

Die solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit saisonalem Aquifer-Wärmespeicher in Rostock - Ergebnisse nach vier Betriebsjahren

T. Schmidt¹⁾, H. Müller-Steinhagen¹⁾²⁾³⁾

*¹⁾Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT), Forschungsinstitut der Steinbeis-Stiftung
Pfaffenwaldring 10, D-70550 Stuttgart
Tel.: 0711-685-3299, Fax: 0711-685-3242*

Email: schmidt@swt-stuttgart.de, Internet: www.swt-stuttgart.de

²⁾Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart

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

Kurzfassung

Im Mai 2000 ging in Rostock die erste solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit einem Aquifer-Wärmespeicher in Deutschland in Betrieb. Die Anlage versorgt ein Mehrfamiliengebäude mit 108 Wohnungen und insgesamt 7000 m² Wohnfläche mit Solarenergie zur Warmwasserbereitung und Raumheizung. Kollektoren auf dem Gebäude mit einer Absorberfläche von insgesamt 980 m² sammeln Solarenergie, die zum Teil in einen unter dem Gebäude liegenden Aquifer-Wärmespeicher eingespeichert wird. Der Aquifer-Wärmespeicher (ATES – Aquifer Thermal Energy Store) ist mit einem Brunnenpaar ausgestattet und befindet sich unter dem Gebäude. Er wird als saisonaler Wärmespeicher betrieben, um die Lücke zwischen hohem Solarstrahlungsangebot im Sommerhalbjahr und großem Wärmebedarf des Wohngebäudes im Winterhalbjahr zu schließen. Das Solarsystem einschließlich Wärmespeicher wurde so ausgelegt, dass die Hälfte des jährlichen Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasserbereitung durch Solarenergie gedeckt wird. Dieses Ziel konnte im Jahr 2003 mit einem solaren Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf von 49 % erreicht werden.

Die Anlage ist eine von acht Demonstrationsanlagen, die innerhalb des Bundesforschungsprogramms 'Solarthermie-2000' in den letzten zehn Jahren errichtet wurden. Eigentümer und Betreiber des Gebäudes ist die WIRO Wohnen in Rostock Wohnungsgesellschaft mbH. Das Gesamtkonzept der Wärmeversorgung wurde von der Geothermie Neubrandenburg GmbH (GTN) erstellt. Das Projekt wird von SWT (gesamtes Solarsystem) und GTN (Aquifer) wissenschaftlich begleitet. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über das Projekt und stellt Betriebsergebnisse der ersten vier Betriebsjahre vor.

Anlagenbeschreibung

Der Wärmebedarf des Gebäudes (Bild 1) unterschreitet den Grenzwert der zur Bauzeit gültigen Wärmeschutzverordnung 1995 um ca. 30 %. Der Gesamtwärmebedarf für Trinkwassererwärmung und Raumheizung liegt nach Planung bei rund 500 MWh/a.



Bild 1: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung in Rostock-Brinckmanshöhe

Die Kollektorfelder sind als Solardächer ausgeführt. Das bedeutet, dass die komplette Dachkonstruktion einschließlich Dachsparren, Wärmedämmung, Kollektoren usw. vom Kollektorhersteller in der Fabrik vorgefertigt und in großen Modulen auf die Baustelle geliefert und montiert wurde. Erstmals wurden dabei Dachfenster direkt in die Kollektorfläche integriert. In den unteren Bereichen der Dächer wurden Blindelemente ohne Absorber vorgesehen (Bild 2), da in diesen Bereichen zeitweise Verschattungen durch das jeweils davor angeordnete Dach auftreten. Die Bereiche ober- und unterhalb der Dachfenster sind aus hydraulischen Gründen ebenfalls als Blindelemente ausgeführt.

Ein Hydraulikschema der Gesamtanlage zeigt Bild 3. Das Wärmeverteilnetz ist als 4-Leiternetz ausgeführt, in dem die Trinkwarmwasser-Erwärmung zentral über zwei Speicher mit einem Volumen von je 750 Litern erfolgt. Zur Raumheizung wurde ein Niedertemperatur-Heizsystem (VL/RL: 50/30 °C) mit Radiatoren realisiert, um



Bild 2: Solardach mit integrierten Dachfenstern und Blindelementen ohne Absorber in zeitweise verschatteten Bereichen

niedrige Betriebstemperaturen sicherzustellen und damit günstige Betriebsbedingungen für die Solaranlage und die Wärmepumpe zu garantieren. Die Erwärmung der Trinkwarmwasser-Zirkulation erfolgt seit einem Umbau im April 2001 über einen separaten Wärmeübertrager ohne Durchströmung der Trinkwarmwasser-Speicher. Die Wärme wird in der Heizzentrale über zwei separate Vorlauf-Verteiler bereitgestellt, um die erforderlichen Temperaturniveaus für die Nutzung zur Raumheizung (50 °C) bzw. zur Trinkwarmwasser-Erwärmung (65 °C) zu berücksichtigen. Dies ermöglicht beispielsweise eine direkte Nutzung solarer Wärme auch auf niedriger Temperatur zur Raumheizung. Die Wärmepumpe ist eine Sonderkonstruktion, die die Nutzwärme auf zwei unterschiedlichen Temperaturniveaus bereitstellen kann. Dabei erfolgt neben der Wärmeentnahme bei der Kondensation (bei ca. 50 °C) eine vorangestellte Auskoppelung von Wärme aus dem überhitzten Bereich des Kältemittels (bei ca. 65 °C). Die Wärmepumpe wird elektrisch betrieben und hat eine thermische Leistung von 110 kW.

