

Monitoring Sonnenhaus Eferding

P.J. Sölkner, I. Hofer, B. Zettl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

5/2013

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Monitoring Sonnenhaus Eferding

Ing. Dipl.-Ing. Petra Johanna Sölkner
Dipl.-Ing. (FH) Isabella Hofer
Bautechnisches Institut

Dipl.-Ing. Dr. Bernhard Zettl
Austria Solar Innovation Center

Puchenu bei Linz, Dezember 2012

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	9
Abstract.....	11
1 Einleitung.....	13
1.1 Das Grundkonzept eines Sonnenhauses	13
1.1.1 Was ist ein Sonnenhaus?.....	13
1.1.2 Wie wird ein Sonnenhaus gebaut und wie funktioniert es?	14
1.2 Das Gebäudekonzept des Sonnenhauses Eferding	15
1.3 Das Haustechnikkonzept	16
1.3.1 Hydraulische Anlagenschemata	17
1.3.3 Der Stahl-Zylinderspeicher	21
1.3.4 Die Kugeltanks	22
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt	24
2.1 Beschreibung des Standes der Technik.....	24
2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema	25
2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts).....	25
2.4 Verwendete Methoden im Monitoring-Prozess.....	26
2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung.....	26
2.5.1 Datenerfassung und Datenauswertung	27
2.5.2 Anlagenoptimierung	27
2.5.3 Speichermanagement	31
3 Ergebnisse des Projektes	32
3.1 Probleme und Erfahrungen im Verlauf des Monitoring-Prozesses	32
3.2 Energiebilanzen – Gegenüberstellung Simulation und tatsächlicher Betrieb	34
3.3 Energiebilanzen im Vergleich.....	35
3.4 Energiebilanz in Monatsauswertung	38
3.5 Primärenergetische Betrachtung der monatlichen Energiebilanzen	40
3.6 Messdaten zur Aufladung des Stahl tanks (Juli – August 2010).....	41
3.7 Entladen des Zylinderspeichers durch Wärmeverluste.....	42
3.8 Temperaturverläufe im Solarkreis und im Pufferspeicher an einem Tag mit solarer Beladung.....	43

3.9	Eingestrahlte Leistung auf das Kollektorfeld und Leistung des Solarprimärkreises.....	44
3.10	Ergebnisse der Kugeltank-Analyse	45
3.10.1	Temperaturverläufe im Solarprimärkreis und in den Kugeltanks.....	45
3.10.2	Abkühlrate der Kugelspeicher.....	46
3.10.3	Schichtverhalten der Kugelspeicher	48
4	Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms.....	49
4.1	Einpassung in das Programm.....	49
4.2	Beitrag zum Gesamtziel des Programms.....	51
4.3	Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt	52
4.4	Beschreibung der Umsetzungspotenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse.....	52
5	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	54
6	Ausblick und Empfehlungen	56
7	Literatur- / Abbildungs- / Tabellenverzeichnis	57
7.1	Literaturverzeichnis.....	57
7.2	Internetquellen.....	57
7.3	Abbildungsverzeichnis	57
7.4	Tabellenverzeichnis	59
8	Anhang.....	60
8.1	Fotos vom Sonnenhaus Eferding.....	60
8.2	Einbauskizzen der Kugeltanks	63
8.4	Bildschirmansichten am Monitoring-Rechner	65
8.3	Übersicht über die technischen Daten des Gebäudes und der haustechnischen Anlage	68
8.3.1	Objektdaten.....	68
8.3.2	Anlagendaten	68
8.3.3	Daten zu den Kugeltanks	68
8.4	Projektbeteiligte	69

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Das Sonnenhaus Eferding der Firma Leitl Spannton GmbH ist ein Modellprojekt mit Demonstrationscharakter, das als Veranstaltungs- und Ausstellungsgebäude genutzt wird. Das Plusenergiehaus hinsichtlich Wärmebedarf und Null-Emissionshaus mit einer projektierten solaren Deckung von über 100 % in Jahresbilanz bezieht laut Simulation mehr Wärmeenergie aus der Sonne, als es zur Deckung des eigenen Jahresheizwärmebedarfes inkl. Warmwasser benötigt. Es handelt sich jedoch nicht um ein wärmeenergieautarkes Gebäude, sondern es steht im Wärmeverbund mit einem benachbarten Betriebsgebäude, das konventionell mit einem Gaskessel beheizt wird: Überschusswärme kann für die Raumheizung und zur Trocknung von Baufertigteilen an das benachbarte Gebäude abgegeben werden bzw. kann bei Bedarf von dort auch Wärme bezogen werden.

Das Niedrigenergiehaus ist mit 108 m² wand- und dachintegrierten Solarkollektoren, einem 27 m³ Stahl-Zylinderspeicher im Gebäude und zwei 12 m³ Kugelspeichern im Erdreich vor dem Gebäude ausgestattet. Der Zylinderspeicher ist auf die alleinige Versorgung des Gebäudes mit Wärme ausgelegt, die Kugeltanks sind zu Forschungszwecken ergänzend installiert.

