



## Ergebnisse der Projektstudie Solarthermie im Feld, Teil 1

# Solare Fehleinschätzung

Die Ergebnisse einer Studie zur Bewertung von Heizanlagen, bei denen der Heizkessel mit einer Solarthermieanlage kombiniert wird, lassen den Schluss zu, dass das Potenzial von Solarthermieanlagen häufig entweder überschätzt oder falsch eingeschätzt wird. Das Fazit aus insgesamt 14 untersuchten Feldanlagen zeigt, dass vorherige Simulationen solare Erträge in Aussicht stellen, die aus verschiedenen Gründen erheblich von den gemessenen Werten abweichen. Der zweiteilige Fachbeitrag erläutert das staatlich geförderte Projekt und liefert wichtige, aber auch erstaunliche Erkenntnisse.

„Integration von Heizkesseln in Wärmeverbundsysteme mit großen Solaranlagen“ lautet der Titel einer von Mitte 2009 bis Mitte 2012 durch das Bundesumweltministerium (BMU) geförderten Studie. Hauptziel des Projektes war die Bewertung eines Heizanlagen-systems aus Solarthermieanlage plus Heizkessel. Bearbeitet wurden zwei Teilschwerpunkte: zum einen die Abbildung des Gesamtsystems durch Simulation, zum anderen die Auswertung von Verbrauchsdaten aus Feldanlagen. Der Verlauf und die Ergebnisse der Studie sollen in einem zweiteiligen Fachbeitrag vorgestellt werden. Der nachfolgende erste Teil gibt einen Überblick über die Projektergebnisse, erläutert die Energiebilanzen der Feldanlagen und beziffert die durch Solarthermie erreichte Einsparung.

### Vier Teilprojekte, vier Projektpartner

Das Projekt unterteilte sich in vier große Aufgabengebiete, die von vier verschiedenen Projektpartnern federführend geleitet und durchgeführt wurden (siehe Infokasten Projektpartner): Prüfstandsuntersuchungen an Kesseln, Erstellung eines TRNSYS-Kesselmodells für Simulationsuntersuchungen, Simulationsberechnungen ausgewählter Solar-Kessel-Varianten und Messungen zur Endenergieeinsparung in Feldanlagen. Für alle Teilprojekte gibt es separate Abschlussberichte [1].

Wesentlicher Bestandteil des Forschungsprojektes war die Erstellung eines TRNSYS-Kesselmodells. Die Eingabegrößen des Modells sind so festgelegt, dass jeder Anwender diese anhand von Herstellerdaten und möglichst wenigen weiteren auf dem Prüfstand oder am Einbauort des Kessels ermittelten Parametern be-

stimmen kann. Das Modell ist in der Lage, den dynamischen Verlauf der Kesselausgangsgrößen so wiederzugeben, dass eine Bewertung des Endenergieaufwandes, auch bei instationärem Betrieb, vor allem bei hohen Taktraten der Brennerleistungsstufen möglich ist.

Zur Bestimmung der zur Simulation notwendigen Parameter sowie zur Überprüfung der Herstellerangaben (Nennwärmeleistung, Wirkungsgrad, Betriebsbereitschaftsverlust) wurde im Rahmen der Projektbearbeitung ein Kesselprüfstand aufgebaut. Die am Prüfstand ermittelten energetischen Kennwerte sowie das dynamische Verhalten (Aufheiz-, Auskühl- und Taktverhalten) wurden zur Validierung des Kesselsimulationsmodells verwendet.

Das Zusammenspiel von Solaranlage und Kessel wurden anschließend mit TRNSYS-Simulationen unter Verwendung des neuen Kesselmodells untersucht. Es wurde hierbei ermittelt, welche Endenergieeinsparung eine Solaranlage theoretisch bringt und in welcher Art und Weise Solaranlagen bei verschiedenen Randbedingungen den Betrieb und Wirkungsgrad von Kesseln beeinflussen. Die Ergebnisse der genannten drei Projektschwerpunkte werden im nachfolgenden Fachartikel nicht näher untersucht. Infos hierzu sind den entsprechenden Teilprojektdokumenten zu entnehmen.

