

## Saisonaler Erdsonden-Wärmespeicher Crailsheim

**Hochtemperatur-Wärmespeicherung** ■ Im August 2008 wurde in Crailsheim der erste Bauabschnitt eines Erdsonden-Wärmespeichers mit zunächst 80 Sonden bis in eine Tiefe von 55 Metern abgeschlossen. Dieser Speicher dient der saisonalen Speicherung solar erzeugter Wärme und ermöglicht eine Versorgung des über ein Nahwärmenetz angeschlossenen Wohngebietes Hirtenwiesen II zu 50 Prozent mit solar erzeugter Wärme.

Das Ziel einer solar unterstützten Nahwärmeversorgung (SuN) mit saisonalem Wärmespeicher ist die Deckung von 50 Prozent und mehr des Gesamtwärmebedarfs einer größeren Wohnsiedlung (mehr als 100 Wohneinheiten) durch solar erzeugte Wärme. Durch die zeitliche Diskrepanz zwischen dem Hauptstrahlungsangebot im Sommer und dem Hauptwärmebedarf im Winter ist es aus technischer und ökonomischer Sicht sinnvoll, im Sommer gewinnbare Solarwärme bis in die Heizperiode hinein zu spei-

chern. Die grundlegende Funktionsweise einer SuN mit saisonalem Wärmespeicher wird im Folgenden anhand des Systemkonzepts in **Abbildung 1** verdeutlicht. Die Solarwärme wird von den Solarkollektoren über ein Solarnetz in die Heizzentrale geliefert und kann entweder direkt zur Wärmeversorgung genutzt oder im saisonalen Wärmespeicher eingelagert werden. Eine Momentaufnahme vom Bau des saisonalen Erdsonden-Wärmespeichers in Crailsheim ist in **Abbildung 2** dargestellt. Die Wärmeversorgung der Ge-

bäude zur Heizung und Trinkwarmwasserbereitung erfolgt über ein Wärmenetz, das in der Heizzentrale durch solar erzeugte Wärme oder bei Bedarf durch eine konventionelle Nachheizung (z. B. einen Gasbrennwertkessel) versorgt wird.

Ende 1996 ging die erste von bisher elf in Deutschland realisierten SuN mit saisonalem Wärmespeicher in Betrieb. Diese Anlagen sind allesamt Pilotprojekte, deren Ziel neben anderen die Technologieentwicklung der saiso-

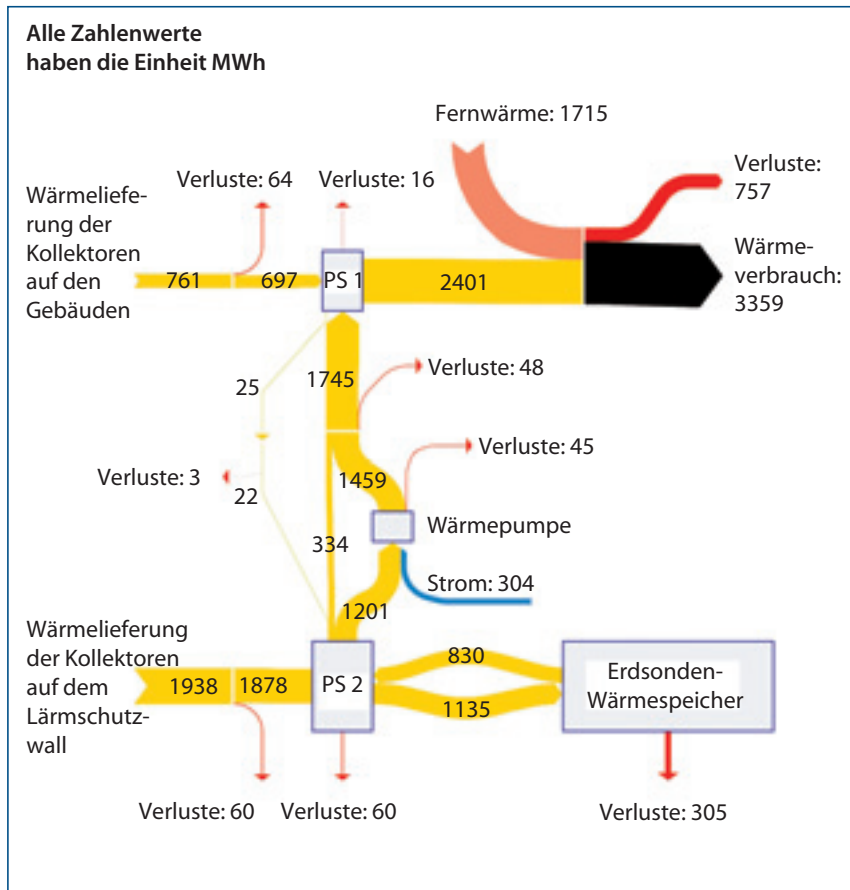


Abb. 3 Energieflussbild der SuN mit Wärmespeicher in Crailsheim

nenal Wärmespeicherung ist. Die drei letzten in Betrieb genommenen Anlagen befinden sich am Ackermannbogen in München (Inbetriebnahme 2007), in Eggenstein-Leopoldshafen (Inbetriebnahme Herbst 2008) und im Neubaugebiet Hirtenwiesen II in Crailsheim (Inbetriebnahme August 2008).

