

INTEGRATION VON WÄRMEPUMPEN IN SOLAR UNTERSTÜTZTE NAHWÄRMESYSTEME MIT SAISONALER WÄRMESPEICHERUNG

R. Marx, J. Nußbicker-Lux, D. Bauer, W. Heidemann
Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Tel.: 0049-(0)711-685-63229, Fax: 0049-(0)711-685-63503
E-mail: marx@itw.uni-stuttgart.de, nussbicker@itw.uni-stuttgart.de
Internet: www.itw.uni-stuttgart.de

Einleitung

Durch die Integration einer Wärmepumpe (WP) in ein solar unterstütztes Nahwärmesystem (SUN) mit saisonaler Wärmespeicherung kann die energetische Effizienz der Gesamtanlage gesteigert werden. Es ergeben sich mehrere synergetische Effekte: Im Vergleich zu herkömmlichen erdgekoppelten Wärmepumpen steht der WP in einem solar unterstützten Nahwärmesystem ein höheres Temperaturniveau als Wärmequelle zur Verfügung. Sie erreicht dadurch hohe Jahresarbeitszahlen zwischen 4 und 5. Gleichzeitig kann der Langzeit-Wärmespeicher (LZWSP) durch den Betrieb mit WP auf ein niedrigeres Temperaturniveau abgekühlt werden. Dadurch wird die Speicherkapazität des LZWSP erhöht und der Wärmespeicher kann kleiner und kostengünstiger gebaut werden. Durch die Integration einer WP wird das mittlere Temperaturniveau des LZWSP verringert. Damit verringern sich die Wärmeverluste und durch die niedrigeren Systemtemperaturen steigt der Wirkungsgrad der Kollektoren. In diesem Beitrag werden vier Integrationsmöglichkeiten von WP in das Gesamtsystem und Messdaten der Anlagen in Neckarsulm und Rostock vorgestellt.

Anlagenbeschreibung

In **Rostock-Brinckmanshöhe** wurde im Jahr 2000 ein SUN mit einem 20000 m³ Aquifer-Wärmespeicher (ATES) in Betrieb genommen, dessen jährlicher Wärmebedarf zu 62% solar gedeckt werden soll. Die Wärmeversorgung erfolgt mit Solarwärme (980 m² Kollektoren), durch einen Gaskessel und mit einer Wärmepumpe, die als Wärmequelle den ATES nutzt. Die Solarwärme kann entweder direkt ins Wärmeverteilnetz eingespeist werden (Sommer) oder aus dem ATES ausgespeichert werden (Winter). Im Sommer überschüssige Solarwärme wird im ATES saisonal gespeichert. Die elektrisch betriebene Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 110 kW kann Nutzwärme auf zwei Temperaturniveaus bereitstellen. Vor der Wärmeentnahme bei der Kondensation (bei ca. 50°C) erfolgt eine Auskopplung von Wärme

im überhitzten Bereich des Kältemittels bei ca. 65°C (Heißgasauskopplung), siehe Abb. 1. Eine detaillierte Beschreibung ist in [1] gegeben.

