

Bau und Betrieb des Erdsonden-Wärmespeichers in Neckarsulm-Amorbach

J. Nußbicker¹⁾, D. Mangold²⁾, W. Heidemann¹⁾, H. Müller-Steinhagen^{1), 2), 3)}

*¹⁾ Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart,
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart,
Tel.: 0711-685-3536, Fax: 0711-685-3503,*

Email: nussbick@itw.uni-stuttgart.de, Internet: www.itw.uni-stuttgart.de/sun

²⁾ Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT), Pfaffenwaldring 10, D-70550 Stuttgart

³⁾ Institut für Technische Thermodynamik (ITT), DLR Stuttgart

Kurzfassung

In Neckarsulm-Amorbach (Baden-Württemberg) wurde 1997 mit der Realisierung einer solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit einem Erdsonden-Wärmespeicher begonnen. Die durch Solarkollektoren gesammelte Wärme wird im Erdsonden-Wärmespeicher direkt im Erdreich gespeichert. Damit wird die zeitliche Diskrepanz zwischen hoher solarer Wärmelieferung bei geringem Wärmebedarf (im Sommer) und geringer solarer Wärmelieferung bei hohem Wärmebedarf (im Winter) ausgeglichen. Mit diesem Nahwärmekonzept soll im Endausbau ein solarer Deckungsanteil von 50 %, bezogen auf den Gesamtwärmebedarf, erreicht werden. Der gemessene solare Deckungsanteil lag 2002 und 2003 bei 39 %. Der Erdsonden-Wärmespeicher wurde bereits zweimal erweitert und hat derzeit ein Volumen von 63360 m³, das von 528 Erdwärmesonden erschlossen wird. Die erreichte Maximaltemperatur im Erdsonden-Wärmespeicher betrug 65 °C.

Anlagenbeschreibung

Im Jahr 2003 wurden im Nahwärmenetz Grenchenstraße in Neckarsulm-Amorbach etwa 200 Wohneinheiten in Reihen- und Mehrfamilienhäusern sowie eine Schule mit Turnhalle und ein Ladenzentrum mit Wärme versorgt, siehe markierte Gebäude in Bild 1. Für den Endausbau waren ursprünglich 1300 Wohneinheiten geplant; nach neueren Schätzungen wird von etwa 700 Wohneinheiten im Endausbau ausgegangen.

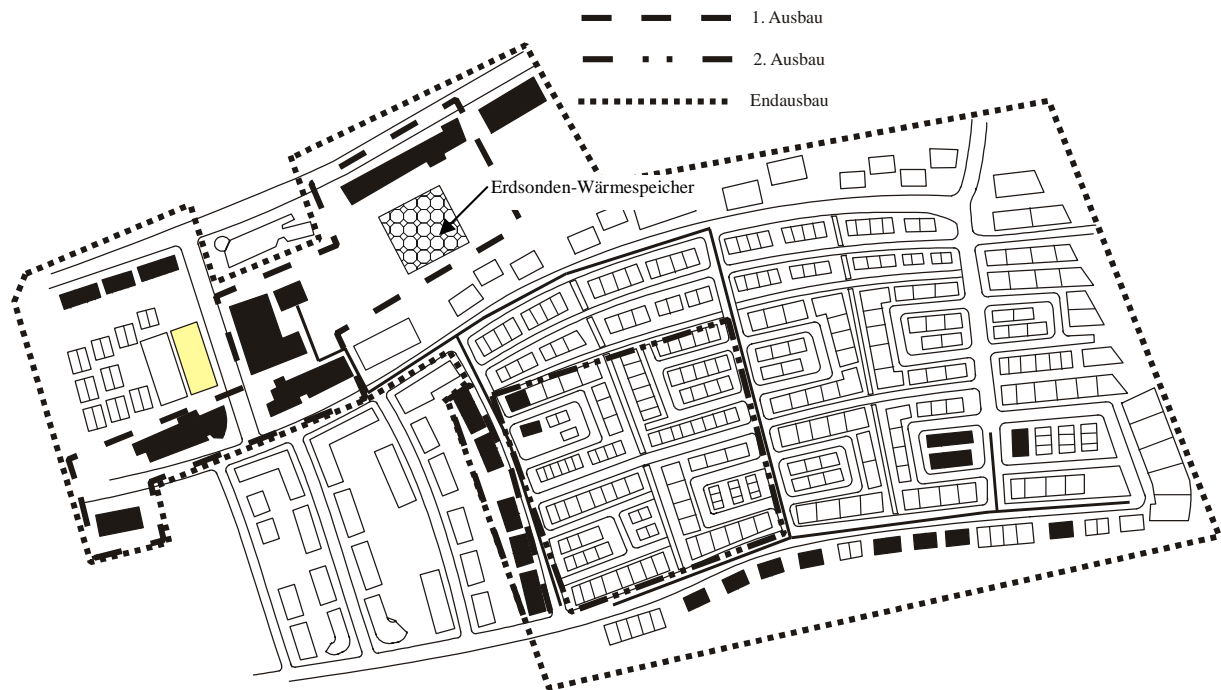


Bild 1: Schematischer Lageplan des Nahwärmenetzes Grenchenstraße in Neckarsulm-Amorbach mit Kennzeichnung der Ausbaustufen der Nahwärmeversorgung