Zur Beurteilung des Betriebsverhaltens von Kesseln und zur Bestimmung der Endenergieeinsparung der Solarthermie kann neben Simulationsrechnungen auf Felddatenauswertungen zurückgegriffen werden. Aus den Messwerten lassen sich Rückschlüsse ziehen, wie groß mit der jeweils vorgefundenen Anlagenhydrau-

lik und der vorgefundenen Regelung die Einsparung von Endenergie gegenüber einer Referenzanlage ohne Solaranlage ist. Nachfolgende Ausführungen befassen sich mit diesem vierten Projektschwerpunkt.

### Feldanlagen und Steckbriefe

Im Lauf des Projektes wurden 14 Feldanlagen in unterschiedlicher Detailtiefe untersucht. Die Auswertung verfolgte mehrere Ziele:

- Für alle Anlagen sollte ein Jahresenergieflussbild erstellt werden, aus dem der Beitrag der Solarenergie an der Deckung aller benötigten Energiemengen hervorgeht sowie die fossile Endenergie, der Kesselnutzungsgrad, die Wärmeverluste der Erzeuger und Speicher sowie die Nutzwärmemengen der angeschlossenen Abnehmer.
- Für die meisten Anlagen sollte aus den Messdaten kürzerer Messintervalle (Monate, Wochen, Tage) ermittelt werden, wie die Verbrauchsmesswerte von der Außentemperatur als Energieanalyse aus dem Verbrauch (E-A-V) abhängen.
- Für alle Anlagen sollte – mit einer geringen Unsicherheit – abgeschätzt werden, welche Endenergieeinsparung die Solaranlage gegenüber einer konventionellen Anlage bringt.
- Für alle Anlagen sollte eine Aufstellung darlegen, welche Schwachstellen das gewählte Solar-Kessel-Speicher-Regelungskonzept hat und wie diese eventuell zu beheben wären.
- Für die meisten Anlagen wollte man das gewählte Versorgungskonzept – unabhängig von der Solarthermie – einschätzen, das heißt die Art der Ausstattung mit Wärmenetzen (Nahwärme, Heizungsnetz, Trinkwarmwassernetz) und Speichern.

Basis der Untersuchungen sind in der Regel handelsübliche Gas- und Wärmemengenzähler, also einfache Messmethoden. Die Zählerleistungen wurden dabei so platziert, dass anhand der Messwerte Rückschlüsse auf die eingesetzten Energieträger, den Solarertrag (inklusive oder exklusive Speicher), die Nutzwärmemengen der angeschlossenen Verbraucher (teilweise getrennt nach Heizung und Warmwasser), den Nutzungsgrad des Erzeugers und seine Verluste möglich sind. In fast allen Fällen ergaben sich die Verlustkennwerte von Speichern und/oder Leitungsnetzen durch Differenzbildung der Messwerte zweier Zähler.

Zusätzlich stellten die Projektpartner drei ausgewählte Anlagen mit größerer Messtechnik aus und erhöhten dort die Rate der Datenerfassung, um die Solar-Kessel-Simulation zu validieren. Die Ergebnisse der Felduntersuchungen mündeten in einer Einzelanalyse jeder Anlage, dokumentiert in einem Bericht und Steckbrief (Abb. 1). Außerdem erfolgte eine vergleichende Betrachtung aller Anlagen beziehungsweise ähnlicher Anlagen.

### Aufschlüsselung der Energiebilanzen

Für jede Feldanlage basiert das oben erwähnte Energieflussbild auf einer möglichst vollständigen