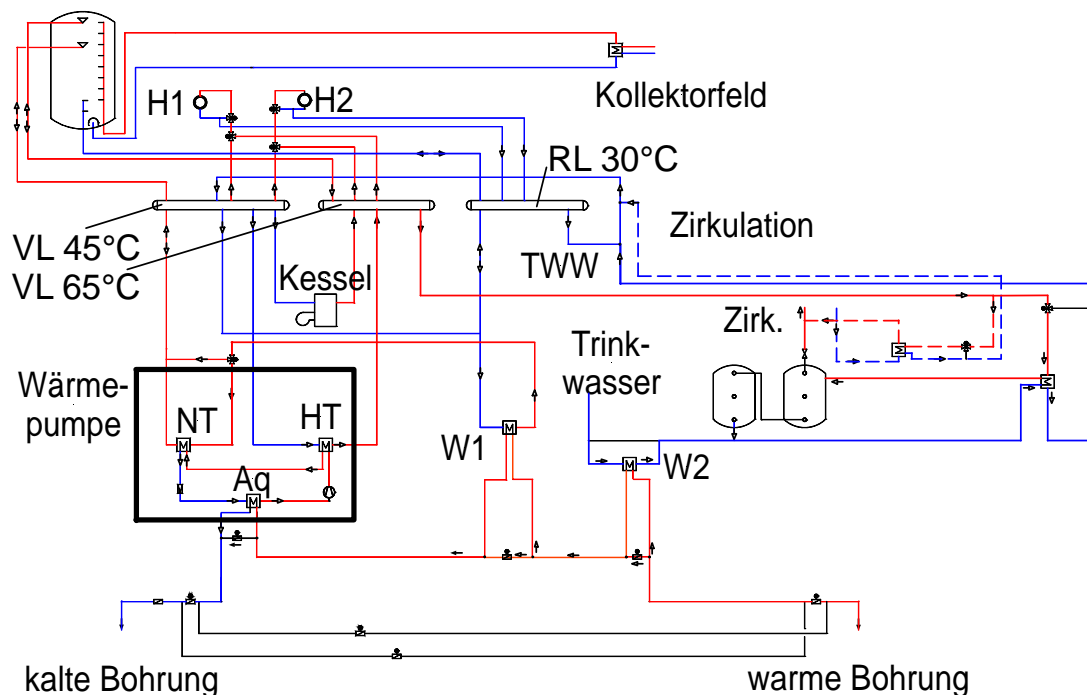


Abb. 1: Anlagenschema des solar unterstützten Nahwärmesystems in Rostock

In **Neckarsulm-Amorbach** entsteht seit 1996 ein Nahwärmegebiet, dessen Gesamtwärmebedarf (Trinkwarmwasser und Raumheizung) zu 50% solar gedeckt werden soll. Die Wärmeversorgung der Gebäude erfolgt mit Solarwärme, durch einen Gaskessel und mit einer Wärmepumpe, siehe Abb. 2. Die Solarwärme (5670 m² Kollektorfläche) kann entweder direkt ins Nahwärmenetz eingespeist werden (Sommer) oder aus dem Erdsonden-Wärmespeicher (Winter, ESWSP 63360 m³) ausgespeichert werden. Im Sommer überschüssige Solarwärme wird im ESWSP saisonal gespeichert. Im Jahr 2008 wurde eine Kompressions-Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 512 kW installiert, um den ESWSP auf tiefere Temperaturen entladen zu können. Ohne Wärmepumpe ist eine Entladung nur bis zur Netzzrücklauf-temperatur (~45°C) möglich. Die WP ist zwischen zwei Pufferspeichern (PS1 & PS2), dem ESWSP und dem Nahwärmenetz (Netzvorlauf: WVL, Netzzrücklauf: WRL), das als 3-Leiter-Netz ausgeführt ist, in das System integriert. Bei den Umbaumaßnahmen wurden der Solarvorlauf (SVL) und der WRL zu einer Leitung zusammengefasst, statt wie bis dahin Solarrücklauf (SRL) und WRL. Die Wärmepumpe kann die vom Kondensator (K) gelieferte Wärme entweder ins Netz und in den Pufferspeicher PS1 oben bzw. unten einspeisen. Die Regelung der Wärmepumpe erfolgt in Abhängigkeit von der Außentemperatur ϑ_{amb} : Bei $\vartheta_{amb} < 10^\circ\text{C}$ bzw. $> 10^\circ\text{C}$ beträgt die Kondensator-Vorlauf-temperatur 58°C bzw. 68°C. Siehe [1] für eine detaillierte Beschreibung.

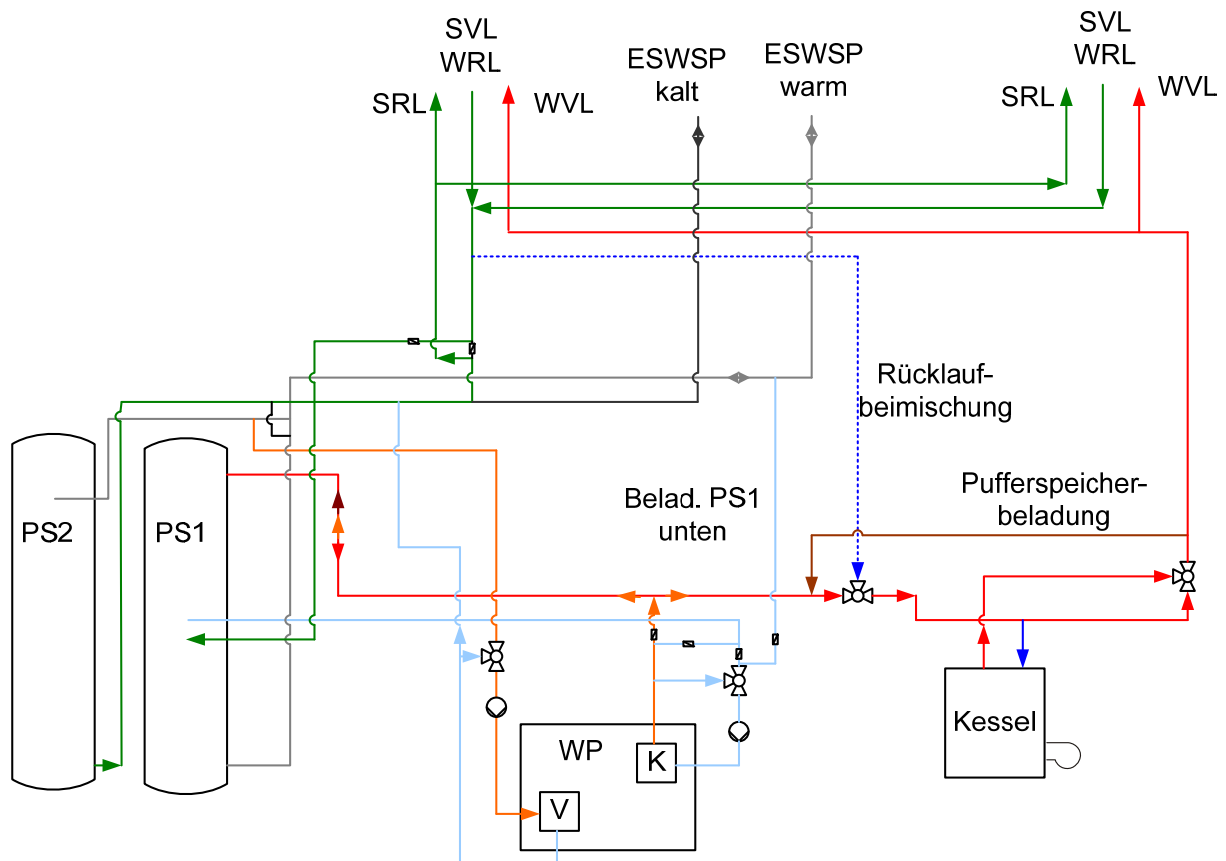


Abb. 2: Anlagenschema des solar unterstützten Nahwärmesystems in Neckarsulm

In **Crailsheim** entsteht seit 2002 auf einem ehemaligen Kasernengelände das Neubaugebiet Hirtenwiesen II als solar unterstütztes Nahwärmesystem mit Erdsonden-Wärmespeicher. Der geplante solare Deckungsanteil beträgt 50%. Das System ist als zweigeteilte Anlage errichtet (Abb. 3): An den ersten Anlagenteil sind das Nahwärmenetz, die Fernwärme (als Nachheizung), Kollektoren (2492 m²) und ein 100 m³ Pufferspeicher angeschlossen. Der zweite, überwiegend saisonal betriebene Anlagenteil besteht aus Kollektoren (3221 m², Ende 2010), einem zweiten Pufferspeicher (480 m³) und einem Erdsonden-Wärmespeicher (39000 m³). In den zweiten Anlagenteil soll im Jahr 2011 eine Wärmepumpe integriert werden. Die Installation einer weiteren WP ist ebenso geplant wie eine Erweiterung des ESWSP und der bestehenden Kollektorflächen. Die beiden Anlagenteile sind durch eine 300 m lange Leitung verbunden. Die Wärmepumpe soll elektrisch angetrieben werden und zwischen den beiden Pufferspeichern eingebunden werden. Damit kann die Wärmepumpe sowohl verdampfer- als auch kondensatorseitig auf große hydraulische Volumina arbeiten, wodurch lange Laufzeiten in effizienten Betriebspunkten ermöglicht werden. Eine detaillierte Beschreibung ist in [2] gegeben.