**Die Anlage in Crailsheim**

Ein zu Beginn der Projektentwicklung im Jahr 2000 erstelltes Energiekonzept zeigt, dass die SuN mit saisonalem Wärmespeicher für das Baugebiet Hirtenwiesen II, welches als ehemaliges Kasernengelände die größte Konversionsfläche Baden-Württembergs darstellt, die wirtschaftlichste Möglichkeit ist, die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem vorgeschriebenen Baustandard um 50 Prozent zu senken. Innerhalb der Forschungsprogramme Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) wurde das Konzept am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart in Zusammenarbeit mit Solites weiterentwickelt und

mit Hilfe zahlreicher Simulationsrechnungen detailliert. Die Energiebilanz der daraus resultierenden Ausführungsvariante für den ersten Bauabschnitt sowie der Lageplan sind in **Abbildung 3** und **Abbildung 4** dargestellt. Mit Vollendung des ersten Bauabschnittes werden von der SuN 260 Wohneinheiten sowie eine Schule und eine Sporthalle mit Wärme versorgt. Damit liegt der erwartete Jahresgesamtwärmebedarf des Nahwärmenetzes inklusive Verteilverlusten bei ca. 4.100 MWh. Die solare Wärmeversorgung besteht aus ca. 7.300 m<sup>2</sup> Solarkollektorfläche, zwei 100 bzw. 480 m<sup>3</sup> großen Heißwasser-Pufferspeichern, die als Druckspeicher ohne Wärmeübertrager direkt in das Wärmeversorgungsnetz eingebunden sind, und dem Erdsonden-Wärmespeicher aus 80 Erdwärmesonden. Im Endausbau sollen ca. 211 weitere Wohneinheiten versorgt werden. Der dazu notwendige Zubau an Kollektorfläche auf ca. 10.000 m<sup>2</sup> sowie die Erweiterung des Erdsonden-Wärmespeichers von 80 auf 160 Sonden wird dabei dem Wachstumstempo des Wohngebietes angepasst.

**Entwicklung**

Das Gesamtsystem gliedert sich in zwei miteinander verbundene Anlagenteile: einen Anlagenteil zur kurzzeitigen Wärmespeicherung (**Abbildung 4 links oben**) und einen Anlagenteil zur saisonalen Wärmespeicherung (**Abbildung 4 unten**). Der Grund für die Trennung des Gesamtsystems in zwei Anlagenteile ergibt sich aus der Entwicklung der solar unterstützten Nahwärmeversorgung in Crailsheim. So wurde 2004, als der Ausbau des Gesamtsystems zu einer Anlage mit saisonalem Wärmespeicher noch nicht beschlossen war, zunächst eine SuN mit 700 m<sup>2</sup> Kollektorfläche und dem 100 m<sup>3</sup> großen Heißwasser-Pufferspeicher zur Kurzzeit-Wärmespeicherung in Betrieb genommen. Mit dem Ausbau des Gesamtsystems zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit saisonalem Wärmespeicher wurden weitere, sehr große Kollektorflächen erforderlich, die aufgrund nicht ausreichender, zusammenhängender Dachflächen auf einem Lärmschutzwall – unter Berücksichtigung eines ökologischen Gesamtkonzepts – installiert wurden (**Abb. 5**). Dieser Lärmschutzwall dient der Abtrennung des neu entstehenden Wohngebietes Hirtenwiesen II von einem angrenzenden Gewerbegebiet. Der Erdsonden-Wärmespeicher, ein zweiter Pufferspeicher mit 480 m<sup>3</sup> sowie eine zweite Heizzentrale wurden aus Platzgründen in unmittelbarer Nähe des Lärmschutzwalls gebaut. ▶

**ERDWÄRMESONDEN**

- Sonden DN 32 (PE 100 SDR 11 PN 16) mit 2 Kreisläufen und 4 Sonderrohren fertig verschweißt
- Das Verschweißen der Muffen mit Rohren und Sondenkopf wird werkseitig druckgeprüft und protokolliert
- Zusätzlich werden die Sonden fremdüberwacht und geprüft



50 m / Euro 237,-  
 60 m / Euro 259,-  
 70 m / Euro 281,-  
 80 m / Euro 303,-  
 90 m / Euro 325,-  
 100 m / Euro 347,-  
 110 m / Euro 369,-  
 120 m / Euro 391,-  
 130 m / Euro 413,-  
 140 m / Euro 435,-  
 Y-Stück 32/32/40  
 Euro 11,-,-

Alle Preise ab Werk, zzgl. MwSt.



Tel.: 07024/929242  
 Fax: 07024/929244  
 Neuffenstraße 78  
 D 73240 Wendlingen



