

LEKTIONEN AUS PLANUNG UND BETRIEB VON DREI DEUTSCHEN SOLAREN NAHWÄRMEVERSORGUNGEN MIT SAISONALER WÄRMESPEICHERUNG

Dr.-Ing. Janet Nußbicker-Lux, Dipl.-Ing. Roman Marx, Dr.-Ing. Dan Bauer, Dr.-Ing. Harald Drück
Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS)
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Tel.: +49-711 / 685 63 239, Fax: DW - 685 63 503
E-Mail: nussbicker@itw.uni-stuttgart.de

1 Einleitung

Zur Einsparung fossiler Brennstoffe kann die thermische Nutzung von Solarenergie in Kombination mit der saisonalen Speicherung von (Solar-)Wärme einen maßgeblichen Beitrag leisten. In Deutschland wurden seit 1996 elf solare Nahwärmeversorgungen (SuN) mit saisonalem Wärmespeicher errichtet und wissenschaftlich untersucht. Dabei wurde die technische Machbarkeit der saisonalen Wärmespeicherung nachgewiesen und es wurden zahlreiche Erkenntnisse gewonnen, die zur Verbesserung von Planung, Bau und Betrieb der Anlagen beigetragen haben. Die Anlagenkonzepte der solaren Nahwärmeversorgungen in Neckarsulm, Crailsheim und Eggenstein werden in diesem Beitrag beschrieben, es werden Messergebnisse vorgestellt und Betriebserfahrungen diskutiert.

2 Solare Nahwärmeversorgung Crailsheim

2.1 Anlagenbeschreibung

In Crailsheim ist auf einem ehemaligen Kasernengelände die bisher größte Anlage zur solaren Nahwärmeversorgung (SuN) in Deutschland realisiert worden. Die Anlage versorgt derzeit etwa 250 Wohneinheiten sowie eine Schule mit Sporthalle mit einem Wärmeverbrauch von insgesamt 3 750 MWh im Jahr 2011. Derzeit besteht die Anlage aus 7 410 m² Kollektorfläche (Apertur), einem 39 000 m³ Erdsonden-Wärmespeicher (ESWSP), zwei Pufferspeichern (PS 1 und PS 2) und einer Kompressionswärmepumpe mit einer elektrischen Leistung von 80 kW.

Die solare Nahwärmeversorgung ist in zwei miteinander verbundene Anlagenteile aufgeteilt, siehe Abb. 1. An den ersten Anlagenteil sind 2 492 m² Kollektorfläche angeschlossen. Des Weiteren besteht der erste Anlagenteil aus einem 100 m³ Pufferspeicher (PS 1) und einer Heizzentrale, an die das Nahwärmenetz Hirtenwiesen II (HW II) sowie die Fernwärme, die als Nachheizung dient, angeschlossen sind. Der zweite Anlagenteil wird im Hinblick auf die Wärmespeicherung überwiegend saisonal betrieben und besteht aus 4 918 m² Kollektorfläche auf zwei Lärmschutzwällen, einem 480 m³ Pufferspeicher (PS 2), einem Erdsonden-Wärmespeicher sowie einer Wärmepumpe. Der PS 2 wird benötigt, da die maximale thermische Leistung der Kollektoren höher ist, als die maximale Beladeleistung des ESWSP. Mit dem PS 2 kann die solare Wärme über einen Zeitraum von 24 Stunden in den ESWSP eingespeichert werden. Die Wärmepumpe ist hydraulisch zwischen den beiden PS eingebunden, da bei dieser Konfiguration die Effizienz der Kollektorfelder und damit der solare Nutzwärmeertrag durch die Absenkung des Temperaturniveaus im PS 2 erhöht wird. Außerdem kann die Wärmepumpe dann sowohl verdampfer- als auch kondensatorseitig auf große hydraulische Volumina arbeiten, wodurch lange Laufzeiten bei effektiven Betriebspunkten ermöglicht werden.