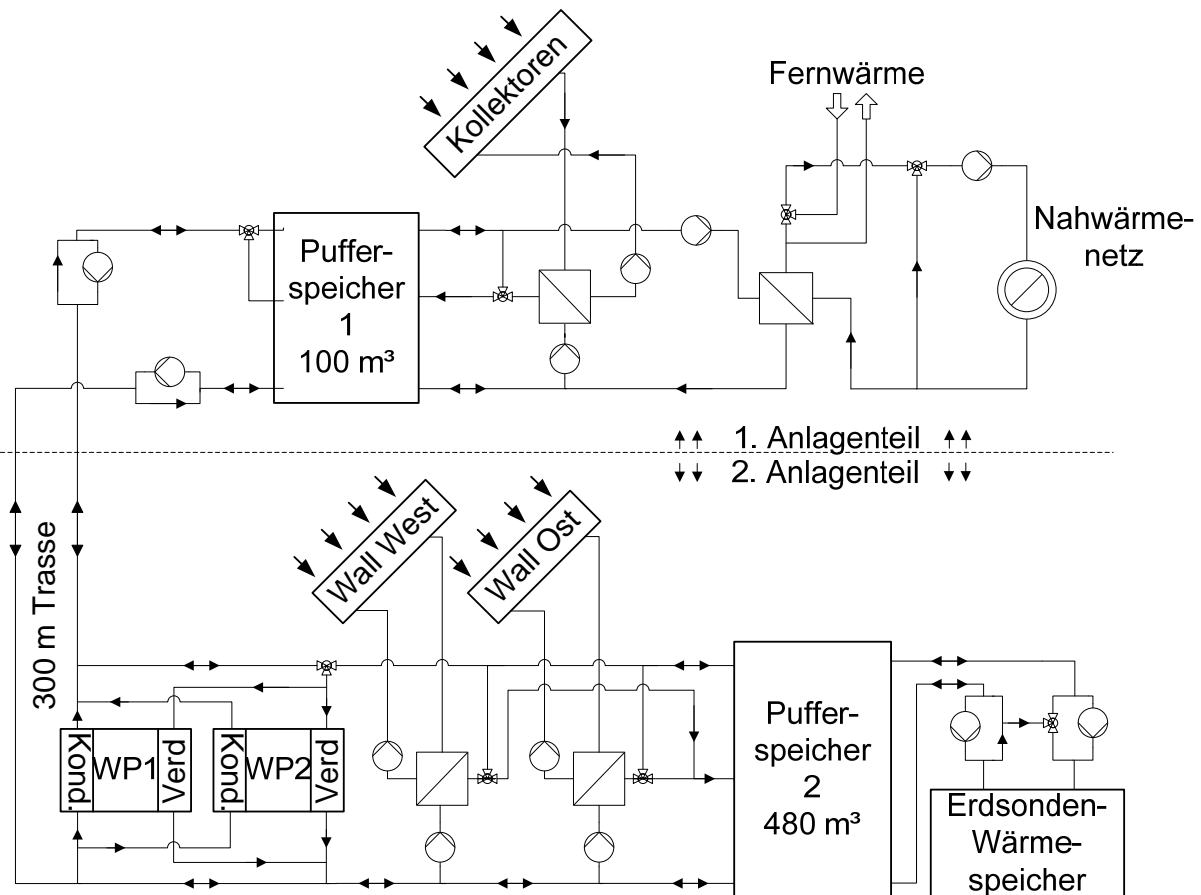


Abb. 3: Anlagenschema des solar unterstützten Nahwärmesystems in Crailsheim

In **Eggenstein-Leopoldshafen** wurde erstmalig in Deutschland ein solar unterstütztes Nahwärmesystem mit saisonaler Wärmespeicherung in ein bestehendes Nahwärmenetz integriert. Das Nahwärmenetz versorgt eine Schule, zwei Sporthallen, ein Schwimmbad und ein Feuerwehrgebäude und soll einen solaren Deckungsanteil von 35-40% erreichen. Die Sanierungsmaßnahmen begannen im Jahr 2002. Es sind insgesamt 1600 m² Kollektorfläche in das System integriert (Abb. 4). Zur saisonalen Wärmespeicherung dient ein 4500 m³ großer Kies/Wasser-Wärmespeicher (KWWS), der zwischen 10°C und 80°C betrieben wird. Die Inbetriebnahmephase der Anlage mit saisonalem Wärmespeicher begann im Jahr 2009. Der KWWS kann bei hohen Speichertemperaturen direkt entladen werden und wird bei niedrigen Speichertemperaturen über eine elektrisch betriebene Wärmepumpe (60 kW_{th}) entladen. Es wurde eine Wärmepumpe mit einer verhältnismäßig geringen Leistung gewählt, damit diese den KWWS mit langen Laufzeiten (ohne zu Takten) entladen kann. Die Wärme soll möglichst kontinuierlich in den Pufferspeicher (30 m³) eingespeist werden. Die Wärmepumpe inkl. ihrer Regelung soll im Jahr 2011 in Betrieb genommen werden. Zur Wärmebereitstellung der restlichen Wärme sind zwei Gaskessel in das System integriert. Eine detaillierte Beschreibung ist in [2] gegeben.