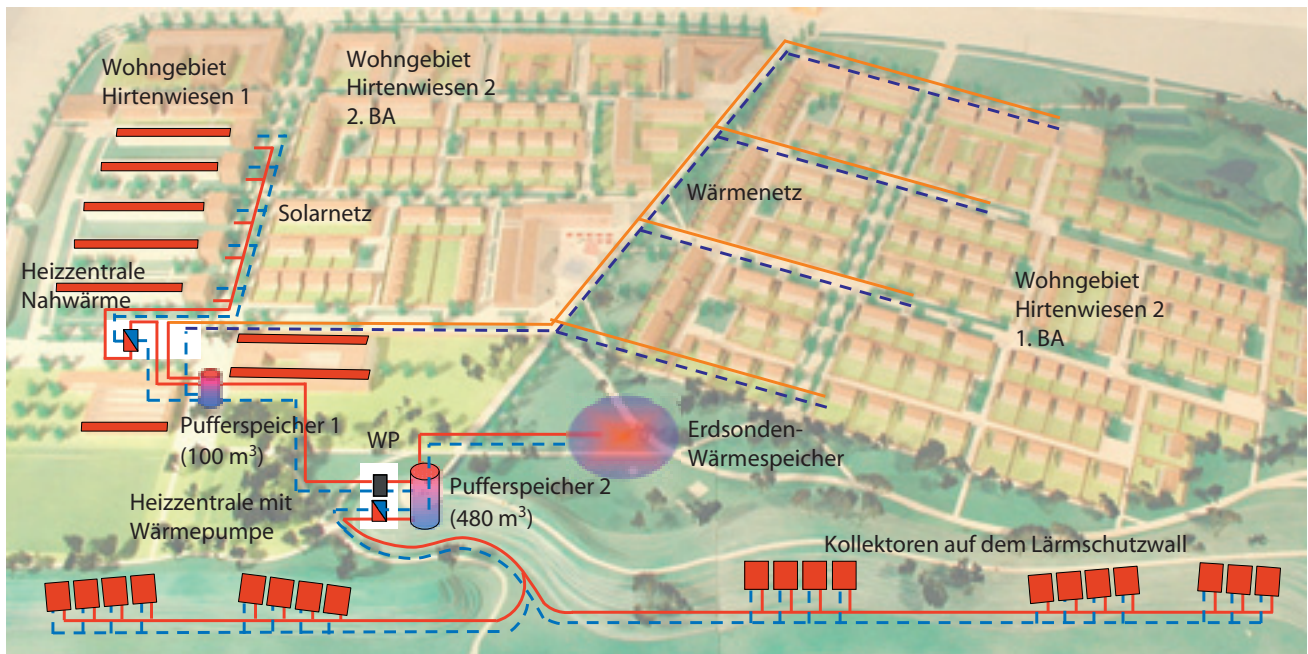


Abb. 4 Lageplan der SuN mit saisonalem Wärmespeicher in Crailsheim

## Funktionsweise

Der aus Betonfertigteilen gebaute Pufferspeicher des Anlagenteils zur Kurzzeit-Wärmespeicherung speist das Nahwärmenetz mit solar erzeugter Wärme. Liefern die auf den Gebäuden montierten Flachkollektoren mehr Wärme, als der 100 m<sup>3</sup> große Pufferspeicher (Pufferspeicher 1) aufnehmen kann, wird die überschüssige Wärmemenge über die 300 Meter langen Verbindungsleitungen in den 480 m<sup>3</sup> großen Pufferspeicher des saisonal betriebenen Anlagenteils (Pufferspeicher 2) transportiert. Die Kollektorfeldgrößen und Pufferspeichervolumina sind allerdings so dimensioniert, dass diese Wärmeübertragung auf ein Minimum reduziert wird. Die hauptsächliche Beladung des 480 m<sup>3</sup> großen Pufferspeichers erfolgt durch die auf dem Lärmschutzwall montierten Flachkollektoren. Durch die Einbindung dieses Pufferspeichers zwischen der Kollektorfläche und dem Erdsonden-Wärmespeicher kann die maximale Beladeleistung des Erdsonden-Wärmespeichers deutlich unter der maximalen Wärmeleistung des Kollektorfeldes gehalten werden, da eine zeitverzögerte Weitergabe der gewonnenen Wärmemengen möglich wird. Damit ist eine Auslegung des Erdsonden-Wärmespeichers auf die erforderliche Wärmespeicherkapazität – und nicht auf die maximale Beladeleistung – möglich, wodurch die Größe des Erdsonden-

Wärmespeichers so stark reduziert werden kann, dass trotz des zusätzlich notwendigen Pufferspeichers die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems verbessert wird.

Wenn die Wärmelieferung des Anlagenteils zur Kurzzeit-Wärmespeicherung nicht zur Deckung des Wärmebedarfs des Nahwärmenetzes ausreicht, wird der Pufferspeicher 1 über die 300 Meter langen Verbindungsleitungen von Pufferspeicher 2 aufgeladen. Diese Beladung des an das Nahwärmenetz angeschlossenen Pufferspeichers 1 aus dem saisonal betriebenen Anlagenteil erfolgt direkt, solange die Temperatur im Pufferspeicher 2 die erforderliche Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes übersteigt. Andernfalls geschieht der Wärmetransport von Pufferspeicher 2 zu Pufferspeicher 1 über eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe. Bei Absinken des Temperaturniveaus in Pufferspeicher 2 kann dieser wiederum durch den saisonalen Wärmespeicher beladen werden. Die Integration der Wärmepumpe in das System führt dazu, dass der Erdsonden-Wärmespeicher auf tiefere Temperaturen entladen wird (bis auf ca. 20 °C) und damit dessen Wärmeverluste sinken. Außerdem steigt der Nutzungsgrad des Kollektorfeldes auf dem Lärmschutzwall vor allem im Frühjahr durch die niedrigeren Kollektorrücklauftempera-

turen. Des Weiteren bewirkt die Absenkung der minimalen Temperatur des Erdsonden-Wärmespeichers und die damit verbundene Erhöhung der nutzbaren Temperaturdifferenz einen Anstieg der volumenbezogenen Speicherkapazität, sodass das Speichervolumen des Erdsonden-Wärmespeichers im Vergleich zu einem identischen System ohne Wärmepumpe reduziert werden kann. Falls der Wärmebedarf des Nahwärmenetzes nicht durch solare Wärme gedeckt werden kann, erfolgt die Nachheizung auf die erforderliche Netzvorlauftemperatur durch das Fernwärmenetz der Stadtwerke Crailsheim.

## Bewertung des Gesamtsystems

Als zentrale Bewertungsgröße für das Gesamtsystem wird meist der solare Deckungsanteil verwendet, der angibt, welcher Prozentsatz am Gesamtwärmebedarf des Nahwärmenetzes inklusive Wärmeverlusten durch solare Wärme gedeckt werden kann. In den ersten Pilotprojekten mit SuN und saisonalem Wärmespeicher konnte zwar deren Funktionsfähigkeit nachgewiesen werden, aber der solare Deckungsanteil blieb häufig hinter den simulierten Werten zurück. Eine wichtige Ursache hierfür ist die Überschreitung der ursprünglich geplanten Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes, insbesondere wenn keine Wär-



Abb. 5 Kollektorfeldmontage auf dem Lärmschutzwall

mepumpe zur Entladung des saisonalen Wärmespeichers vorhanden ist. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes in einem System ohne Wärmepumpe bestimmt, bis auf welche Temperaturen der saisonale Speicher entladen werden kann. Aber auch in einem System mit Wärmepumpe sind niedrige Rücklauftemperaturen des Nahwärmenetzes gewünscht, da damit die Betriebsdauer der Wärmepumpe und somit deren Jahresstromverbrauch vermindert werden kann. Neben den bereits oben erläuterten Vorteilen einer niedrigen minimalen Temperatur im saisonalen Wärmespeicher ergeben sich durch die niedrige Rücklauftemperatur auch geringere Wärmeverluste des Nahwärmenetzes.