Der Aquifer-Wärmespeicher wird aus dem Pufferspeicher heraus beladen, wenn mehr Solarwärme zur Verfügung steht als benötigt wird. Die Entladung erfolgt über einen Wärmeübertrager, wenn das Temperaturniveau des aus dem warmen Brunnen geförderten Grundwassers für eine direkte Nutzung ausreicht. Bei zu niedriger Temperatur wird über die Wärmepumpe entladen. Parallel erfolgt auch bei niedrigen Temperaturen im Speicher eine Vorwärmung des Trinkwarmwassers über einen zweiten Wärmeübertrager.

Zur Deckung des verbleibenden Restwärmebedarfs ist ein Gas-Brennwertkessel mit einer Leistung von 250 kW installiert. Dieser muss auch in strahlungsschwachen Perioden im Sommer den Restwärmebedarf decken (selbst wenn im Aquifer-Wärmespeicher genügend Wärme vorhanden ist), da der Aquifer-Wärmespeicher betriebsbedingt nicht kurzzeitig die Durchströmungsrichtung ändern, bzw. von Be- auf Entladung umschalten kann (siehe unten).

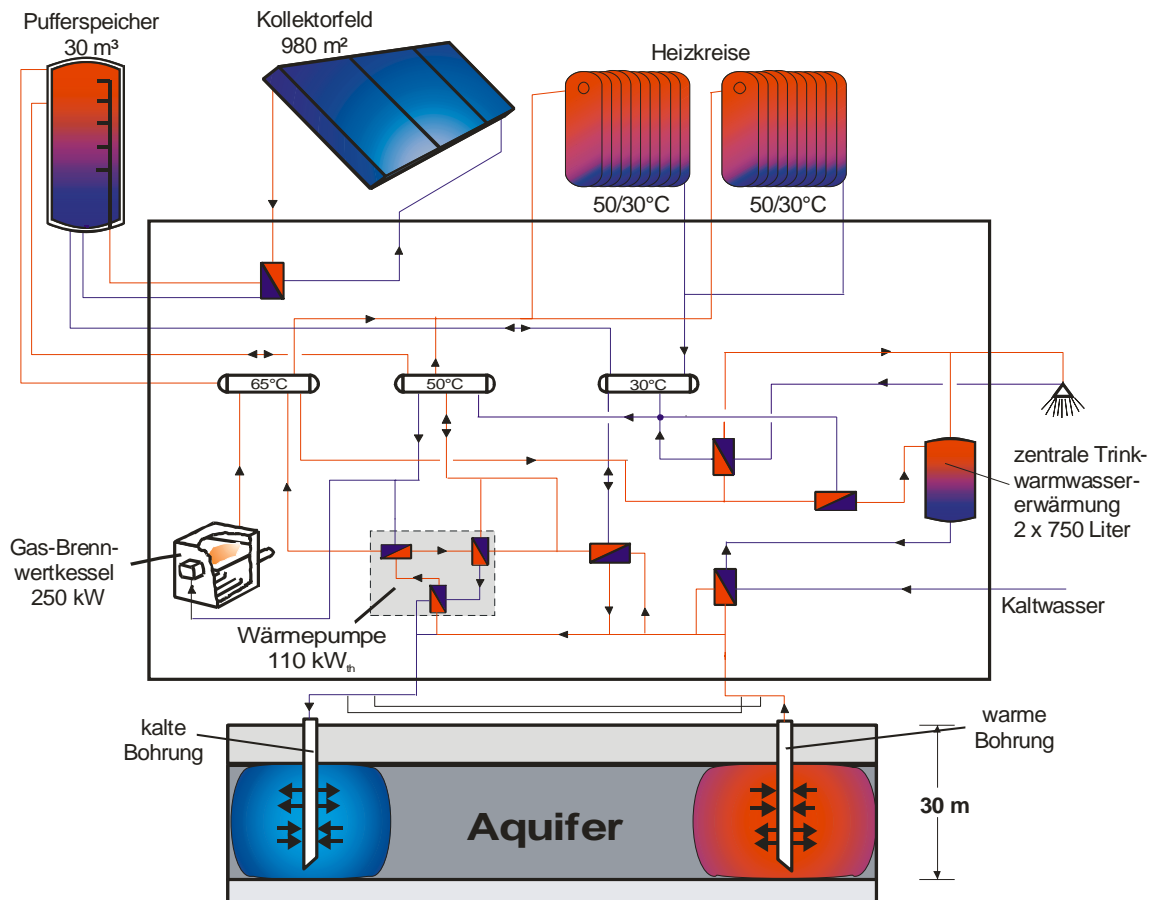


Bild 3: Hydraulikschema der Wärmeversorgung

Der Langzeit-Wärmespeicher

Zur saisonalen Wärmespeicherung wurde ein im Untergrund vorhandener Aquifer über zwei Brunnenbohrungen erschlossen. Im Sommer wird dem kalten Brunnen Grundwasser entnommen, dieses über die Solaranlage erwärmt und anschließend in den warmen Brunnen eingeleitet (Beladung). Bei Entladung wird die Strömungsrichtung umgekehrt und die eingespeicherte Wärme wird dem Speicher über Wärmeübertrager oder eine Wärmepumpe entnommen. Der für den Langzeitbetrieb vorausberechnete Speichernutzungsgrad des Aquifer-Wärmespeichers beträgt 63 %. Die maximale Temperatur des Speichers ist auf 50 °C begrenzt, um die Wärmeverluste an das umgebende Erdreich zu reduzieren und um Ausfällungen aus dem Grundwasser zu verhindern. Diese könnten bei der Erwärmung des Grundwassers auf höhere Temperaturen auftreten und würden eine aufwändige Wasserbehandlung zur Vermeidung von Ablagerungen an Wärmeübertragern und Brunnenfiltern notwendig machen.

Die Eignung des Untergrunds für einen Speicher dieses Typs wurde durch eine hydrogeologische Voruntersuchung bestätigt [Kabus, 2000]. Hierbei wurde in geringer Tiefe (15-30 m) eine geeignete Schicht mit geringer natürlicher Grundwasserströmung gefunden, die nach oben und nach unten durch hydraulisch dichte Schichten abgegrenzt ist. Die Grundwasser-Fließrichtung verläuft nach WNW mit einem Gradienten von 0,25/100 m. Die hydraulische Durchlässigkeit k_F wurde zu $1 \cdot 10^{-4}$ m/s bestimmt, die Darcy-Geschwindigkeit ergibt sich hieraus zu ca. 8 m/a. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wärme front liegt bei ca. 13 m/a. Ein Pumpversuch nach Fertigstellung der Brunnenbohrungen ergab eine Produktivität der kalten Bohrung von 2,9 m³/(h·m) und ein Injektivität der warmen Bohrung von 4,6 m³/(h·m).