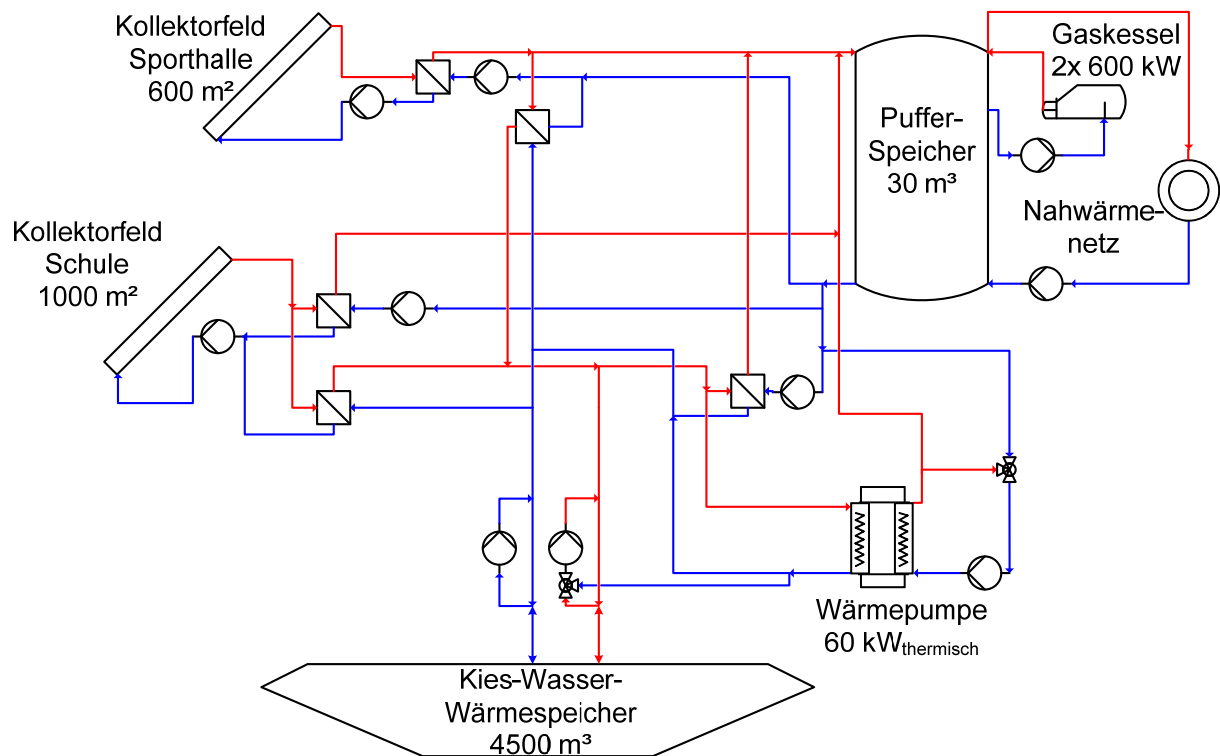


Abb. 4: Anlagenschema des solar unterstützten Nahwärmesystems in Eggenstein

Messergebnisse

Die wesentlichen Kenndaten des SUN in **Rostock** sind in Tabelle 1 angegeben. Die Wärmelieferung der Kollektoren war aufgrund niedrigerer solarer Einstrahlung und einer ca. 1 K höheren Netzurücklauftemperatur im Jahr 2010 geringer als in den Vorjahren. Die solare Nutzwärme ist trotz der geringeren solarer Wärmelieferung im Jahr 2010 höher als in den Vorjahren, da die Entladewärmemenge und damit der Speichernutzungsgrad des Aquifer-Wärmespeichers sehr hoch waren. Durch einen Defekt an der Wärmepumpe konnte der ATES im Jahr 2009 nicht planmäßig entladen werden, sodass am Anfang des Jahres 2010 noch verhältnismäßig viel Wärme gespeichert war. Der Wärmebedarf ist aufgrund niedrigerer Außentemperaturen als in den Vorjahren im Jahr 2010 deutlich gestiegen. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe erreichte im Jahr 2010 mit einem Wert von 4,8 den bisher höchsten Stand. Da der ATES im Jahr 2009 nicht planmäßig entladen werden konnte, standen der Wärmepumpe auf der Wärmequellenseite Anfang 2010 höhere Temperaturen als in den Vorjahren zur Verfügung. Der solare Deckungsanteil betrug im Jahr 2010 49,6%. Aufgrund des deutlich höheren Wärmebedarfs (Planwert 538 MWh, Istwert 2010: 677 MWh) konnte der geplante solare Deckungsanteil von 62% nicht erreicht werden.

Tabelle 1: Kenndaten des solar unterstützten Nahwärmesystems in Rostock

Absolutwerte		2007	2008	2009	2010
Einstrahlung in Kollektorebene	kWh/m ²	1286	1229	1251	1179
Wärmelieferung der Kollektoren	MWh	368	358	372	334
je m ² Kollektorfläche	kWh/m ²	375	365	380	341
Regenerative Nutzwärme ¹	MWh	204	295	275	338
je m ² Kollektorfläche	kWh/m ²	208	301	280	345
Wärmelieferung durch Gaskessel	MWh	351	251	303	286
Elektrische Energie der WP	MWh	16	43	37	53
Gesamtwärmeverbrauch	MWh	571	590	615	677
Relativwerte					
Regenerative Nutzwärme ¹	-	36%	50%	45%	50%
Wärmelieferung durch Gaskessel	-	61%	43%	49%	42%
Elektrische Energie der WP	-	3%	7%	6%	8%
Angaben zur Effizienz					
Speichernutzungsgrad	-	24%	70%	58%	101%
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	-	4,1	4,5	4,4	4,8
Regenerativer Deckungsanteil ¹	-	36%	50%	45%	50%
Primärenergieeinsparung ²	-	31%	40%	37%	39%

¹ überwiegend solar, da Temperatur im ATES fast immer über der Umgebungstemperatur lag

² gegenüber vollständiger Wärmebereitstellung mit Gaskessel; Primärenergiefaktoren Gas: 1,1; Strom: 3,0 (2007) .. 2,7 (2008) .. 2,6 (2009 & 2010), nach EnEV 2007 [6], EnEV 2009 [7]

In Abb. 5 sind die Temperaturen und Durchflüsse an der Wärmepumpe in Rostock beispielhaft für den 13.02.2011 dargestellt. Der Aquifer-Wärmespeicher liefert eine Vorlauftemperatur von etwa 13°C, die der Wärmepumpe am Verdampfer als Wärmequelle dient. Die Wärmepumpe liefert auf der Hochtemperaturseite (Heißgasauskopplung) am Vorlauf zwischen 66°C und 68,5°C und am Kondensatorvorlauf 44°C.