Die von den Solarkollektoren gelieferte Wärme wird zunächst in zwei Pufferspeichern zwischengespeichert und bei Bedarf dem Nahwärmenetz zur Verfügung gestellt, siehe Bild 2. Überschüssige solare Wärme wird in den Erdsonden-Wärmespeicher eingespeichert. Sind die Temperaturen weder im Puffer- noch im Erdsonden-Wärmespeicher für eine direkte Nutzung im Nahwärmenetz ausreichend, wird mit einem Gas-Niedertemperaturkessel nachgeheizt. Derzeit sind 5263 m²_{Aperitur} thermische Solarkollektoren auf verschiedenen Gebäuden bzw. einem Carport und einem Lärmschutzwall installiert. Der Erdsonden-Wärmespeicher wurde zweimal erweitert und hat seit 2001 ein Volumen von 63360 m³. Die Be- und Entladung erfolgt über 528 Erdwärmesonden (Doppel-U-Rohr) mit einer Länge von jeweils 30 m.

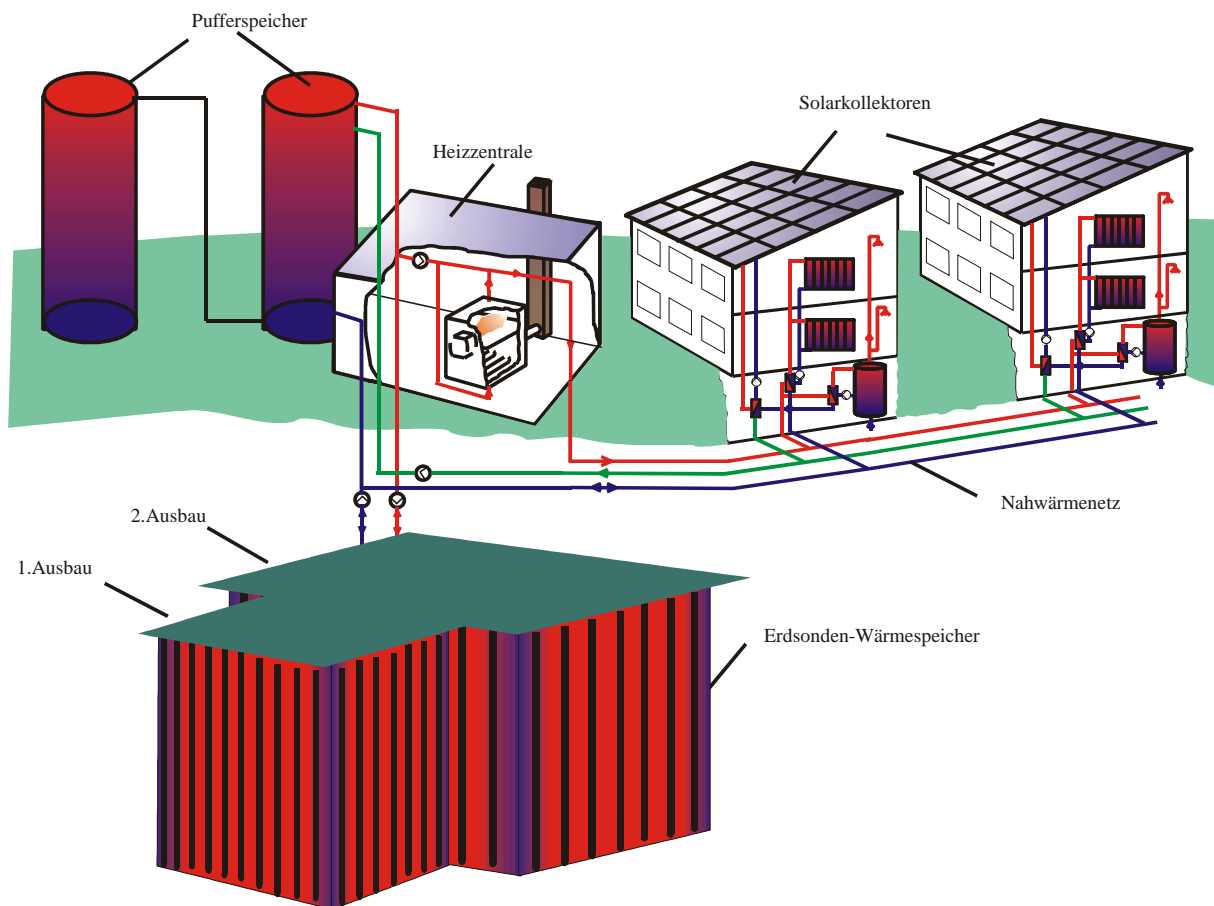


Bild 2: Schema der solar unterstützten Nahwärmeversorgung Grenchenstraße in Neckarsulm-Amorbach