Mit diesen Daten wurde ein detailliertes Simulationsmodell erstellt, mit dessen Hilfe anschließend verschiedene Untersuchungen zum Absenkverhalten des Grundwasserspiegels bei verschiedenen Betriebsweisen sowie zur Entwicklung der Rückfördertemperaturen durchgeführt werden konnten. Auch die Ausbreitung der Wärmeblase um die warme Bohrung herum konnte damit berechnet werden. Die Ergebnisse hierzu sind in [Kabus, 2000] dargestellt. Die Simulationsrechnungen führten zu einem optimalen Abstand der beiden Brunnenbohrungen von 50 m, bei dem einerseits kein thermischer Durchbruch während des Betriebs zu erwarten ist und andererseits ein Driften der Wärmeblase mit der Grundwasserströmung verhindert wird.

Um eine Strömungsumkehr im Speicherkreislauf zu ermöglichen, wurden beide Brunnenbohrungen mit Pumpen, Förder- und Injektionssträngen ausgerüstet. Um einen Sauerstoffeintrag in den Kreislauf zu verhindern wurde eine Stickstoffanlage installiert, die mit geringem Überdruck den Raum zwischen Grundwasserspiegel und Brunnenkopf füllt.

Betriebserfahrungen

Die Solaranlage ging im April 2000 in Betrieb. Tabelle 1 zeigt die gemessenen Wärmebilanzen der vollständigen Betriebsjahre 2001 bis 2003.

Tabelle 1: Wärmebilanz der Jahre 2001 bis 2003

Jahr		2001	2002	2003 ¹⁾
Einstrahlung in Kollektorebene	[kWh/m ²]	1158	1194	1387
Mittlere Umgebungstemperatur	[°C]	9,1	9,7	9,3
Wärmelieferung der Kollektoren	[MWh]	348	364	456
pro m ² Absorberfläche	[kWh/m ²]	355	371	465
Wärmeinspeicherung in den Aquifer	[MWh]	214	245	295
Wärmeauspeicherung aus dem Aquifer	[MWh]	78	158	143
Solare Nutzwärme ²⁾	[MWh]	211	278	304
pro m ² Absorberfläche	[kWh/m ²]	216	283	310
Gesamtwärmebedarf	[MWh]	624	597	594
Verteilverluste	[MWh]	32	47	29
Wärmelieferung Gas-Brennwertkessel	[MWh]	420	322	279
Strombedarf der Wärmepumpe	[MWh _{el}]	24	44	40
Arbeitszahl der Wärmepumpe	[-]	4,1	4,3	4,5
solarer Deckungsanteil ³⁾	[%]	32	43	49

¹⁾: Zeitweise Messdatenausfälle von Durchflussmessern im Jahr 2003 wurden durch Daten aus der DDC-Regelung oder durch interne Wärmebilanzrechnungen ergänzt.

