

HA-Projekt-Nr.: 238/10-14

Konsortialführer: FSAVE Solartechnik GmbH

## Abschlussbericht

- Beschreibung der erzielten Projektergebnisse**

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen für das solarthermische Wärme-Contracting erarbeitet und vertraglich umgesetzt. Es wurden für den industriellen Einsatz und für das Wärme-Contracting optimierte Komponenten entwickelt. Die erste Demonstrationsanlage für solarthermisches Contracting an einer Gasdruckregelanlage wurde geplant, installiert und in Betrieb genommen und liefert erfolgreich Wärme an die E.ON Mitte AG.

In Tabelle 1 sind die erreichten Projektergebnisse im Vergleich zu den im Projektantrag formulierten Zielen anhand des Meilensteinplans dargestellt. Fast alle Projektziele konnten erfolgreich abgeschlossen werden, wenn auch teilweise etwas später als ursprünglich geplant.

Die erreichten Ergebnisse zu jeder Phase des Projekts und der Entwicklungsstand zu Projektende sind im Folgenden detailliert beschrieben.

*Tabelle 1: Projektergebnisse anhand des Meilensteinplans*

<b>Meilenstein</b>	<b>SOLL geplanter Zeit- raum</b>	<b>IST Stand zu Projektende</b>	<b>IST Zielerrei- chungsgrad in %</b>
1. Anforderungskatalog f. Komponenten u. eines Vermarktungskonzeptes	März 2011	zum geplanten Zeitpunkt abgeschlossen	100 %
2. Fertigstellung der Planung der solarthermischen Anlagenintegration	April 2011	zum geplanten Zeitpunkt abgeschlossen	100 %
3. Prototyp für speziell vorbereitetes Solar-Kollektorfeld	Februar 2011	wird nicht weitergeführt	60 %
4. Fertigstellung eines Prototyps für Container-Pufferspeicher	Juni 2011	zum geplanten Zeitpunkt abgeschlossen	100 %
5. Prototyp MRÜ-Einheit	September 2011	verspätet im Juli/Aug. 2012 abgeschlossen	100 %
6. Inbetriebnahme der Demonstrationsanlage	Februar 2012	verspätet zum 1. November 2012 in Betrieb genommen	100 %
7. Fertigstellung der Projektdokumentation	Februar 2012	verspätet im Oktober 2012 fertiggestellt	100 %

### **Phase 1: Erfassung technischer und sicherheitsrelevanter Randbedingungen**

#### **Meilenstein 1: Erstellung eines Anforderungskatalogs für Komponenten und eines Vermarktungskonzepts**

In der ersten Phase des Projekts wurde eine Übersicht über übliche Contracting-Varianten geschaffen, die rechtlichen Rahmenbedingungen für das solarthermische Wärme-Contracting beleuchtet und darauf basierend ein Entwurf für die Vertrags- und Preisgestaltung für die Demonstrationsanlage erarbeitet. Darüber hinaus wurde überprüft, welche speziellen Anforderungen von den Komponenten einer solarthermischen Anlage für das Wärmeliefercontracting erfüllt werden müssen.

**Contracting-Varianten**

Um zu entscheiden, welche Art des Contractings für die Bereitstellung solarthermischer Wärme am besten geeignet ist, wurden die Vor- und Nachteile von üblichen Contracting-Varianten recherchiert. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der bestehenden Contracting-Varianten, der verwendeten Begriffe und wesentlichen Unterschiede hinsichtlich Anwendungsbereich, Eigentümer und wirtschaftlichem Risiko.

*Tabelle 1: Übersicht zu den Contracting-Varianten angelehnt an [2] und [3].*

Contracting-Variante	auch verwendete Begriffe	Anwendungsbereich	Eigentümer	Wirtschaftliches Risiko
Energieliefer-Contracting	Anlagencontracting Nutzenergiecontracting Wärmecontracting	neu zu errichtende oder bestehende Anlagen	Contractor	Contractor
Einspar-Contracting	Performance-Contracting Energiespar-Contracting Energie-Einspar-Contracting	ausschließlich bestehende Anlagen mit Einsparpotenzial	Contractor	Contractor
Finanzierungs-Contracting	Anlagenbau- Leasing (SOLID: „Leasing“)	neu zu errichtende oder bestehende Anlagen	Contractor	Contractingnehmer
Technisches Anlagenmanagement	Betriebsführungscontracting Technisches Gebäudemanagement (SOLID: „Kauf“)	neu zu errichtende oder bestehende Anlagen	Contractingnehmer	Contractingnehmer

Für große solarthermische Anlagen eignet sich die Contracting-Variante des Energieliefer-Contractings besonders gut. Hier kann der Contractor den Wärmepreis so bestimmen, dass seine Investitionskosten und geplanten Gewinnmargen über die Laufzeit des Projekts gedeckt werden. Gleichzeitig wird ein solcher Contractingvertrag nur zustande kommen, wenn der Energiepreis für den Contractingnehmer einen wirtschaftlichen Vorteil darstellt.

Auf Grundlage dieser Informationen haben sich E.ON Mitte und FSAVE für die Umsetzung eines Energieliefer-Contractings entschieden. Der Eigentümer der Anlage ist dabei der Contractor, er trägt das volle wirtschaftliche Risiko.

**Vertrags- und Preisgestaltung**

Für Wärmeccontracting-Verträge gibt es keine spezielle Gesetzgebung wie es z.B. das Energiewirtschaftsgesetz für die Strom- und Gasversorgung gibt. Für die Erstellung eines Vertragsentwurfs wurde daher ein externer Anwalt mit einbezogen.

Ein zentrales Element des Vertrags ist die Preisgestaltung. Es wurden die Eigenschaften der verschiedenen Preismodelle recherchiert, die Vor- und Nachteile der verschiedenen Preismodelle sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

In der Contracting-Praxis setzt sich der Preis aus einem Grundpreis und einem Arbeitspreis zusammen:

- **Grundpreis**  
 Dem Grundpreis, teilweise auch Leistungspreis genannt, werden in der Praxis die unabhängig von der abgenommenen Energiemenge anfallenden Kosten zugerechnet. Er ist dementsprechend auch unabhängig von der abgenommenen Energiemenge, z.B. als monatlicher Fixpreis, zu zahlen. Durch den Grundpreis sind die Kapitalkosten für die Investition, die Kosten für Wartung, Reparatur, Versicherung, Messung und ähnliche Kosten die durch die Bereitstellung der Anlage entstehen, abgedeckt. Auch der Unternehmergewinn ist darin einkalkuliert (vgl. [1] S.47).

- **Arbeitspreis**

Der Arbeitspreis soll im Gegensatz zum Grundpreis die verbrauchsabhängigen Kosten decken. Dies sind bei gewöhnlichen Anlagen zur Wärmeerzeugung im Wesentlichen die Brennstoffkosten. Außerdem zählen zu den verbrauchsabhängigen Kosten die Kosten für die Betriebsenergie (z.B. Pumpenstrom) und die vom Anlagenwirkungsgrad abhängigen Verluste.

