



◀ **Abbildung 1**
SuN mit Erdbecken-Wärmespeicher in Neckarsulm

Quelle: ITW Universität Stuttgart

Solare Nahwärme mit Langzeit-Wärmespeicherung in Deutschland

Aktueller Stand und umgesetzte Projekte

Von Thomas Schmidt und Dirk Mangold*

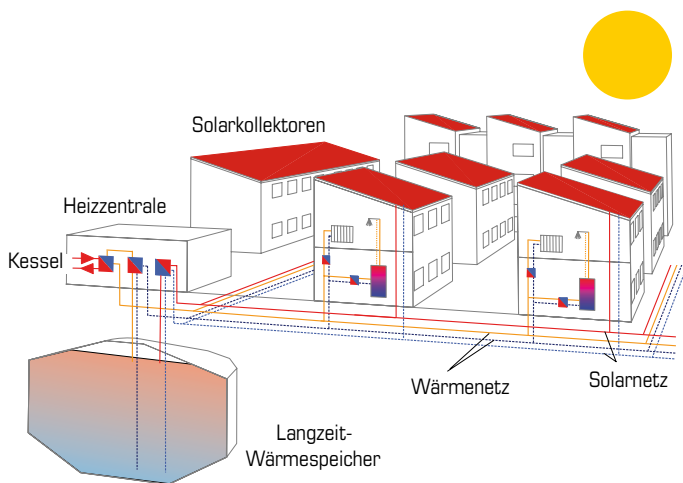
Solar unterstützte Nahwärmeversorgungen mit Langzeit-Wärmespeicherung ermöglichen unter attraktiven wirtschaftlichen Randbedingungen hohe solare Deckungsanteile von rund 50% am Jahres-Gesamtwärmebedarf für große Einzelverbraucher oder Nahwärmegebiete. In Deutschland wurden innerhalb der Bundes-Forschungsprogramme Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus elf Pilotanlagen errichtet, die die technologische Reife und hohe Energieeinsparungen im Vergleich zu konventionellen Wärmeversorgungen nachweisen.

** Dipl.-Ing. **Thomas Schmidt** ist Mitglied der Geschäftsleitung des Steinbeis Forschungsinstituts Solites in Stuttgart, schmidt@solites.de, www.solites.de
Dipl.-Ing. **Dirk Mangold** ist Leiter des Steinbeis Forschungsinstituts Solites in Stuttgart, mangold@solites.de*

Solar unterstützte Nahwärmeversorgungen mit Langzeit-Wärmespeicherung (SuN mit LZWSP) haben zum Ziel, einen großen Teil (mindestens 50%) des jährlichen Gesamtwärmebedarfes der angeschlossenen Verbraucher mit solarer Wärme zu decken. Der prinzipielle Aufbau ist in **Abbildung 2** gezeigt.

Die von den Sonnenkollektoren gewonnene Wärme wird über das Solarnetz zur Heizzentrale transportiert und bei Bedarf direkt an die Gebäude verteilt. Die Kollektoren sind in der Regel auf ausgewählten Dächern der Gebäude montiert, die möglichst nahe der Heizzentrale stehen. Der Langzeit-Wärmespeicher ist in den Untergrund eingebaut. Das über das Wärmeverteilnetz gelieferte Heizwasser versorgt die Heizung und Trinkwassererwärmung der Gebäude. Die Wärmeerzeugung in der Heizzentrale verwendet die im Langzeit-Wärmespeicher gespeicherte Solarwärme und heizt bei Bedarf nach. Hinweise zur Auslegung und Realisierung von SuN mit LZWSP sind in (**Hahne, 1998**) beschrieben.

Erste Pilotanlagen zur SuN mit LZWSP wurden innerhalb des Bundes-Forschungsprogramms Solarthermie-2000 errichtet und sind seit 1996 in Betrieb. Das seit 2004 laufende Nachfolgeprogramm Solarthermie2000plus des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ermöglicht weitergehende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sowie die Realisierung weiterer Demonstrationsvorhaben, um das So-



larsystem, die Speichertechnologien und die notwendige umfassende Systemintegration schrittweise bis zur Marktreife hin weiterzuentwickeln.