In Abb. 6 und 7 sind die vertikalen Temperaturverteilungen 5 m nordwestlich bzw. 5 m südöstlich vom warmen Brunnen jeweils für den letzten Tag der Monate März und September für die Jahre 2007, 2009 und 2010 dargestellt. Die Temperaturen im März bzw. September repräsentieren die Minimal- bzw. Maximaltemperaturen im ATES. Auffällig ist in Abb. 6 und 7, dass im März 2007 hohe Speichertemperaturen gemessen wurden. Dies liegt daran, dass im Winter 2006/07 die Wärmepumpe aufgrund eines Defekts an einem Wärmeübertrager nicht in Betrieb war und der ATES nicht entladen wurde. Außerdem wurde in 2007 der ATES bereits im März wieder be-laden. Der Wärmeeintrag wird besonders in einer Tiefe von 17 m, siehe Abb. 6, deutlich. Die Messstelle befindet sich dort in einer Aquiferschicht mit einer hohen hydraulischen Durchlässigkeit, wodurch sich die Wärmeeinträge schnell ausbreiten. Die

Temperaturverläufe im März für die Jahre 2009 und 2010 sind sich sehr ähnlich. Die Höchstwerte wurden im September 2009 gemessen. Allerdings wurde im August und September 2010 durch die relativ geringe solare Strahlung wenig Wärme in den ATES eingebracht, sodass die Maximaltemperaturen relativ niedrig sind.