Inhalte und Zielsetzungen

Das Monitoringprojekt Sonnenhaus Eferding diente dem Erforschen von energietechnischen Anlagen unter Nutzung von Sonnenenergie mit hohen solaren Deckungsgraden. Im Rahmen des Monitoringprozesses wurden die komplexen Betriebssituationen untersucht sowie Optimierungspotenziale der Regelungs- und Anlagentechnik identifiziert und im Zuge von Systemanpassungen realisiert. Dabei wurden entstandene Probleme, Ursachen und die gesetzten Maßnahmen dokumentiert. Ein weiterer Fokus des Projektes war die Funktionsfähigkeit von Systemen mit mehreren unterschiedlichen Heißwasserspeichern zu untersuchen.

Methodische Vorgehensweise

Das Monitoring wurde unter der Leitung des Bautechnischen Instituts (BTI) mit Unterstützung des Austria Solar Innovation Center (ASIC) realisiert. Die C&G Energietechnik GmbH war für die Anpassung von Steuerung und Regelung verantwortlich, die Leitl Spannton GmbH war in die Überwachung des laufenden Gebäude- und Anlagenbetriebes eingebunden.

Im Objekt sind 30 Temperaturfühler, sieben Wärmemengenzähler und vier Stromzähler installiert. Ihre Messdaten werden im Minutentakt aufgezeichnet und zentral gespeichert. Über einen Zeitraum von zwei Jahren wurden laufend Funktions- und Ertragskontrollen ausgeführt. In monatlichen Besprechungen wurden die Messwerte kontrolliert und besprochen, Fehler identifiziert und zu ändernde Einstellungen sowie andere Maßnahmen festgelegt. Dafür wurden die Messdaten in farblich gestalteten Tabellen differenziert dargestellt, was das Auffinden von Fehlfunktionen im Anlagenbetrieb vereinfacht hat. Monatliche Energiebilanzen

und kumulierte Bilanzen dienen dem Vergleich der realen Ergebnisse mit den Werten der Simulation.

Im Februar 2011 wurde mit der Führung eines Logbuches begonnen, in dem besondere Vorkommnisse im Gebäude- und Anlagenbetrieb aufgezeichnet wurden. Dadurch wurde die Interpretation der Messwerte und Datenaufzeichnung deutlich erleichtert.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im ersten Betriebsjahr wurde die Energiebilanz laut Simulation nicht erreicht. Entgegen dem projektierten Wärmeüberschuss ergab sich ein Bilanzminus. Es musste mehr Wärme vom Nachbargebäude bezogen werden, als an dieses Gebäude abgegeben werden konnte. Im zweiten Betriebsjahr ergab sich ein deutliches Bilanzplus, d.h. es wurden höhere Solarerträge erzielt, als das Sonnenhaus für die Eigenversorgung benötigte, und es konnte mehr solare Überschusswärme an das Nachbargebäude abgegeben werden, als von dort bezogen wurde.

Ursachen des Bilanzminus im ersten Monitoringjahr waren einerseits ein höherer Wärmeverbrauch durch die erforderliche Austrocknung der Rohbaufeuchte sowie nicht geplante betriebsbedingte Wärmeverluste. Außerdem zeigte sich, dass die energietechnischen Anlagen über einen längeren Zeitraum eingestellt und optimiert werden mussten. Ohne laufende Überwachung und Systemanpassung im Zuge des Monitorings wäre das Bilanzminus deutlich höher ausgefallen, weil Fehleinstellungen und technische Fehler nicht lokalisiert und behoben worden wären. Durch den optimierten Anlagen- und Gebäudebetrieb konnten die solaren Erträge im zweiten Bilanzjahr deutlich gesteigert werden. Der Wärmeverbrauch im Gebäude sowie der Wärmebezug vom Betriebsgebäude im Kernwinter waren geringer als im ersten Bilanzjahr und als mittels Simulation errechnet wurde. Dieses Ergebnis zeigt die Bedeutung von Anlagenevaluierungen in Form von Monitorings und Anlagenadaptierungen über mindestens zwei, besser aber über mehrere Betriebsjahre.

Ausblick

Große solarthermische Anlagen sind eine Erfordernis für die unabhängige Versorgung von Objekten mit Wärmeenergie in der Zukunft. Hohe solare Deckungsgrade können mit geeigneter Technik nachweislich erzielt werden. Das wurde auch seitens der Politik erkannt und derartige Anlagen werden zunehmend gefördert. Doch darf es nicht bei der Errichtung von komplexen energietechnischen Anlagen basierend auf erneuerbaren Energieträgern allein bleiben. Derartige Anlagen – und das gilt auch für relativ kleine Anlagen – sind, wie konventionelle Anlagen auch, häufig fehlerbehaftet und schwierig in einen optimalen Betriebszustand zu bringen. Wenn Effizienzziele beim Einsatz von erneuerbaren Energieträgern erreicht werden sollen, braucht es systemimmanente Prozesse der Qualitätssicherung, des Monitorings und der Optimierung für moderne energietechnische Anlagen. Dafür müssen praktikable und kostengünstige Lösungen entwickelt werden.