²⁾: solare Wärmelieferung an das Gebäude: Summe aus direkt genutzter Solarwärme plus Wärmeauspeicherung aus dem Aquifer

³⁾: bezogen auf Endenergie

Im ersten Winter (2000/2001) gab es einige Anfangsprobleme mit der Wärmepumpe. Aus diesem Grund war es kaum möglich, Wärme aus dem Aquifer-Wärmespeicher zu entladen. Dies führte zu einem höheren Beitrag des Gas-Brennwertkessels zur Wärmeversorgung. Trotzdem konnte im Jahr 2001 aufgrund des direkt nutzbaren Solarertrages und der zweiten Jahreshälfte, in der die Wärmepumpe zuverlässiger arbeitete, ein solarer Deckungsanteil von 32 % erreicht werden.

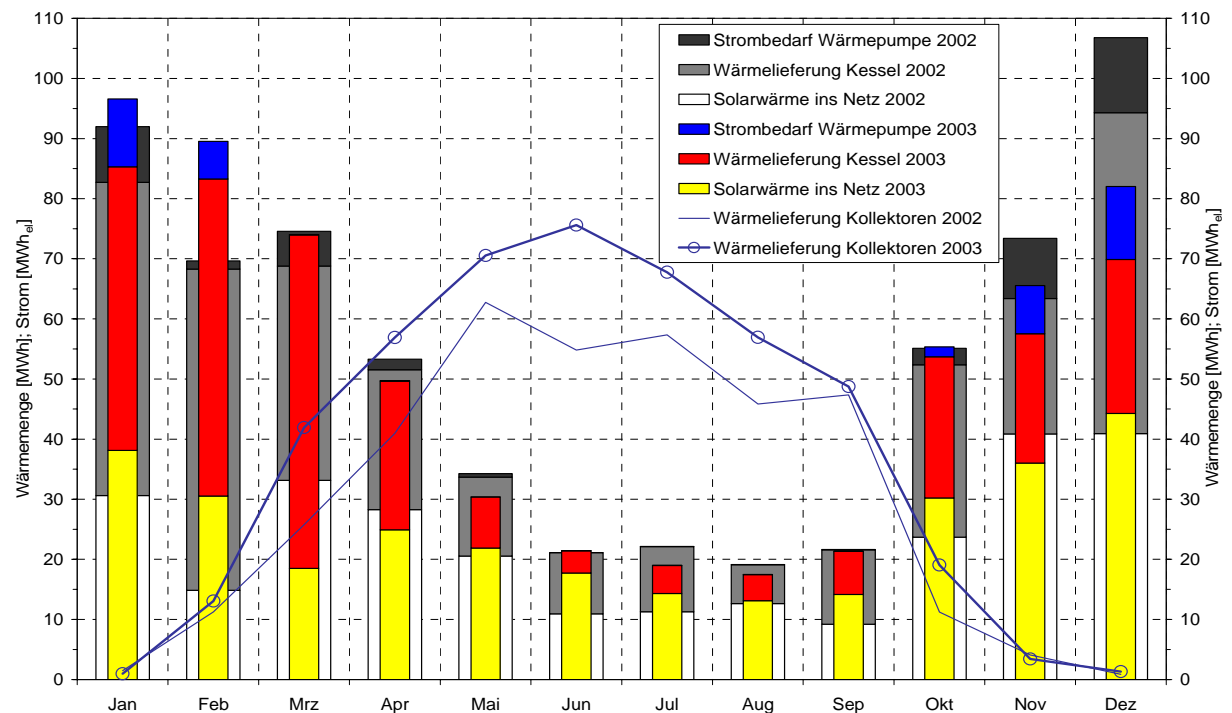


Bild 4: Monatliche Wärmebilanzen der Jahre 2002 (hinten) und 2003 (vorn)

Der Gesamtwärmebedarf im ersten regulären Betriebsjahr 2002 betrug 597 MWh/a. Dieser Wert liegt rund 20 % über dem der Planung

zugrunde liegenden Wärmebedarf. Die Solarkollektoren lieferten einen solaren Nutzwärmeertrag von 278 MWh/a; davon wurden 119 MWh/a direkt genutzt, 158 MWh/a wurden über den Aquifer-Wärmespeicher bereitgestellt, der in diesem Jahr einen Speichernutzungsgrad (Verhältnis von entnommener zu eingespeicherter Wärme im Betrachtungszeitraum) von 64 % erreicht hat. Der Strombedarf der Wärmepumpe betrug 44 MWh/a, der Gas-Brennwertkessel lieferte eine Wärmemenge von 322 MWh/a. Bezogen auf Endenergie errechnet sich hieraus ein solarer Deckungsanteil von 43 %.