*Tabelle 2: Vor- und Nachteile verschiedener Preismodelle*

		Reiner Grundpreis	Reiner Arbeitspreis	Grund- und Arbeitspreis
C o n t r a c t o r	V o r t e i l e	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Das wirtschaftliche Risiko geht fast komplett auf den Contractingnehmer über</li> <li>- Der Contractingnehmer ist an einer hohen Abnahme interessiert und optimiert seinen Teil der Anlage auf den Einsatz von möglichst viel solarthermischer Wärme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Contractor profitiert bei entsprechender Preisbindung voll von steigenden Energiepreisen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beide, Contractor und Contractingnehmer haben einen Anreiz ihren Teil der Anlagentechnik zu optimieren</li> <li>- Der Contractor hat eine gewisse Sicherheit und profitiert teilweise von steigenden Energiepreisen</li> </ul>
	N a c h t e i l e	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Contractor kann keine zusätzlichen Gewinne aufgrund steigender Energiepreise erzielen.</li> <li>- Der Contractingnehmer wird eine hohe, vertraglich festgelegte, Mindestwärmemenge und eventuell entsprechende Vertragsstrafen fordern.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Das komplette wirtschaftliche Risiko liegt beim Contractor, eventuell ergeben sich daraus Probleme mit Fremdkapitalgebern</li> <li>- Der Contractingnehmer hat nur einen geringen Anreiz seinen Teil der Anlagentechnik für solarthermische Wärme zu optimieren.</li> <li>- Dies ist ein noch nicht erprobtes Vertragsmodell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Weniger Sicherheit als bei einem reinen Grundpreis</li> </ul>
C o n t r a c t i n g n e h m e r	V o r t e i l e	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei höherer Energieabnahme als der Prognose erfolgt dies „kostenlos“</li> <li>- Der Contractingnehmer sichert sich langfristig gegen steigende Energiepreise ab. Dies ist für Unternehmen eine interessante Alternative zur Absicherung gegen steigende Energiepreise an der Börse. Daraus folgt eine erhöhte Planungssicherheit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- der Contractingnehmer zahlt nur die wirklich abgenommene Energiemenge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beide, Contractor und Contractingnehmer haben einen Anreiz ihren Teil der Anlagentechnik zu optimieren</li> <li>- Die Energiekosten sind teilweise abhängig vom Verbrauch</li> </ul>
	N a c h t e i l e	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Contractor hat keinen Anreiz den Betrieb der solarthermischen Anlage zu optimieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei einer Preisbindung an einen anderen Energieträger profitiert der Contractingnehmer nicht von dem großen Vorteil solarthermischer Anlagen: den konstanten Wärmebereitstellungskosten</li> </ul>	

Die in Tabelle 2 beschriebenen Vor- und Nachteile einzelner Preismodelle zeigen, dass je nach Sichtweise des Betrachters ein anderes Preismodell das Passende ist. Die Entscheidung über die Ausgestaltung des Preismodells sollte daher abhängig vom jeweiligen Projekt und den Interessen von Contractor und Contractingnehmer getroffen werden.

Bedingt durch folgende von E.ON Mitte gegebenen Randbedingungen wurde bei der Demonstrationsanlage ein reines Arbeitspreismodell realisiert:

- E.ON Mitte ist verpflichtet gemäß § 1 des EnWG eine „möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung“ zu gewährleisten.
- Durch die redundante Vorhaltung der Heizungsanlage wird u.a. die Sicherheit der Gasversorgung gewährleistet.
- Durch den redundanten Aufbau findet durch die Einbindung der solarthermischen Anlage keine Reduzierung der Fixkosten der Heizungsanlage statt (Grundpreis für Gasbeschaffung, Wartung und Instandhaltung der Heizungsanlage etc.), lediglich der Gasbezug wird verdrängt. Daher sollte ausschließlich der Arbeitspreis in die Preisregelung einfließen.
- Ein im solaren Wärmepreis enthaltener Grundpreis würde zu höheren Kosten für den Verbraucher führen, da bei Nichtlieferung der solar erzeugten Wärme trotzdem der Grundpreis anfallen würde.

### **Rechtliche Rahmenbedingungen**

Der gesetzliche Rahmen für den Verkauf von Wärme wird durch die AVBFernwärmeV gebildet [4]. Durch die Übernahme der Anlagenrisiken durch den Contractor braucht dieser Sicherheiten vom Kunden, die durch das gesetzliche Umfeld beschränkt werden:

- In Abhängigkeit des festgelegten Wärmepreises müssen häufig lange Vertragsdauern vereinbart werden, um für den Contractor wirtschaftlich attraktive Ergebnisse zu erzielen. Die Vereinbarung einer Vertragsdauer über 10 Jahre widerspricht dem gesetzlichen Regelfall und kann nur als Ausnahmefall vereinbart werden. Es ist daher notwendig, diese als Verbraucherschutz im Fernwärmebereich sinnvolle Höchstgrenze für den Einsatz des solarthermischen Wärmeliefercontractings zu modifizieren und z.B. auf 20 Jahre zu verlängern.
- Um sich selbst zumindest teilweise vor Kunden-Insolvenz zu schützen, müssen dem Contractor vom Kunden in komplexen vertraglichen Konstruktionen Dienstbarkeiten gewährt werden, so dass das Eigentumsrecht des Contractors an der Anlage gewahrt bleibt.

Für eine erfolgreiche Verbreitung des solarthermischen Wärme-Contractings sollten diese Hemmnisse auf Gesetzesebene behoben werden.

### **Anforderungen an die Komponenten**

Für das Wärmeliefercontracting von Vorteil ist der Einsatz von Montagesystemen, die einen modularen Systemaufbau erlauben, schnell montiert und demontiert werden können und sich vielfältigen topographischen Erfordernissen anpassen. Entscheidend ist auch eine zuverlässige Regelung und Überwachung der Anlage zur Abrechnung der Wärme und zur automatisierten Fehlerdetektion. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden daher Prototypen eines in einen Container integrierten Wärmespeichers und einer kombinierten Mess-, Regel- und Überwachungseinheit entwickelt. Der Einsatz dieses modularen und leicht transportierbaren Container-Speichers sowie des Fernüberwachungssystems hat sich im Rahmen des Demoprojekts bereits bewährt.

## **Phase 2: Technisches Konzept und Simulation**

### **Meilenstein 2: Fertigstellung der Planung der solarthermischen Anlagenintegration**

In der zweiten Phase des Projekts wurden die technischen Randbedingungen von Gasdruckregelanlagen hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung zur Einbindung von regenerativen Wärmequellen im Allgemeinen und von solarthermischen Anlagen im Besonderen betrachtet. Um einen geeigneten Standort für die Demonstrationsanlage zu identifizieren, wurden daraufhin Bewertungskriterien entwickelt und mehrere potenzielle Anlagen inspiziert und analysiert.

Schließlich wurden verschiedene Möglichkeiten zur hydraulischen Einbindung einer solarthermischen Anlage in das Heizungssystem einer GDRA erarbeitet und Systemsimulationen zur optimalen Dimensionierung der Komponenten durchgeführt. Die errechneten Erträge dienen als Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Anlage. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigte hierbei eine Finanzierung der Anlage über Privatdarlehen und einem zinsgünstigen Kredit der KfW-Bank im Rahmen des Programms „Erneuerbare Energien“ Programm Nr.271/281.