Abstract

Starting point/Motivation

The Sunhouse Eferding of Leitl Spannton GmbH is a model project with a demonstrative character. It is used as a building for seminars and exhibitions. The Sunhouse Eferding is interconnected with the neighbouring production and office buildings. As it is a plus-energy building and a zero-emission building with a projected solar fraction of more than 100 per cent in annual balance it gains more thermal energy from the sun than is needed for its own demand for heating energy and warm water supply.

The low-energy building is equipped with 108 m² of thermal panels integrated in the façade and the roof of the building. It contains two kinds of storage tanks systems: a 27 m³ cylindrical steel storage tank inside the building and two bowl tanks, with 12 m³ each, placed in the ground in front of the building. The cylindrical tank is dimensioned to provide the entire energy demand of the building with solar heat. The bowl tanks are additionally integrated to the system for research purposes.

Contents and Objectives

The monitoring project Sunhouse Eferding was conducted to explore energy supply systems and technology with integrated solar thermal equipment for a high solar fraction. Complex working stages were under examination during the monitoring process. Potentials for the optimisation of the control system were identified and put into practice through adaptations in the system. Problems which occurred were documented as well as their causes and the implemented measures. Another focus of the monitoring process was to explore the functionality of solar thermal systems with different types of storage tanks.

Methods

The monitoring was led by Bautechnisches Institut (BTI) under support of Austria Solar Innovation Center (ASIC). The C&G Energietechnik GmbH was responsible for the adaptation of the control system and Leitl Spannton GmbH was involved with to the supervision of the running operation of both the building and the HVAC system.

The measuring system contains 30 sensors for temperature, seven heat meters and four electric meters. The measured data was registered digitally at a one-minute cycle and was centrally stored. System functions and energy output were checked frequently over a period of two years. The results were controlled und discussed in monthly meetings, dysfunctions were identified and settings to be changed as well as other measures were determined. For that purpose, the measured data was arranged in coloured tables to facilitate the location of dysfunctions in the system operation. Monthly energy balances and cumulated balances served to compare the measured results with the values projected by the simulation.

In February 2011, a log book was initiated to note any incidents related to both the system and the building (special events, technical problems with the system, data changes, opera-

tion changes and so on), which proved to be a significant aid in the interpretation of the measured data.

Results

In the first full year of operation, the simulated values were not reached. Contrary to the projections, a negative balance resulted. Without on-going supervision and system adjustments the negative balance would have been much greater, as maladjustments and technical errors wouldn't have been identified and corrected. Through the optimised system operation, a great amount of thermal energy could have been supplied to the neighbouring buildings already in March of the second operation period. The solar gains were higher, and the heat energy consumption of the Sunhouse Eferding as well as the energy demand from the neighbouring production building during the core winter were considerably lower than in the first balance period. These results of the second year show the importance of system evaluation, in the form of monitoring, for at least two years or more.

Prospects / Suggestions for future research

Large scale solar thermal systems are a core requirement for the challenge of independent energy supply systems in the future. High solar fractions are possible with suitable technique. Politicians have realised that and such systems are government-funded more and more. However, funding and installing technical energy supply systems, based on renewable energies, is not the only thing we need to do. Such systems – also in a small scale – are pretty complex; hence, they are defective very often. It is also difficult to bring them into an optimised operating condition. If we want to reach the goals of energy efficiency programs that include the use of renewable energies, we need to implement processes for quality assurance, monitoring, and optimising modern technical energy supply systems. These processes should be inherent to the system and self-evident. Therefore, we need to develop practicable and cost-effective solutions.

1 Einleitung

Das Sonnenhaus Eferding der Firma Leitl Spannton GmbH ist ein Modellprojekt mit Demonstrationscharakter, das als Veranstaltungs- und Ausstellungsgebäude genutzt wird. Es steht als Schulungsgebäude der Sonnenhaus-Akademie zur Verfügung. An diesem Objekt sollte die Machbarkeit einer vollständigen Versorgung mit Wärmeenergie aus der Sonne in Jahresbilanz validiert werden, die zuvor in der Theorie simuliert wurde. Dazu wurde ein Monitoring über mehrere Betriebsperioden realisiert, im Zuge dessen der laufende Anlagenbetrieb überwacht, analysiert und technische Einstellungen adaptiert wurden. In den folgenden Abschnitten wird kurz das Grundkonzept eines Sonnenhauses per Definition vorgestellt und anschließend das Gebäudekonzept, die Haustechnik und das Monitoring des Sonnenhauses Eferding besprochen.

1.1 Das Grundkonzept eines Sonnenhauses

Die Beschreibung des Sonnenhauskonzeptes stellt eine Grundinformation für den Leser dar. Sie wurde aus der Zeitschrift „Unser Haus“ und von der Internetseite des Sonnenhaus Instituts entnommen und ergänzt (Bohmann Verlag, 2012, 31; Sonnenhaus Institut e.V., 2012).