Bild 4 zeigt die monatlichen Wärmebilanzen für die Jahre 2002 und 2003. Es fällt ein deutlich gleichmäßigerer Anteil der Solaranlage an der Wärmeversorgung im Vergleich zu anderen Demonstrationsanlagen zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung auf (vergleiche z. B. [Benner et. al., 1999; Mangold et. al., 2003]). Ursache hierfür ist die ins System eingebundene Wärmepumpe, die eine Entladung des Aquifer-Wärmespeichers bis auf Temperaturen unterhalb der natürlichen Grundwassertemperatur ermöglicht. Dies sichert zu einen eine große nutzbare Temperaturdifferenz beim Betrieb des Speichers, zum anderen wird der Betrieb unabhängig von den Rücklauftemperaturen aus der Wärmeversorgung, auch wenn diese im Projekt Rostock sehr niedrig sind (volumenstromgewichtete Jahresmitteltemperatur 2002: 35,7 °C; 2003: 34,6 °C). Der zusätzliche Aufwand für diese erweiterte Nutzbarkeit ist der zum Antrieb der Wärmepumpe benötigte Strom-einsatz (siehe Bild 4).

Aufgrund von hydraulischen Einregulierungen und einigen Optimierungen in der Regelung der Anlage war es möglich, den solaren Deckungsanteil im Jahr 2003 auf 49 % zu erhöhen (Tabelle 1). Speziell in den Sommermonaten konnte der direkt nutzbare Anteil der solaren Wärme erhöht werden. Der Wärmebedarf im Sommer wird immer noch nicht vollständig solar gedeckt. Dies ist vorwiegend auf die strikt saisonale Betriebsweise des Aquifer-Wärmespeichers zurückzuführen (siehe dazu auch Bild 6). Während des Sommers befindet sich der Aquifer-Wärmespeicher im Beladebetrieb. Um Verstopfungen der Brunnenfilter zu vermeiden, wird keine kurzzeitige Umkehr der Strömungsrichtung (Wechsel zur Betriebsweise Entladung) vorgenommen. Deswegen steht im Sommer nur das Speichervolumen des Pufferspeichers für eine solare Wärmeversorgung während der Nacht oder in Schlechtwetterperioden zur Verfügung.

Zur Verdeutlichung der einzelnen Wärmeströme ist in Bild 5 ein Energieflussdiagramm (Sankey-Diagramm), basierend auf den Bilanzdaten des Jahres 2003, dargestellt.

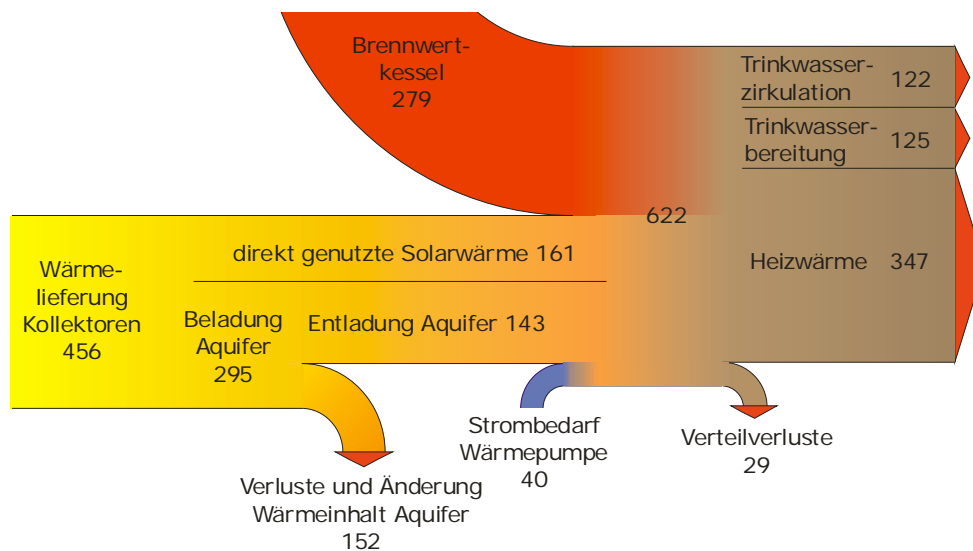


Bild 5: Energieflussdiagramm für das Jahr 2003, Zahlenwerte in MWh/a

Bild 6 zeigt die monatlichen Wärmemengen, die in den Aquifer-Wärmespeicher ein- oder ausgespeichert wurden. Die bereits erwähnte saisonale Betriebsweise mit einem Sommer- (Belade-) und einem Winter- (Entlade-) Betrieb ist deutlich zu erkennen. An den Temperaturverläufen an den Brunnenköpfen kann weiterhin ein für Aquifer-Wärmespeicher typischer Temperaturabfall während des Entladebetriebs beobachtet werden. Aufgrund der Temperaturverhältnisse ist nur zu Beginn des Entladebetriebs eine direkte Nutzung der entnommenen Wärme möglich. Der größte Teil der Wärme wird mit Hilfe der Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau angehoben. Die Wärmepumpe hat zu Beginn der Entladung sehr gute Betriebsbedingungen, die zu Leistungszahlen zwischen 6 und 7 führen, während des weiteren Entladebetriebs fallen die Leistungszahlen bis auf ca. 3,5 ab. Die jährlichen Mittelwerte der Arbeitszahlen können Tabelle 1 entnommen werden.