**Technische Randbedingungen von Gasdruckregelanlagen**

Erdgas wird zum Ferntransport, von der Förderung bis zum Abnehmer, auf 80..100 bar verdichtet, um den Transport wirtschaftlich zu gestalten. Auf dem Weg vom Abnehmer bis zum Endkunden wird der Druck wieder auf einige Millibar Überdruck reduziert. Diese Druckreduzierung bedarf einer GDRA.

Eine Erdgasvorwärmung ist notwendig wegen des Joule-Thomson-Effekts, bei dem es durch die Drosselung des Erdgases zu einer starken Abkühlung kommt. Dies kann zu Vereisungen der Pipelines und anderer Anlagenteile, zu Kondensation der Umgebungsfeuchte oder langkettiger Kohlenwasserstoffe und Korrosion der Anlage führen.

Für die Erdgasvorwärmung werden erdgasbetriebene Kessel verwendet, die ca. 0,2 % der Energie verbrauchen, die durch eine GDRA in Form von Erdgas geleitet wird (bezogen auf den Brennwert des Erdgases  $HS \approx 10 \text{ kWh/Nm}^3$ ). Bei großen Stationen ergibt das einen jährlichen Heizwärmebedarf von 0,5 bis 4 GWh/a. Durch das relativ niedrige Temperaturniveau des Erdgases von nur 20° C bis 40° C vor der Drosselung und dem nahezu konstanten jährlichen Wärmebedarf von großen GDRAs ergeben sich ideale Bedingungen für den Einsatz regenerativer Wärmequellen wie einer solarthermischen Anlage.

**Demonstrationsanlage**

In intensiver Zusammenarbeit von FSAVE und E.ON Mitte wurden Bewertungskriterien, wie bauliche und topografische Voraussetzungen, allgemeine technische und spezielle gasteknische Kriterien, für die Auswahl eines geeigneten Standorts der Demonstrationsanlage erarbeitet. Es wurden mehrere potenzielle Anlagen besichtigt und hinsichtlich dieser Kriterien bewertet. Auf Grundlage dieses Kriterienkatalogs wurde beschlossen, die Demonstrationsanlage am Standort „Großseelheim“ zu bauen.

Abbildung 1 zeigt den monatlich kumulierten Gasmassenstrom der Gasdruckregelanlage „Großseelheim“ für 2008 und 2009. Diese Anlage hat einen jährlichen Wärmebedarf von 1.3 Mio kWh/a. Der höchste Wärmebedarf tritt zwar im Winter auf, reduziert sich im Sommer allerdings nur um 40 % bis 50 %. Das liegt an einem großen Anteil von industriellen Verbrauchern, die übers Jahr einen fast konstanten Gasverbrauch aufweisen.

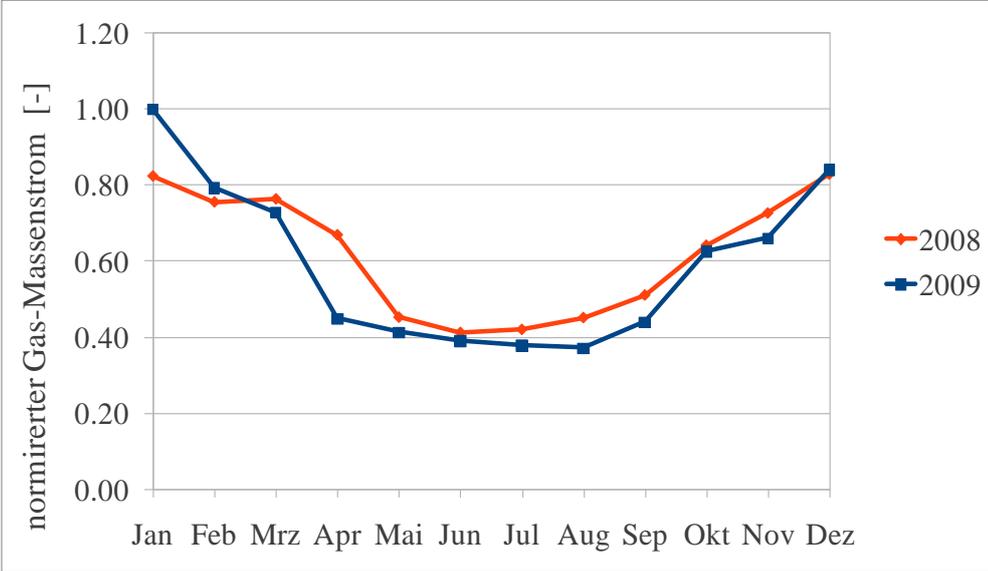


Abbildung 1: Normiertes Profil des Gasmassenstroms einer großen Gasdruckregelanlage für 2008, 2009.

Der hohe Sommerbedarf ist einer der Gründe, warum diese GDRA für die Installation einer Demonstrationsanlage gewählt wurde. Weitere Gründe sind eine ausreichend große zur Verfügung stehende Fläche für die Installation der Kollektoren sowie ihre Topographie und derzeitige Nutzung.

**Hydraulische Einbindung**

Während der Genehmigungsphase der Demonstrationsanlage stellte sich heraus, dass in nur 300 m Entfernung gerade ein Biogas-BHKW und ein Nahwärmenetz für die Ortschaft Großseelheim in Planung und Bau sind. Die Beteiligten einigten sich darauf die solare Wärmeversorgung der GDRA durch Wärme aus dem Nahwärmenetz zu ergänzen und auf diese Weise in Zeiten ohne solare Einstrahlung eine regenerative Wärme-Versorgung der GDRA aufrecht zu erhalten. So können insgesamt nahezu 80 % des Wärmebedarfs der GDRA regenerativ gedeckt werden.

In Abbildung 2 ist die realisierte Einbindung in das bestehende Heizungssystem der GDRA dargestellt. Für die Solaranlage am günstigsten wäre eine Einbindung über einen zusätzlichen Gas/Wasser-Wärmeübertrager, um das Gas direkt solarthermisch vorzuheizen. Am sekundärseitigen Eintritt des Wärmeübertragers hätte man eine sehr niedrige und konstante Temperatur von 7°C anliegen. Allerdings erfordert diese Lösung Arbeiten im explosionsgeschützten Bereich der GDRA. Die hohen Sicherheitsanforderungen für Komponenten und Montage würde zu deutlich erhöhten Kosten führen. Die regenerative Wärme wird daher durch einen zusätzlichen Wärmeübertrager im Heizungs-Rücklauf an die GDRA übergeben (1). Dies erfolgt vor der Rücklaufanhebung (2) des bestehenden Heizungssystems, da dort das geringste Temperaturniveau im Heizkreis der GDRA vorherrscht. Ein Nachteil dieser Variante waren die mit 42°C relativ hohen dort gemessenen Rücklauftemperaturen. Die Wärme aus dem BHKW wird über einen zusätzlichen Wärmeübertrager (3) an das Netz des Solarsystems übergeben. Eine Abnahme von Biogas-Wärme erfolgt nur dann, wenn keine oder nicht ausreichend Wärme durch die Solaranlage zur Verfügung gestellt werden kann.