1.1.1 Was ist ein Sonnenhaus?

Als Sonnenhäuser werden Niedrigenergie-Gebäude bezeichnet, deren Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser zu mindestens 50 % durch aktive Nutzung der Sonnenenergie (Solarthermie) gedeckt wird. Der restliche Energiebedarf für Heizung und Warmwasser wird vorzugsweise aus erneuerbaren Energieträgern, wie Holz oder Pellets, gedeckt. Ein steil nach Süden geneigtes Solardach und ein großer, im Wohnbereich integrierter Pufferspeicher sind die prägenden Merkmale der Sonnenhaus-Architektur und Symbole für eine weitgehend unabhängige Wärmeversorgung (Abbildung 1).



Abbildung 1: Modell eines Sonnenhauses mit südseitig ausgerichteter Solaranlage und Pufferspeicher im Gebäudeinneren

(Quelle: Sonnenhaus Institut e.V., 2012)

Im Gegensatz zum Passivhauskonzept steht hier nicht der geringe Heizwärmebedarf im Zentrum der Energieeffizienzbetrachtung, sondern der niedrige Primärenergiebedarf, da die Versorgung weitgehend über regenerative Energieträger und zwar größtenteils aus Sonnenenergie gedeckt wird.

1.1.2 Wie wird ein Sonnenhaus gebaut und wie funktioniert es?

Ein Sonnenhaus ist ein Niedrigenergiehaus mit einem Heizwärmebedarf unter 45 kWh/m². Die großflächigen Sonnenkollektoren (ca. 25 – 50 m²) sind südseitig am Dach und/oder an der Fassade positioniert. Eine verschattungsfreie Südlage ist beim Sonnenhaus sehr wichtig. Die gewonnene Sonnenwärme wird in einem gut gedämmten Pufferspeicher mit ca. 4 – 10 m³ (je nach solarem Deckungsgrad und Heizwärmebedarf) optimalerweise im beheizten Bereich gespeichert. Damit kann dann das Sonnenhaus auch in sonnenlosen, kalten Zeiten über mehrere Tage oder gar Wochen mit Solarwärme beheizt werden. Die Ausrichtung der Kollektoren wird optimal für die Monate der Übergangszeit und des Winters gewählt, um in der kalten Jahreshälfte einen möglichst hohen Solarertrag zu erzielen. Im Unterschied zur reinen Erwärmung von Brauchwasser werden Kollektoren für die teilsolare Beheizung eines Hauses relativ steil aufgestellt, damit im Winter die Strahlung der niedrig stehenden Sonne möglichst senkrecht auf die Kollektoroberfläche auftrifft und so ein maximaler Energieertrag gewährleistet wird. Die Nachheizperiode beschränkt sich auf den Zeitraum Mitte November bis Mitte Februar. Der erforderliche Restwärmebedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitstellung wird vorzugsweise aus regenerativen Energieträgern gedeckt, z.B. einen Pelletskessel oder einen Kaminofen für Stückholz, der neben der direkten Raumheizung im Kernwinter bei Bedarf auch den Speicher aufladen kann (Abbildung 2). Ziegelwände und massive Decken tragen mit ihrer guten Wärmespeicherfähigkeit zur Energieeinsparung bei; dadurch kann im Sommer auf künstliche Kühlung verzichtet werden.

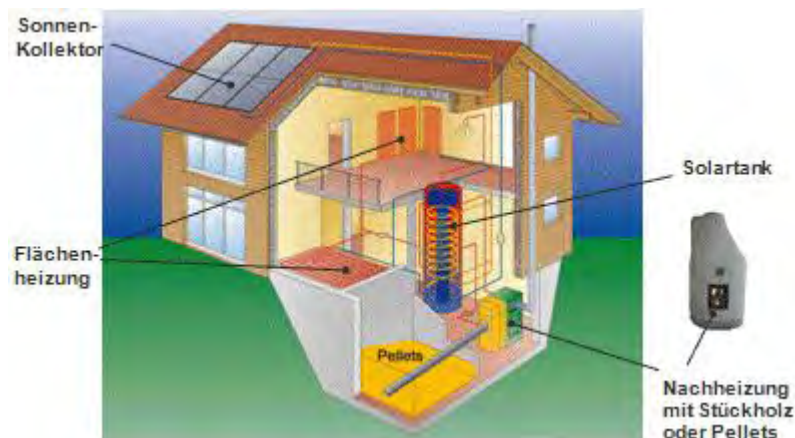


Abbildung 2: Komponenten einer Sonnenhaus-Heizung
(Quelle: Sonnenhaus Institut e.V., 2012)

Die Wärmeverteilung erfolgt über wasserführende Verteilungen und die Wärmeabgabe über großflächige Abgabeflächen wie Fußboden- und Wandheizung. Die Räume sind einzeln

temperierbar. Aufgrund der niedrigen Vorlauftemperaturen in den Flächenheizungen kann die solar generierte Wärme optimal ausgenutzt und hohe Solarerträge erzielt werden.

