

SOLARE SANIERUNG

OPTIMIERUNG EINER WÄRMEVERSORGUNG

Die Bestandsgebäude und insbesondere die rund 15 Millionen Einfamilienhäuser in Deutschland sind hinsichtlich Energieverbrauch und Klimaschutz eine große „Altlast“. Diese Gebäude bei der Sanierung zukunftstauglich umzubauen ist eine bedeutende Aufgabe zur Erreichung des „Ziels 2050“. Nur mit Erneuerbaren Energien ist eine ökologisch sinnvolle Wärmeversorgung zu erreichen.

Im Forschungsvorhaben, finanziert von der Technologiestiftung Berlin (TSB) wurde ein bestehendes Einfamilienhaus in Berlin bei einer umfassenden Sanierung mit einer Erdwärmepumpe und einer Solarthermieanlage zur Wärmeversorgung ausgestattet und mit Messtechnik versehen. Die solarthermische Anlage dient auch zur solaren Niedertemperaturerhöhung des Primärkreises der Wärmepumpe. Anhand der erfassten Messdaten wurden die Betriebszustände des Systems analysiert und das Modell der dynamischen Simulation justiert. Darauf aufbauend wurde der Betrieb des Systems optimiert.

Hinsichtlich des Jahresheizwärmebedarfs wurde der Niedrigenergiehausstandard ($q_H < 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$) bei dem Bestandsgebäude nahezu erreicht und der Jahres-Primärenergiebedarf im Vergleich zu einem Neubau um 35,8% unterschritten.

Mit dem Ziel einer vollständigen Erfassung der Leistungen zur Bilanzierung der Energien in der Wärmeversorgungsanlage wurde die notwendige Messtechnik ermittelt und in die Anlage integriert. Die Ermittlung der Wärmeströme erfolgte rechnerisch mit den erfassten Messwerten der Vor- und Rücklauftemperaturen sowie der Volumenströme in den einzelnen Wärmekreisläufen. Die Erfassung des elektrischen Energiebedarfs der aktiven Komponenten wie der Wärmepumpe, der Umwälzpumpen, der Regelungstechnik sowie der zentralen Lüftungsanlage erfolgte direkt über Stromwandler. Die Auslesung der Messwerte erfolgte vor Ort mittels Datenlogger, die Messdaten standen Online auf einer grafischen Oberfläche zur Verfügung. Zudem war über Fernzugriff eine Parametrierung der Regler der Wärmepumpe und der Solaranlage möglich. Über das Internetportal konnten die Messwerte exportiert

Energetische Kennzahlen des Wohngebäudes

Wohngebäude in Berlin, Baujahr 1935, Gebäudenutzfläche 237 m² (EnEV 2007).

Die Anlagentechnik zur Wärmeversorgung besteht aus: Ölkessel (1978), Heizkörper (80/60/20°C), TWE über elektrische Durchlauferhitzer, Natürliche Lüftung (Fensterlüftung)

Kennzahlen der Wärmeversorgung vor der Sanierung:

- Jahresheizwärmebedarf: $Q_H = 55.387 \text{ kWh}$ ($215 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$)
- Jahresendenergiebedarf: $Q_E = 89.367 \text{ kWh}$ ($348 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$)
- Jahresprimärenergiebedarf: $Q_P = 110.569 \text{ kWh}$ ($430 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$)

Für die Planung der Sanierung wurde das „KfW-Effizienzhaus 70“ vorgegeben. Das sanierte Gebäude hat eine

Gebäudenutzfläche von 247 m² (EnEV 2007).

Anlagentechnik: Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdwärme: drei Sonden, je 76 m), Heizkörper (Auslegung 45/35/20°C), 15 m² Solarthermieanlage zur TWE und HU, Solare Temperaturerhöhung des Primärkreises der Wärmepumpe, Zentrale Lüftungsanlage (KWL mit WRG)

Kennzahlen der Wärmeversorgung nach der Sanierung:

- Jahresheizwärmebedarf: $Q_H = 15.245 \text{ kWh}$ ($61,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$)
- Jahresendenergiebedarf: $Q_E = 6.326 \text{ kWh}$ ($26 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$)
- Jahres-Primärenergiebedarf: $Q_P = 17.081 \text{ kWh}$ ($69 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a}) < 75,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$, zulässig)

werden um laufende Auswertungen der Betriebszustände zu ermöglichen und bei Fehlfunktionen eingreifen zu können.