### Das Nahwärmenetz

Im Gegensatz zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit saisonalem Wärmespeicher am Ackermannbogen in München, bei der eine massenstromgemittelte Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes von 30 °C durch hohen technischen und finanziellen Aufwand der Bauträger realisiert wurde, wird in Crailsheim lediglich ein Nieder-temperatur-Heizsystem mit der Auslegung 60/30 °C für alle Häuser gefordert, welches mit Mehrkosten von rund 1.000-1.500 Euro je Einfamilienhaus umgesetzt werden kann. Diese Forderung sowie die Anschlusspflicht an das Nahwärmenetz sind bereits in den Grundstückskaufverträgen zwischen der Stadt Crailsheim und dem jeweiligen Käufer festgehalten. Damit

und mit einer Vereinbarung zwischen den Stadtwerken Crailsheim und der Stadt Crailsheim, die die tatsächliche Erschließung des Gebietes zusichert, konnten die Stadtwerke ihre Planungssicherheit als Betreiber des Nahwärmenetzes erhöhen.

Die Hausübergabestationen sind durch die Hauseigentümer bei den Stadtwerken Crailsheim zu kaufen. Eine Anlieferung findet allerdings nur statt, wenn für das Heizsystem eine Berechnung des hydraulischen Abgleichs vorgelegt werden kann. Nach einer Abnahme werden die Hausübergabestationen durch die Stadtwerke Crailsheim nur dann freigeschaltet, wenn die Rücklauftemperatur auf der Netzseite 35 °C nicht überschreitet. Im späteren Betrieb ist in den Hausübergabestationen eine Rücklauftemperaturbegrenzung auf 35 °C aktiv.

### Auswahl des saisonalen Wärmespeichertyps

Der saisonale Wärmespeicher ermöglicht es, die durch das hohe sommerliche Strahlungsangebot gewinnbare Wärme bis in die Heizperiode hinein zu speichern und dann zu nutzen. Bisher wurden in Deutschland vier verschiedene Typen von saisonalen Wärmespeichern gebaut: Behälter-, Erdbecken-, Aquifer- und Erdsonden-Wärmespeicher. Bei geologischer Eignung sind in der Regel Aquifer- und Erdsonden-Wärmespeicher kostengünstiger zu realisieren als die anderen beiden Speichertypen. Daher wurde in Crailsheim zunächst eine geologische Untersuchung des Untergrundes durchgeführt, welche zeigte, dass ein Erd- ▶



**pro KÜHLSOLE GmbH**  
Maurerstraße 46  
D-52477 Alsdorf

[www.glykol.info](http://www.glykol.info)