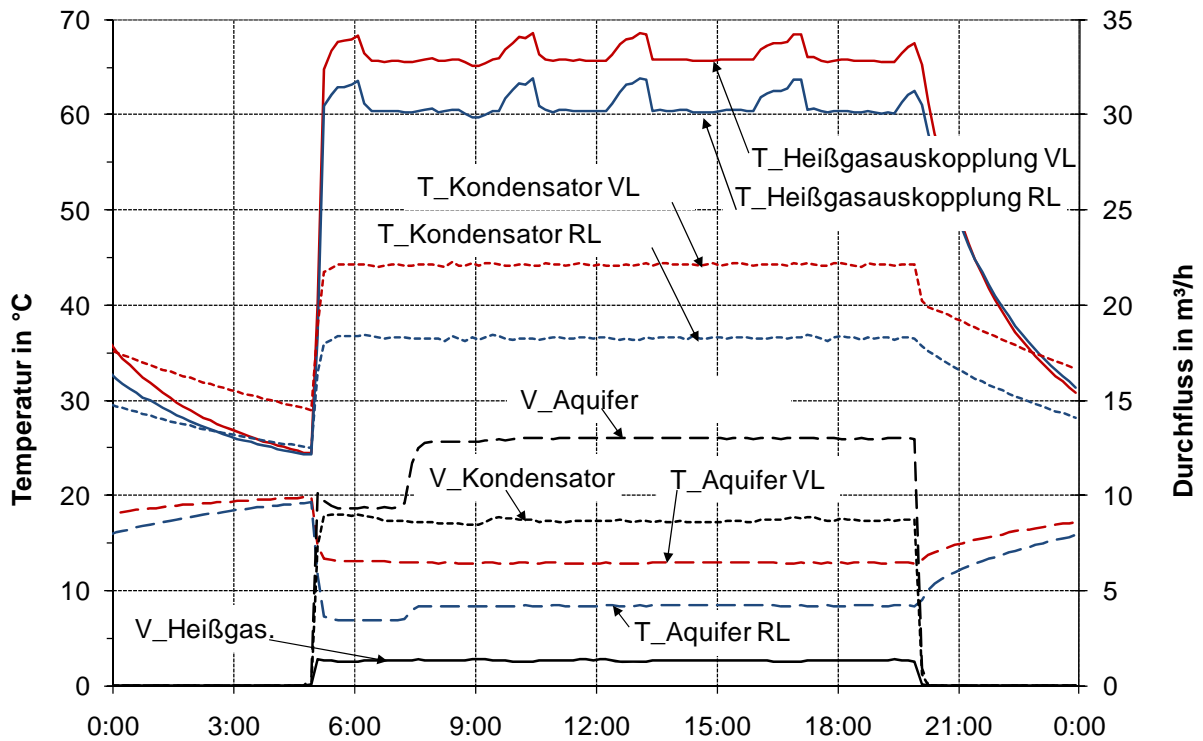


Abb. 5: Temperaturen und Durchflüsse an der Wärmepumpe in Rostock am 13.02.2011

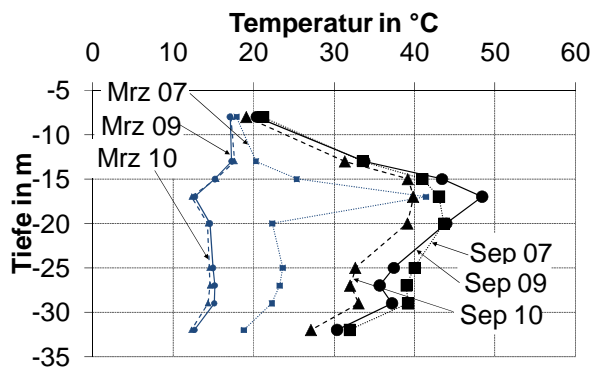


Abb. 6: Temperaturen an der Messlanze 5 m nordwestlich vom warmen Brunnen

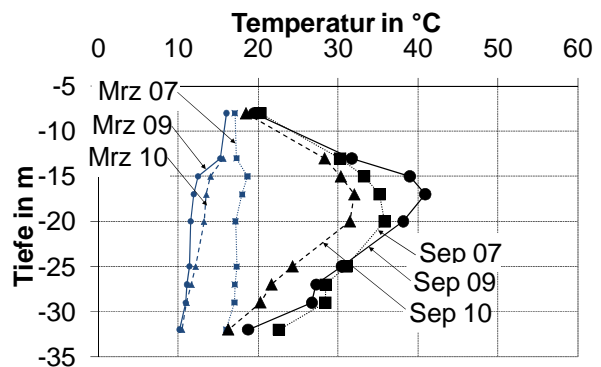


Abb. 7: Temperaturen an der Messlanze 5 m südöstlich vom warmen Brunnen

Die wesentlichen Kenndaten des SUN in **Neckarsulm** sind in Tabelle 2 angegeben. Die Wärmelieferung der Kollektoren war im Jahr 2010 mit 1977 kWh/m² deutlich höher als in den Vorjahren, obwohl die solare Einstrahlung geringer war. Die Wärmelieferung des Gaskessels war im Jahr 2010 mit 1163 MWh geringer als in den Vorjahren. Der vorhandene, defekte Gaskessel wurde durch einen neuen, leistungsgleichen 2 MW Gaskessel ersetzt. Während der Baumaßnahmen haben die Solarkollek-

toren und die Wärmepumpe über einen längeren Zeitraum allein die Wärme für das Netz geliefert. Anhand des Speichernutzungsgrades von 106% ist zu erkennen, dass im Jahr 2010 mehr Wärme aus dem ESWSP entladen, als eingespeichert wurde.

Tabelle 2: Kenndaten des solar unterstützten Nahwärmesystems in Neckarsulm

Absolutwerte		2007	2008	2009	2010
Einstrahlung in Kollektorebene	kWh/m ²	1254	1243	1277	1185
Kollektorfläche (31.12.)	m ²	5523	5670	5670	5670
Wärmelieferung der Kollektoren	MWh	1854	1689	1431	1977
je m ² Kollektorfläche	kWh/m ²	336	298	252	349
Regenerative Nutzwärme ²	MWh	1204	1330	1215	1833
je m ² Kollektorfläche	kWh/m ²	218	235	214	323
Wärmelieferung durch Gaskessel	MWh	1485	1565	1438 ¹	1163
Elektrische Energie der WP	MWh	-	-	325	647
Gesamtwärmeverbrauch	MWh	2689	2921	2955	3643
Relativwerte					
Regenerative Nutzwärme ²	-	45%	46%	41%	50%
Wärmelieferung durch Gaskessel	-	55%	54%	49%	32%
Elektrische Energie der WP	-	-	-	11%	18%
Angaben zur Effizienz					
Speichernutzungsgrad	-	48%	55%	90%	106%
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	-	-	-	3,3	4,2
Regenerativer Deckungsanteil ²	-	45%	46%	41%	50%
Primärenergieeinsparung ³	-	45%	46%	25%	26%

¹ temporärer Ausfall des Gaskessels und Wärmeversorgung durch benachbartes Nahwärmegebiet

² ausschließlich solar, da Temperatur des ESWSP immer über der Umgebungstemperatur lag

³ gegenüber vollständiger Wärmebereitstellung mit Gaskessel; Primärenergiefaktoren Gas: 1,1; Strom: 3,0 (2007) .. 2,7 (2008) .. 2,6 (2009 & 2010), nach EnEV 2007 [6], EnEV 2009 [7]

Durch die relativ hohen Wärmequellentemperaturen für die Wärmepumpe konnte eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4,2 im Jahr 2010 erreicht werden. Die gegenüber dem Vorjahr gestiegene JAZ der Wärmepumpe ist auf verschiedene Maßnahmen zurückzuführen: zum einen war die Regelung sowohl der Wärmepumpe als auch weiterer Komponenten, insbesondere der Kollektoren, noch nicht entsprechend der Vorgaben des Planers umgesetzt [3]. Zum anderen wurden die Volumenströme der Wärmepumpe auf der Verdampfer- und der Kondensatorseite erhöht, um eine Überschwingung der Temperatur am Kondensatoraustritt im Sommer zu vermeiden und eine höhere Temperatur am Verdampferaustritt zu erhalten [4]. Außerdem hat die Entladeregulation des ESWSP nicht funktioniert und im ausgeschalteten Zustand des ESWSP traten Schleichmengen auf, wodurch die Wärmepumpe etwas geringere Temperaturen auf der Verdampferseite erhalten hat. Die Effizienz der Anlage kann

noch gesteigert werden, da verschiedene Optimierungsmaßnahmen noch nicht umgesetzt wurden. Die Durchflüsse in den Solarübergabestationen wurden noch nicht entsprechend der Vorgaben eingeregelt und die Regelung des Gaskessels (häufiges Takten) funktioniert noch nicht zufriedenstellend. Außerdem war durch den Ausfall der M-BUS-Verbindung die sekundärseitige Pumpe einer Solar-Übergabestation vermutlich von Frühjahr bis Herbst 2010 permanent in Betrieb, obwohl das Einschaltkriterium (Frostschutz) nicht mehr gegeben war. Dies führte zu einem unnötigen Anstieg des Wärmeverbrauchs, der überwiegend durch die Wärmepumpe gedeckt wurde und einen erhöhten Stromverbrauch zur Folge hatte.