Eine Zusammenfassung der Projekthistorie sowie der Ausbaustufen des Erdsonden-Wärmespeichers und der Kollektorfläche ist in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Projekthistorie der Pilotanlage Grenchenstraße in Neckarsulm-Amorbach

1995	Erste geologische Untersuchungen für den Bau des Erdsonden-Wärmespeichers
1996	Erste Planungen des Nahwärmesystems
1997	Bau der ersten Gebäude, des Pufferspeichers (4320 m ³) und von 2636 m ² Apertur Solarkollektoren
1998	Erster Ausbau des Erdsonden-Wärmespeichers (gesamt 20160 m ³)
2000	Installation weiterer 454 m ² Apertur Solarkollektoren
2001	Zweiter Ausbau des Erdsonden-Wärmespeichers (gesamt 63360 m ³) und Installation weiterer 808 m ² Apertur Solarkollektoren
2002	Installation weiterer 1109 m ² Apertur Solarkollektoren
2004	Installation weiterer 256 m ² Apertur Solarkollektoren

Erdsonden-Wärmespeicher

Der Erdsonden-Wärmespeicher in Neckarsulm-Amorbach ist der erste Langzeit-Wärmespeicher dieser Art in Deutschland. 1997 wurde ein Pilotspeicher mit 36 Erdwärmesonden gebaut, siehe Bild 3. Mit diesem Pilotspeicher wurden Be- und Entladeversuche durchgeführt, mit denen die zur Speicherdimensionierung verwendeten Parameter spezifische Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes überprüft wurden. Nach erfolgreichem Abschluss der Versuche erfolgte 1998 der erste Speicherausbau auf 20160 m³. Der zweite Speicherausbau wurde im Jahr 2001 durchgeführt, nachdem der gestiegene Wärmebedarf im Nahwärmenetz eine Vergrößerung des Erdsonden-Wärmespeichers notwendig gemacht hatte.

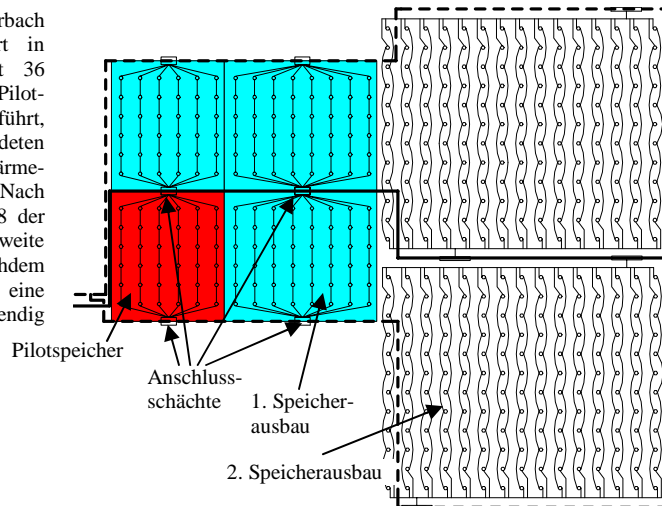


Bild 3: Ausbaustufen des Erdsonden-Wärmespeichers

Konstruktion des Erdsonden-Wärmespeichers

Die Be- und Entladung des Erdsonden-Wärmespeichers erfolgt über Doppel-U-Rohre aus Polybuten. Es wurden Erdwärmesonden aus Polybuten verwendet, da zum Zeitpunkt des Speicherbaus nur bei diesem Material eine Mindestlebensdauer von 50 Jahren bei den gegebenen Maximaltemperaturen von 85 °C und Maximaldrücken von 10 bar gewährleistet werden konnte. Die Länge der Erdwärmesonden beträgt jeweils 30 m. Beim Bau des Pilotspeichers wurde ein Bohrlochdurchmesser von 115 mm verwendet, dieser wurde beim ersten und zweiten Speicherausbau auf 150 mm erhöht, um einen größeren Schenkelabstand der Erdwärmesonden zu erreichen, siehe Bild 4. Damit wird der Wärmedurchgangswiderstand der Erdwärmesonden verbessert. Die U-Rohre haben einen Durchmesser von 25 mm bei einer Wandstärke von 2,3 mm. Die Bohrlöcher sind mit einer Mischung aus Bentonit-Sand-Zement-Wasser verfüllt, um einen guten thermischen Kontakt zwischen Erdwärmesonde und Bohrlochwand zu gewährleisten.