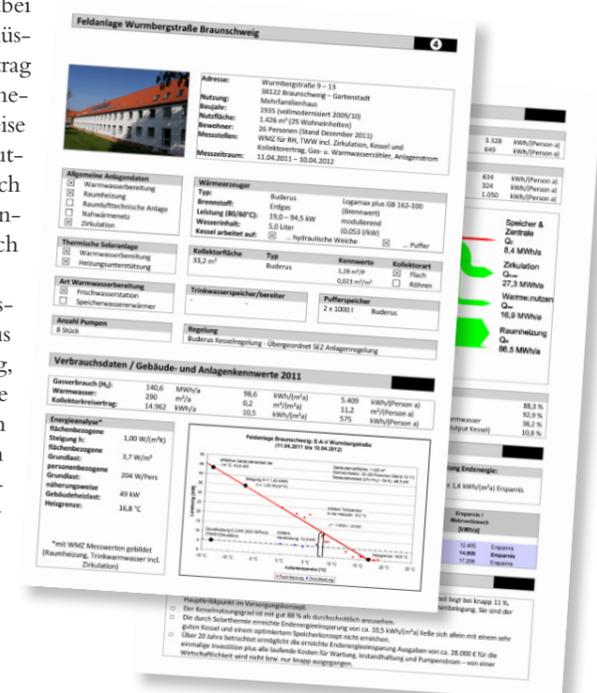
Jahresmessung (in der Regel für das Jahr 2011). Abb. 2 zeigt die Übersichten für elf der 14 Feldanlagen. Aus der Zusammenfassung wurden eine Anlage mit Holz-kessel, eine mit Fernwärmeanschluss sowie ein Einfamilienhaus ausgeschlossen. Die Grafik unterscheidet in Gebäudeanlagen und Netzanlagen mit Nahwärmeleitung, deren Mittelwerte jeweils ergänzt sind.

Die gesamte Energiezufuhr (Gas und Solar) der acht Gebäudeanlagen beträgt 114 kWh/(m<sup>2</sup>a), die drei Netzanlagen kommen auf 101 kWh/(m<sup>2</sup>a). Beide Werte liegen unterhalb des Bundesdurchschnitts, da die Stichprobe überdurchschnittlich viele sanierte Gebäude und Neubauten enthält.

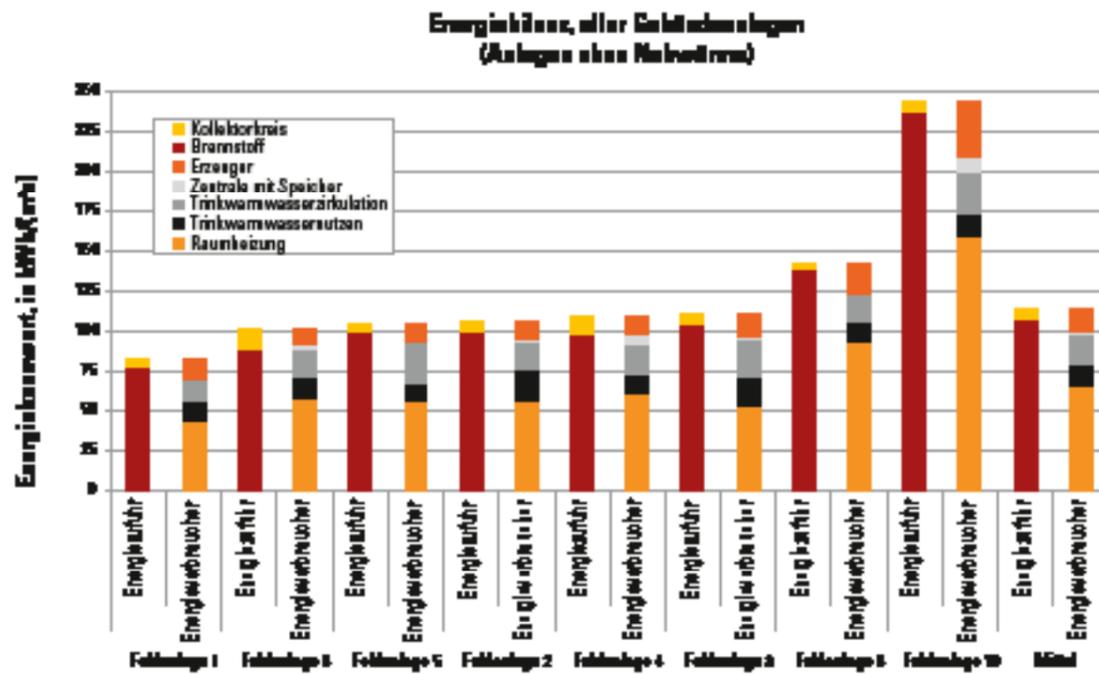
Der Anteil der Solarthermie an den Energiezuflüssen der Gebäudeanlagen liegt bei rund 5,5 %. Es ergibt sich ein Kollektorkreisenertrag von im Mittel 6 bis 7 kWh/(m<sup>2</sup>a). Bei den Netzanlagen liegt der solare Anteil der Endenergie bei ungefähr 15 bis 18 % beziehungsweise bei 16 bis 18 kWh/(m<sup>2</sup>a). Dies ist – vor allem verglichen mit den Gebäudeanlagen – als hoch einzustufen und auf eine grundsätzlich andere Konzeptgestaltung mit deutlich größerer personenbezogener Kollektorfläche zurückzuführen.