Langzeit-Wärmespeicher

Bei der Langzeit- bzw. saisonalen Speicherung von Solarwärme gelten folgende Grundsätze:

Die Sonne liefert in den Monaten Mai bis September rund zwei Drittel der in einem Jahr in Deutschland eingestrahlt Solarenergie. Der Hauptteil des jährlichen Wärmeverbrauchs von Wohngebäuden liegt dagegen mit deutlich über zwei Dritteln in der Heizperiode zwischen Oktober und April. Um große Teile der hierzu aufgewendeten fossilen Energien einzusparen, muss Solarenergie im Sommer gewonnen und in saisonalen Wärmespeichern bis in den Winter gespeichert werden.

Werden zur saisonalen Wärmespeicherung Behälter verwendet, sind diese in der Regel in das Erdreich integriert und sehr gut wärmegeklämt. Die Speicherhülle hat im heißesten Bereich (bis 98°C) einen U-Wert von unter 0,10 W/m²K. Bei einer Wärmespeicherung direkt im Untergrund in Aquifer- oder Erdsonden-Wärmespeichern muss gegebenenfalls ganz auf eine Wärmedämmung verzichtet werden. Zur Begrenzung der Wärmeverluste müssen diese Speicher eine ausreichende Größe bzw. ein kleines Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis (A/V-Verhältnis) aufweisen, oder/und die maximale Speichertemperatur muss reduziert werden.

Erforderliche Speichergöße

Ein saisonaler Wärmespeicher für ein Einfamilienhaus erfordert meist eine Speichergöße von mindestens 20 m³ Wasser. Sein A/V-Verhältnis beträgt dabei etwa das Achtfache im Vergleich zu einem Speicher mit 10.000 m³ Volumen. Dadurch sind auch die volumenbezogenen Wärmeverluste des kleinen Speichers acht Mal höher. Erst ab einer Mindestgröße von 1.000 m³ Wasservolumen beginnt saisonale Wärmespeicherung energetisch effizient zu sein.

Durch Latentwärme- oder thermochemische Speicher, die Wärme durch Phasenwechsel- bzw. Ab- oder Adsorptionsvorgänge speichern, kann die saisonale Wärmespeicherung auch in geringerer Speichergöße energetisch effizient sein. Seit einigen Jahren sind diese Techniken wieder in den Blickpunkt der For-

◀ Abbildung 2

Aufbau einer solar unterstützten Nahwärme mit Langzeit-Wärmespeicher

schung gerückt. Erste Speicher dieser Art sind am Markt erhältlich, es bleibt jedoch abzuwarten, ob sie, insbesondere aus wirtschaftlicher Sicht, zur saisonalen Wärmespeicherung eingesetzt werden können.

Seit dem Jahr 2000 sind vier Bauprinzipien für Langzeit-Wärmespeicher, Behälter-, Erdbecken-, Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher in mindestens einer Pilotanlage realisiert und in Betrieb, siehe auch **Mangold, Schmidt, 2006**. Den Funktionsnachweis konnten alle bislang realisierten Speicher vollständig erbringen, auch wenn die Effizienz der ersten Speicher geringer als erwartet ist. Die wesentlichen Ursachen hierfür sind:

Die Netzurücklaufemperaturen, auf die die Speicher auskühlen können, sind in den ersten Anlagen bis über 15 K höher als erwartet. Dies reduziert die nutzbare Wärmekapazität der Speicher und erhöht die Wärmeverluste zur Umgebung. Bei heutigen Anlagen werden strenge Anforderungen an die Hydraulik in den Gebäuden und die Wärmeverteilsysteme gestellt, um niedrige Rücklaufemperaturen zu garantieren. In einigen Anlagen sind zudem Wärmepumpen integriert, um die Entladung der Speicher auch bei höheren Rücklaufemperaturen sicherzustellen.

Die Dämmwirkung der eingesetzten Wärmedämmmaterialien nimmt bei höheren Temperaturen (40 bis 90°C) aufgrund der durch den Einbau im Erdreich verursachten geringen Feuchte wesentlich stärker ab als zum Planungszeitpunkt bekannt war. Heute ist diese Wissenslücke geschlossen und es sind Dämmmaterialien, wie z. B. Blähglasgranulat und Schaumglasschotter, verfügbar, die bei dementsprechender Bauteilkonstruktion eine hohe Dämmwirkung dauerhaft und ohne Schädigung ermöglicht.