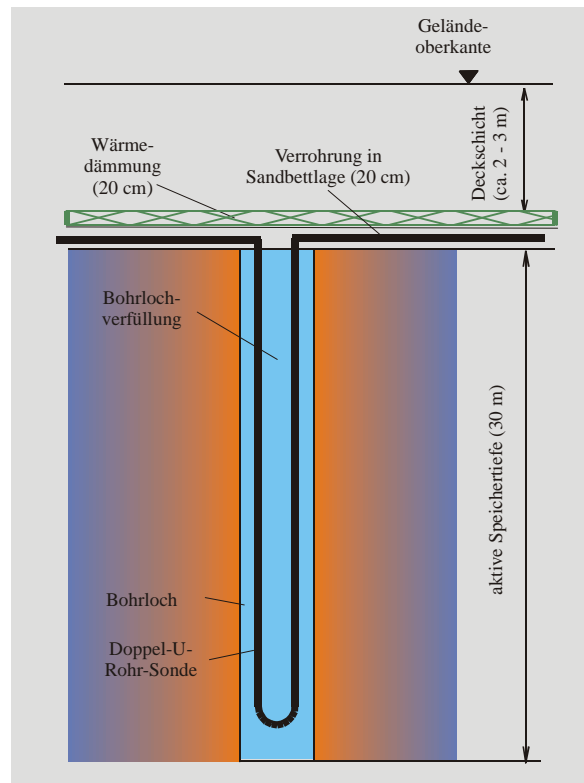
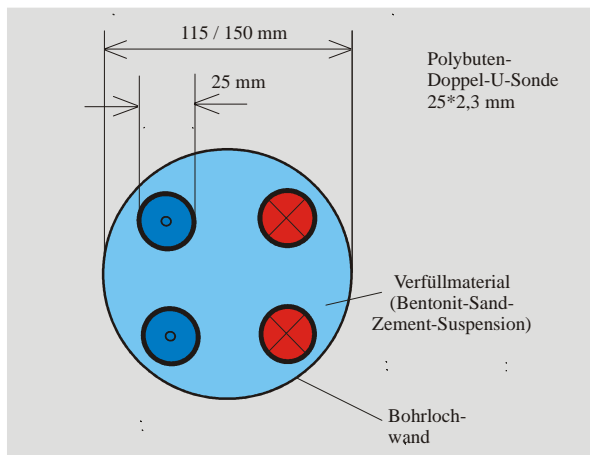


Bild 4: Aufbau einer Erdwärmesonden-Bohrung

Der Pilotspeicher und der erste Speicherausbau sind zur Erdoberfläche hin mit einer 20 cm dicken Lage aus Hartschaum-Polystyrol (XPS) wärmegeklämt, die zwischen einer PE-Folie und einem Kiesbett verlegt ist. Die Dämmung ist mit einer etwa 2 – 3 m dicken Schicht aus Erdreich überdeckt. Bei der Entnahme von Dämmmaterial aus dem Bereich des ersten Speicherausbaus wurde festgestellt, dass die Dämmung feucht ist. Da mit steigender Feuchtigkeit des Dämmmaterials die Wärmeverluste des Erdsonden-Wärmespeichers steigen, wurde für den zweiten Speicherausbau ein Dämmaufbau gewählt, der die Dämmung dauerhaft vor Feuchtigkeit schützen soll. Dazu wurde ein zur Erdoberfläche hin diffusionsoffener Dämmaufbau gewählt, siehe Bild 5.

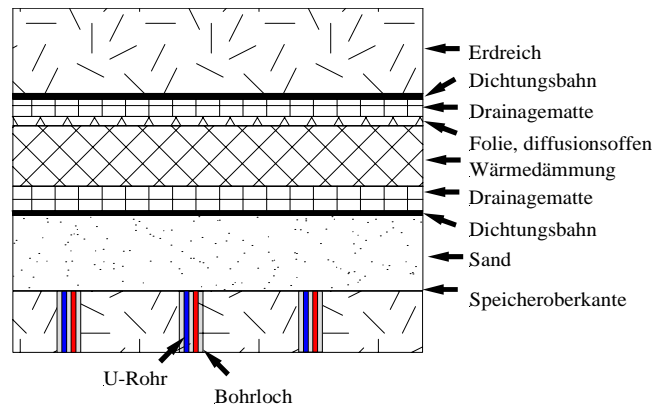


Bild 5: Dämmaufbau zweiter Speicherausbau

Die Erdwärmesonden wurden beim Pilotspeicher und beim ersten Speicherausbau in einem Abstand von jeweils 2 m installiert. Dabei wurden jeweils 6 Erdwärmesonden in Reihe geschaltet. Beim zweiten Speicherausbau wurden in der Speichermitte Abstände von 1,5 m und am Speicherrand 2,5 m realisiert, siehe Bild 3. Mit dieser Anordnung wird das nutzbare Temperaturniveau im Wärmespeicher erhöht, da die Temperaturen in der Speichermitte höher sind als bei einer äquidistanten Sondenanordnung. Außerdem werden somit die Wärmeverluste an den Speicherrändern verringert.