Der Nutzen für die Warmwasserbereitung liegt leicht unter typischen Vergleichswerten, gemessen mit etwa 14 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der Wärmeverlust für Zirkulation in den Gebäuden ist dagegen im Mittel – und auch in fast allen Einzelanlagen – größer als der Nutzen für das gezapfte Warmwasser. Er liegt bei rund 19 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der mittlere Verteilungsnutzungsgrad beträgt 42 %. Dies ist ein erschreckend geringer Wert für Mehrfamilienhäuser, der die Effizienz einer Solarthermie unmittelbar beeinflusst.

Der mittlere Wärmeverlust der Zentrale ist nicht in allen Anlagen separat ausweisbar, weil die vorhandenen Zählerleistungen dies nicht ermögli-



1 So sahen die Steckbriefe der Projekte aus



2 Energiebilanzen aller Gebäude- und Netzanlagen

chen. In den anderen Fällen handelt es sich um unsichere Differenzmessungen. Der mittlere Messwert von 4 kWh/(m²a) für die Gebäudeanlagen wird dennoch als plausibel angesehen. Der mittlere Wärmeverlust der Zentrale für die Netzanlagen liegt bei nur 2 kWh/(m²a). Er ist geringer, da die angeschlossene Fläche deutlich größer ist.

Der Wärmeverlust der Erzeugung streut zwischen 10 und 20 kWh/(m²a). Die beiden Ausreißer lassen sich durch Niedertemperaturtechnik und bei zugleich höherer Nutzwärmeanforderung der Gebäude begründen. Die Kesselverluste liegen in den Gebäudeanlagen im Mittel beim Zwei- bis Dreifachen des Solarertrags.

Bei den Netzanlagen sind zusätzlich Wärmeverluste an das Erdreich zu verzeichnen. Diese liegen im Mittel in der Größenordnung des Solarertrags, das heißt bei 16 bis 19 kWh/(m²a).

Aus den Energiebilanzen der Feldanlagen kann man folgern, dass sich bei den Gebäudeanlagen ein

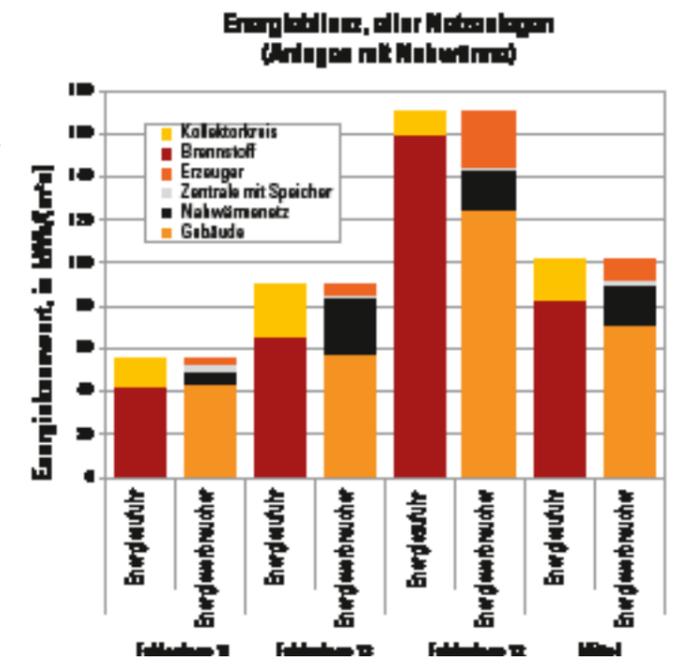
deutlich geringer solarer Anteil an der Endenergieversorgung einstellt als man dies zuvor vermutete – und im Allgemeinen auch propagiert wird. Bei den Netzanlagen fallen die hohen Netzverluste negativ auf. Solare Nahwärme wird hierdurch in Frage gestellt.