Thermische Schichtung

Die Temperaturschichtung in den ersten Speichern ist geringer als die mit den damals vorhandenen Rechenmodellen berechnete. Dadurch reduziert sich die nutzbare Temperatur im Deckenbereich und die Temperaturen und damit die Wärmeverluste im weniger stark oder ungedämmten Bodenbereich erhöhen sich. Heute kommen in den Behälterspeichern überwiegend Schichtladeeinrichtungen zum Einsatz, um eine gute thermische Schichtung auch bei stark wechselnden Temperaturniveaus der eintretenden Fluidströme zu gewährleisten.

Realisierte Demonstrationsanlagen

Bis Sommer 2008 wurden insgesamt elf SuN mit LZWSP in Deutschland realisiert. **Tabelle 1** gibt einen Überblick über die wesentlichen Kenndaten dieser Anlagen. Zu jeder Anlage sind umfangreiche Beschreibungen sowie Ergebnisse dokumentiert, siehe z. B. **Benner et al., 1999; Benner et al., 2003; Bodmann et al., 2005**.

Die beiden neuesten sich bereits in Betrieb befindlichen Anlagen wurden in München und in Crailsheim erbaut. Im ersten Fall werden Wohnungen in verdichteter, städtischer Mehrfamilienhausbebauung versorgt (**Abbildung 3**), im zweiten Fall besteht

Tabelle 1
Realisierte Pilotanlagen von SuN mit LZWSP in Deutschland

	Hamburg ¹	Friedrichshafen ¹ Planung im Endausbau (Stand 1-07)	Neckarsulm ¹ Phase I (Phase II)	Steinfurt ⁴	Chemnitz ² (1. BA)	Rostock ³
Jahr der Inbetriebnahme	1996	1996	1997 (2001)	1998	2000 (aB: 2006)	2000
Versorgungsgebiet	124 RH	Endausbau: 570 WE in MFH (390)	6 MFH, Einkaufszentrum, Schule, Sporthalle, Altenheim etc.	42 WE in 22EFH und kleinen MFH	Planung: Bürogebäude, Hotel und Einkaufszentrum	108 WE in MFH
Beheizte Wohn- / Nutzfläche [m²]	14800	39500 (33000)	(25000)	3800	4680	7000
Kollektorfläche (Apertur) [m²]	3000 FK	5600 FK (4050)	2700 FK(5470)	510 FK	540 VRK	1000 FK
Speichervolumen [m³]	4500 HWWS	12000 HWWS	100 HWWS + 20000 EWS (200 + 63300)	1500 KWWS	8000 KWWS	30 HWWS 20000 AWS
Gesamtwärmebedarf [MWh / a]	1610	4106 (3000)	1663 (2200)	325	1. BA: 573	497
Nutzwärmelieferung Solarsystem* [MWh/a]	789	1915	832	110	1. BA: 169	307
Solarer Deckungsanteil* [%]	49	47	50	34	1. BA: 30	62 ³
Kosten Solarsystem[§] [Mio. €]	2,2	3,2	3,5	0,5	1.+2. BA: 1,4	0,7
Solare Wärmekosten*^{§§} [Ct / kWh]	25,7	15,9	26,5	42,3	1.+2. BA: 24,0	25,5

das Versorgungsgebiet überwiegend aus Einfamilien- und Doppelhäusern (**Abbildung 4**).

In München wurde ein aus Beton-Fertigteilen hergestellter Heißwasser-Wärmespeicher mit einem Volumen von 6000 m³ realisiert. Der Behälter ist rundum wärmegeämmt (Boden: Schaumglasschotter, Wand und Decke: Blähglasgranulat), die Dämmschicht ist durch eine wasserdichte, jedoch diffusionsoffene Konstruktion dauerhaft vor Durchfeuchtung geschützt. Zur Entladung des Speichers auf Temperaturen unterhalb des Rücklauf-Temperatur-niveaus des Wärmeverteilnetzes ist eine Absorption-wärmepumpe mit einer Heizleistung von 550 kW in das System integriert. Der Antrieb der Wärmepumpe erfolgt über das Fernwärmenetz der Stadtwerke München.