Die Erdwärmesonden werden in Anschlusschächten, siehe Bild 3, an einen Verteiler angeschlossen. Die Anschlusschächte waren beim Pilotspeicher und beim ersten Speicherausbau immer wieder durch eindringendes Oberflächenwasser nass geworden. Da die Verteiler bereits nach relativ kurzer Zeit korrodierten und die Wärmeverluste höher waren als geplant, wurden alle Anschlusschächte während des zweiten Speicherausbaus entsprechend Bild 7 ausgeführt. Der untere Schachtbereich wurde mit Sand verfüllt und ist vom oberen Anschlussbereich durch eine Betonschicht getrennt. Ein freier Wasserspiegel, der zu erhöhten Wärmeverlusten und Korrosion führt, kann somit nicht auftreten.



Bild 6: Anschlusschacht vor dem Umbau

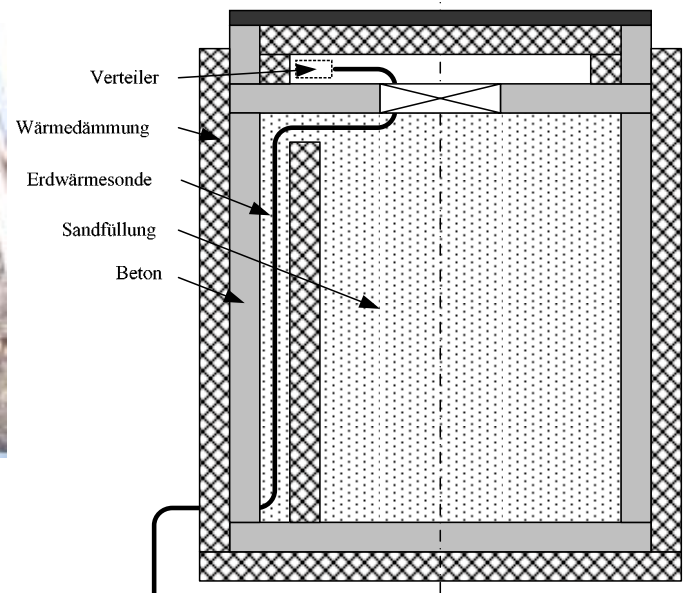


Bild 7: Anschlusschacht nach dem Umbau

Bau des Erdsonden-Wärmespeichers

Beim Bau des Pilotspeichers wurde das Bohrgerät in der Baugrube direkt auf dem Erdreich aufgestellt, die sich allerdings bei Niederschlag mit Wasser füllte. Dies führte zu Kostensteigerungen, da zu diesen Zeiten nicht gebohrt werden konnte. Während der beiden Ausbaustufen wurde eine drainierte Kiesschicht in die Baugrube eingefüllt, sodass die Standsicherheit der Bohrgeräte jederzeit gewährleistet war, siehe Bild 8.

Außerdem wurden beim Pilotspeicher die Erdwärmesonden von Hand in das Bohrloch eingebracht. Dazu waren aufgrund der Länge von 30 m mehrere Personen notwendig. Bei den folgenden Ausbaustufen wurden die Erdwärmesonden deshalb mit einem Kran in das Bohrloch eingebracht, siehe Bild 9.

Die Erdwärmesonden wurden während der Bauzeit zum Schutz vor Verstopfen und vor Versprödung durch solare UV-Strahlung an den offenen Enden verschlossen und mit einem Schutzrohr versehen.

Nach Beendigung der Bohrungen wurde eine Sandschicht in die Baugrube eingebracht, siehe Bild 10, und darauf der Dämmaufbau verlegt. Anschließend wurde die Baugrube wieder aufgefüllt (ca. 2 - 3 m) und die Fläche gestaltet, siehe Bild 11.



Bild 8: Blick auf die Baugrube (2. Speicherausbau)



Bild 9: Installation der Erdwärmesonden



Bild 10: Erdsonden-Wärmespeicher vor der Verfüllung



Bild 11: Blick auf den Erdsonden-Wärmespeicher nach der Landschaftsgestaltung

Auswertung der Messwerte

Die Temperaturen in verschiedenen Tiefen des Erdsonden-Wärmespeichers sind für 2003 vierteljährlich für die Mitte des ersten Speicherausbaus in Bild 12 und für den zweiten Speicherausbau in Bild 13 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Temperatur im ersten Speicherausbau geringer ist als im Bereich des zweiten Speicherausbaus, weil der erste Speicherausbau 2002 nicht beladen wurde, um eine möglichst rasche Temperaturangleichung der verschiedenen Speicherbereiche zu erreichen.