Zur messtechnischen Überwachung wurden insgesamt sieben zusätzliche Bohrungen im Bereich der warmen und der kalten Bohrung niedergebracht, die mit über 50 Temperatursensoren in verschiedenen Tiefen ausgestattet und anschließend wieder verfüllt wurden. Bild 7 zeigt die Entwicklung der Erdreichtemperaturen für einen vollständigen Speicherzyklus beginnend mit dem Ende des Entladebetriebs im Frühjahr 2003 (01.03.2003) bis zum Ende der Beladephase (01.10.2003) und die anschließende Entladephase bis Ende 2003. Die dargestellten Messpunkte befinden sich 5 m in Grundwasser-Fließrichtung von der warmen Bohrung entfernt in verschiedenen Tiefen unter der Gelände-Oberkante (GOK). Der Rahmen stellt den Bereich der Aquiferschicht dar.

Es fällt ein Teilbereich in der oberen Hälfte des Aquifers auf, in dem Temperaturänderungen sehr viel schneller stattfinden als in den unteren Bereichen. In dieser Schicht liegt eine etwas höhere hydraulische Durchlässigkeit vor, sodass der Austausch von Grundwasser und damit auch von Wärme vorzugsweise dort stattfindet. Die Ausbreitung der Wärmeblase findet zudem nicht gleichmäßig in alle Richtungen statt, wie ein Vergleich der Temperaturen im Erdreich in verschiedenen Orientierungen um die warme Brunnenbohrung herum zeigt (hier nicht dargestellt), sondern verstärkt in die in Bild 7 dargestellte Richtung. Gründe hierfür sind einerseits der geringe natürliche Grundwasserstrom, andererseits lassen schnelle Temperaturanstiege innerhalb weniger Minuten an den oberen Messstellen in der Aquiferschicht stark poröse Bereiche oder Klüfte in diesem Bereich vermuten. Die Folge dieser Inhomogenität ist eine ungleichmäßige Ausbreitung des Temperaturfeldes, eine größere Oberfläche des Speichervolumens und damit eine etwas geringere Speichereffizienz durch höhere Wärmeverluste. Dies wurde von GTN mit Hilfe eines dreidimensionalen Finite-Elemente-Modells für gekoppelten Wärme- und Stofftransport, das mit den vorliegenden Messdaten kalibriert wurde, detailliert untersucht [Kabus, 2003; Bartels et. al, 2003].