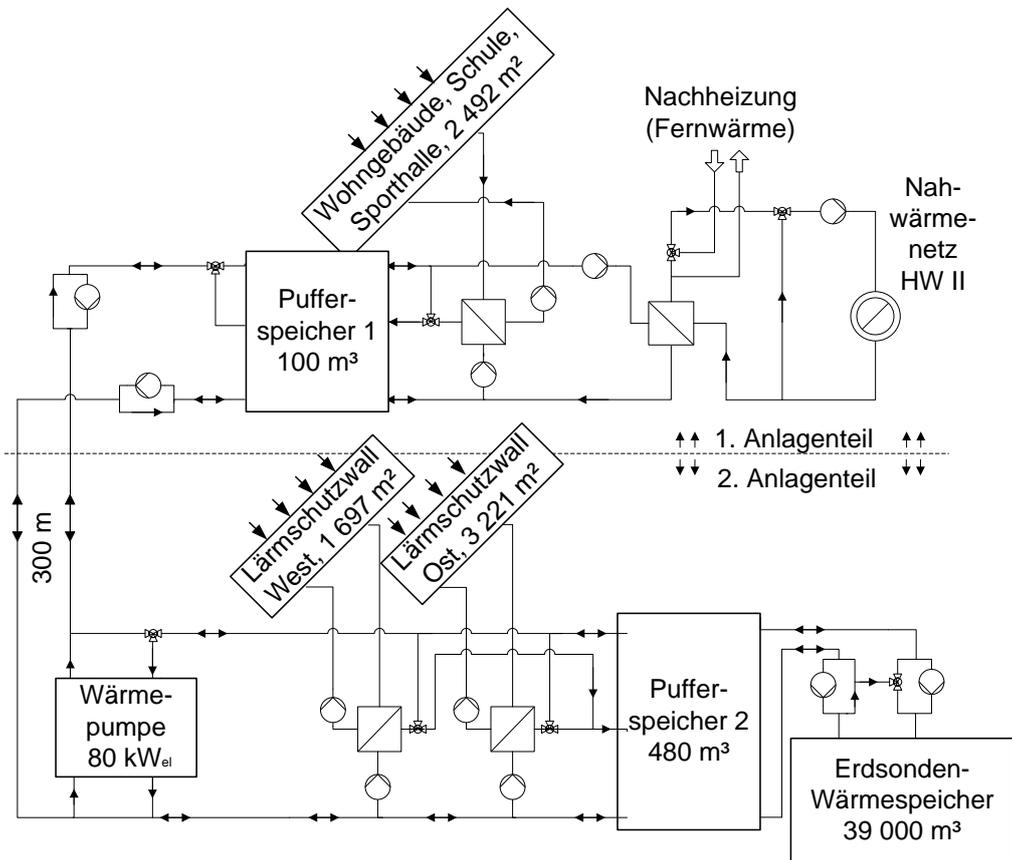


Abb. 1 - Schema der solaren Nahwärmeversorgung in Crailsheim

2.2 Messergebnisse

In Tabelle 1 sind die Daten der SuN in Crailsheim angegeben. Die Wärmelieferung der Kollektoren betrug im Jahr 2011 bereits 2337 MWh und lag damit nur knapp unter dem geplanten Wert von 2 699 MWh/a, obwohl ein Teil der Kollektoren des zweiten Anlagenteils erst im Laufe des Jahres 2011 installiert und in Betrieb genommen wurden. Obwohl noch nicht alle Kollektoren des zweiten Anlagenteils angeschlossen waren und der ESWSP noch nicht entladen wurde, betrug im Jahr 2011 die ins Netz gelieferte solare Nutzwärme bereits 1 342 MWh.

Die geplante Wärmemenge „Gesamt ins Netz HW II“ von 4 100 MWh/a wurde im Jahr 2010 fast erreicht. Im Jahr 2011 war die ins Netz gelieferte Wärmemenge mit 3 750 MWh jedoch wieder etwas niedriger, da weniger Wärme für Bauheizungen benötigt wurde und einige Optimierungsmaßnahmen, z. B. zur Senkung der Netztemperaturen, durchgeführt wurden.

Die geplante Beladewärmemenge des ESWSP beträgt 1 135 MWh/a und wurde noch nicht erreicht, da ein Teil der Kollektoren des zweiten Anlagenteils erst im Laufe des Jahres 2011 angeschlossen wurde. Eine Entladung des ESWSP hat bis zum Jahr 2011 noch nicht stattgefunden, da der ESWSP noch nicht das zur direkten Entladung notwendige Temperaturniveau erreicht hat und die Wärmepumpe (WP) erst Anfang 2012 in Betrieb genommen wurde.

Der geplante solare Deckungsanteil, bei dem 7 325 m² Kollektorfläche, ein 37 500 m³ ESWSP und zwei PS mit 100 m³ bzw. 600 m³ sowie eine 258 kW_{el} WP zugrunde gelegt wurden, beträgt 51 %. Die Werte der realisierten Anlage unterscheiden sich (außer bei der WP und dem 480 m³ PS) nur geringfügig. In 2011 wurde trotz der noch nicht im Betrieb befindlichen WP, ohne Entladung des ESWSP und trotz der noch nicht vollständig installierten Kollektorfläche ein

solarer Deckungsanteil von 35,8 % erreicht. Es ist somit zu erwarten, dass der geplante solare Deckungsanteil von 51 % in den nächsten Jahren erreicht werden wird.

Tabelle 1: Daten der solaren Nahwärmeversorgung in Crailsheim

		Planung	2008	2009	2010	2011
Kollektorfläche (am Jahresende)	m ²	7 325	1 559	5 714	5 714	7 410
Wärmelieferung der Kollektoren Wohngebäude, Schule, Sporthalle Lärmschutzwall Ost Lärmschutzwall West	MWh	2 699 gesamt	570 - -	765 970 -	765 1 020 -	1 010 1 217 110
Solare Nutzwärme ins Netz HW II	MWh	2 095	484	647	864	1 342
Wärmemenge „Gesamt ins Netz HW II“	MWh	4 100	2 990	3 497	4 068	3 750
Wärmelieferung durch Fernwärme	MWh	1 715	2 530	2 832	3 197	2 407
Beladewärmemenge ESWSP	MWh	1 135	-	849	779	781
Entladewärmemenge ESWSP	MWh	830	-	-	-	-
Solarer Deckungsanteil	%	51	16,2	19,3	21,2	35,8

In Abb. 2 sind die monatlichen Beladewärmemengen sowie die Temperaturen in der Speichermitte, am Speicherrand sowie 1,5 m außerhalb des ESWSP in einer Tiefe von 30 m (mittlere Speicherhöhe) für die Jahre 2010 und 2011 aufgetragen. Die monatliche Beladewärmemenge ist in den Frühjahr-/ Sommermonaten am höchsten. Sie ist abhängig von der solaren Einstrahlung und dem daraus resultierenden solaren Wärmeertrag, dem im ESWSP vorhandenen Temperaturniveau und dem Wärmebedarf im Nahwärmenetz.

Die Temperaturen im ESWSP sinken aufgrund von Wärmeverlusten zwischen Januar und April 2010 und steigen dann durch die solare Beladung auf Werte von 51 °C im Oktober 2010. Während der ESWSP nicht in Betrieb ist (Oktober 2010 bis März 2011) sinken die Temperaturen im ESWSP wieder ab, sind aber im April 2011 noch höher als im April 2010. Im November 2011 wurde mit 56 °C die bisher höchste Temperatur im ESWSP gemessen.