### Reale Energieeinsparung durch Solarthermie

Der Solarkollektorsertrag in den Feldmessungen der Gebäudeanlagen liegt bei rund 320 kWh/m² Kollektorfläche pro Jahr. Der Kennwert liegt in der gleichen Größenordnung wie die Zahl, die sich bei der Auswertungen von 360 installierten und geförderten Anlagen in der Region Hannover ergab: 310 kWh/m² Kollektorfläche pro Jahr. Die parallel innerhalb des Projektes durchgeführten Simulationsberechnungen ergeben Werte von 440 bis 540 kWh/m² Kollektorfläche pro Jahr für ein Niedrigenergie-Mehrfamilienhaus, je nach Dimensionierung der Solaranlage.

Aus den Messwerten der Feldanlagen sowie aus der Simulation lassen sich Rückschlüsse ziehen, wie hoch die Endenergieeinsparung der Solaranlagen gegenüber Referenzanlagen ohne Solarnutzung ist. Das Ergebnis ist mit geringen Unsicherheiten behaftet. Die beiden Vergleichsalternativen „mit Solar – ohne Solar“ unterscheiden sich in der Höhe der Speicher- und im Kesselnutzungsgrad. Den Messwerten zufolge ergibt sich im Mittel aller gebäudeintegrierten Anlagen eine Endenergieeinsparung von 6 kWh/(m²a) (siehe Abb. 3).

Die Erwartungswerte der Simulationsberechnung sind etwa doppelt so hoch. Die beiden Werte unterscheiden sich aufgrund der Betriebsranddaten: real beziehungsweise ideal (abweichende Wärmeverluste, Speicherverluste, suboptimale hydraulische Verschaltungen und Regelungen in der Praxis und so weiter).



2 Energiebilanzen aller Gebäude- und Netzanlagen

Bei den Feldanlagen liegt der Kollektorkreis-Ertrag geringfügig über den Werten, den die Ostfalia-Hochschule für die Endenergieeinsparung abgeschätzt hat, in den Simulationen der FH Düsseldorf ist die errechnete Endenergieeinsparung leicht höher als der Solarertrag. In erster Näherung kann bei den Gebäudeanlagen der Kollektorkreis-Ertrag der Endenergieeinsparung gleich gesetzt werden.

Parallel wurde für die Gebäudeanlagen untersucht, wie sich eine Optimierung der Anlage auswirken würde – also ein optimierter Kessel, verbesserte Zirkulation und gegebenenfalls geänderte Speicher. Diese führt fast zum gleichen Endenergiekennwert wie die Solarthermie. In der Interpretation bedeutet dieser Wert: die Solarthermie und die Anlagenoptimierung haben – ausgehend von einem nicht optimierten Anfangszustand ohne Solaranlage – fast das gleiche Einsparpotential. Natürlich lassen sich beide Maßnahmen koppeln. Das führt – verständlich bei den Ausgangswerten – in etwa zu einer Verdoppelung der Effekte, selbstverständlich mit jeweils sehr unterschiedlichen Einzelinvestitionen. In den untersuchten Anlagen ist aus Sicht der Autoren eine nachträgliche Optimierung nur vereinzelt sinnvoll durchführbar und wirtschaftlich.

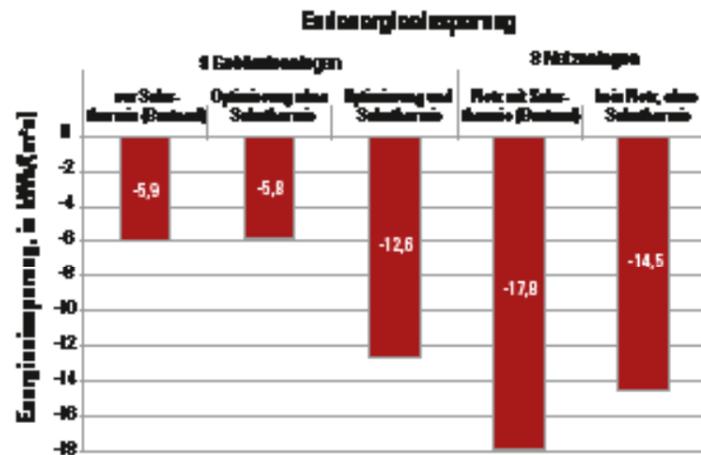
Bei den Netzanlagen liegt nur eine sehr kleine Stichprobe vor. Es ergibt sich eine durch die Solarthermie er-