**GLYKOSOL N** ...der Wärmeträger für Erdsonden, Wärmepumpen Heizungssysteme

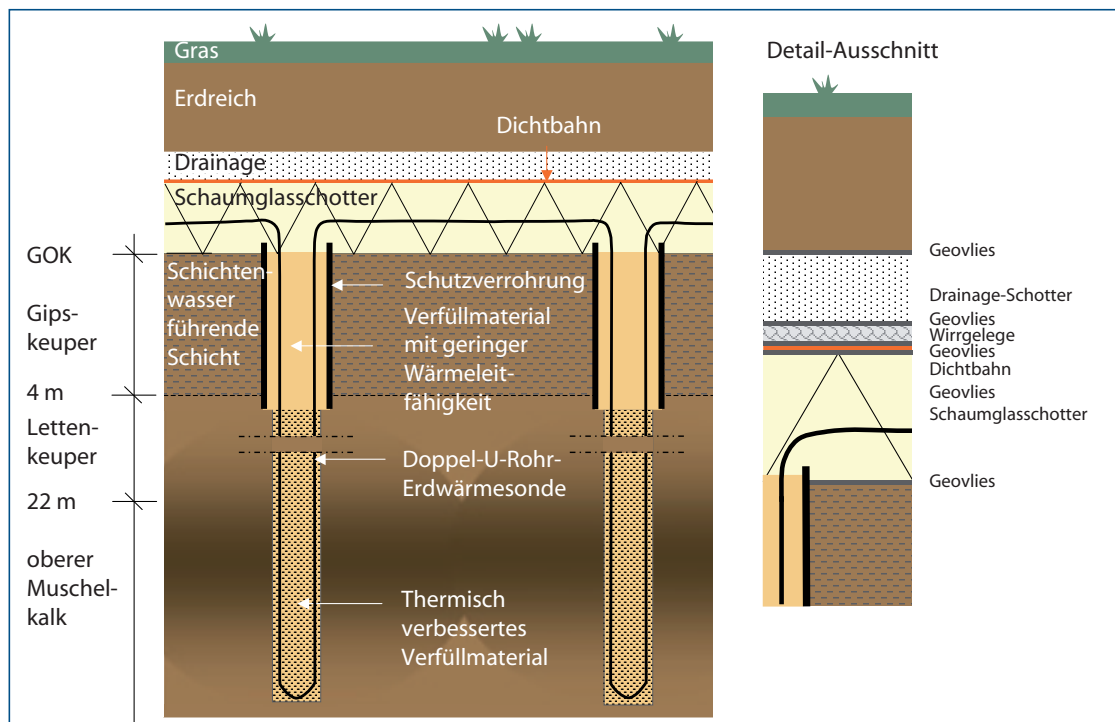
*Damit Sie flüssig bleiben!*



**Wie tief Sie auch bohren, GLYKOSOL N geht mit!**

Info-Ruf: +49 2404 / 67 65-0

**Abb. 6** Schnittzeichnung des Erdsonden-Wärmespeichers



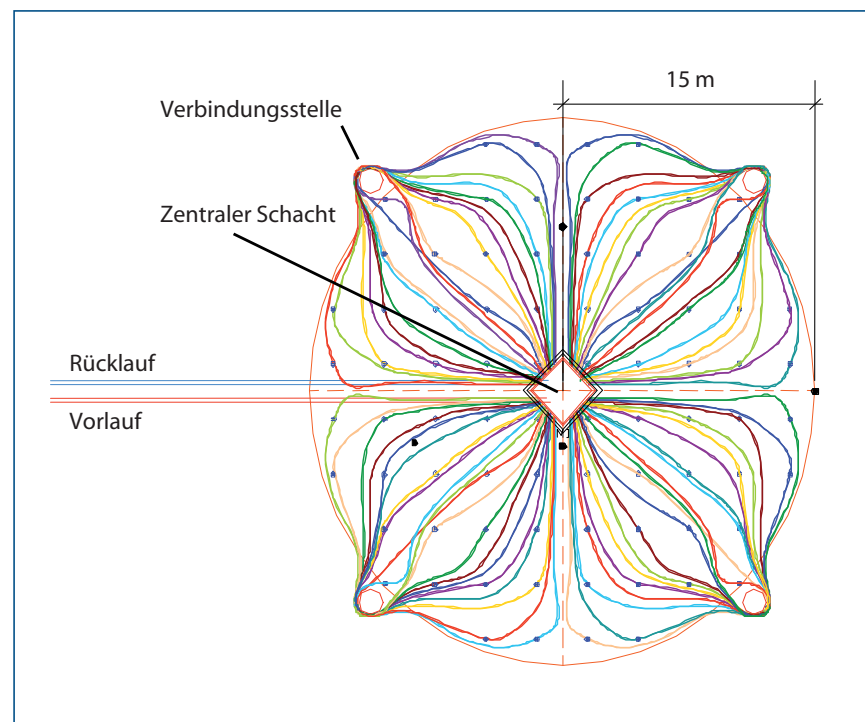
sonden-Wärmespeicher prinzipiell möglich ist (Abb. 6). Allerdings wurden oberhalb von vier Metern unter Geländeoberkante (GOK) und unterhalb von 60 Metern unter GOK Schichten- bzw. Grundwasserströme festgestellt, die eine saisonale Wärmespeicherung in diesem Bereich unmöglich machen. Daher wurde für den Erdsonden-Wärmespeicher im Gegensatz zu den bisher realisierten vergleichbaren Anlagen in Neckarsulm und Attenkirchen eine neue Bauweise entwickelt, die sich der Problematik des strömenden Schichtenwassers im oberen Speicherhorizont stellt.

Ein Thermal-Response-Test ergab für den Untergrund von 0 bis 20 Meter unter GOK eine mittlere Wärmeleitfähigkeit von  $1,95 \text{ W/mK}$  und eine Wärmekapazität von  $2600 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ . Gemittelt über den Bereich von 0 bis 80 Metern betragen diese Werte  $2,46 \text{ W/mK}$  bzw.  $2400 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ .

Für die Effizienz eines saisonalen Wärmespeichers ist das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen des Speichers entscheidend. Je kleiner dieses Verhältnis ist, desto geringer sind die Wärmeverluste bezogen auf die speicherbare Wärmemenge. Damit wird klar, dass für die saisonale Wärmespeicherung sehr großvolumige Speicher er-

forderlich sind, insbesondere im Falle eines Erdsonden-Wärmespeichers, bei dem die volumetrische Speicherkapazität geringer ist als die eines wassergefüllten saisonalen Wärmespeichers. Außerdem können Erdsonden-Wärmespeicher im Gegensatz zu Behälter- und Erdbecken-Wärmespeichern am Boden nicht und an den Seiten nicht zu wirtschaftlichen Kosten gedämmt

werden. Das Speichervolumen der ersten Ausbaustufe des Erdsonden-Wärmespeichers in Crailsheim mit 80 Erdsonden, die mit einem Bohrl Lochdurchmesser von 130 Millimetern bis in eine Tiefe von 55 Metern abgeteuft wurden, beträgt  $37.500 \text{ m}^3$ . Erfahrungen in Bau, Betrieb und Erweiterbarkeit von Erdsonden-Wärmespeichern konnten bisher bei den vor-



**Abb. 7** Aufsicht auf den Erdsonden-Wärmespeicher

hergehenden Projekten mit einem Erdsonden-Wärmespeicher in Neckarsulm und einem Hybrid-Wärmespeicher in Attenkirchen (Kombination aus Behälter- und Erdsonden-Wärmespeicher) gesammelt werden. Im Folgenden gezeigte Vergleiche und aufgezeigte Weiterentwicklungen zu einem Erdsonden-Wärmespeicher der ersten Generation beziehen sich vor allem auf den Erdsonden-Wärmespeicher in Neckarsulm, der in den Jahren 1997 und 2001 gebaut bzw. erweitert wurde.

**Konzept und Materialauswahl**

Da die maximale Beladetemperatur des Erdsonden-Wärmespeichers über 90 °C beträgt und Temperaturen im Speicherkern von bis zu 65 °C erreicht werden, kann aufgrund dieser Anforderungen in Verbindung mit der Druckbelastung der Sonden das Material PE100 nicht verwendet werden. Bei den beiden realisierten Speichern der ersten Generation kamen Polybuten-Sonden zum Einsatz, die allerdings teuer sind. Zur Kostenreduktion wur-

den weitere Materialien auf ihre Eignung hin untersucht, wobei sich zeigte, dass sowohl PE-X (vernetztes Polyethylen) als auch PE-RT (unvernetztes Polyethylen mit erhöhter Temperaturbeständigkeit) grundsätzlich geeignet sind. Aufgrund der höheren Temperaturzeitstandfestigkeit, umfangreicherer Praxiserfahrungen und der besseren mechanischen Belastbarkeit wurde das Material PE-X für die Sonden verwendet.