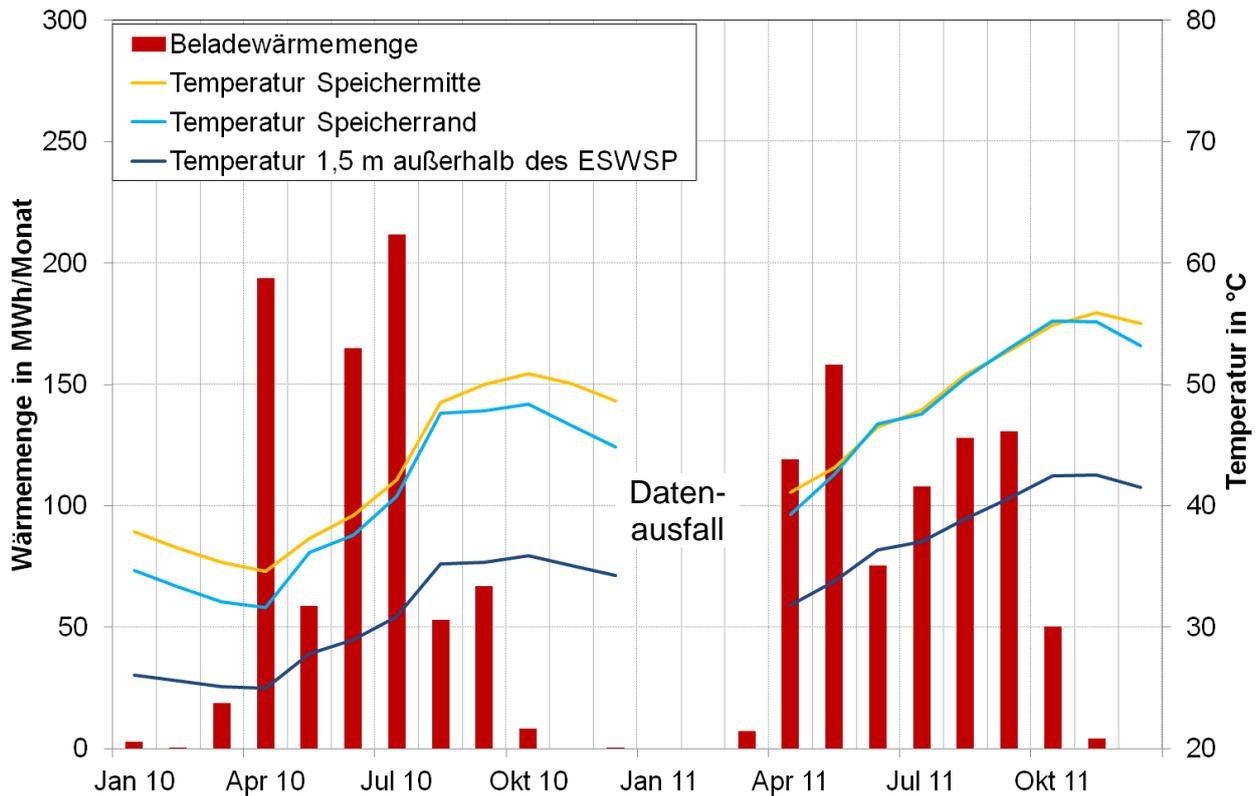


Abb. 2 - Monatliche Beladewärmemengen und Temperaturen in und um den ESWSP

3 Solare Nahwärmeversorgung Eggenstein

3.1 Anlagenbeschreibung

In Eggenstein wurde erstmalig in Deutschland eine solare Nahwärmeversorgung mit saisonaler Wärmespeicherung in ein bestehendes Nahwärmenetz zur Versorgung bereits vorhandener Gebäude integriert. Das Nahwärmenetz versorgt eine Schule, zwei Sporthallen, ein Schwimmbad und ein Feuerwehrgebäude und soll in Kombination mit der Solaranlage und dem saisonalen Wärmespeicher einen solaren Deckungsanteil von ca. 35 % erreichen. Die Sanierungsmaßnahmen an den Bestandsgebäuden begannen im Jahr 2002. Es sind insgesamt 1 600 m² Kollektorfläche in das System integriert, siehe Abb. 3. Zur saisonalen Wärmespeicherung dient ein 4 500 m³ großer Kies/ Wasser-Wärmespeicher (KWWS), der mit Temperaturen 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 (15 kW_{el}) 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. Zur Wärmebereitstellung der zusätzlich zur Solarwärme benötigten Wärme sind zwei Gaskessel in das System integriert.