reichte Endenergieeinsparung von etwa 18 kWh/(m²a) – siehe Abb. 3. Alternativ wurde untersucht, welchen Effekt der Wegfall von Netz und Zentrale sowie eine Einzelversorgung der angeschlossenen Baukörper hät-

### i INFO

#### Projektpartner der Studie

Projektpartner waren die Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften (Institut für Energieoptimierte Systeme EOS) in Wolfenbüttel, das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) in Hameln/Emmerthal, die Fachhochschule Düsseldorf (Bereich E² Erneuerbare Energien und Energieeffizienz) und die ZfS Rationelle Energietechnik GmbH in Hilden. Federführend für das TRNSYS Kesselmodell war das ISFH. Die Ostfalia Hochschule war für den Kesselprüfstand und die Feldmessungen verantwortlich. In den Verantwortungsbereich der FH Düsseldorf beziehungsweise der ZfS fiel die Überprüfung des Zusammenspiels von Solaranlage und Kessel in der Simulation.



3 Endenergieeinsparung in den Feldmessungen

ten. Die Einzelzentralen enthalten zusätzliche Speicher, aber keine Solarthermie. Eine Dezentralisierung führt demnach zu einem Mehrverbrauch an Endenergie von 3 bis 4 kWh/(m²a) bezogen auf den heute gebauten Zustand mit Nahwärme und Solarthermie.

In der Interpretation bedeutet dieser Wert: Die erreichte Endenergieeinsparung durch Solarthermie ist zwar sehr groß, deckt in beiden Fällen aber im Wesentlichen nur etwas mehr als die Netzverluste ab. Der tatsächlich erreichte energetische Vorteil ist mit 3 bis 4 kWh/(m²a) noch kleiner als bei den Gebäudeanlagen. Das spricht nicht gegen die Solarthermie als Technologie, sondern gegen das Netzkonzept.

### Qualitätssicherung tut Not

Das Projekt hat innerhalb der dreijährigen Laufzeit wiederholt gezeigt, dass alle Beteiligten den Stellenwert der Qualitätssicherung unterschätzen und somit vernachlässigen. Bei mehreren Anlagen erschließt sich nicht, welche Ziele der Planer mit der Dimensionierung der Kollektorfläche, des Speichervolumens, der Stückelung der Speicher, der Kesselhydraulik und vor allem mit der Regelung bezweckte. Die Betreiber der Anlage kennen sich mit den Regelungseinstellungen in der Mehrzahl der Fälle nicht aus. Die Anlagendokumentation – teilweise inklusive Hydraulik schemata! – liegt nicht jedem Gebäudebesitzer vor.

Gebäudeeigentümer oder Anlagenbetreiber konnten eine Planung mit Prognose der Ertragsdaten nur in Ausnahmefällen vorlegen. Wenn überhaupt, lagen diese Daten nur den Herstellerfirmen vor. Ausnahmen bildeten die Teilnehmer des früheren Forschungsprojektes „Solarthermie 2000“, wo die genannten Daten zumindest in der betreuenden Forschungsstelle bekannt sind.

Alles in allem überwiegt in der überwiegenden Zahl der Anlagen der Eindruck, dass beim Betreiber keine der Komplexität der Anlage angemessene Fachkompetenz vorhanden ist beziehungsweise beim Planer kein Interesse an der korrekten Funktion der

Anlage bestand. Ein nicht hinnehmbarer Zustand, den es in Zukunft unbedingt zu verbessern gilt!

Die Anlagen werden regelmäßig von Handwerksfirmen gewartet, wobei keine Einstellparameter überprüft oder gar optimiert werden – es kennt ja niemand die Sollwerte! Es erfolgt nur die materielle Wartung aller Bauteile. Auch dies sollte sich im Sinne der Anlagensoptimierung künftig ändern. Einstellwerte und Betriebszustände sind nachvollziehbar zu dokumentieren.