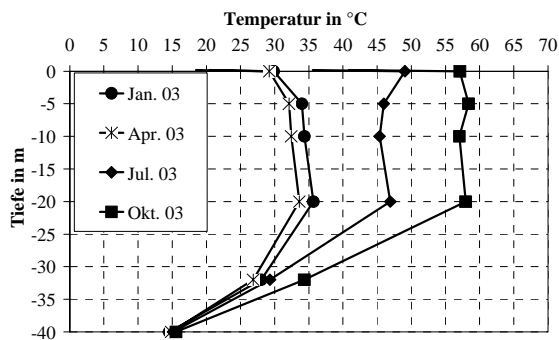


Bild 12: Erster Speicherausbau Mitte

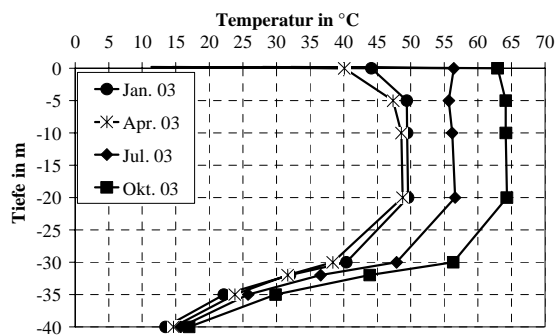


Bild 13: Zweiter Speicherausbau Mitte

In Bild 14 sind die Temperaturen jeweils in der Mitte des ersten bzw. zweiten Speicherausbaus für verschiedene Tiefen im zeitlichen Verlauf aufgetragen. Mit „0 m“ ist die Temperatur an der Speicheroberkante, d. h. direkt unterhalb der Dämmung, bezeichnet. Die Temperatur „32 m“ wurde 2 m unterhalb des Speichers gemessen. Die Temperaturerhöhung resultiert hier aus Wärmeverlusten des Speichers. Die höchste bisher gemessene Temperatur betrug im zweiten Speicherausbau im Sommer 2003 in einer Tiefe von 0 bis 20 m ca. 65 °C. Damit wurde 2003 erstmals ein im Nahwärmenetz nutzbares Temperaturniveau erreicht. Ein Erdsonden-Wärmespeicher muss bei der realisierten Anlagenkonfiguration in den ersten ca. 5-8 Betriebsjahren aufgeheizt werden, um für die Wärmeversorgung des Nahwärmenetzes ein nutzbares Temperaturniveau zu erreichen. Ein quasistationärer Betriebszustand mit einer Speichereffizienz von etwa 70 % wird in den nächsten 3 - 4 Jahren erwartet.

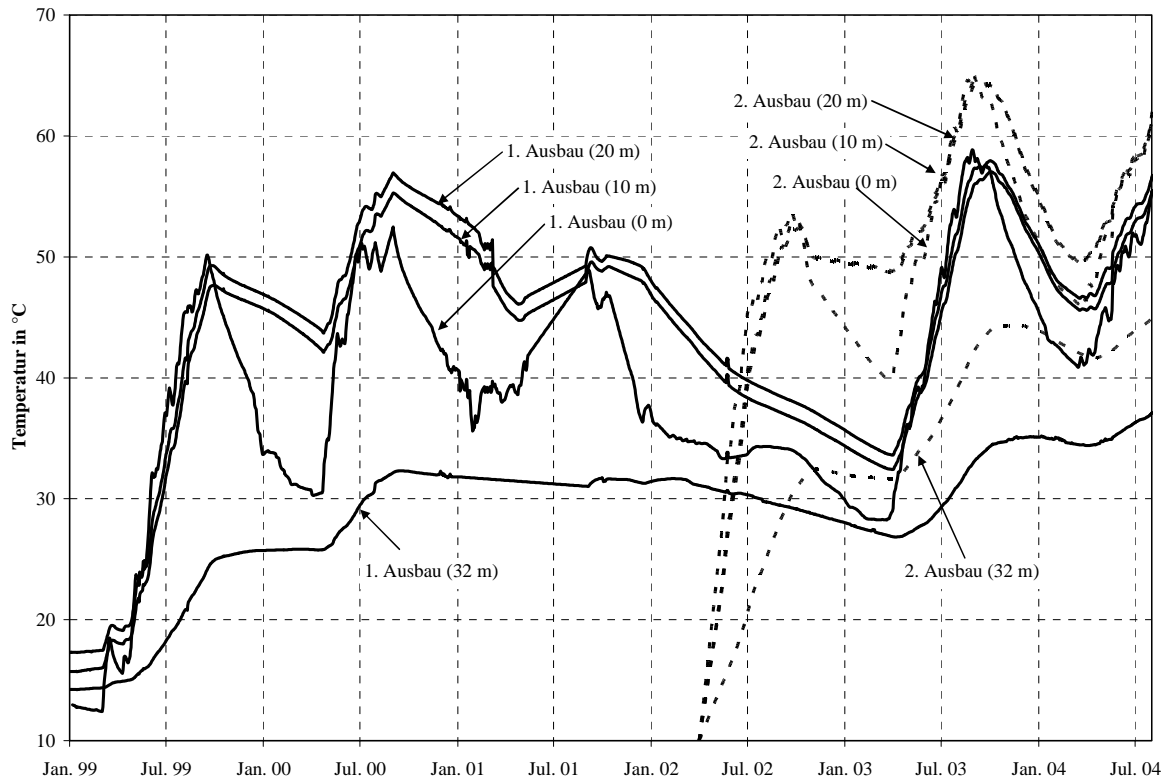


Bild 14: Temperaturverlauf in der Mitte des ersten und zweiten Speicherausbaus des Erdsonden-Wärmespeichers

Bisher sind kaum Betriebsprobleme mit dem Erdsonden-Wärmespeicher aufgetreten. Lediglich einige Regelungsparameter, die beim Be- und Entladen des Erdsonden-Wärmespeichers zu einem Takten der Speicherpumpe geführt hatten, mussten geändert werden.