Das Solarsystem in Crailsheim besteht aus zwei gekoppelten Teilen: einer Solaranlage mit Kurzzeit-Wärmespeicher (Kollektoren auf Mehrfamiliengebäuden, Schule und Sporthalle, **Abbildung 4** oben links) und einem saisonalen Teil (Kollektoren auf

Lärmschutzwall, Pufferspeicher und saisonaler Erdsonden-Wärmespeicher (unten in **Abbildung 4**). Beide Anlagenteile haben eigene Heizzentralen, die über eine Fernwärmeleitung miteinander gekoppelt sind. Der Anlagenteil mit Kurzzeit-Wärmespeicher reicht weitgehend aus, um den Wärmebedarf des Wohngebietes im Sommer zu decken. Die Kollektoren auf dem Lärmschutzwall beladen in dieser Zeit den Erdsonden-Wärmespeicher. In der Heizperiode kann Wärme vom saisonalen Teil an den Kurzzeit-Wärmespeicherteil geliefert werden. Zwischen dem Pufferspeicher des saisonalen Teils und dem Kurzzeit-Wärmespeicher des ersten Teils arbeitet bei Bedarf eine Wärmepumpe, die eine weitergehende Entladung des Erdsonden-Wärmespeichers unter Rücklauf-Temperatur-niveau ermöglicht.

Der Erdsonden-Wärmespeicher besteht in einer ersten Ausbaustufe aus 80 Erdwärmesonden (Doppel-U-Rohr-Sonden aus vernetztem Polyethylen (PEX)), die in eine Tiefe von 55 m reichen.

▼ **Abbildung 3: Langzeit-Wärmespeicher und Mehrfamilienhaus mit Solardach in München**



Hannover ⁴	Attenkirchen ⁵	München	Crailsheim 1. BA (Stand 11.08)	Eggenstein
2000	2002	2007	2007	2008
106 WE in MFH	30 EFH	300 WE in MFH	260 WE in EFH, DH u. RH, Schule, Sport-halle	Schul- und Sportzentrum, Feuerwehr
7365	6200	24800	40000	12000 ⁶
1350 FK	800 FK	2900 FK	7300 FK (5500 FK)	1600 FK
2750 HWWS	500 HWWS + 9350 EWS	5700 HWWS	480 + 100 HWWS + 37500 EWS	4500 KWWS
694	487	2300	4100	1150
269	378	1080 ⁵	2050 ¹	430
39	55 [#]	47 ⁵	50 ¹	37 [*]
1,2	0,76	2,9	4,5	1,1 ⁶
41,4	19,0	24,0	19,0	25,0