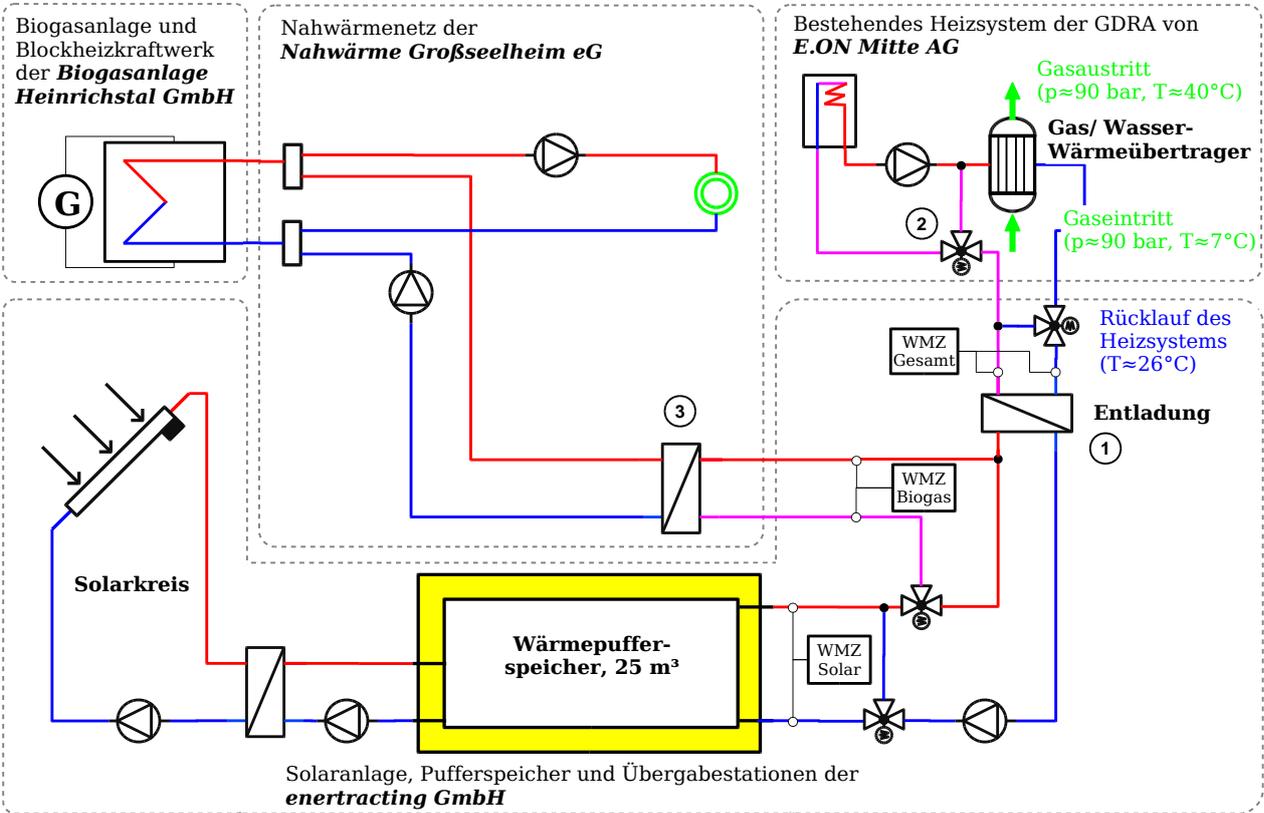


Abbildung 2: Hydraulische Einbindung der Solaranlage und des BHKWs in die GDRA

## Systemsimulationen und Dimensionierung der Komponenten

Für die in Abbildung 2 dargestellte hydraulische Einbindung der Solaranlage in das Heizungssystem der GDRA wurden dynamische Jahressimulationen mit dem Programm TRNSYS durchgeführt. Ziel der Simulationen war es, die optimale Dimensionierung für Kollektorfläche und Speichervolumen für diese Anwendung zu ermitteln. Zusätzlich wurde untersucht, welchen Einfluss die bereits als sensitiv erkannte Rücklauf-temperatur sowie die Wahl des Kollektortyps auf den jährlichen Solarertrag hat.

- **Einfluss der Rücklauf-temperatur auf den Solarertrag:**

Für die Demonstrationsanlage wurden recht konstante Rücklauf-temperaturen von 42°C gemessen. Diese relativ hohen Temperaturen kommen daher, dass der Gas-Wasser-Wärmeübertrager im Gleichstrom betrieben wird, wie in den meisten GDRA's üblich. Die Rücklauf-temperatur im Heizkreis der GDRA hat allerdings einen großen Einfluss auf die Erträge einer solarthermischen Anlage.

Abbildung 3 zeigt den Einfluss der Rücklauf-temperaturen auf die an die GDRA abgegebene solare Wärmemenge für einen Referenzfall mit 25 m<sup>3</sup> Speichervolumen und 500 m<sup>2</sup> Kollektorfläche (Flachkollektor). Durch eine Reduzierung der Rücklauf-temperatur von 42°C auf 26°C steigt hier der spezifische Ertrag erheblich von 420 auf 550 kWh/m<sup>2</sup>a.

Die Rücklauf-temperatur im Heizkreis der GDRA ist bei der hier untersuchten Variante der Einbindung der solarthermischen Wärme einer der entscheidenden Faktoren für die Effizienz und somit auch für die Wirtschaftlichkeit der solarthermischen Anlage.

Bei der GDRA in Großseelheim wurde die Gelegenheit genutzt im Rahmen von Umbauarbeiten an der Heizungsanlage auch den Gas-Wasser-Wärmeübertrager von einem Gleichstrom- zu einem Gegenstrom-wärmeübertrager umzubauen. Dadurch können deutlich niedrigere Rücklauf-temperaturen von um die 26°C erreicht werden.

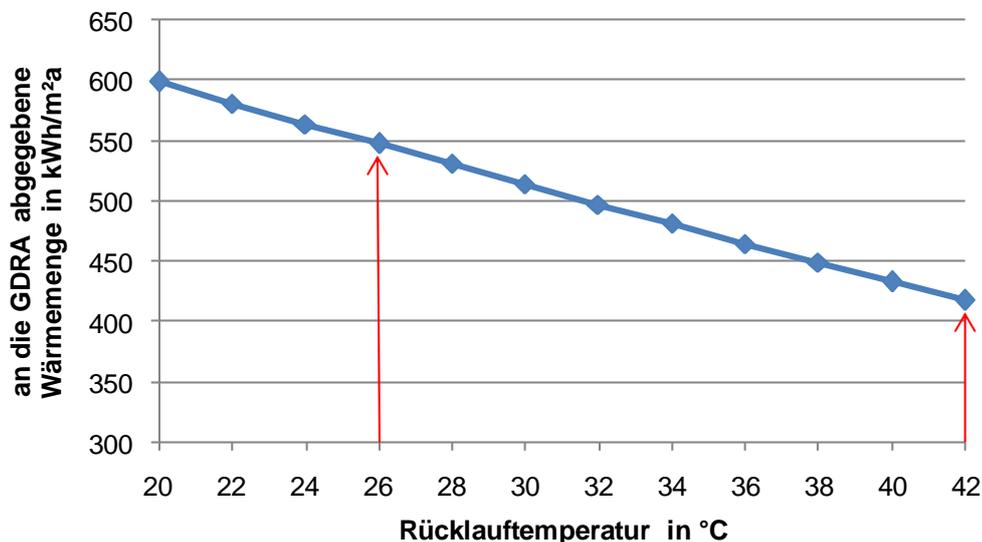


Abbildung 3: Von der Solaranlage an die GDRA abgegebene Wärmemenge in Abhängigkeit von der Rücklauf-temperatur im Heizkreis