Da die Polybutenrohre der Erdwärmesonden sauerstoffdurchlässig sind, wurde bei der Speicherplanung eine Sauerstoffinhibierung vorgesehen. Diese war jedoch während der vergangenen Betriebsjahre nicht regelmäßig im Einsatz. Im Jahr 2003 wurde deshalb ein Schlammfang vor dem Erdsonden-Wärmespeicher installiert, da Korrosionsprodukte in den Nahwärmeleitungen bzw. in den Verteilern gefunden wurden. Schmutzpartikel müssen vor dem Erdsonden-Wärmespeicher abgeschieden werden, um ein Verstopfen der Erdwärmesonden zuverlässig zu verhindern.

Noch nicht endgültig geklärt werden konnte die, bezogen auf die gleiche Tiefe, unterschiedliche Temperaturverteilung auf der Nord- bzw. Südseite des Erdsonden-Wärmespeichers, siehe Bild 15. Bei gleicher hydraulischer Durchlässigkeit des Untergrundes, einem sehr geringen Grundwasserfluss und gleicher Beladewärmemenge sollten die Temperaturen gleich sein. Die wahrscheinlichste Ursache für die unterschiedlichen Temperaturen ist eine ungleiche Durchströmung der Erdwärmesonden infolge ungleichmäßiger hydraulischer Einregulierung.

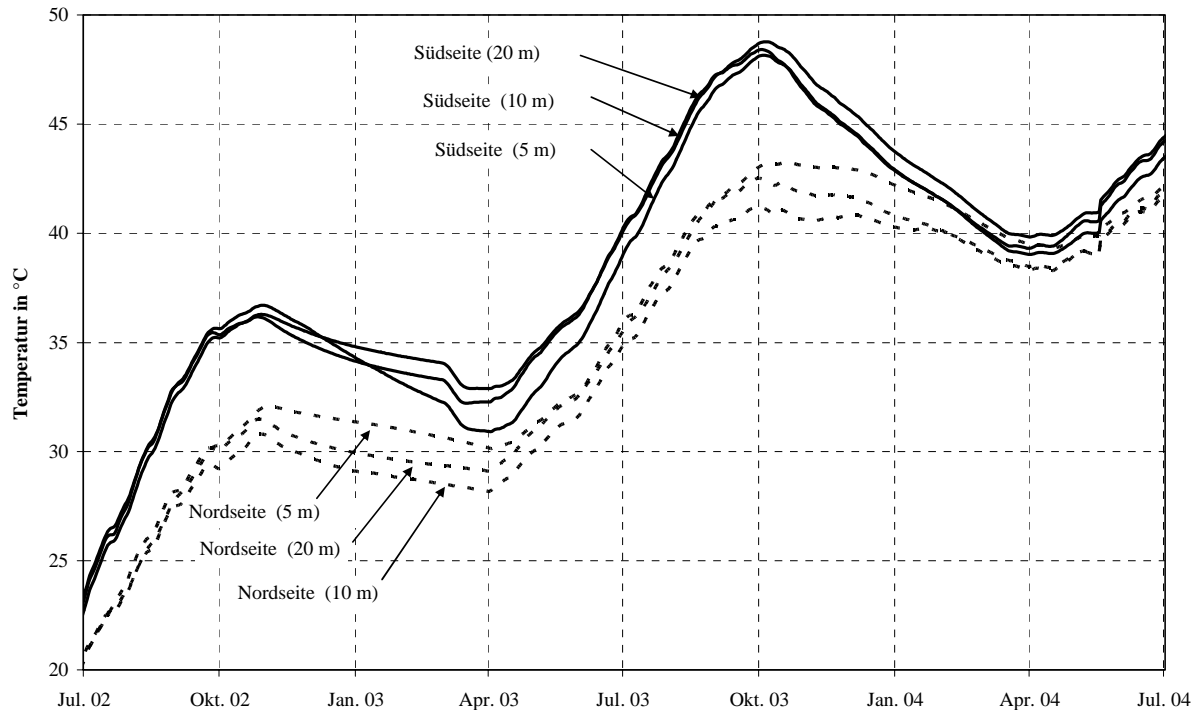


Bild 15: Temperaturen auf der Nord- und Südseite des zweiten Speicherausbaus

Nahwärmesystem und Wärmebilanzen

In den Jahren 2002 und 2003 wurde ein solarer Deckungsanteil von 39 %, bezogen auf den Gesamtwärmebedarf, erreicht. Der geplante solare Deckungsanteil beträgt 50 % und wird voraussichtlich in den nächsten Jahren bei einem höheren Speichernutzungsgrad erreicht werden.