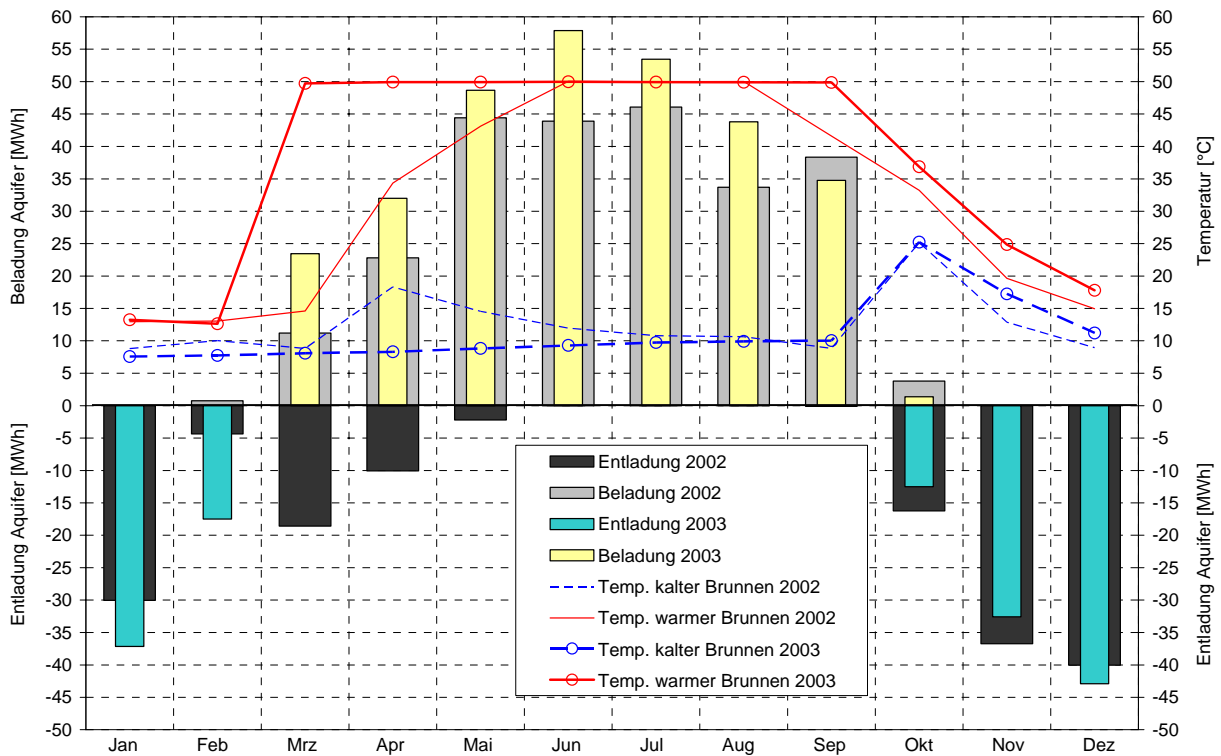


Bild 6: Monatliche Wärmebilanz des Aquifer-Wärmespeichers für die Jahre 2002 (hinten) und 2003 (vorn) und Mitteltemperaturen an den Brunnenköpfen

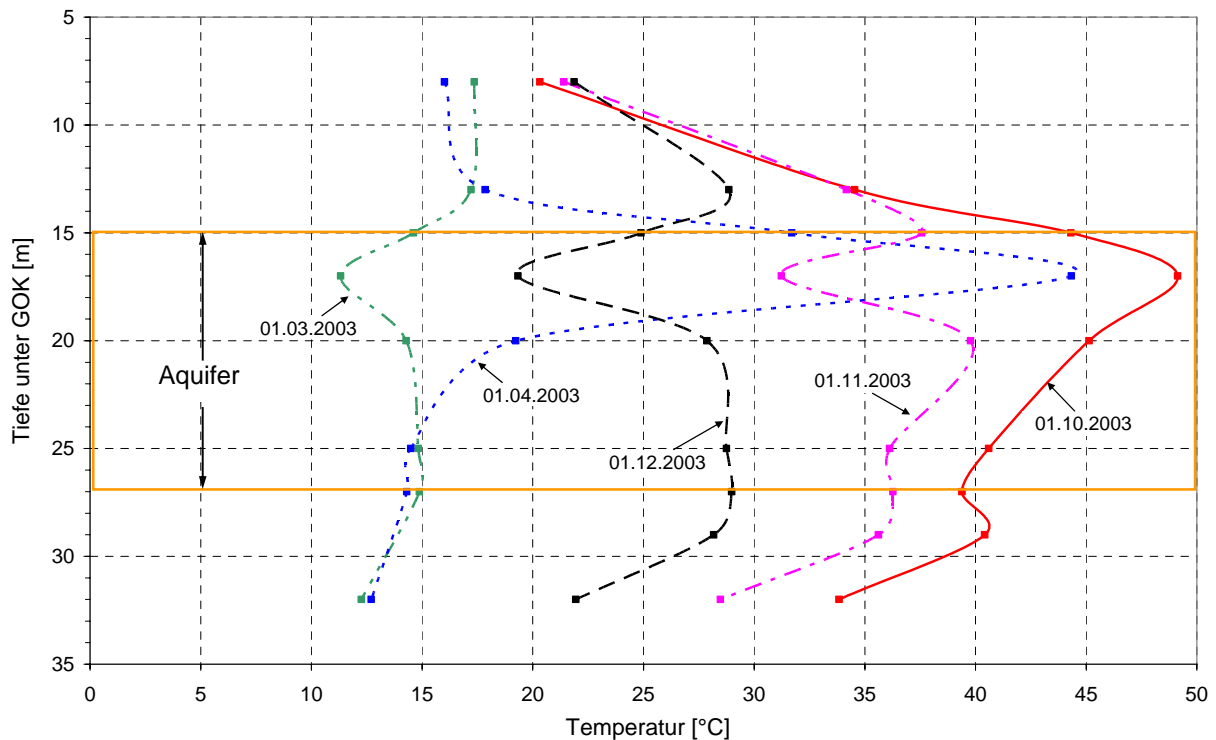


Bild 7: Erdreich-Temperaturen in einer Entfernung von 5 m von der warmen Bohrung in Grundwasser-Fließrichtung zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahr 2003 (GOK: Gelände-Oberkante)

In der kalten Brunnenbohrung trat im Jahr 2000 eine Verschlechterung der Druckverhältnisse beim Entladen des Speichers (Injektion von Grundwasser in die kalte Bohrung) auf, die im Februar 2001 einmalig zum Austritt von Grundwasser an der Oberfläche führte. Eine Untersuchung der Bohrung mittels Kamerabefahrung zeigte große zugesetzte Bereiche im Brunnenfilter, die zu einem Druckanstieg in der Bohrung führten. Durch undichte Stellen an den Verbindungen der Standverrohrung kam es schließlich bis zum Wasseraustritt an der Oberfläche. Ein Betrieb des Brunnens mit einem um 20 % reduzierten Volumenstrom war trotzdem möglich. Im August 2002 wurde der Brunnen durch Reinigen des Filters und Einbau eines zusätzlichen inneren Standrohres instand gesetzt.