- **Einfluss der Kollektorfläche und des Kollektortyps auf den Solarertrag:**

Abbildung 4 zeigt die an die GDRA übertragene Wärmemenge abhängig von der Brutto-Kollektorfläche für verschiedene Kollektortypen. Die Simulationen wurden mit einem spezifischen Speichervolumen von 75 l/m<sup>2</sup> Kollektorfläche und einer Rücklauf-temperatur von 26°C und 42°C durchgeführt.

Der Vergleich zeigt, dass zwar deutliche Unterschiede in den spezifischen Erträgen der Kollektortypen bestehen. Insbesondere der günstige Vakuumröhrenkollektor führt zu erheblich niedrigeren Erträgen pro Fläche. Eine Variation der Kollektorfläche führt jedoch zu keinen wesentlichen Ertragsunterschieden. Da die

spezifischen Kosten pro m<sup>2</sup> bei den vergleichsweise großen Flächen von über 100 m<sup>2</sup> kaum mehr sinken, hat die Dimensionierung der Kollektorfläche also keinen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Dadurch können andere Kriterien wie die maximal zur Verfügung stehende Aufstell-Fläche und die Begrenzung des zur Verfügung stehenden Kapitals bei der Dimensionierung der Anlage in den Vordergrund treten.

Der Vergleich zeigt auch, dass der Einfluss der Rücklauftemperatur beim Flachkollektor größer ist als bei Vakuumröhrenkollektoren. Das liegt an den typischerweise geringeren Wärmeverlusten bei Vakuumröhren. Für GDRA bei denen mit hohen Rücklauftemperaturen zu rechnen ist, sollte daher der Einsatz von Vakuumröhrenkollektoren überlegt werden.

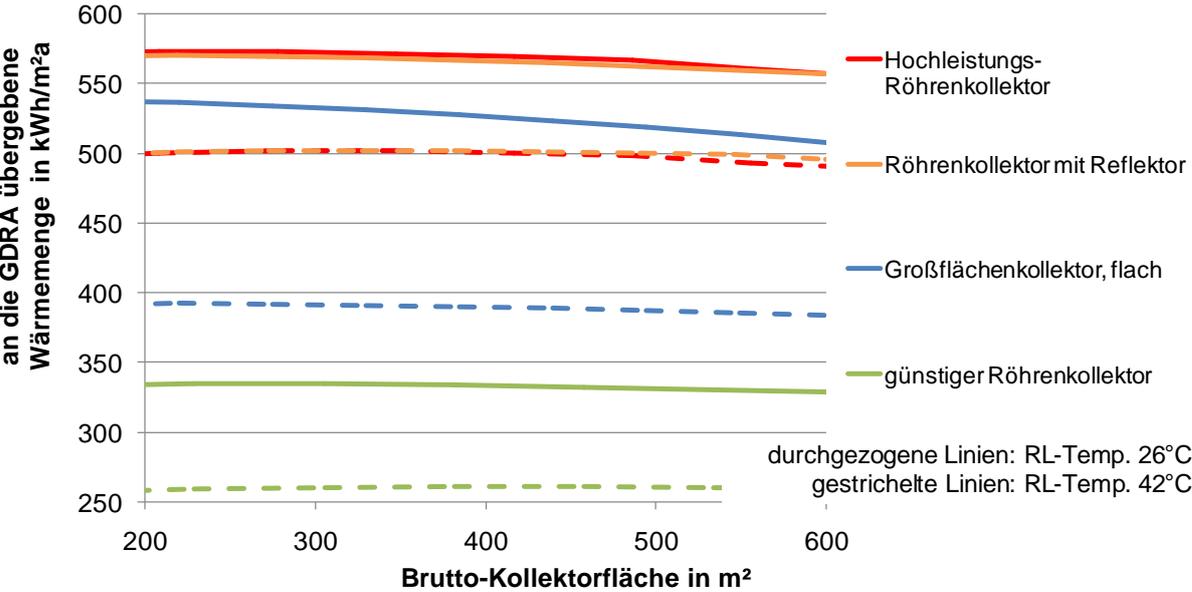


Abbildung 4: Jährlich an die GDRA abgegebene solare Wärmemenge abhängig von der Kollektorfläche für verschiedene Kollektortypen und Rücklauftemperaturen.

Aufgrund der nach dem Umbau erwarteten vergleichsweise niedrigen Rücklauftemperaturen wurde die Demonstrationsanlage mit großflächigen Flachkollektoren ausgestattet. Um das wirtschaftliche Risiko für den Contractor nicht unnötig hoch anzusetzen, wurde entschieden mit 355 m<sup>2</sup> eine etwas kleinere Kollektorfläche als ursprünglich geplant zu installieren. Ein 25 m<sup>3</sup> fassender Container-Speicher dient als Tag-Nacht-Speicher. Mit Hilfe der dynamischen Jahressimulationen in TRNSYS wurde ein erwarteter jährlicher Solarertrag von 190.000 kWh ermittelt. Das angeschlossene BHKW wird ca. 800.000 kWh/a beitragen (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Erwartete Verbräuche und Erträge sowie Kennzahlen der Demonstrationsanlage

Wärmebedarf der GDRA Großseelheim	1.300.000 kWh/a
erwartete Wärmebereitstellung durch Solaranlage	190.000 kWh/a
erwartete Wärmebereitstellung durch BHKW	800.000 kWh/a
Geplante Kollektorfläche (Brutto)	355 m <sup>2</sup>
Pufferspeicher	25 m <sup>3</sup>

**Finanzierung**

Die Finanzierung der Demonstrationsanlage erfolgte zu einem Großteil durch ein Darlehen der Kasseler Sparkasse im Rahmen des KfW-Programms "Erneuerbare Energien – Premium", Programmnummer 271, 281 für kleine Unternehmen (KU). Neben einem zinsgünstigen Kredit bietet dieses Programm einen Tilgungszuschuss von 30% der Investitionssumme.

Knapp 30 % der Investitionssumme (45.920 €) wurden durch private Darlehensgeber bereitgestellt (siehe Tabelle 4).