In Zusammenarbeit mit der HTW Berlin und der TU Berlin wurde ein thermisches Modell des Wohngebäudes und der Anlagentechnik mit dem Programm TRNSYS erstellt. Dieses Modell diente zur Analyse und Optimierung der Anlagentechnik, um ohne Eingriffe in die eigentliche Regelung schon im Vorfeld erfolgsversprechende Einstellungen zu untersuchen und nachfolgend die Solarregelung entsprechend zu programmieren. Im Rahmen der Modellierung wurden in dem endgültigen Modell über 170 Komponenten programmiert, um ein möglichst reales Abbild als Grundlage für die Optimierung zu erzielen. Das Wohn-

gebäude wurde mit einem 3D-Tool als Mehrzonenmodell dargestellt. Die angrenzende Verschattungssituation wurde vor Ort aufgenommen und ebenfalls in das Modell eingearbeitet.

Die Evaluation der einzelnen Anlagenkomponenten bzw. des thermischen Modells wurde kontinuierlich anhand der erfassten Messwerte durchgeführt. Somit wurde das reale Wohngebäude sukzessive nachgebildet. Nach der Verifizierung des thermischen Modells erfolgte im ersten Jahr die Auswertung zur Ermittlung der Gesamtenergieeffizienz und der Jahresarbeitszahl sowie die Untersuchung der Optimierungspotenziale. Nach Übertragung der optimierten Regelungsvariante in die Anlage wurde ein weiteres Jahr gemessen und bewertet.



Bild 1: Wohngebäude vor und nach der Sanierung

Ergebnisse der Optimierung

Um einen sinnvollen Vergleich von unterschiedlichen Wärmepumpenanlagen zu ermöglichen ist im Vorfeld die Klärung und Festlegung der Bilanzgrenze essentiell. In der Fachliteratur werden im Allgemeinen zur Bestimmung der Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpenanlagen unterschiedliche Bilanzgrenzen verwendet [3], [4]. Die folgenden Ergebnisse der Optimierung beziehen sich in Anlehnung an die übliche in der Fachliteratur verwendete Bilanzgrenze „JAZ3“ im Folgenden „AZ3“ genannt und die in der Praxis eher unübliche aber aussagekräftigere Systembilanzgrenze „SJAZ“ im Folgenden auch „Black Box“ genannt. Mit der Bilanzgrenze „Black Box“ wird der gesamte elektrische Energiebedarf (Aufwand) für den Betrieb der Wärmeversorgungs- und Lüftungsanlage zur Beheizung des Gebäudes und zur Trinkwassererwärmung inkl. Zirkulation berücksichtigt. Die aus der Wandlung der elektrischen Energie resultierende Wärmeerzeugung (Nutzen) wird dabei am letzten Glied der Wärmebereitstellungskette, d.h. an den abgehenden Heizkreisen und nach der Frischwasserstation bilanziert (= Deckung des Wärmebedarfs).

Ausgehend vom Referenzjahr (2013) konnte durch Simulation ermittelt werden, dass durch Maßnahmen wie Reduzierung der Vorlauftemperatur um 2 K, Optimierung des solaren Vorrangs und Korrektur des Temperaturfühlers am Pufferspeicher und Einschränkung der Außenluftvorwärmung eine relative Erhöhung der SJAZ/„Black Box“ um mindestens 10% durch nicht investive Maßnahmen erreicht werden kann. Der Deckungsbeitrag der thermischen Solaranlage wurde mit 12,3% ermittelt.

Messergebnisse: SJAZ „Black Box“

Im Referenzjahr 2013 betrug die SJAZ = 2,7 und im Optimierungsjahr 2014 ergibt sich eine SJAZ = 3,3. In Folge der Optimierung der Regelparameter konnte die Gesamteffizienz des Wärmeversorgungssystems (zur Deckung des Wärmebedarfs) um 22,2% verbessert werden. Dies ist eine deutliche Bestätigung der Optimierungsmaßnahmen insbesondere hinsichtlich der Einbindung der Solaranlage.