In Abb. 8 sind Temperaturen, Durchflüsse, Leistungen und COP zur Charakterisierung des Wärmepumpenbetriebs in Neckarsulm beispielhaft für den 13.02.2011 dargestellt. In Abhängigkeit von der Außentemperatur stellt die Wärmepumpe die Wärme am Kondensator bei 58°C bzw. 68°C zu Verfügung. In Abb. 8 ist an den Kondensatortemperaturen zu erkennen, dass die außentemperaturabhängige Umschaltung etwa um 15⁰⁰ Uhr und 17⁰⁰ Uhr erfolgt. Die Umschaltung ist vorgesehen, da bei geringem Wärmebedarf im Netz (überwiegend im Sommer) die Wärmepumpe ohne Kessel betrieben werden soll. In Zeiten hohen Wärmebedarfs dient die Wärmepumpe zur ersten Anhebung des Temperaturniveaus bis anschließend der Kessel den letzten Temperaturhub auf die Netzvorlauftemperatur durchführt. Wie anhand der Volumenströme aus dem Diagramm ebenfalls hervor geht, kann die Wärmepumpe mit und ohne Entladung des ESWSP betrieben werden. Als Wärmequelle kann somit auch die Solarwärme genutzt werden, wie es an dem Beispiel zwischen 11⁰⁰ Uhr und 18⁰⁰ Uhr der Fall ist. Zwischen 11⁰⁰ Uhr und 14⁰⁰ Uhr dienen sowohl der ESWSP als auch die Solaranlagen als Wärmequellen, während zwischen 14⁰⁰ Uhr und 18⁰⁰ Uhr überwiegend die Solarwärme als Wärmequelle dient. Diese kann auch genutzt werden, wenn die Solaranlagen zwar nicht in Betrieb sind, aber die Solarwärme in den Pufferspeichern zwischengespeichert wurde (z. B. zwischen 17⁰⁰ Uhr und 18⁰⁰ Uhr). Es ist zudem möglich, die Restwärme des WRL als Wärmequelle zu nutzen (z. B. zwischen 5⁰⁰ Uhr und 6⁰⁰ Uhr).

Im unteren Teil von Abb. 8 sind die Leistungen und der resultierende COP dargestellt. Der COP liegt bei den Betriebspunkten an diesem Tag in der Größenordnung um 4. Deutlich zu erkennen ist, dass die durch den Solarertrag erhöhten Wärmequellentemperaturen die thermische Leistung der Wärmepumpe erhöhen. Dagegen hat das Umschalten auf die höhere Kondensatortemperatur zwischen 15⁰⁰ Uhr und 17⁰⁰ Uhr einen erhöhten Aufwand an elektrischer Energie zur Folge. Die Schwankungen der Temperaturniveaus und die daraus resultierenden Leistungen sind auch

beim COP zu erkennen. Auffällig sind die durch die Wärmepumpenregelung bedingten Spitzen des COP beim An- und Abschalten der Wärmepumpe. Beim Abschalten werden zuerst die Kompressoren und anschließend die Umwälzpumpen ausgeschaltet bzw. beim Anschalten umgekehrt. Dadurch kann mit einem sehr geringen Aufwand (nur elektrische Leistung der Umwälzpumpe) die restliche Wärmekapazität des Kondensators genutzt werden.

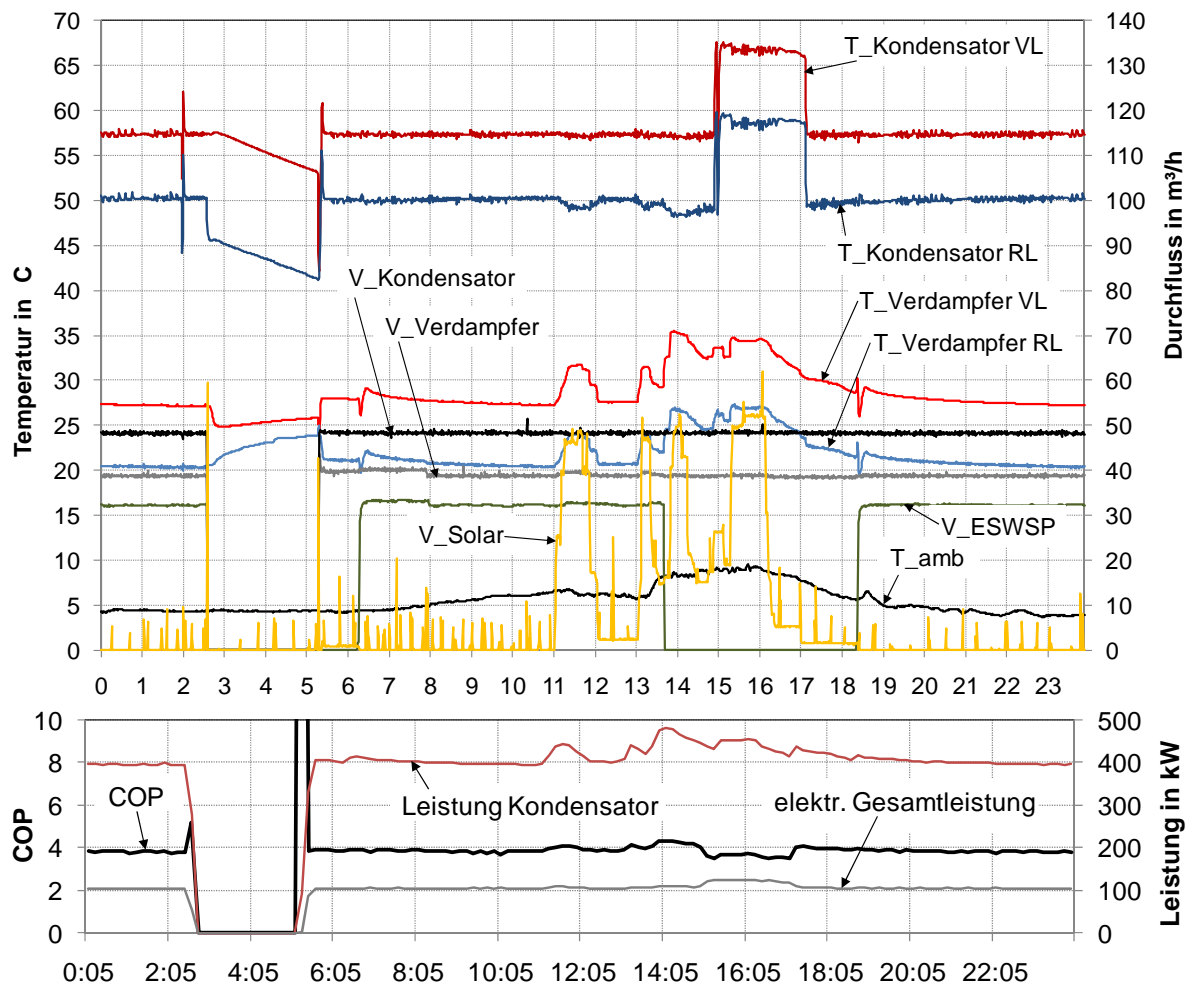


Abb. 8: Temperaturen, Durchflüsse, COP und Leistungen an der WP in Neckarsulm am 13.02.2011