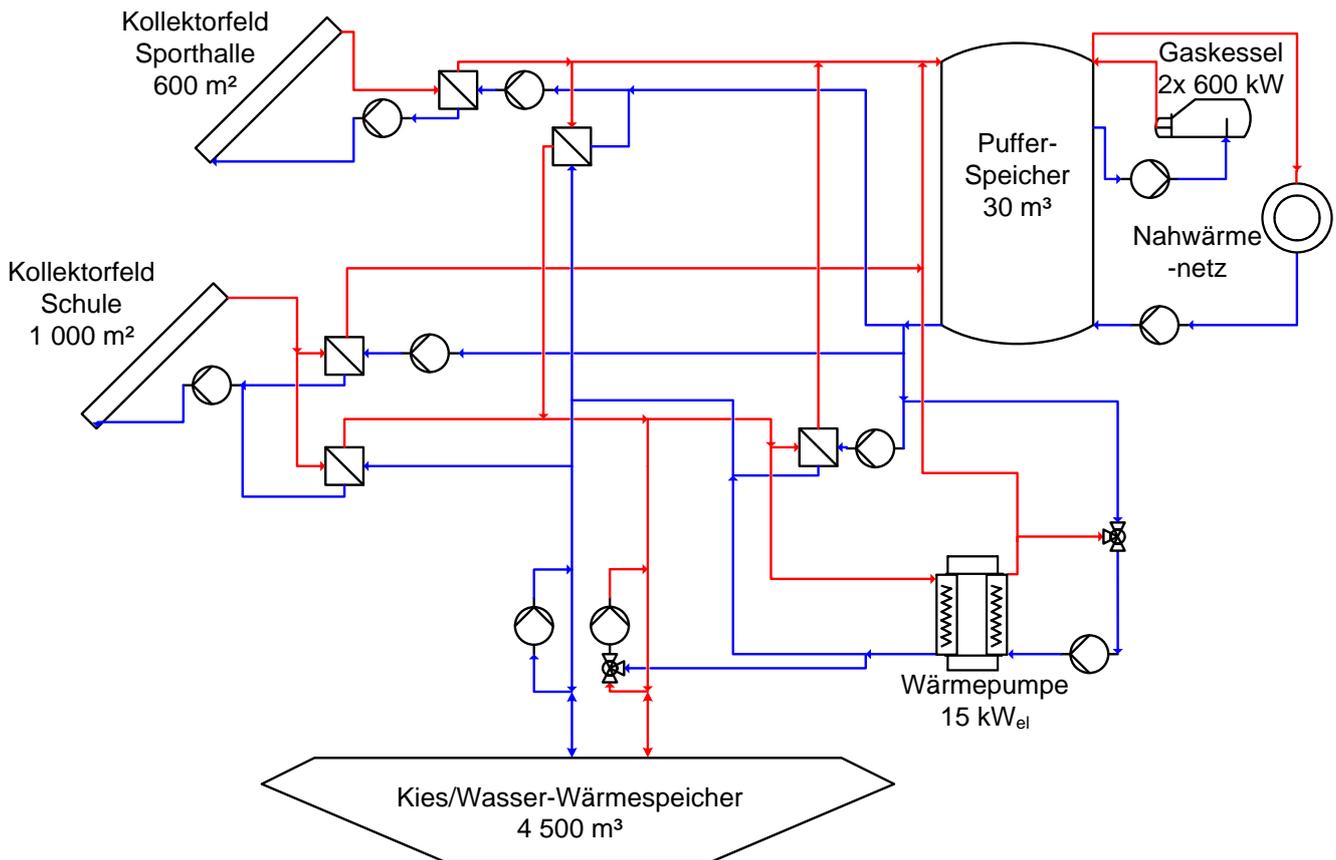


Abb. 3 - Schema der solaren Nahwärmeversorgung in Eggenstein

3.2 Messergebnisse

In Tabelle 2 sind die Daten der solaren Nahwärmeversorgung in Eggenstein angegeben. Aufgrund hydraulischer Probleme im Be- und Entladekreis des saisonalen Wärmespeichers konnte die gesamte Anlage noch nicht vollständig und über einen aussagekräftigen Zeitraum wie ursprünglich geplant betrieben werden. Diese Tatsache beeinflusst die Leistungsfähigkeit der gesamten Anlage gravierend.

Die Kollektoren mit einer Gesamtfläche von 1 600 m², was dem geplanten Endausbau entspricht, wurden Ende Juni 2009 in Betrieb genommen. Sie erzielten im Jahr 2010 mit 351 MWh den bislang höchsten solaren Ertrag. Im Jahr 2011 betrug der Ertrag nur noch 131 MWh, da die Beladung des KWWS aufgrund hydraulischer Probleme nur sehr eingeschränkt möglich war. Durch Lufteintrag waren die Förderpumpen trocken gelaufen und konnten keinen Volumenstrom fördern. Dadurch fehlte die Wärmesenke und dies führte zu sehr vielen Tagen an denen sich die Kollektoren in Stagnation befanden und folglich kein solarer Ertrag erzielt wurde.

Die ins Netz gelieferte Wärmemenge betrug in den vergangenen vier Jahren zwischen 912 und 1 189 MWh und war damit deutlich niedriger als die geplante Wärmemenge von jährlich 1 400 MWh. Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch die energetische Sanierung der Bestandsgebäude die Erwartungen hinsichtlich der Heizenergieeinsparung deutlich übertroffen wurden und die neu errichtete Sporthalle ebenfalls weniger Heizwärme benötigt, als geplant. Deshalb konnten die Planungswerte für die Wärmelieferung durch die Gaskessel beinahe eingehalten werden, obwohl die solare Nutzwärme, d. h. die direkt genutzte solare Wärme und die saisonal gespeicherte solare Wärme, bislang viel geringer war als geplant. Die solare Nutzwärme betrug jährlich zwischen 111 und 137 MWh und war im Vergleich zum Planungswert (490 MWh/a) sehr niedrig. Dies liegt daran, dass bisher die im KWWS gespeicherte Wärme nicht entnommen und genutzt werden konnte. Aufgrund der fehlenden Entladung des KWWS konnten auch noch keine Messergebnisse für die Wärmepumpe erfasst werden.

Tabelle 2: Daten der solaren Nahwärmeversorgung in Eggenstein

		Planung	2008	2009	2010	2011
Kollektorfläche (am Jahresende)	m ²	1 600	600	1 600	1 600	1 600
Wärmelieferung der Kollektoren	MWh	k. A.	143	273	351	131
Solare Nutzwärme	MWh	490	133	126	137	111
Wärmemenge ins Netz	MWh	1 400	1 051	912	1 031	1 189
Wärmelieferung durch Gaskessel	MWh	910	997	886	925	1 094
Beladewärmemenge KWWS	MWh	k. A.	-	131	220	19
Entladewärmemenge KWWS	MWh	k. A.	-	-	-	-
Solarer Deckungsanteil	%	~35	12,7	13,8	13,3	9,3

Im Frühjahr und Sommer 2012 wurde die Hydraulik des Be- und Entladekreises des KWWS umgebaut. Um die hydraulische Anbindung an die Gesamtanlage zu gewährleisten, wurde eine selbst ansaugende Pumpe direkt am Wärmespeicher installiert.

Obwohl die Entladung des KWWS bisher nicht planmäßig funktionierte, konnten durch die Beladung des Wärmespeichers insbesondere in den Jahren 2009 und 2010 wichtige Erkenntnisse über dessen thermisches Verhalten gewonnen werden. In Abb. 4 sind die gespeicherte Wärmemenge und die wöchentliche Änderung der Wärmemenge im KWWS beginnend von 2009 dargestellt. Es ist deutlich der Anstieg der gespeicherten Wärmemenge zu erkennen, wenn die solare Wärme in den KWWS eingespeichert wurde (Beladung). Da der KWWS nicht entladen werden konnte, resultiert die Abnahme der gespeicherten Wärmemenge durch Wärmeverluste über die Speicherhülle in den Herbst- und Wintermonaten. Bei weiteren Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Wärmedämmung im Bereich des Deckels des KWWS eine höhere effektive Wärmeleitfähigkeit aufweist, als bei der Planung angenommen. Die Wärmedämmung besteht aus einer 1 m dicken Schicht aus Schaumglasschotter. Wie die im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Begleitforschung durchgeführten detaillierten Untersuchungen ergeben haben, überlagern sich in der Schaumglasschotterschicht mehrere Mechanismen der Wärmeübertragung, die zu einer Erhöhung der effektiven Wärmeleitfähigkeit führen.