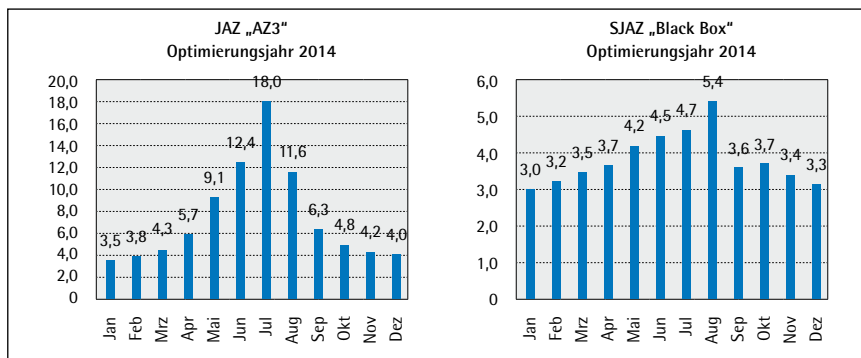


Bild 2: Unterschied der JAZ / SJAZ im Optimierungsjahr 2014

Messergebnisse JAZ „AZ3“

Im Referenzjahr 2013 betrug die JAZ „AZ3“ = 3,2 und im Optimierungsjahr 2014 ergibt sich eine JAZ „AZ3“ = 4,4, eine Erhöhung um 37%. Die Effizienz des Wärmeerzeugungssystems konnte demnach bedeutend verbessert werden.

PV-Anlage zur Energieversorgung des Gebäudes

Über das optimierte Wärmeversorgungssystem hinaus wurde die Integration einer PV-Anlage zur Überschusseinspeisung inkl. Batteriespeicher nach wirtschaftlichen Kriterien untersucht und bewertet. Das Ergebnis zeigt, dass der kombinierte Einsatz von Wärmepumpe, solarthermischer und photovoltaischer Anlage insbesondere mit Stromspeicher nach wirtschaftlichen und ökologischen Kriterien empfehlenswert ist.

Ausgehend vom Lastprofil im Jahr 2014 wurde ergänzend eine PV-Anlage simuliert und der Eigenverbrauch des PV-Stroms ermittelt. Von dem insgesamt verbrauchten Strom im Gebäude (7.220 kWh/a) werden 42% (3.010 kWh/a) für Haushaltsgeräte und 58% (4.210 kWh/a) für die Wärmeversorgung verwendet, wovon 79% (3.340 kWh/a) für den Antrieb der Wärmepumpe notwendig sind. Für die Simulation mit PV*Sol wurde eine PV-Anlage mit 5 kWp Leistung und eine Batteriekapazität von 5 kWh gewählt. Der spezifische Ertrag wurde mit 950 kWh/(kWp-a) ermittelt.

Aus dem Systemvergleich PV-Anlage ohne und mit Speicher ergibt sich die bekannte Erkenntnis, dass ein Stromspeicher den Eigenverbrauch signifikant

erhöhen kann. Der Strombedarf von 7.220 kWh/a kann durch die elektrische Solaranlage ohne Batterie zu 22% gedeckt werden, der Anteil des Eigenverbrauchs von Solarstrom liegt dabei bei 33,5% (1.590 kWh/a). Im Vergleich dazu wird mit einer PV-Anlage mit Batterie ein Eigenverbrauchsanteil von 57,9% (2.751 kWh/a) erreicht. Die solare Deckung des Strombedarfs beträgt dabei 38%.

Die Reduktion des Endenergiebedarfs ist für die drei Versorgungskonzepte jeweils in Relation zum „EFH vor Sanierung (359 kWh/(m²-a))“ ausgewiesen.

Bei der Variante „EFH nach Optimierung + PV-Anlage“ ergibt sich ein Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung (Heizung) von 9 kWh/(m²-a) der damit bei 2,6% des Endenergiebedarfs Heizung von 347 kWh/(m²-a) für das „EFH vor Sanierung“ liegt.

Literatur, Links

- [1] <http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de/german/index/>
- [2] <https://wp-monitor.ise.fraunhofer.de/german/index/ergebnisse.html> (2012-2013)
- [3] Marek, Miara, u.a., Fraunhofer ISE: Wärmepumpen Effizienz Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb FHISE, Forschungsbericht, Freiburg, 2010
- [4] Auer, Falk; Schote, Herbert <http://www.agenda-energie-lahr.de/leistungwaermepumpen.html>
http://www.agenda-energie-lahr.de/WP-Schlussbericht_2006-13.html

	EFH vor Sanierung	EFH nach Sanierung	EFH nach Optimierung	EFH nach Opt. + PV-Anlage
Endenergiebedarf Heizung [kWh/m ² a]	347	21	17	9
Endenergiebedarf Haushalt [kWh/m ² a]	12	12	12	12
Endenergiebedarf gesamt [kWh/m ² a]	359	33	29	21
Reduktion Endenergiebedarf	-	-91%	-92%	-94%

Tabelle 1: Vergleich des Endenergiebedarfs der unterschiedlichen Versorgungskonzepte

Die Ergebnisse werden auch anlässlich eines Seminars am 12.10.2015 in Berlin vorgestellt.

ZUM AUTOR:

► Rainer E. Wuest
DGS Berlin Brandenburg e.V.

rew@dgs-berlin.de