In Abb. 9 und 10 sind die vertikalen Temperaturverläufe in der Mitte des ersten und zweiten Ausbaus des ESWSP für den letzten Tag der Monate März und September für die Jahre 2007, 2009 und 2010 dargestellt. Auch hier repräsentieren die Temperaturverläufe die Minima und Maxima im jährlichen Verlauf. Im Gegensatz zur Anlage in Rostock wurde in Neckarsulm die Wärmepumpe nachträglich in den Anlagenbetrieb integriert. Im Jahr 2007 (ohne WP) wurden noch Maximaltemperaturen von über 60°C erreicht. Durch den Betrieb mit Wärmepumpe wurde das Temperatur-

niveau in den folgenden Jahren deutlich abgesenkt, sodass im Jahr 2010 der Speicher im Mittel bei 10 K tieferen Temperaturen betrieben wurde.

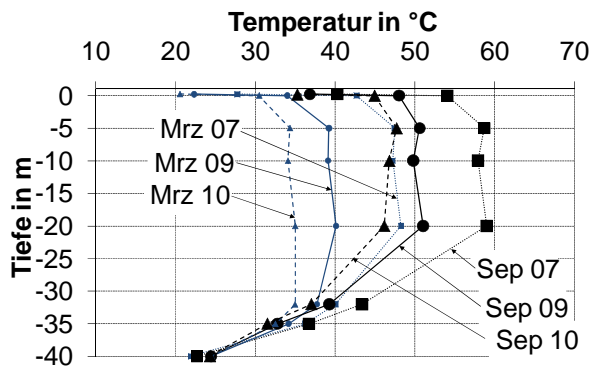


Abb. 9: Temperaturen an der Messlanze in der Mitte des 1. Ausbaus des ESWSP

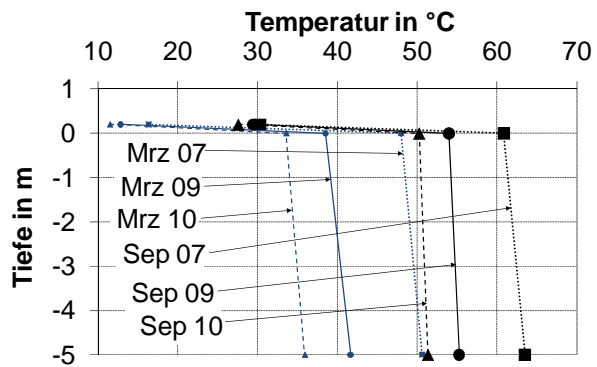


Abb. 10: Temperaturen an der Messlanze in der Mitte des 2. Ausbaus des ESWSP

Zusammenfassung und Ausblick

Die Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen in SUN-Anlagen sind sehr vielfältig. Die thermische Leistung der Wärmepumpen, der hier vorgestellten Anlagen, beträgt zwischen 60 kW und etwa 500 kW. Als Wärmequelle dienen den Wärmepumpen die Langzeit-Wärmespeicher oder eine Kombination aus Langzeit-Wärmespeicher und direkter Solarenergie bzw. Netz-/Wärmerücklauf. Die Wärmepumpen können so betrieben werden, dass sie zeitweise den Kessel zur Wärmebereitstellung ersetzen oder ihn durch eine Temperaturerhöhung unterstützen.

Die synergetischen Effekte können anhand der Messdaten der Anlagen in Rostock und Neckarsulm belegt werden. Die Speichernutzungsgrade liegen mit zusätzlicher Entladung des Langzeit-Wärmespeichers durch die Wärmepumpe deutlich höher als ohne. Dadurch steigen auch die solaren Deckungsanteile signifikant an. Die Wärmepumpen profitieren ebenfalls von der Systemeinbindung und werden mit Jahresarbeitszahlen zwischen 4 und 5 betrieben.

Die Wärmepumpen in Crailsheim und Eggenstein sind noch nicht in Betrieb (Stand Anfang 2011). Diese gilt es während der Inbetriebnahmephase messtechnisch und wissenschaftlich zu begleiten, um Optimierungsmaßnahmen ableiten zu können. Durch den hohen innovativen Charakter der Pilotanlagen hat sich erfahrungsgemäß erwiesen, dass ein optimaler Anlagenbetrieb nur durch ein intensives Monitoring, eine detaillierte Auswertung der Messergebnisse und die anschließende Umsetzung der Erkenntnisse erreicht werden kann.

Literatur

- [1] M. Benner, M. Bodmann, D. Mangold, J. Nußbicker, S. Raab, T. Schmidt, H. Seiwald: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher (Nov. 1998 bis Jan. 2003), Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 0329606S
- [2] D. Bauer, W. Heidemann, R. Marx, J. Nußbicker-Lux, F. Ochs, V. Panthalookaran, S. Raab: Forschungsbericht zum BMU-Vorhaben Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher (Juni 2005 bis Juli 2008), Förderkennzeichen 0329607J
- [3] M. Guigas: Regelbeschreibung zum Projekt E06329 (Wärmepumpe Amorbach) vom 15.10.2010
- [4] M. Guigas: Protokoll zur Besprechung am 13.10.2010, Projekt E06329 (Wärmepumpe Amorbach)
- [5] D. Bauer, R. Marx, J. Nußbicker-Lux, F. Ochs, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: German Central Solar Heating Plants with Seasonal Heat Storage, Solar Energy 84 (2010), pp. 612-623
- [6] EnEV 2007: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 34, ausgegeben Bonn am 26. Juli 2007
- [7] EnEV 2009: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 23, ausgegeben Bonn am 30. April 2009

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.