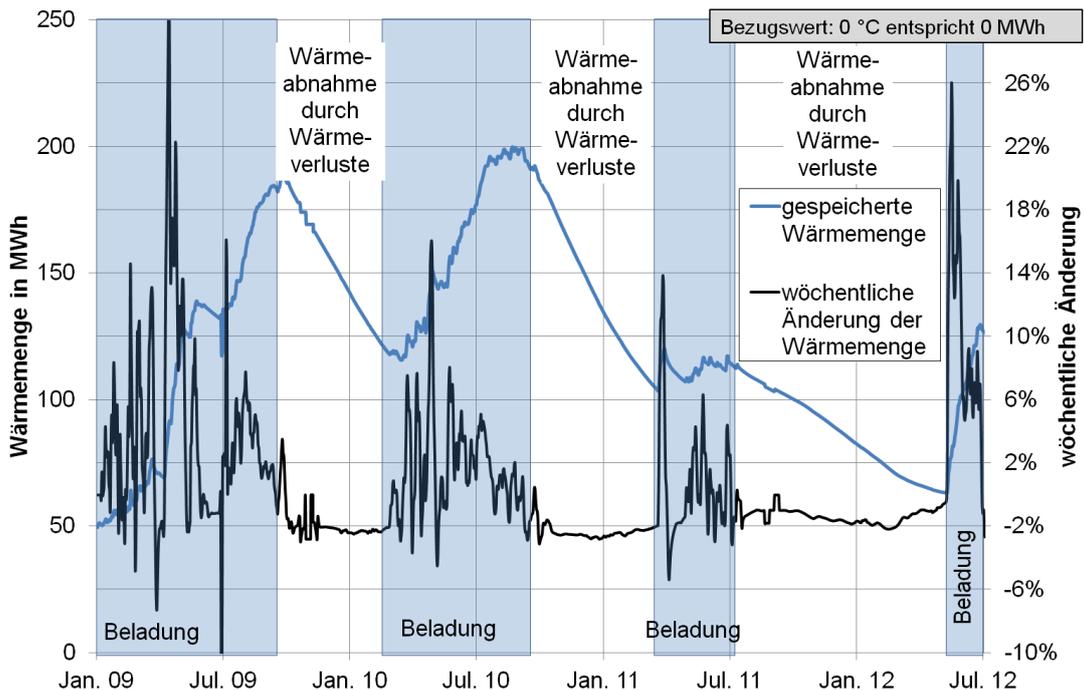


Abb. 4 - Gespeicherte Wärmemenge im KWWS und wöchentliche Änderung

4 Solare Nahwärmeversorgung Neckarsulm

4.1 Anlagenbeschreibung

In Neckarsulm ist seit 1996 ein Quartier mit derzeit ca. 320 Wohneinheiten, einer Schule mit Sporthalle, zwei Seniorenwohnheimen, einem Kindergarten und einem Ladenzentrum entstanden. Der Wärmebedarf für Raumheizung und Trinkwarmwasser von ca. 3 000 MWh/a soll zu 50 % solar gedeckt werden. Die Wärmeversorgung des Quartiers erfolgt über ein Nahwärmenetz mit Solarwärme und durch einen 2 MW Gaskessel sowie mit einer 120 kW_{el} Kompressionswärmepumpe. Die von 5 670 m² Kollektorfläche gelieferte Solarwärme kann über zwei Pufferspeicher (je 100 m³) entweder direkt ins Nahwärmenetz eingespeist werden (Sommer) oder aus dem Erdsonden-Wärmespeicher (Winter, ESWSP mit 63 360 m³) ausgespeichert werden. Im Sommer überschüssige Solarwärme wird im ESWSP saisonal gespeichert.

Die Anlage war ursprünglich ohne Wärmepumpe (WP) geplant und gebaut worden. Da die zum effizienten Betrieb der Solaranlagen und zur effizienten Entladung des ESWSP erforderlichen geplanten niedrigen Netzurücklauftemperaturen im Betrieb nicht erreicht werden konnten, wurde im Jahr 2008 eine WP installiert. Ohne WP ist eine Entladung nur bis zur Netzurücklauftemperatur von ca. 45 °C möglich. Die WP ist zwischen den beiden Pufferspeichern (PS1 & PS2), dem ESWSP und dem als 3-Leiter-Netz ausgeführten Nahwärmenetz in das System integriert, siehe Abb. 5. Bei den Umbaumaßnahmen zur Integration der WP wurden der Solarvorlauf und der Netzurücklauf zu einer Leitung zusammengefasst. Bis dahin gab es eine gemeinsame Rücklaufleitung für den Solarrücklauf und Netzurücklauf. Die WP kann die vom Kondensator gelieferte Wärme entweder ins Netz oder in den PS1 oben bzw. unten einspeisen. Die Regelung der WP erfolgt in Abhängigkeit von der Außentemperatur ϑ_{amb} . Bei $\vartheta_{amb} < 10$ °C beträgt die Kondensator-Vorlauftemperatur 58 °C. Die WP führt dann nur eine Rücklaufanhebung durch. Der restliche Temperaturhub zum Erreichen der benötigten Netzurücklauftemperatur wird durch den Gaskessel erzeugt. Bei $\vartheta_{amb} > 10$ °C beträgt die Kondensator-Vorlauftemperatur 68°C. Der Wärmebedarf im Nahwärmenetz ist dann so niedrig, dass die Leistung der WP ausreicht, um ihn zu decken. Der Gaskessel bleibt somit ausgeschaltet.