Eine der Herausforderungen bei der Planung des Erdsonden-Wärmespeichers war, ein orthogonales 3 x 3 Meter-Bohr raster zu erstellen, und dennoch eine thermisch optimale, kreisförmige Grundfläche des Speichers zu erhalten. Das orthogonale Bohrraster bietet Vorteile in der Bauausführung durch eine Zeitersparnis beim Umsetzen des Bohrgeräts. Außerdem sollte der Erdsonden-Wärmespeicher im Vergleich zu den Speichern der ersten Generation unter Beibehaltung der unter thermischer Hinsicht optimalen

Durchströmung so erweiterbar sein, dass sich die heißesten Bereiche im ursprünglichen als auch im erweiterten Zustand stets im Zentrum des Speichers befinden. Diese Temperaturverteilung und die rotationssymmetrische Form des Erdsonden-Wärmespeichers tragen zur Reduzierung der Speicherwärmeverluste bei.

In der ersten Ausbaustufe sind jeweils zwei Sonden so in Reihe geschaltet, dass bei Beladung des Erdsonden-Wärmespeichers das heiße Wasser auf dem Weg vom Zentralschacht zu einer der vier außen liegenden Verbindungsstellen zunächst eine weiter innen liegende Erdwärmesonde und auf dem Rückweg zum Zentralschacht das nun schon etwas abgekühlte Wasser eine weiter außen liegende Erdwärmesonde durchströmt (Abb. 7). Bei der Entladung des Speichers wird die Durchströmungsrichtung umgekehrt. Die Sondenschenkel der einzelnen Erdwärmesonden wurden in ihrer Länge jeweils so angepasst, dass diese ►

**Stellen Sie Ihre Kompetenz ins Rampenlicht!**

Nutzen Sie unseren Service der **bbr**-Sonderdrucke für Ihre Unternehmenskommunikation. Wir beraten Sie gerne.



wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH



Alexandra Thies

Tel. 0228 9191-435 · Fax 0228 9191-492  
E-Mail: thies@wvgw.de · www.wvgw.de



**Verpressmaterialien für Erdwärmesondenspeicher**



**STÜWATHERM Z®**  
Hohe Wärmeleitfähigkeit für optimalen Wärmeentzug in der Tiefe  
ca.  $\lambda$  2,0 W/m/K

**STÜWAISO®**  
Geringe Wärmeleitfähigkeit für oberflächennahe Isolierungen  
ca.  $\lambda$  0,1 W/m/K



**STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH**  
Hemmersweg 80 • D-33397 Rietberg (Varensell)  
Tel.: 05244 / 407-0 • Fax: 05244 / 1670  
Internet: [www.stuewa.de](http://www.stuewa.de)  
E-Mail: [info@stuewa.de](mailto:info@stuewa.de)

▷ **Abb. 10** Einschotterung + Einpflockung des Untergrundes für den Bau des Erdsonden-Wärmespeichers

▽ **Abb. 8** Pressfittingverbindungen der in Reihe geschalteten Erdwärmesonden auf Schaumglasschotterdämmung



**Abb. 9** Vor- und Rücklaufverteiler im zentralen Schacht des Erdsonden-Wärmespeichers



**Abb. 11** Ausführung der Horizontalverrohrung auf Schaumglasschotterschicht

gleichzeitig als Horizontalverrohrung dienen, wobei die Verbindung der Sondenschenkel an jeweils einer der vier außen liegenden Verbindungsstellen mit Hilfe von Pressfittingen erfolgt (Abb. 8). Ein Verbinden der PE-X-Erdwärmesonden mittels Schweißen ist auf der Baustelle nicht möglich. Da die Dauerhaltbarkeit der Pressfittingverbindungen durch eventuell anfallendes gipshaltiges Oberflächenwasser nicht gewährleistet werden kann, wurden die Pressfittingverbindungen auf die vier außen liegenden Verbindungsstellen beschränkt, sodass eventuell auftretende Undichtigkeiten einfach auffindbar sind. Weitere Verbindungen liegen mit Ausnahme des zentralen Schachts – auch am Sondenfuß – nicht vor. Im zentralen Schacht befinden sich in der ersten Ausbaustufe des Erdsonden-Wärmespeichers die Vor- und Rücklaufverteiler (Abb. 9).

Die Sondenschenkel dienen nicht nur zur horizontalen Verrohrung des Erdsonden-Wärmespeichers, sondern sie sind auch für den hydraulischen Abgleich des Erdsonden-Wärmespeichers verantwortlich. Dazu muss jeweils die Gesamtrohrlänge eines in Reihe geschalteten Sondenpaares gleich sein. Zur Erfüllung der zusätzlichen Funktionen (Horizontalverrohrung, hydraulischer Abgleich) wurden erstmals Erdwärmesonden mit unterschiedlichen Sondenschenkelängen produziert und eingesetzt. Im Vergleich zu dem Erdsonden-Wärmespeicher in Neckarsulm, bei dem die Horizontalverrohrung so kurz wie möglich gehalten wurde, sind in Crailsheim erhöhte Wärmeverluste durch die Horizontalverrohrung zu erwarten. Diese werden allerdings durch die Verlegung der Verrohrung in der Speicherwärmedämmung minimiert. Den erhöhten Wärmeverlusten

stehen die mit den angepassten Sondenschenkelängen erzielten Kostenvorteile gegenüber, die durch den Wegfall der Notwendigkeit eines hydraulischen Abgleichs mit Strangreguliertventilen entstehen. Vorab durchgeführte Berechnungen haben gezeigt, dass die in Crailsheim gewählte Bauweise wirtschaftlicher ist.