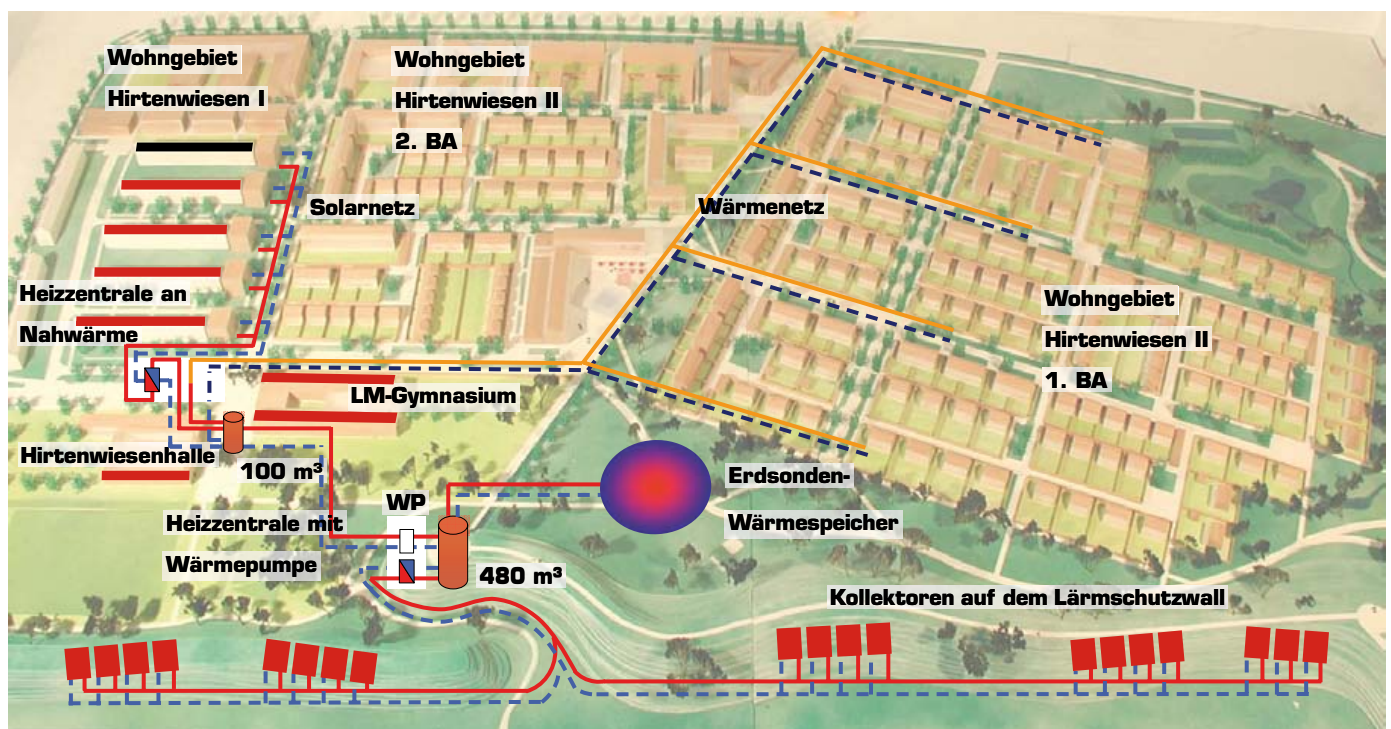
*: Berechnete Werte für den langfristigen Betrieb,
#: Primärenergieeinsparung,
S: ohne MwSt. und Förderung, inkl. Planung

- 1: Angaben ITW Universität Stuttgart,
- 2: Angaben TU Chemnitz,
- 3: Angaben Geothermie Neubrandenburg GmbH,
- 4: Angaben IGS Universität Braunschweig,
- 5: Angaben ZAE Bayern,
- 6: Angaben Pfeil & Koch Ingenieurgesellschaft GmbH & Co. KG

aB: außer Betrieb;
BA: Bauabschnitt;
DH: Doppelhaus;
EFH: Einfamilienhaus;
MFH Mehrfamilienhaus;
RH: Reihenhaus;
WE: Wohneinheit;
FK: Flachkollektor,
VRK: Vakuum-Röhren-Kollektor
HWWS: Heißwasser-Wärmespeicher;
KWWS: Kies/Wasser-Wärmespeicher;
EWS: Erdsonden-Wärmespeicher;
AWS: Aquifer-Wärmespeicher

Das dadurch erschlossene Erdreichvolumen beträgt 37.500 m³. Der Speicher ist zur Oberfläche hin wärmegeämmt (50 cm Schaumglasschotter) und wird bei Temperaturen zwischen 20 und 65°C betrieben, kurzzeitig sind Beladetemperaturen von bis zu 90°C möglich. Der Pufferspeicher im Saisonalteil der Anlage wird als Leistungspuffer für die Solarkollektoren benötigt, da die mögliche Leistungsaufnahme des Erdsonden-Wärmespeichers zu gering ist.