1.2 Das Gebäudekonzept des Sonnenhauses Eferding

Das Sonnenhaus Eferding ist als Niedrigenergiegebäude mit einem Heizwärmebedarf von $23,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ konzipiert. Es verfügt über zwei Geschoße und einen Keller, mit einer Nutzfläche von insgesamt 520 m^2 und einer Bruttogeschoßfläche von 660 m^2 . Als Plusenergiehaus hinsichtlich Wärmebedarf und als Null-Emissionshaus mit einer projektierten solaren Deckung von über 100 % in Jahresbilanz bezieht es laut Simulation mehr Wärmeenergie aus der Sonne, als zur Deckung des eigenen Jahresheizwärmebedarfes inklusive Warmwasserbereitung benötigt wird. Es handelt sich jedoch nicht um ein energieautarkes Gebäude, denn es steht im Wärmeverbund mit einem benachbarten Betriebsgebäude, das konventionell mittels eines Gaskessels mit Wärme versorgt wird. Überschüssige Solarwärme kann für die Raumheizung und zur Trocknung von Baufertigteilen an das benachbarte Betriebsgebäude abgegeben werden und bei Bedarf kann das Sonnenhaus vom dortigen Gaskessel Wärme beziehen.

Das Sonnenhaus Eferding ist mit 108 m^2 wand- und dachintegrierten Solarkollektoren (Abbildung 3), einem 27 m^3 Zylinderspeicher aus Edelstahl im Gebäude und zwei 12 m^3 Kugelspeichern aus Kunststoff im Erdreich vor dem Gebäude ausgestattet. Der Zylinderspeicher ist auf die alleinige Versorgung des Gebäudes mit Wärme ausgelegt, er repräsentiert ein typisches Speichersystem, wie es bei Neubauten zum Einsatz kommt. Die Kugeltanks wurden zu Forschungszwecken ergänzend installiert. Derartige externe Speicher könnten beispielsweise bei Sanierungen zum Einsatz kommen, wenn für einen Zylinderspeicher kein Platz im Gebäude und / oder keine Einbringmöglichkeit zur Verfügung stehen.



Abbildung 3: Außenansicht Vital-Sonnenhaus Eferding mit Dach- und Wandkollektoren

Die Abbildungen 4 bis 6 zeigen die Außenansichten des Sonnenhauses laut Bauplänen. Die dunkelblauen Flächen sind die Solarkollektoren.