Darüber hinaus musste bei der Auswertung der Feldanlagen festgestellt werden, dass der Einfluss der Solarthermie auf den Kesselbetrieb kaum vernünftig und vertiefend untersucht werden konnte. Schuld waren bei den Anlagen Unzulänglichkeiten in der Regelung und Hydraulik – auch der konventionellen Anlagenbestandteile!

### Ein erstes Zwischenfazit

Der erste Teil des Artikels zeigt, dass die Abweichungen zwischen den Simulationsergebnissen von Solarthermieanlagen und realen Messwerten erschreckend hoch sind. Daraus lässt sich für die Feldanlagen folgendes Zwischenfazit ziehen:

#### Hohe Erträge, kaum Einsparung

In vielen Anlagen gibt es hohe kollektorflächenbezogene Erträge, aber kaum Einsparung. Die Ursachen liegen

- in extrem knapp dimensionierten Kollektorflächen (zur Heizungsunterstützung eigentlich viel zu klein) und
- an zusätzlichen Rohren, Speichern und anderen hydraulischen Bauteilen.

Alles Aspekte, die das Gesamtsystem verschlechtern, teilweise bis zum Mehrverbrauch.

#### Hohe Zirkulations- und/oder Nahwärmeverluste

In vielen Anlagen gibt es hohe Zirkulationsverluste und/oder Nahwärmeverluste; dies ist

- wegen des ganzjährig hohen Temperaturniveaus eine ungünstige Ausgangsbedingung für Solarthermienutzung und
- ungünstig für die Gesamtbilanz des fossilen Energieträgers.

#### Schlechte Peripherie

In fast allen Anlagen wurde eine schlechte Peripherie vorgefunden, das heißt

- Regelungseinstellungen sind nicht oder nur mangelhaft nachvollziehbar,
- hydraulische Verschaltungen sind komplex und energetisch suboptimal und
- Netztemperaturen, Volumenströme beziehungsweise die Abnehmerstruktur allgemein bieten schlechte Bedingungen für Brennwertnutzung und Solarthermienutzung.

Im zweiten Teil werden in der nächsten GEB-Ausgabe die Details der Untersuchungen (Nutzungsgrad, Solarertrag und



4 Komplexe Technik, aber keine Dokumentation!

so weiter) näher beleuchtet. Es wird dabei darauf verzichtet, nach Herstellern zu unterscheiden. Zum einen ist die Stichprobe sehr gering, zum anderen sind viele die Effizienz beeinflussenden Faktoren nicht herstellerabhängig, sondern durch die Planung und die Systemranddaten des Gebäudes bedingt.

### Literatur und Quellen

- [1] Wolff, Dieter et al: Integration von Heizkesseln in Wärmeverbundsysteme mit großen Solaranlagen, Forschungsprojekt des BMU, Endbericht verfügbar unter [www.delta-q.de](http://www.delta-q.de), Wolfenbüttel, 2012
- [2] Wolff, Dieter und Kati Jagnow: Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung, verfügbar unter [www.delta-q.de](http://www.delta-q.de), Braunschweig, Wolfenbüttel, 2011

✎ **AUTOR**

**Dr.-Ing. (FH) Kati Jagnow** ist selbstständige Ingenieurin der TGA in Braunschweig sowie Professorin an der Hochschule Magdeburg/Stendal. Kontakt: [www.delta-q.de](http://www.delta-q.de)

**Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff** ist Professor an der Ostfalia Hochschule Wolfenbüttel, Institut für Energieoptimierte Systeme (EOS). Kontakt: [www.ostfalia.de/v](http://www.ostfalia.de/v)

**Dipl.-Ing. (FH) Jörn Deidert** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Labors für Energie- und Kältetechnik (LEuK) an der Ostfalia Hochschule Wolfenbüttel. Kontakt: [www.ostfalia.de/v](http://www.ostfalia.de/v)



Gruppenbild der Projektpartner mit den Autoren Jagnow (2. v. r.), Wolff (mit Krawatte) und Deidert (2. v. l.)