In Tabelle 2 sind die Kenndaten der solar unterstützten Nahwärmeversorgung Grenchenstraße in Neckarsulm-Amorbach zusammengefasst.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Kenndaten für die solar unterstützte Nahwärmeversorgung Grenchenstraße

		1999	2000	2002	2003
Kollektorfläche bezogen auf die Aperturfläche (31.12.)	m ²	2636	3090	5007	5007
Wärmelieferung der Solarkollektoren (sekundärseitig am Solar-Wärmeübertrager)	MWh/a	802	577	1696	2050 +71 ¹⁾
je m²	kWh/(m ² ·a)	304	219 ²⁾	331 ³⁾	396 ^{3), 4)}
Solare Wärmelieferung in das Nahwärmenetz	MWh/a	224	213	822	629 ⁴⁾
je m²	kWh/(m ² ·a)	85	81	164	126 ⁴⁾
Gesamtwärmebedarf und Wärmeverluste im Nahwärme- und Solarnetz	MWh/a	1252	1247	2126	1891
Wärmelieferung des Gaskessels	MWh/a	1028	1034	1303	1109
Solarer Deckungsanteil bezogen auf den Gesamtwärmebedarf	%	18	17	39	39

1) Solare Wärmelieferung eines benachbarten Nahwärmegebietes (Eugen-Bolz-Straße)

2) Jan.-Sep. 2002 2636 m²; ab Sep. 2002 3090 m²

3) flächengewichtet

4) nur Grenchenstraße

5) inklusive Wärmeverluste und Notversorgung eines benachbarten Nahwärmegebietes (Eugen-Bolz-Str.)

In den vergangenen Jahren wurde ein hoher Anteil der solar gelieferten Wärmemenge (2003: 2121 MWh) in den Erdsonden-Wärmespeicher eingespeichert (2003: 1492 MWh). Die Entladewärmemenge aus dem Erdsonden-Wärmespeicher betrug im Jahr 2003 aufgrund der mehrjährigen Aufheizzeit lediglich ca. 150 MWh.

In den vergangenen Jahren betragen die Wärmeverluste im Nahwärmenetz etwa 30 %. Ursache hierfür ist der bereits fast vollständige Ausbau des Nahwärmenetzes bei gleichzeitig noch relativ geringer Wärmeabnahmedichte, da erst relativ wenige Gebäude errichtet wurden. Zur Sicherstellung der Wärmeversorgung ist jedoch ein Mindestdurchfluss im Nahwärmenetz notwendig. Damit ergeben sich höhere Netzzücklauftemperaturen als bei einem regulären Betrieb. Die Netzzücklauftemperatur hat jedoch einen entscheidenden Einfluss sowohl auf den Solarertrag, da sie gleichzeitig die Kollektorrücklauftemperatur ist, als auch auf die aus dem Erdsonden-Wärmespeicher entladbare Wärmemenge.

Zusammenfassung

Der Wärmebedarf im Nahwärmegebiet Grenchenstraße wird in den nächsten Jahren mit dem Bau weiterer Gebäude ansteigen. Ein weiterer Ausbau des Erdsonden-Wärmespeichers ist geplant, wenn der Wärmebedarf im Nahwärmenetz steigt. Als Alternative zu einem weiteren Speicherausbau wird die Installation einer Wärmepumpe in Betracht gezogen. Mit einer Wärmepumpe kann das nutzbare Temperaturniveau des Erdsonden-Wärmespeichers und damit die mögliche Entladewärmemenge vergrößert werden.

Literatur

[1]

H. Seiwald, E. Hahne: Das solar unterstützte Nahwärmeversorgungssystem mit Erdwärmesonden-Speicher in Neckarsulm, 3. Symposium Erdgekoppelte Wärmepumpen 1997

[2]

J. Nußbicker, D. Mangold, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Erfahrungen aus Betrieb und Ausbau der solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit Erdsonden-Wärmespeicher in Neckarsulm-Amorbach. 12. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein 24.-26.04.2002 S. 471-475

[3]

M. Benner, M. Bodmann, D. Mangold, J. Nußbicker, S. Raab, Th. Schmidt, H. Seiwald: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher (Nov. 98 bis Jan. 03), Forschungsbericht zum BMWi-Vorhaben 0329606 S, ISBN 3-9805274-2-5, Stuttgart 2004

[4]

J. Nußbicker, D. Mangold, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Solar assisted district heating system with duct heat store in Neckarsulm-Amorbach (Germany), Proc. of ISES Göteborg (Sweden), 14.-19.06.2003

[5]

J. Nußbicker, D. Mangold, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Solar assisted district heating system with seasonal duct heat store in Neckarsulm-Amorbach (Germany), EuroSun2004, 20.-23.06.2004, Freiburg i. Br.

Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert (FKZ 0329607F). Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.