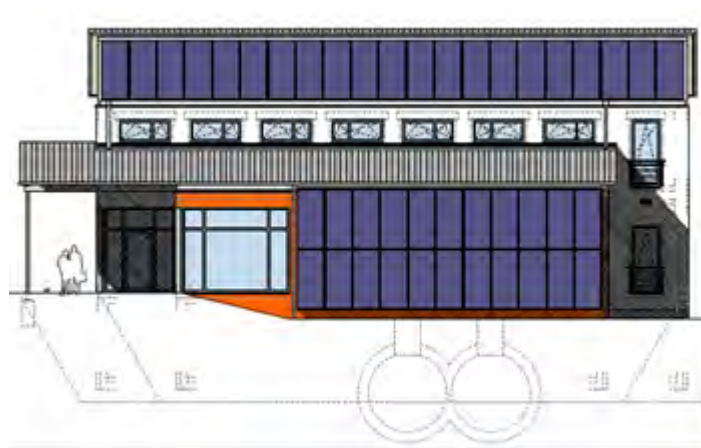


Abbildung 4: Bauplan Südansicht

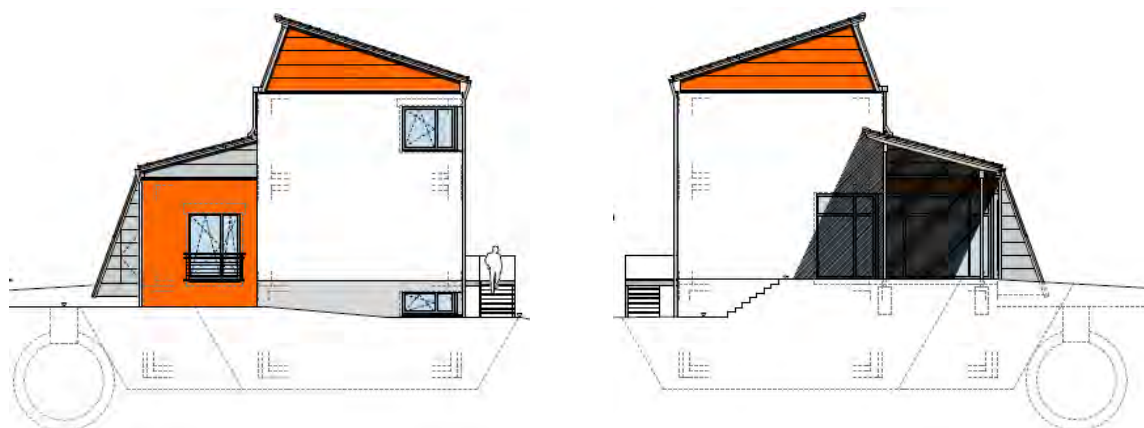


Abbildung 5: Bauplan Ostansicht und Westansicht



Abbildung 6: Bauplan Nordansicht

1.3 Das Haustechnikkonzept

Die Darstellung des haustechnischen Konzeptes umfasst eine Aufstellung der Anlagenkomponenten, zeigt die hydraulischen Schemata und eine kurze Dokumentation der eingebauten Speicher. Die 108 m² Sonnenkollektoren sind südseitig mit einer Neigung von 70 ° in Wand und Dach des Gebäudes integriert. Der Hauptspeicher ist ein Zylinderspeicher aus Edelstahl mit einem Fassungsvermögen von 27.000 Litern, die beiden Kugeltanks sind Versuchsspeicher. Die Anlage wurde mit einer solaren Deckung von mehr als 100 % in Jahresbilanz projektiert.

Die Wärmeabgabe erfolgt über ein Niedertemperaturabgabesystem an Fußboden, Wand und Decke der Seminar- und Veranstaltungsräume. Zur Rückkühlung ist die Klimaanlage an einen Brunnen angeschlossen, Kälteabgabeflächen sind Wände und Decken. Die Frischluftversorgung wird über ein Kompaktlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung mit 75 – 85 % Wirkungsgrad bewerkstelligt. Die Luftleistung beträgt bis zu 2.300 m³ pro Stunde.

Die Zuheizung über die Gastherme im benachbarten Betriebsgebäude wird meist nur im Kernwinter benötigt. Im Wärmeverbund wird die solare Überschusswärme des Sonnenhauses Eferding an das Betriebsgebäude und die darin befindliche Produktion abgegeben. Die Versorgung mit Warmwasser erfolgt ganzjährig solar, allerdings wird im Veranstaltungsgebäude kaum Warmwasser nachgefragt. Die Steuerung der Anlage ist frei programmierbar (Hanazeder HLC1500), sie wurde von der Firma C&G Energietechnik GmbH programmiert und angepasst.

1.3.1 Hydraulische Anlagenschemata

Das hydraulische Schema beschreibt die wärmetechnische Anlage des Sonnenhauses Eferding. Abbildung 7 zeigt die beiden Kollektorfelder in Verbindung mit dem Zylinderspeicher, die Positionierung der installierten Temperaturfühler [F], die Regel- und Absperrventile, die Expansionsgefäße, Wärmetauscher und die Verschaltung der Wärmeverteilkreise zu den Wärmeabgabeflächen sowie die Frischwasserstation im Sonnenhaus Eferding. Der Fühler [F46] misst jene Wärmemenge, die von der Gastherme dem Sonnenhaus Eferding zugeführt wird. Abbildung 8 stellt die Einbindung der externen Kugelspeicher ins Wärmeversorgungssystem dar. In der Grafik ist gut zu erkennen, dass hier zwei unterschiedliche Kugelspeicher eingebaut wurden, einmal mit innenliegenden Wärmetauscherrohren, einmal mit Wärmetauscherrohren an der Wandung des Kugelspeichers (Konstruktionspläne siehe Anhang). Im Zylinderspeicher befinden sich sechs Temperaturfühler in verschiedenen Höhen, in den beiden Kugeltanks je vier Temperaturfühler.