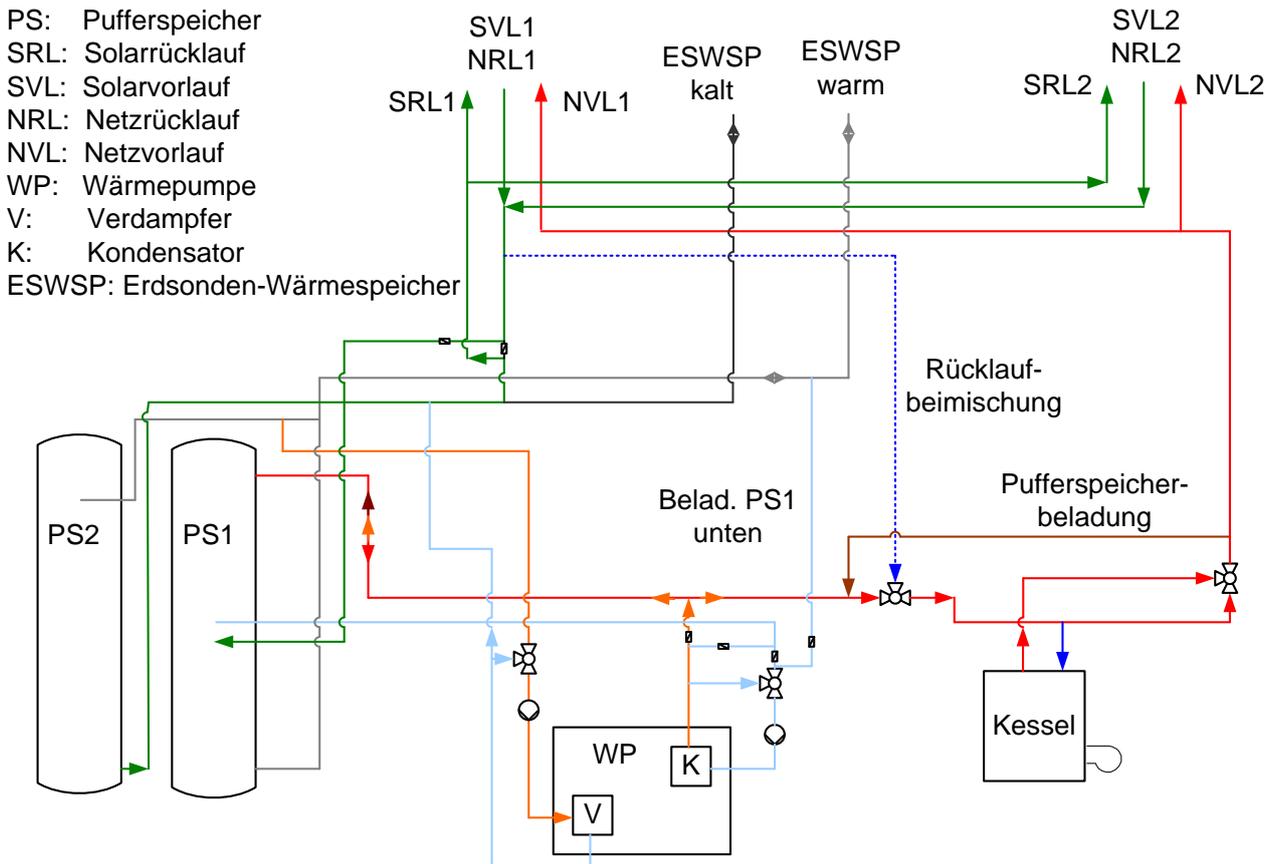


Abb. 5 - Schema der solaren Nahwärmeversorgung in Neckarsulm

4.2 Messergebnisse

In Tabelle 3 sind die Daten der SuN in Neckarsulm angegeben. Die Kollektorfläche hat noch nicht den geplanten Ausbauzustand erreicht, dennoch wurde die geplante Wärmelieferung der Kollektoren von 1 953 MWh/a in den vergangenen beiden Jahren mit 1 977 bzw. 2 448 MWh überschritten. Bei der Planung der Anlage war - wie bereits erwähnt - keine WP vorgesehen. Durch den Betrieb der WP können den Solarkollektoren niedrigere Rücklauftemperaturen zur Verfügung gestellt werden, wodurch diese effizienter betrieben werden können. Dadurch steigen die solaren Wärmegewinne gegenüber einem Betrieb ohne Wärmepumpe.

Die solare Nutzwärme, d. h. die direkt genutzte solare Wärme und die im ESWSP saisonal gespeicherte solare Wärme, war in den letzten beiden Jahren mit 1 833 MWh bzw. 1 888 MWh ebenfalls höher als der geplante Wert von 1 410 MWh/a. Trotz der deutlich höheren solaren Wärmelieferung im Jahr 2011 war die solare Nutzwärme in den Jahren 2010 und 2011 fast gleich. Im Jahr 2010 wurde ein sehr hoher Anteil (Solar)wärme aus dem ESWSP ausgespeichert. Dies spiegelt sich auch in den Speichernutzungsgraden, die 106 % (es wurde mehr Wärme aus- als eingespeichert) im Jahr 2010 bzw. 68 % im Jahr 2011 betragen, wider. Der Speichernutzungsgrad war im Jahr 2011 niedriger als 2010, da im Herbst 2011 aufgrund der Witterung wenig Wärme im Nahwärmenetz benötigt wurde und somit ein Teil der im Sommer eingespeicherten Wärme im ESWSP verblieben ist und im Folgejahr 2012 zur Verfügung steht.

Die ins Nahwärmenetz abgegebene Wärmemenge war in den vergangenen Jahren stets höher als geplant. Dies liegt zum einen daran, dass teilweise ein benachbartes Quartier mit Wärme mitversorgt werden musste, als dort der Gaskessel defekt war und zum anderen sind die Wärmeverluste im Nahwärmenetz höher, als bei den Planungen angenommen wurde. Außerdem trat eine Leckage im Nahwärmenetz auf, die zu hohen Wasser- und damit auch Wär-

meverlusten führte. Durch die hohen solaren Wärmelieferungen und die Installation der Wärmepumpe ist die vom Gaskessel bereit gestellte Wärmemenge in den letzten Jahren rückläufig. Zum Betrieb der Wärmepumpe wurden im vergangenen Jahr 518 MWh Strom benötigt. Der solare Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf konnte in den letzten Jahren stetig gesteigert werden und hat im Jahr 2011 einen Wert von 55,8 % erreicht.