### Erweiterbarkeit

Zur Erweiterung des Speichers nach Anwachsen des Nahwärmenetzes Hirtenwiesen II in einigen Jahren kann die Zahl der Erdsonden durch 80 weitere, konzentrisch um den bestehenden Speicher herum angeordnete Bohrungen verdoppelt werden, wobei die Durchströmung des Gesamtspeichers weiterhin in radialer Richtung erfolgen wird. Dazu müssen lediglich die vier Verbindungsstellen geöffnet werden, um dort die Pressfitting-Verbindungen

der Sondenrohre des ersten Bauabschnitts aufzutrennen. Anschließend wird jeweils eine der Sonden des ersten Bauabschnitts mit einer Sonde des zweiten Bauabschnitts in Reihe geschaltet, wobei auch hierbei wieder die Schenkellängen der einzelnen Sonden so anzupassen sind, dass ein zusätzlicher hydraulischer Abgleich überflüssig ist. Bei der Beladung des Erdsonden-Wärmespeichers dienen nun die beiden Verteiler in dem Zentralschacht als Vorlaufverteiler, während die Rückläufe entweder an mehreren zentralen Stellen am Außenrand zusammengeführt oder über eine Ringleitung gesammelt werden. Die Entladung des Speichers erfolgt wie in der ersten Ausbaustufe auch hier durch Umkehrung der Durchströmungsrichtung.

**Bohrarbeiten**

Zunächst musste das Gebiet für den Speicherbau, das sich auf einem ehemaligen Militärgelände befindet, kampfmittelgeräumt werden, wobei

keine explosionsfähigen Stoffe gefunden wurden. Anschließend erfolgten die Erstellung eines Entwässerungsgrabens, die Einschotterung des Bohrgeländes und das Einpflocken der Bohrpunkte zur Vorbereitung der Bohrarbeiten (Abb. 10). Die Einschotterung des Untergrundes wurde auf Basis der Erfahrungen aus den Bohrarbeiten der beiden Erdsonden-Wärmespeicher der ersten Generation durchgeführt. Dort hat sich gezeigt, dass bei zahlreichen sehr eng beieinander liegenden Bohrungen, die während des Bohrens und Verpressens in der Regel den Austritt von Wasser und Verpresssuspension mit sich bringen, ein drainierter Untergrund erhebliche Vorteile für die Standfestigkeit des Bohrgeräts mit sich bringt. Aufgrund des Schichtenwasserflusses auf den oberen vier Metern unter GOK ist für diesen nicht zur Wärmespeicherung geeigneten Bereich eine angepasste Bauweise erforderlich. Ursprünglich war geplant, zunächst Schneckenbohrungen bis in eine Tiefe von ca. fünf Metern niederzubringen und diese

jeweils sofort nach Fertigstellung dieser Bohrung mit einer im Untergrund verbleibenden Kunststoff-Schutzverrohrung gegen Einsturz zu sichern. Allerdings ließ sich der durchfeuchtete Untergrund durch die Bohrschnecke nur sehr schlecht fördern und die Bohrungen stürzten ein, bevor die Schutzrohre eingestellt werden konnten. Aus diesem Grund wurde auf den einsturzfähigsten oberen vier bis fünf Metern eine Einfachkernbohrung mit 323 Millimeter Durchmesser abgeteuft, deren Kernbohrer vorübergehend als Standverrohrung im Bohrloch verblieb. Innerhalb dieser Standverrohrung wurde anschließend eine Einfachkernbohrung mit einem Durchmesser von 280 mm bis in das Tiefengestein in ca. sechs bis sieben Meter unter GOK durchgeführt. In diese stabil stehende Bohrung wurden die Schutzrohre mit einem Durchmesser von 200 Millimeter eingestellt. Daraufhin konnte der noch im Untergrund befindliche Kernlochbohrer, der als Standverrohrung auf den oberen Metern diente, gezogen ►



**HDG Baustoffe**  
Rohre PE & PVC  
Systempartner für Bohr- und Installationsunternehmen

- Erdwärmesonden
- UV-Soleverteiler/Schächte



- SCHWENK Füllbinder® EWM
- Bohrspülungszusätze
- Brunnenrohre-Zubehör



**HDG Baustoffe**  
Haidweg 3, D-88410 Bad Wurzach / Rohrbach  
Fon +49 (0) 7564 - 94 99 02, Fax +49 (0) 7564 - 94 99 03  
[www.hdg-baustoffe.com](http://www.hdg-baustoffe.com)

# ROTOMAX XL-GTC

## Doppelkopf + Container alles an Bord

Maschine + Rohre	nur 13 t
Leistung	103 kW
Zugkraft	140 000 N
Spannzange	120 000 N
Getriebe	27 000 Nm
Hyd.Spannkopf	ø168
Schutzrohr	3 m ø168 iø142
Bohrrohr	3 m ø95 iø60
Gestängelifft	2000 N
Containerinhalt	54 m ø168
+	130 m ø95

**auch für Brunnenbau**





**Geotec**  
Bohrtechnik GmbH

Tel. 02596 97000  
[contact@geotec-bohrtechnik.de](mailto:contact@geotec-bohrtechnik.de)  
[www.geotec-bohrtechnik.de](http://www.geotec-bohrtechnik.de)

werden. Der Ringraum zwischen dem Schutzrohr und dem Erdreich wurde mit konventionellem Füllbinder verfüllt.