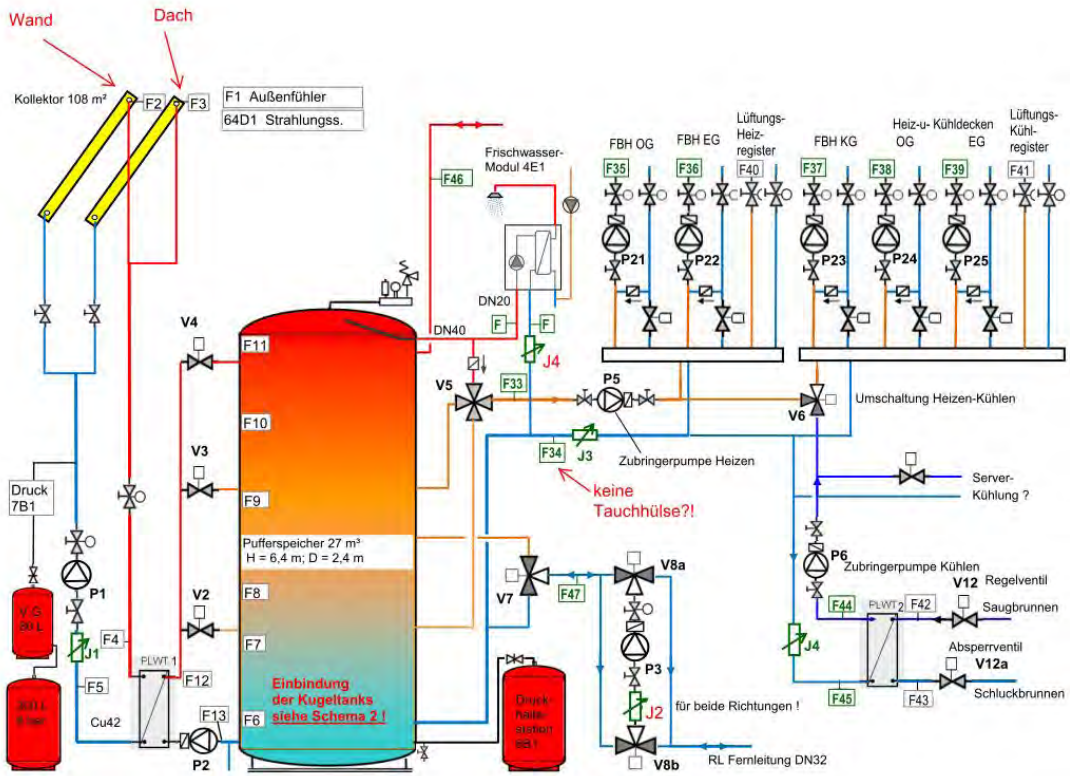


Abbildung 7: Hydraulikschema des Sonnenhauses Eferding

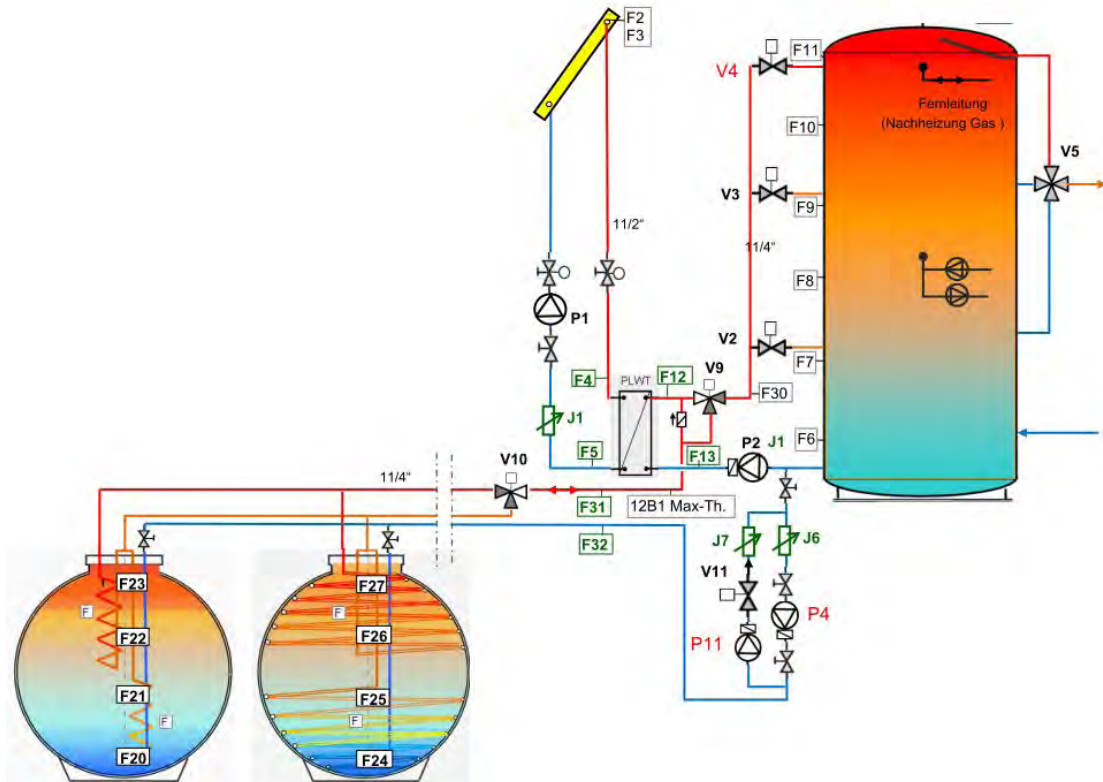


Abbildung 8: Speicherschema des Sonnenhauses Eferding

Legende

P1	... Pumpe primärseitig
P2 – P25	... Pumpe sekundärseitig
V2 – V12	... Ventile sekundärseitig
F1 –F5	... Temperaturfühler primärseitig
F6 – F47	... Temperaturfühler sekundärseitig
J1	... Wärmemengenzähler primärseitig
J2 – J7	... Wärmemengenzähler sekundärseitig
PWT	...Plattenwärmetauscher

Eingebaute Wärmemengenzähler

- Solaranlage primärseitig
- Kugeltank Entladung
- Kugeltank Beladung
- Heizbedarf
- Warmwasserbedarf
- Fernleitung (Abgabe und Bezug) und Kühlung

Eingebaute Stromzähler

- Heizung
- Lüftung
- Allgemein
- Photovoltaik

Bei diesem Hydraulikkonzept sind drei Funktionsvarianten möglich:

1. Die Kugeltanks werden ganz weggeschaltet und die Be- und Entladung funktioniert nur über den 27 m³ großen Stahlspeicher im Gebäude.
2. Der Speicherbetrieb der Solaranlage nutzt nur die beiden im Erdreich eingebetteten Kugeltanks. Der Zylindertank wird nicht komplett aufgeheizt, sondern nur im oberen Bereich als hydraulische Weiche und zum Ausgleich von Temperaturschwankungen genutzt.
3. Kombiniertes Betrieb von Kugeltanks und Stahltank. Im Sommer läuft der gesamte Betrieb der Solaranlage über den Zylindertank, erwirtschaftete Überschüsse werden zum Beladen der Kugeltanks genutzt.