▼ **Abbildung 4**
Versorgungsgebiet SuN mit LZWSP in Crailsheim



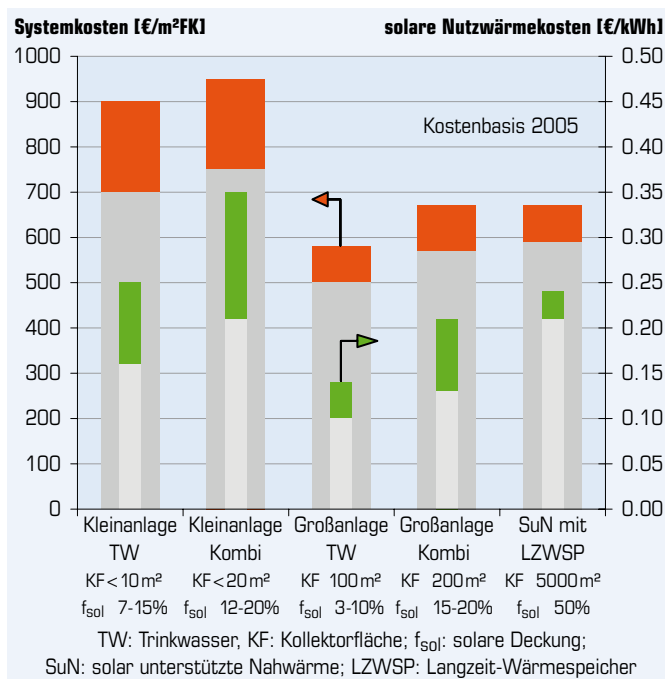
Wirtschaftlichkeit

Der Vergleich der solaren Wärmekosten einer großen Solaranlage mit Kurzzeit-Wärmespeicher mit denen einer Kleinanlage zur Trinkwassererwärmung (**Abbildung 5**) zeigt, dass das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Kleinanlage mit solaren Wärmekosten von 16 – 35 €/Ct./kWh im Mittel nahezu doppelt so hoch ist wie das einer Großanlage mit Kurzzeit-Wärmespeicher (10 – 21 €/Ct./kWh).

Der Kostenvorteil solarer Großanlagen im Vergleich zu Kleinanlagen wird vor allem durch deren günstigeren Systempreis verursacht: während Kleinanlagen im Durchschnitt 700 – 950 €/m²



Pink GmbH ■ Bahnhofstraße 22 ■ A-8665 Langenwang
 Tel. +43 (0) 3854 / 3666 ■ Fax +43 (0) 3854 / 3666-4
 info@pink.co.at ■ www.pink.co.at



▲ Abbildung 5
Vergleich von System- und solaren Nutzwärmekosten thermischer Solaranlagen (Kostenangaben ohne MwSt. und Förderung, inkl. Planung)

Flachkollektorfläche kosten, werden bei Großanlagen Systemkosten von 500 – 670 €/m² erreicht.

Die solaren Wärmekosten von SuN mit LZWSP liegen mit 21 – 24 €/Ct./kWh im Bereich der Kleinanlagen zur Trinkwassererwärmung. Dabei ist aber der weit höhere erreichbare solare Deckungsanteil (verglichen mit Kleinanlagen) zu beachten.

Ziel der F+E-Förderung für SuN mit LZWSP ist es, bis zum Jahr 2020 die Marktfähigkeit der LZWSP zu erreichen. Die laufenden Entwicklungen werden hierzu bei Erhöhung der Zuverlässigkeit und Effizienz der Speicherkonstruktionen die Baukosten weiter reduzieren.

Danksagung

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

Literatur

- Benner M., Mahler B., Mangold D., Schmidt T., Schulz M., Seiwald H., Hahne E., (1999), Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher; Forschungsbericht zum BMFT-Vorhaben 0329606C, ITW, Universität Stuttgart, ISBN-Nr.: 3-9805274-0-9
- Benner M., Bodmann M., Mangold D., Nußbicker J., Raab S., Schmidt T., Seiwald H., (2003), Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher.

Forschungsbericht zum BMBF/BMWA-Vorhaben 0329606S, ITW, Universität Stuttgart, ISBN 3-9805274-2-5

- Bodmann M., Mangold D., Nußbicker J., Raab S., Schenke A., Schmidt T., (2005), Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher (Februar 2003 bis Mai 2005). Forschungsbericht zum BMWA/BMU-Vorhaben 0329607F, SWT-Stuttgart
- Hahne, E. et. al., (1998), Solare Nahwärme – Ein Leitfad für die Praxis, BINE-Informationspaket, TÜV-Verlag, Köln, 1998, ISBN 3-8249-0470-5
- 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

▼ Abbildung 6
Bau des Erdbecken-Wärmespeichers in Eggenstein