*Tabelle 4: Investitionssumme und Finanzierung der Solaranlage*

<b>Investition</b>	
Solarthermische Anlage, Schlüsselfertig: (inkl. Kollektoren, Wärmetauscher, Pumpen, Verrohrung, Isolierung, Aufstände- rung, Fundamente, Montage, Bodengutachten)	350 EUR/m <sup>2</sup>
Anlagenpreis bei 320 m <sup>2</sup> Kollektorfeld	112.000 EUR
Pufferspeicher (inkl. Montage und Inbetriebnahme)	600 EUR/m <sup>3</sup>
Speicherpreis bei 25 m <sup>3</sup> Speichervolumen	15.000 EUR
Wärmeübergabestation an die GDRA	20 EUR/kW
Stationskosten bei 500 kW Übertragungsleistung	10.000 EUR
Weitere Kosten - Ausgleichsmaßnahme, Einzäunung, Planung - Risikopuffer 10%	15.000 EUR 12.000 EUR
<b>Gesamt Investition Finanzierungsbedarf</b>	<b>164.000 EUR</b>
<b>Finanzierung</b>	
Tilgungszuschuss	30,00% 49.200 EUR
Darlehen Bank	118.080 EUR
Darlehenszinssatz Bank	2,30%
Darlehen Privat	45.920 EUR
Darlehenszinssatz Privat	4,00%
Laufzeit Darlehen	10 Jahre

### **Phase 3: Solar-Kollektorfeld**

#### **Meilenstein 3: Prototyp für speziell vorbereitetes Solar-Kollektorfeld**

Zu Beginn des Projekts wurde davon ausgegangen, dass für die spezielle Anwendung in GDRA eigens angepasste Kollektorfelder bzw. Kollektoren entwickelt werden müssen. Insbesondere in Hinblick auf die typischerweise hohen Rücklauftemperaturen bei GDRA wurde überlegt, einen eigenen großflächigen Vakuumröhrenkollektoren mit HeatPipe zu entwickeln. Argumente dafür waren u.a. die einfache Montage und die besondere Eignung von Vakuumröhrenkollektoren für den Einsatz bei hohen Rücklauftemperaturen. Aus verschiedenen Gründen wurde letztendlich beschlossen, die Kollektorfläche für die Demonstrationsanlage mit Flachkollektoren zu realisieren, hier gibt es mehrere Anbieter für großflächige Kollektoren auf dem Markt. Zum einen sind durch den erwähnten Umbau der Heizungsanlage der GDRA geringere Rücklauf-temperaturen im Heizkreis zu erwarten, was den Einsatz von Vakuumröhrenkollektoren nicht mehr erforderlich macht. Zum anderen hat FSAVE entschieden sich zunächst auf die Realisierung der Demonstrationanlage zu konzentrieren und das Risiko für den Contractor durch den Einsatz von bewährter Kollektor-technik zu verringern.

Trotzdem hat FSAVE weiterhin großes Interesse an der Entwicklung eines großflächigen Vakuumröhren- kollektors mit HeatPipe. Schließlich kann bei anderen, zukünftigen Anwendungen nicht immer mit niedrigen Rücklauftemperaturen gerechnet werden. Die Entwicklung des Kollektors im Rahmen des Projekts weiter zu verfolgen, wäre jedoch mit zu hohem finanziellen und personellem Aufwand verbunden gewesen. Um den finanziellen Aufwand und das Risiko für eine solche Entwicklung abbilden zu können, ist in Zusammen- arbeit mit der Universität Kassel, dem Institut dezentrale Energietechnologien Kassel und der Enertrac- ting GmbH daher die Beantragung einer Förderung im Rahmen der „Energietechnologieoffensive Hessen“ geplant.

## Phase 4: Pufferspeicher

### Meilenstein 4: Fertigstellung eines Prototyps für Container-Pufferspeicher

In Phase 4 wurde ein Konzept für einen in einen Container integrierten Wärmespeicher entwickelt. Es wurde ein 20-Fuß-Seecontainer zu einem drucklosen Warmwasser-Pufferspeicher umgebaut. Dafür wurden die Wände statisch verstärkt, eine Dämmschicht aus Sandwichplatten eingezogen, sowie eine Verkleidung aus Polypropylen-Platten eingefügt (siehe Abbildung 5). Dieser Container-Pufferspeicher hat, je nach Dämmstärke, ein Speichervolumen von maximal 25 m<sup>3</sup>.

Aufgrund des sehr hohen Vorfertigungsgrades und der wetterbeständigen Hülle können solche Speicher einfach transportiert werden sowie schnell und verhältnismäßig unabhängig von den Geländebedingungen installiert werden.

Zwei Prototypen wurden im April und Mai 2011 auf dem Gelände von FSAVE errichtet. Eine erste Befüllung und Aufheizung der Speicher verlief erfolgreich und die technische Machbarkeit konnte belegt werden.



*Abbildung 5: Verladung eines Container-Speichers (links), Zusammenschaltung von zwei Container-Speichern (mitte), Frontansicht mit Revisionsöffnung (rechts)*

## Phase 5: Mess- Regel-Überwachungseinheit

### Meilenstein 5: Prototyp MRÜ-Einheit

Die letzten Tests mit den Prototypen der Mess-Regel-Überwachungseinheit zeigten Probleme bei der Datenübertragung. Leider konnte der verantwortliche Projektpartner BS Messtechnik diese Probleme nicht im geforderten Zeitraum beheben. Daher hat die FSAVE Solartechnik GmbH die Fertigstellung der MRÜ-Einheit und die Implementierung weiterer Funktionen, wie der Möglichkeit der Rückparametrisierung und der Fehlerdetektion, übernommen. Entsprechend wurden mit dem letzten Mittelabruf vom 20.06.2012 keine Mittel für BS Messtechnik mehr abgerufen. Stattdessen wurden diese Mittel von der FSAVE Solartechnik GmbH für die Entwicklung der MRÜ-Einheit verausgabt.

Mittlerweile steht ein marktreifes Produkt zur Verfügung, das bereits mehrmals, u.a. in der Demonstrationsanlage, verbaut wurde.