Tabelle 3: Daten der solaren Nahwärmeversorgung in Neckarsulm

		Planung*	2008*	2009	2010	2011
Kollektorfläche (am Jahresende)	m ²	6 300	5 760	5 760	5 760	5 760
Wärmelieferung der Kollektoren	MWh	1 953	1 689	1 431	1 977	2 448
Solare Nutzwärme	MWh	1 410	1 330	1 215	1 833	1 888
Wärmemenge ins Netz	MWh	2 846	2 921	2 955	3 643	2 941
Wärmelieferung durch Gaskessel	MWh	1 436	1 565	1 438	1 163	980
Speichernutzungsgrad ESWSP	%	70	55	90	106	68
Stromverbrauch Wärmepumpe	MWh	-	-	325	647	518
Solarer Deckungsanteil	%	50	45,5	41,1	50,3	55,8

* ohne Wärmepumpe

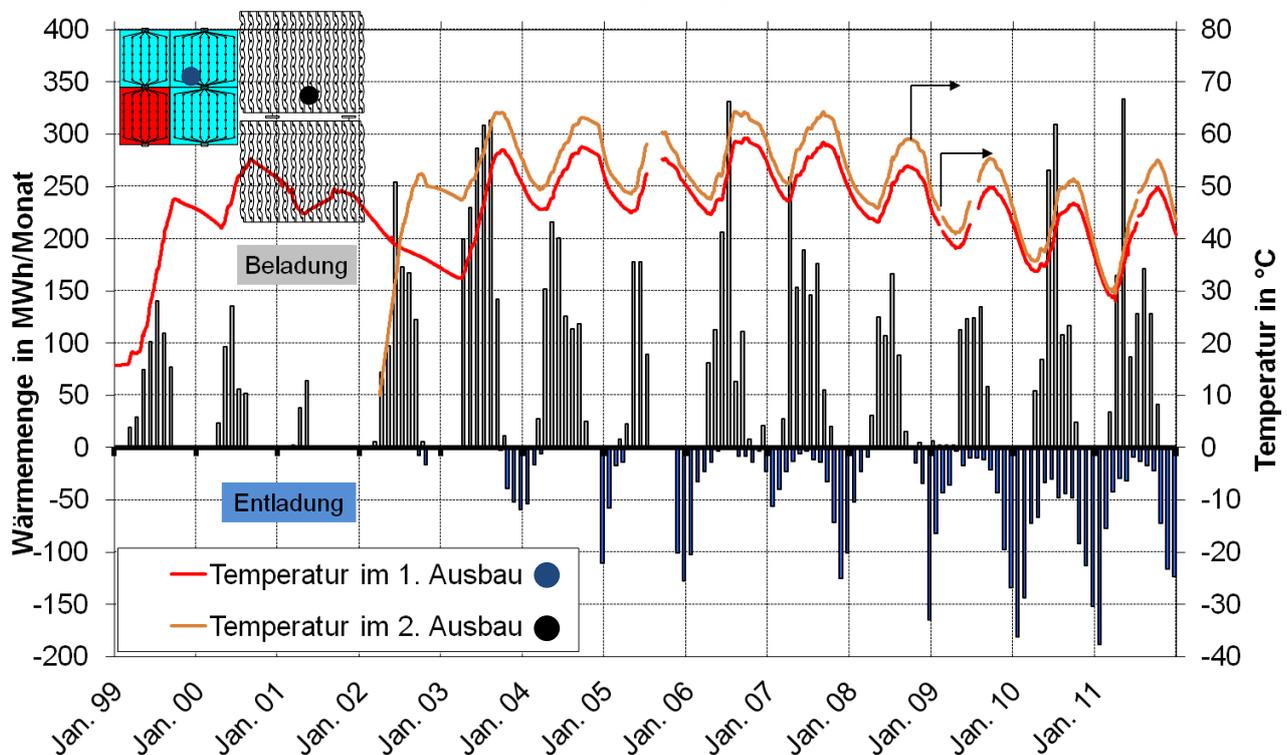


Abb. 6 - Monatliche Be-/Entladewärmemengen und Temperaturen im ESWSP

In Abb. 6 sind die monatlichen Be- und Entladewärmemengen sowie die Temperaturen im Erdsonden-Wärmespeicher in der Speichermitte des 1. bzw. 2. Ausbaus seit 1999 aufgetragen. In den ersten Jahren wurde der ESWSP nur beladen, für eine direkte Entladung (ohne WP) war das Temperaturniveau nicht ausreichend. Im Jahr 2001 wurde der ESWSP zum zweiten Mal erweitert und hat in den Jahren 2003 bis 2007 Maximaltemperaturen von ca. 65 °C erreicht. Die Entladewärmemengen waren jedoch vergleichsweise gering, da die Netzurücklauftemperatur ca. 45 °C betrug und der ESWSP damit nur zwischen 45 °C (Winter) und 65 °C (Sommer) betrieben werden konnte. Nach der Inbetriebnahme der Wärmepumpe konnte ab dem Jahr 2008 der ESWSP auf niedrigere Temperaturen entladen werden und auch die Maximaltemperaturen wurden gesenkt. Dies ist zum einen aufgrund der dadurch niedrigeren Wärmeverluste

des ESWSP bei niedrigeren Temperaturen und zum anderen wegen der niedrigeren Rücklauftemperaturen in die Solarkollektoren günstig.

5 Betriebserfahrungen mit den drei SuN-Anlagen

Bereits bei den ersten SuN-Anlagen, z. B. in Hamburg und Friedrichshafen (beide 1996), hat sich gezeigt, dass die Wärmeverluste der Wärmespeicher deutlich höher waren, als geplant. Eine Hauptursache war der für die Planung verwendete Wert für die Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung, der nach DIN 4108 Teil 4 bei 10 °C und in trockenem Zustand ermittelt wurde. Bei den realisierten Wärmespeichern ist die Wärmedämmung jedoch Temperaturen bis ca. 95 °C ausgesetzt. Außerdem hängt die Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials - neben der Temperatur - auch von der Feuchte ab, die aufgrund der Bauweise der saisonalen Wärmespeicher einen entscheidenden Einfluss hat. Es wurde daher bei den neueren Anlagen besonderes Augenmerk auf die Auswahl des Dämmmaterials und auf die Verhinderung des Eintritts von Feuchtigkeit in das Dämmmaterial gelegt. Aufgrund des hohen Innovationscharakters beim Aufbau der Wärmedämmung der neueren Wärmespeicher können sich jedoch unvorhergesehene Eigenschaften einstellen, wie dies am Kies/Wasser-Wärmespeicher in Eggenstein zu sehen ist.