Anschließend wurde in den bereits begonnenen Bohrungen bis in eine Tiefe von 55 Metern unter GOK eine Imlochhammerbohrung abgeteuft. Bei diesen Bohrungen zeigte sich der Untergrund standfest, sodass keine Schutzverrohrung notwendig war. Die Verfüllung der Bohrungen bis zur Geländeoberkante erfolgte mit einem thermisch verbesserten Verfüllmaterial im Kontraktorverfahren. Nach einer Wartezeit von mehreren Stunden, in der sich die Verfüllung setzen konnte, um eventuell vorhandene Klüfte im Gestein sicher abzudichten, wurde die Verpressung auf den oberen vier Metern des Bohrlochs durch Wasser wieder ausgespült, da in diesem Bereich zur Eindämmung der Wärmeabgabe an die Schichtenwasser führende Untergrundschicht kein thermisch verbessertes Verfüllmaterial erwünscht ist. Zunächst wurden alle 40 Bohrungen der ersten Speicherhälfte auf diese Weise fertig gestellt. Danach wurden sie alle mit einem in diesem Anwendungsbereich erstmals eingesetzten Verpressmaterial mit einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit (ca. 0,12 W/mK im trockenen Zustand; ca. 0,78 W/mK im wassergesättigten Zustand) vollständig verfüllt. Neben der Wärmeleitfähigkeitsmessung wurde für dieses Material in einer Untersuchung die Temperaturdauerbeständigkeit für die zu erwartenden Beaufschlagungen mit über 90 °C nachgewiesen.

## Dämmung

Nachfolgend wurde der durch die Bohrarbeiten zerfurchte Untergrund der ersten Speicherhälfte abgezogen, um einen gleichmäßigen Aufbau der Speicherdämmung nach oben zu gewährleisten (Abb. 6). Die Speicherdämmung besteht aus zwei Schichten Schaumglasschotter, zwischen denen die Horizontalverrohrung verlegt wird, sodass Wärmeverluste sowohl nach oben als auch nach unten in die Schichtenwasser führende Schicht minimiert werden. Schaumglasschotter ist eine schüttbare Wärmedämmung, die im Falle des vorliegenden Materials bei Komprimierung weichkantig bricht, sodass kein zusätzliches

Sandbett zur Verlegung der PE-X-Horizontalverrohrung erforderlich ist. Ein Geovlies unterhalb der unteren Lage Speicherwärmedämmung soll das Eindringen des Schaumglasschotters in das Erdreich verhindern.

Die Aufteilung des Speicherbaus in zwei Hälften hat einerseits logistische Gründe, insbesondere die einfachere Verteilung des Schaumglasschotters auf dem Speicher, und zum anderen soll die Zeit, in der die Sondenschenkel frei zugänglich auf dem Speicher liegen, zum Schutz vor Vandalismus begrenzt werden. Da sich einige Sondenrohre nach Verlegung auf der unteren, nach Verdichtung 20 Zentimeter hohen Dämmschicht aufgrund der Bauausführung stark verdrillten, war teilweise eine Beschwerung mit Sandsäcken erforderlich (Abb. 11). Die Dämmung auf der Horizontalverrohrung wurde so eingebaut und verdichtet, dass sich mindestens 20 Zentimeter Schaumglasschotter oberhalb der Horizontalverrohrung befanden. Oberhalb des Schaumglasschotters schließt sich eine Lage Geovlies und darüber eine von oben wasserdichte Kunststoffbahn an, die von unten dampfdiffusionsoffen ist, sodass eventuell in der Dämmung vorhandene Feuchtigkeit nach oben entweichen kann. Damit soll im Gegensatz zu den Speichern der ersten Generation, bei denen als Feuchteschutz dampfdiffusionsdichte Abdichtfolien verwendet wurden, eine Austrocknung des Dämmstoffes bei eventueller Durchfeuchtung möglich sein.

Die in Crailsheim verwendete Kunststoffbahn wurde mit 3,5 Prozent Neigung verlegt, sodass versickerndes Oberflächenwasser abgeführt wird. Zu diesem Zweck befindet sich außerdem eine 20 Zentimeter starke Schicht aus Drainageschotter auf der Dichtbahn. Zwischen der Dichtbahn und dem Drainageschotter wurde ein druckverteilendes Wirtgelege eingebaut. Zum oben aufgeschütteten Erdreich hin ist der Drainagekies durch eine Schicht Geovlies abgetrennt, sodass die Einspülung des Erdreichs durch Regen in den Drainagekies verhindert wird. Der fertig gestellte Speicher wird schließlich begrünt und fügt sich damit nahtlos in die Umgebung ein.

## Ausblick

Die Inbetriebnahme des Erdsonden-Wärmespeichers fand Ende August 2008 statt. In den ersten Betriebsjahren wird der Speicher noch nicht den für den stationären Betrieb errechneten Nutzungsgrad von ca. 73 Prozent erreichen. Verantwortlich hierfür sind erhöhte Wärmeverluste, da sich das den Erdsonden-Wärmespeicher umgebende Erdreich über die ersten Jahre zunächst erwärmen wird. Zum Monitoring wurde der Speicher durch das ITW mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet, sodass das reale Betriebsverhalten dieses innovativen Speichers untersucht werden kann.

Die solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit saisonalem Wärmespeicher in Crailsheim sowie weitere in den nächsten Jahren folgende Pilotprojekte mit saisonalen Wärmespeichern dienen der Weiterentwicklung dieser Technologie hin zur erwarteten Marktfähigkeit ca. im Jahr 2020. Ab dann wird die Verfügbarkeit dieser Technologie laut der Roadmap Solarthermie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in stark wachsendem Maße erforderlich sein. Es ist also das Ziel, die in Crailsheim erreichten solaren Nutzwärmeleistungen von 21 Ct/kWh noch weiter zu senken.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben 0329607N wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert. Der Autor dankt für diese Unterstützung.

Abbildungen: Solites

---

## Autor:

Dipl.-Ing. Mathieu Riegger  
Solites  
Steinbeis Forschungsinstitut für solare  
und zukunftsfähige Energiesysteme  
Nobelstr. 15  
70569 Stuttgart  
Tel.: 0711 6732000-50  
Fax: 0711 6732000-99  
E-Mail: riegger@solites.de  
Internet: www.solites.de