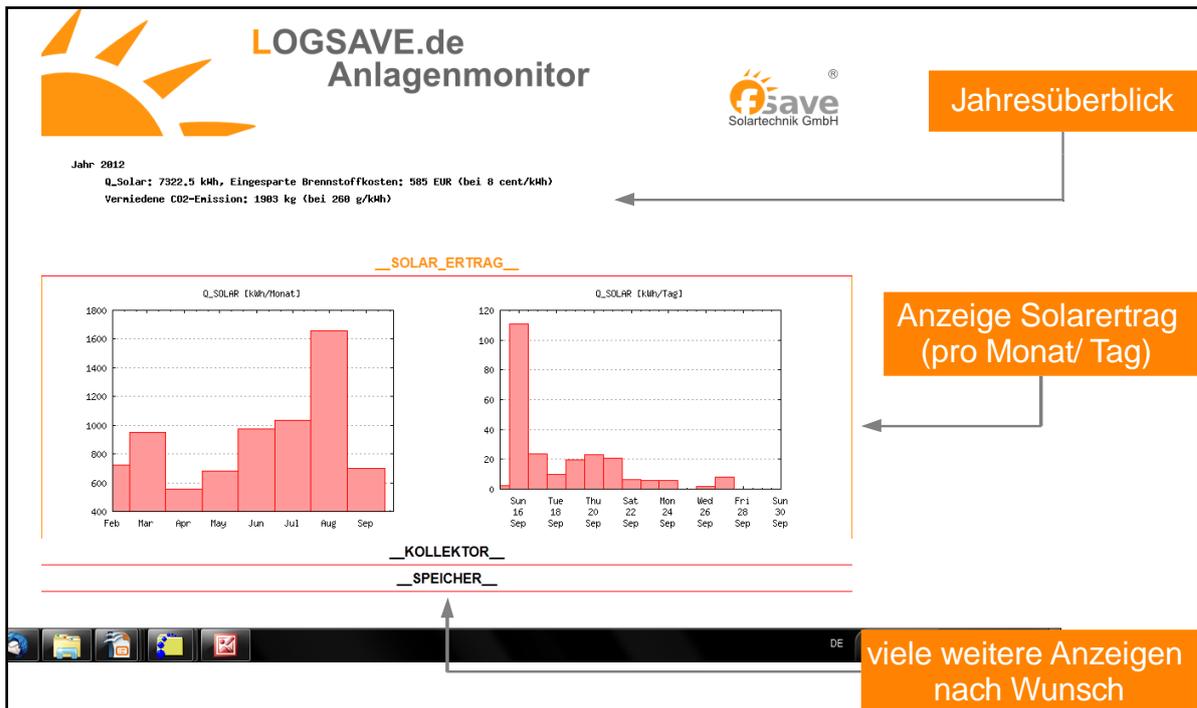
Die neu entwickelte Mess-, Regel- und Überwachungseinheit (siehe Abbildung 6) umfasst einen freiprogrammierbaren Universalregler, ein Datensendemodul und einen integrierten PC. Damit ist der Kunde in der Lage, seine komplette Heizungsanlage zu überwachen und zu regeln. Es können Temperaturen, Volumenströme, Drücke und Wärmemengen in unterschiedlichen Kreisen gemessen und aufgezeichnet werden und auf einem Webportal für jeden Betriebszeitpunkt angezeigt werden (siehe Tabelle 5 und Abbildung 7). Zusätzlich können über Fernzugriff Einstellungen der Regelung überprüft und bei Bedarf angepasst werden.

*Tabelle 5: Funktionen der MRÜ-Einheit*

- Moderne, frei anpassbare Anlagensteuerung
- Messung der Anlage (Wärmemenge, Temperatur, Volumenstrom, Druck)
- Lokale Sicherheits-Speicherung der Daten auf dem Gerät
- Übertragung der Daten auf einen Server via GPRS-/ Ethernet-Datenversand
- Webportal mit Zugang zur Ansicht der Anlage
- Fernwartung der Anlage.



*Abbildung 6: Prototyp der Mess-, Regel- und Überwachungs-Einheit*



*Abbildung 7: Das Webportal im Standardmodus*

## Phase 6: Demonstrationsanlage

### Meilenstein 6: Inbetriebnahme der Demonstrationsanlage

In der letzten Phase des Projekts wurde eine Demonstrationsanlage installiert und in Betrieb genommen, die beispielhaft verdeutlichen soll, welches Potential das Wärmeliefercontracting als Marktbeschleuniger haben kann.

Verschiedene Gründe haben dazu geführt, dass sich die Installation und Inbetriebnahme der Demonstrationsanlage um 8 Monate verzögert hat.

Wesentliche Gründe, die zu Verzögerungen geführt haben:

- Verzögerung bei Vertrags- und Preisverhandlungen, Prüfung zur Einbindung der nahegelegenen Biogasanlage
- Lange Wartezeit auf Genehmigung des Kreditantrags bei der KfW-Bank
- Verzögerung bei der Erteilung der Baugenehmigung: Für die Projektbeteiligten etwas unerwartet war die Notwendigkeit der Erstellung eines „Eingriffs- und Ausgleichsplans“ sowie einer Prognose für das naheliegende Vogelschutzgebiet.

Die Erfahrungen mit diesen Hindernissen sind größtenteils direkt übertragbar auf folgende Projekte, so dass zukünftig solche Verzögerungen im Zeitplan vermieden werden können.

Die Demonstrationsanlage liefert nun seit dem 1. November 2012 regenerative Wärme für die Gasdruckregelanlage Großseelheim der E.ON Mitte AG. Die Inbetriebnahme der Anlage hat hervorragend funktioniert. E.ON Mitte konnte keine Betriebsauffälligkeiten durch den Betrieb der regenerativen Heizanlage feststellen – ausgenommen, dass von nun an die Gaskessel wesentlich seltener im Betrieb sind.



Installation der Kollektoren



Verbindung des Kollektorfeldes mit dem Speicher



Fertig installiertes Kollektorfeld

*Abbildungen 8: Installation der Demonstrationsanlage in Großseelheim im Sommer 2012*

## Literaturverzeichnis

- [1] Hack, Martin (2003): Energie-Contracting. Recht und Praxis. München: Beck (Energierecht).
- [2] Meixner, Horst (2002): Contracting - Modelle, grundlegende Konzepte und ihre ökonomische Eignung im Überblick. Online verfügbar unter [http://www.hessenenergie.de/Downloads/Publikationen/5\\_Contracting-etc/AusschrContractingPraxistipps.pdf](http://www.hessenenergie.de/Downloads/Publikationen/5_Contracting-etc/AusschrContractingPraxistipps.pdf), zuletzt geprüft am 06.05.2010.
- [3] DIN, 8930-5, 2003: Terminologie Teil 5: Contracting.
- [4] Deutscher Bundestag (2004): Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme. AVBFernwärmeV. Online verfügbar unter [http://bundesrecht.juris.de/avbfernw\\_rmev/](http://bundesrecht.juris.de/avbfernw_rmev/), zuletzt geprüft am 14.03.2012.

- **Bewertung der Marktfähigkeit, Erläuterung der Markteinführung und wirtschaftlichen Effekte**

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde das solare Wärmeliefercontracting als Schlüsselinstrument für den vermehrten Einsatz von solaren Prozesswärmeanlagen zu einem marktreifen Produkt entwickelt. Solarthermisches Wärmeliefercontracting kann die Markthürden für solarthermische Großanlagen überwinden:

1. Das Betriebsrisiko liegt in der Hand des Anlagenbetreibers und nicht des Wärmeverbrauchers. Auf diese Weise hat der Contractor ein notwendiges Interesse am effizienten Betrieb seiner Anlage, da mit jeder erzeugten und verkauften Kilowattstunde Wärme Umsatz und Gewinn steigen.
2. Die Investitionskosten werden ebenfalls durch den Contractor übernommen. Er trägt also das volle Risiko der Anlagentechnik, das er jedoch aufgrund seiner Fachkenntnis als beherrschbar ansehen kann. Risiken aus Fremdeinwirken, die nicht durch den Contractor beeinflussbar sind, können durch entsprechende Versicherungen vermieden oder zumindest vermindert werden.

Für das in diesem Projekt entwickelte solarthermische Contracting-Modell besteht daher nicht nur bei der hier speziellen Anwendung in Gasdruckregelanlagen ein großes Marktpotenzial, sondern im gesamten Bereich der Prozesswärme.