Die Ergebnisse der in regelmäßigen Abständen durchgeführten chemischen Analysen des Grundwassers ergaben bisher kaum Veränderungen

des Wasserchemismus. Bei den Keimgehalten ist ein (bislang unbedeutender) Trend zur Zunahme zu verzeichnen, der weiterhin beobachtet wird. Die detaillierten Ergebnisse der geochemischen Begleitung sind ebenfalls in [Kabus, 2003] dargestellt.

Kosten

Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung der Investitionskosten für die Wärmeversorgung. Für den Aquifer-Wärmespeicher errechnen sich spezifische Kosten von 39 Euro/m³Wasseräquivalent (ohne MwSt., einschließlich Planung). Dies ist kostengünstig im Vergleich zu anderen in Deutschland realisierten Langzeit-Wärmespeicherbauarten [Schmidt et. al., 2003].

Tabelle 2: Investitionskosten in Tausend Euro (ohne MwSt.)

Solardach:		378,6 TEuro
	Anteil Solarkollektoren	211,6 TEuro
	Dachkonstruktion	167,0 TEuro
Aquifer-Wärmespeicher:		152,9 TEuro
Pufferspeicher mit Schichtbeladeeinrichtung:		31,8 TEuro
Wärmepumpe:		16,8 TEuro
Gas-Brennwertkessel:		40,0 TEuro
Trinkwarmwasserbereitung:		14,2 TEuro
Verrohrung (inkl. Pumpen, Armaturen...):		178,3 TEuro
Regelung:		72,7 TEuro
Planung:		119,9 TEuro
Sonstiges:		13,0 TEuro
Gesamtkosten:		1 018,2 TEuro
Gesamtkosten Solaranlage mit Aquifer-Wärmespeicher :		685,7 TEuro

Basierend auf den in Tabelle 2 genannten Kosten und unter Berücksichtigung der solaren Erträge des Jahres 2003 ergeben sich die solaren Wärmekosten zu 26 Ct./kWh (berechnet nach VDI-Richtlinie 2067, Zinssatz 6 %, Lebensdauer der Kollektoren 20 Jahre, Lebensdauer des Aquifer-Wärmespeichers 40 Jahre).

Zusammenfassung

Die Demonstrationsanlage in Rostock ist durch eine Kombination von baulichem Wärmeschutz, Niedertemperaturwärmeversorgung, großer Solaranlage und kostengünstigem Aquifer-Wärmespeicher eine der modernsten Wärmeversorgungen Deutschlands. Die Messergebnisse der ersten vier Betriebsjahre bestätigen die Funktion und die Zuverlässigkeit des Systems. Niedrige Rücklaufemperaturen aus der Wärmeverteilung sowie aus dem kalten Aquiferbrunnen erlauben optimale Betriebsbedingungen für die Solaranlage. Die Anfangsprobleme im Anlagenbetrieb konnten behoben und die Leistungsfähigkeit der einzelnen Komponenten nachgewiesen werden. Mit einem solaren Deckungsanteil von 49 % am Gesamtwärmebedarf konnte nach einigen Optimierungen in der hydraulischen Einregulierung und in der Regelung der Anlage im Jahr 2003 das Planungsziel erreicht werden.

Literatur

- [Bartels et. al., 2003] J. Bartels, F. Kabus, T. Schmidt: Seasonal Aquifer Solar Heat Storage at Rostock-Brinckmanshöhe – First Operational Experience and Aquifer Simulation, Futurestock 2003 - 9th International Conference on Thermal Energy Storage, Warsaw, Poland, 2003
- [Benner et. al., 1999] M. Benner, B. Mahler, D. Mangold, T. Schmidt, M. Schulz, H. Seiwald, E. Hahne: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeitwärmespeicher, Forschungsbericht zum BMFT-Vorhaben 0329606C, ITW, Universität Stuttgart, 1999
- [Kabus, 2000] F. Kabus, J. Poppei, G. Lenz, F. Hoffmann, C. von Lüthmann, T. Kellner: Solare Nahwärme – Projekt Rostock-Brinckmanshöhe; Schlussbericht zum Forschungsvorhaben 0329606T/2, 2000
- [Kabus, 2003] F. Kabus, T. Kellner, J. Bartels, G. Lenz, F. Hoffmann: Überwachung des Wärmespeichers in Rostock – Abschlussbericht; Geothermie Neubrandenburg GmbH, Neubrandenburg, 2003
- [Mangold et. al., 2003] D. Mangold, J. Nußbicker, S. Raab, T. Schmidt, H. Müller-Steinhagen: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeitwärmespeicher, Forschungsbericht zum BMWi-Vorhaben 0329606S, ITW, Universität Stuttgart, 2003
- [Schmidt et. al., 2003] T. Schmidt, D. Mangold, H. Müller-Steinhagen: Seasonal Thermal Energy Storage in Germany, ISES Solar World Congress 2003, 14.-19.06.2003, Göteborg, Schweden

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unter den Förderkennzeichen 0329606S, 0329606T und 0329607F gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.