Bahn wurde eine Idee aus dem Speicherbau in Steinfurt-Borghorst (1999) wieder aufgegriffen und nach vorab durchgeführten Tests auch realisiert (Bild 3): Diese Kunststoffbahn wurde mit der

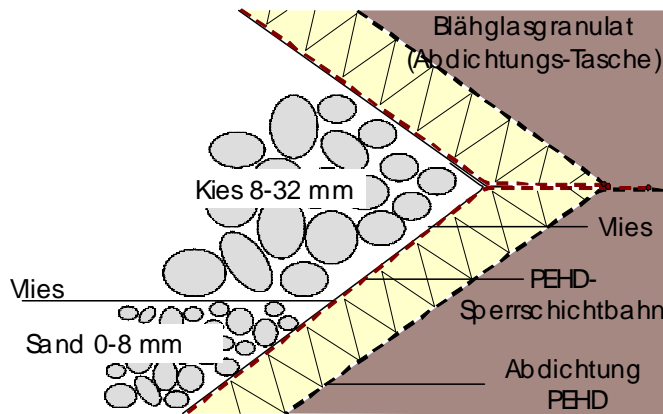


Bild 3: Schnitt durch die Speicherwand

Kunststoffbahn, die die Speichergrube zum Erdreich hin abdichtet, durch eingeschweißte Stege in große Kammern eingeteilt. In diese Kammern wurde die Wärmedämmung in der Speicherwand eingeblasen und auf Boden und Decke eingebaut. Durch Evakuierung dieser Kammern konnte zum einen

während der gesamten Baumaßnahme die dauerhafte Dichtigkeit der Kammern nachgewiesen werden, zum anderen wurde das Blähglasgranulat vorverdichtet, statisch stabilisiert und sicher vor Regen und Feuchtigkeit geschützt. Für zukünftige Baumaßnahmen wird eine Dichtigkeitsüberwachung durch Vakuum empfohlen, wobei hierzu in allen Anschlüssen, Verbindungsschläuchen etc. auf bewährte Bauteile der Vakuumtechnik zurückgegriffen werden sollte.

Die folgende Seite zeigt den Bauablauf des Speichers. Der Speicher mit einem Volumen von 4.500 m<sup>3</sup> wurde innerhalb von drei Monaten errichtet, die geplanten Baukosten von rund 550.000 € wurden eingehalten.

*Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird 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.*

## Literaturquelle

- /1/ Pfeil, M.; Koch, H.; Seitz, H: Realisierung eines solaren Nahwärmesystems mit Langzeit-Wärmespeicher in einem Schul- und Sportzentrum der 1960er Jahre, OTTI-Symposium Solarthermie 2007, Tagungsband



Ausheben der Speichergrube



Schutzvlies und äußere, verschweißte Kunststoffbahn



Innere Kunststoffbahn, erste Kammern mit Blähglasgranulat gefüllt



Innere Lage Schutzvlies, Einbau der unteren Kieslage



Mittlere Lage Sand ist eingebaut, Aufbau des oberen Kegelstumpfes aus Kies



Aufbau der Deckeldämmung aus Schaumglas-schotter auf innerer Lage Kunststoffbahn. Abdeckung der Wärmedämmung mit äußerer Kunststoffbahn

Bild 4: Bauablauf des Kies-Wasser-Wärmespeichers in Eggenstein von Juli bis Oktober 2007