Für die Vermarktung des solarthermischen Wärmecontractings wurde im September 2011 die Enertracting GmbH gegründet, in der das Know-How zum Thema Contracting und der Planung von solaren Großanlagen gebündelt ist. Die Enertracting GmbH bildet die Schnittstelle zwischen Wärmeverbrauchern und interessierten Investoren und kümmert sich außerdem um Planung, Vertragsgestaltung, Finanzierung und den einwandfreien Betrieb der Anlagen.

Für die Umsetzung einer weiteren Anlage ist die Enertracting bereits in die konkrete Planung mit der E.ON Mitte AG eingestiegen. Außerdem wird überlegt wie sich der Wärmeverbrauch auch der kleineren GDRAs regenerativ abdecken lässt. Darüber hinaus gibt es konkrete Umsetzungsplanungen für zwei Anlagen in Mehrfamilienhäusern einer Wohnungsbaugesellschaft, die bis Mitte 2013 in Betrieb gehen sollen. Hierbei sind jedoch noch eine Reihe von juristischen Schwierigkeiten zu überwinden.

Auch die für den industriellen Einsatz und das Wärmecontracting optimierten Komponenten von FSAVE werden vermarktet:

Der neuentwickelte Container-Pufferspeicher wurde bereits erfolgreich in den Markt eingeführt. Insgesamt wurden in 2012 bereits 9 Container-Pufferspeicher bestellt und teilweise auch schon ausgeliefert. Auch die Mess-, Regel-, und Überwachungseinheit ist bereits in mehreren Anlagen im Einsatz. Ziel ist es, jede von FSAVE installierte Solaranlage mit einer solchen MRÜ-Einheit auszustatten. Angesichts des deutschlandweiten Vertriebs von FSAVE-Solaranlagen ist sie ein wichtiges Instrument zur Fehlerüberwachung und kann die Anzahl von kosten- und personalintensiven Vor-Ort-Terminen reduzieren und hilft die Qualität der Anlagen langfristig zu sichern und zu verbessern.

- **Nachhaltige Effekte für die Wissenschaft**

Durch dieses Projekt konnte das Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik der Universität Kassel seine wissenschaftliche Kompetenz im Bereich Integration solarer Wärme in industrielle Prozesse ausbauen, indem eine neue industrielle Anwendung für den Einsatz von solarthermischen Anlagen erstmals untersucht und erfolgreich erschlossen wurde. Das Fachgebiet wird diese Anwendung weiterhin intensiv betrachten, z.B. Prüfung der Übertragbarkeit der erzielten Erkenntnisse auf andere GDRAs oder Initiierung und Begleitung weiterer Demoanlagen.

Die entwickelte MRÜ-Einheit wird bereits vom Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik in einigen Forschungsvorhaben eingesetzt und bietet enorme Vorteile zur Verstärkung eines weiteren wissenschaftlichen Schwerpunkts des Fachgebiets „Langzeitüberwachung sowie Fehlerdetektion und –diagnose von solarthermischen Anlagen“.

- **Zusammenarbeit im Konsortium**

Im Rahmen des Projektes konnte die Kooperation zwischen Wirtschaftsunternehmen und der Universität Kassel vertieft oder gar zum ersten Mal aufgebaut werden. Aufgrund der sehr positiven Erfahrungen sind die Partner bestrebt diese Zusammenarbeit nachhaltig auszubauen. Zwischen dem Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik der Universität Kassel, FSAVE und EON Mitte besteht inzwischen ein regelmäßiger Austausch zu Kooperationsthemen, einige Projekte sind bereits in Planung.

Die Zusammenarbeit mit dem Projektpartner BS Messtechnik lief aus Sicht des Konsortialführers zuletzt nicht zufriedenstellend. Die Fertigstellung der MRÜ-Einheit wurde daher von der FSAVE Solartechnik GmbH selbst übernommen.

- **Öffentlichkeitsarbeit**

Wissenschaftliche Fachvorträge:

Datum, Ort	Titel Veranstaltung
09.05. – 11.05.2012	OTTI Symposium Thermische Solarenergie
28.08. – 02.09.2011	ISES Solar World Congress

Sonstige Vorträge:

Datum, Ort	Titel Veranstaltung

Wissenschaftliche Publikationen (Fachjournal o.ä.):\*

Datum	Autor	Titel Ausgabepublikation

Sonstige Veröffentlichung (Publikums-, Tagespresse, Online-Artikel o.ä.):\*

Datum	Autor	Titel Ausgabepublikation	Titel Artikel
24.05.2012	Guido Bröer	Solarthemen	Solarcontracting im Gasnetz
06.03.2012		Pressemitteilung E.ON Mitte AG	Erstes Projekt zur Nutzung von Solarwärme bei der Erdgasvorwärmung

*\*Wenn möglich bitte Belegkopie einreichen.*

Ausstellungen auf Messen und sonstigen Veranstaltungen (Netzwerktreffen / Besuchsprogramme):

Messe (Datum, Ort)	Aussteller	Art der Darstellung (Poster, Prototyp, Demonstrator o.ä.)	
Hessisches Transferforum, 05.12.2011 in Frankfurt		FSAVE und BS Messtechnik	Poster, Prototyp, Flyer
Contracting-Forum auf der DENEX, 17.11.2011 in Wiesbaden			Teilnahme
ISES Solar World Congress, 28.08. – 02.09.2011 in Kassel		FSAVE	Messestand, Prototyp, Flyer

• **Fazit und Ausblick**

Das Konsortium ist insgesamt sehr zufrieden mit den im Rahmen des Projekts erreichten Ergebnissen. Es konnte das solarthermische Wärmecontracting als Schlüsselinstrument und Wegbereiter für den Einsatz von großen Solaranlagen in industriellen Anwendungen zu einem marktreifen Produkt entwickelt werden. Die neugegründete Enertracting GmbH bietet dabei die perfekte Plattform für die weitere Vermarktung des solarthermischen Wärmecontractings. Die vertragliche und technische Ausgestaltung konnte anhand einer realisierten Demonstrationsanlage beispielhaft umgesetzt werden. Die so erarbeiteten Unterlagen sind eine gute Grundlage für die Planung zukünftiger Projekte und werden den Planungsaufwand deutlich reduzieren. Die Enertracting plant die Umsetzung von vier weiteren Anlagen in 2013.

Darüber hinaus wurden mit dem Container-Speicher und der Mess-, Regel- und Überwachungseinheit für den Einsatz in industriellen Prozessen und das Wärmecontracting speziell angepasste Komponenten zur Marktreife geführt. Diese Komponenten werden von FSAVE angeboten und erfolgreich verkauft.

Um die Entwicklung eines großflächigen Vakuumröhrenkollektors mit HeatPipe durchführen zu können, wird eine Förderung im Rahmen der „Energietechnologieoffensive Hessen“ beantragt (HA-Eingangs-Nr.: 163/12, Titel der Projektskizze: Wirtschaftlichkeit mit System: Entwicklung innovativer, kostengünstiger Komponenten und Systeme zur Erschließung neuer Marktsegmente für Solarthermie). Federführend für die Entwicklung des Kollektors wird hier das Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik, Universität Kassel sein. Weitere Partner sind die Enertracting GmbH und das Institut dezentrale Energietechnologien Kassel.

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Stempel, rechtsgültige Unterschrift