Das Monitoring der realisierten Anlagen hat außerdem gezeigt, dass die Netzzücklauftemperaturen deutlich höher waren als die für die Planung angenommenen Werte von 30 bis 40 °C. Dies bedeutet - wie oben erläutert - Einbußen bei der energetischen Effizienz beim Betrieb der Solarkollektoren und der saisonalen Wärmespeicher sowie höhere Wärmeverluste des Wärmenetzes. Zudem haben in den Neubaugebieten die Bauheizungen über viele Jahre hinweg das Erreichen der Planungswerte verhindert. Da die angewandten Maßnahmen zur Senkung der Netzzücklauftemperaturen nicht den gewünschten Erfolg brachten, wurden bei den neueren Anlagen Wärmepumpen eingeplant und einige ältere Anlagen mit Wärmepumpe nachgerüstet. Dies hat neben einer Erhöhung der Robustheit der Anlage in Neckarsulm zu einer Steigerung der Effizienz der Kollektoren und des saisonalen Wärmespeichers geführt.

Der Vergleich der Planungswerte mit den realisierten Werten zeigt, dass zwei Planungswerte schwer einzuschätzen sind. Das ist zum einen der Wärmebedarf im Nahwärmenetz, der vom Fortschritt des Baugebietes abhängt. Hier kann der geplante Wärmebedarf vom tatsächlichen erheblich abweichen, wenn z. B. ein Bauabschnitt nicht realisiert wird oder der Bebauungsplan geändert wird. Zum anderen weicht die realisierte Kollektorfläche oft von den Planungswerten ab. Da häufig dachintegrierte Lösungen angestrebt werden, hängt die realisierte Kollektorfläche vom realisierten Gebäudebestand, z. B. Einfamilien- oder Mehrfamilienhäuser, ab. Die Planungswerte für den Wärmebedarf des Nahwärmenetzes und die für Kollektorflächen zur Verfügung stehende Dachfläche sind mit großen Unsicherheiten behaftet, da der Ausbau der Baugebiete oft über viele Jahre stattfindet.

Die Umsetzung des Regelungskonzeptes erfolgte bei den realisierten Anlagen häufig nicht korrekt und musste nachgebessert werden. Außerdem lassen sich die für den energetisch effizienten Betrieb geeignetsten Regelungsparameter erst im Betrieb ermitteln. Die Optimierung der Regelungsstrategie und der -parameter weist (nach dem Bau) das größte Verbesserungspotenzial auf und muss Teil des Anlagenmonitorings bzw. einer wissenschaftlich-technischen Begleitung sein.

Der Betrieb der innovativen bzw. solarspezifischen Komponenten, wie z. B. Kollektoren, Kurzzeit- und saisonale Wärmespeicher und Wärmepumpe ist bei den meisten Anlagen mit wenigen Störungen verbunden gewesen. Als problematischer haben sich häufig die Standardkomponenten, wie z. B. Pumpen, Ventile, Schmutzfänger und Wärmeübertrager, erwiesen. Eine regelmäßige Betriebskontrolle wird daher dringend empfohlen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die in Deutschland errichteten SuN mit saisonalem Wärmespeicher haben gezeigt, dass die saisonale Wärmespeicherung grundsätzlich funktioniert und hohe solare Deckungsanteile von mehr als 50 % erreicht werden können. Allerdings hat sich auch herausgestellt, dass die geplanten Konzepte für die saisonalen Wärmespeicher nicht mit den realen hohen Netzzurücklauftemperaturen harmonisieren. Deshalb ist der Einsatz von Wärmepumpen bei solchen Anlagen derzeit ohne Alternative. Der Vorteil, dass durch die Integration der Wärmepumpen solare Deckungsanteile von deutlich mehr als 50 % erreichbar sind, sollte bei zukünftigen solaren Nahwärmeversorgungen genutzt werden. Weitere Forschung und Entwicklung im Bereich der Wärmepumpen und ihrer Integration in das Anlagenkonzept sowie andere Technologien, wie Absorptionswärmepumpen, ist erforderlich.

Aus primärenergetischer Sicht sind jedoch solare Nahwärmeversorgungen ohne Wärmepumpe anzustreben. Um dies zu erreichen, müssen die vorhandenen Speicherkonzepte weiterentwickelt werden. Insbesondere hohe Speichertemperaturen für einen hohen Exergieanteil und effektive Methoden zur Wärmedämmung müssen im Fokus stehen. Langfristig sollten auch (wärme)verlustfreie Methoden der Energiespeicherung, wie die thermochemische Energiespeicherung, für die Realisierung großer saisonaler Wärmespeicher in Betracht gezogen und untersucht werden.

7 Literatur

Bauer D., Heidemann W., Marx R., Nußbicker-Lux J., Ochs F., Panthaloookaran V., Raab S. (2008). Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher (Juni 2005 bis Juli 2008), Forschungsbericht zum BMU-Vorhaben 0329607J, Stuttgart.

Bodmann M., Mangold D., Nußbicker J., Raab S., Schenke A., Schmidt T. (2005). Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher (Feb. 2003 bis Mai 2005), Forschungsbericht zum BMWA / BMU-Vorhaben 0329607F, Stuttgart.

Nußbicker-Lux J., Bauer D., Marx R., Heidemann W., Müller-Steinhagen H. (2009). Monitoring results from German Central Solar Heating Plants with Seasonal Thermal Energy Storage, EFFSTOCK 2009, Stockholm, Sweden.

Bauer D., Marx R., Nußbicker-Lux J., Ochs F., Heidemann W., Müller-Steinhagen H. (2010). German Central Solar Heating Plants with Seasonal Heat Storage, Solar Energy 84.

Bauer D., Heidemann W., Müller-Steinhagen H. (2006). Solar unterstützte Nahwärmeversorgung in Crailsheim, Gleisdorf Solar 2006, 8. internationales Symposium für Solarenergienutzung, Gleisdorf, Österreich.

Nußbicker-Lux J., Drück H. (2012). The BTES project in Crailsheim (Germany) – Monitoring results, Innostock 2012, The 12th International Conference on Energy Storage, Lleida, Spanien.

Marx R., Bauer D., Drück H. (2012). Schüttfähige Dämmstoffe für Langzeit-Wärmespeicher – Erfahrungen und Planungsempfehlungen. 22. OTTI-Symposium thermische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein.

Marx R., Bauer, D., Drück H. (2012). Next Generation of Seasonal Gravel-Water Thermal Energy Store – Design and Operating Results from Eggenstein-Leopoldshafen, Germany. Innostock 2012 – The 12th International Conference on Energy Storage, Lleida, Spanien.

Die wissenschaftlich-technische Begleitung des diesem Bericht zugrunde liegenden Vorhabens wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.