Abbildung 9 zeigt schließlich, wie das Sonnenhaus Eferding mit dem benachbarten Betriebsgebäude und der dort befindlichen Gastherme hydraulisch verbunden ist.

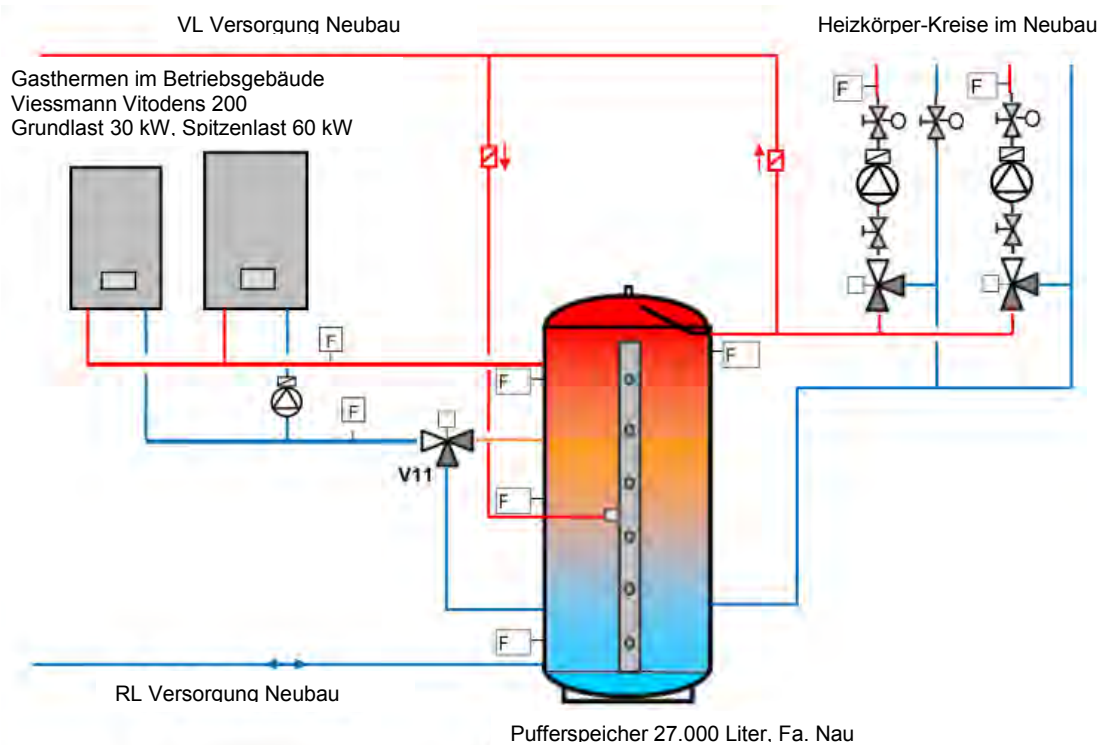


Abbildung 9: Schema der Einbindung des Neubaus Sonnenhaus Eferding in den Wärmeverbund mit dem bestehenden Betriebsgebäude

Die Wärmelieferung vom und zum Betriebsgebäude wird aufgezeichnet und fließt in die Energiebilanzen ein.

In Tabelle 1 sind Anzahl und Anforderungen der Durchflussregler und schließlich in Tabelle 2 die wichtigsten Anlagenkomponenten mit Art, Anzahl, Auslegungsparametern und Fabrikatsbezeichnung aufgelistet.

Tabelle 1: Auflistung der Durchflussregler

Vorgeschlagenes Fabrikat: Ultraschall-Durchflußgeber Fa. Kampstrup (oder Almess – „Megacontrol CF51)
Für alle (Rohr-)Fühler Tauchhülsen vorsehen !! Druckverluste beachten

Wärmekreislauf:	Kurzbez.	Anzahl	Mindest- Anforderung	empfohlener Typ
Frischwasserstation	J3	1	Auslegungs-Volumenstrom 1 m ³ /h Impulsrate Warmwasserzapfung ?	qp 15 / DN20
Alle anderen *	J1; J2-J7 J8 / J9	6	Volumenstrom 2...4 m ³ /h Druckverlust: max. 100 mbar Lüftungsregister nach Auslegung	QP 3,5 UF 65S 5/4"x260 (Kampstrup)

Tabelle 2: Auflistung der wichtigsten Anlagenkomponenten

Bezeichnung:	Kurzbez.	Menge	Auslegung	Fabrikat - Vorschlag
Plattentauscher Solar mit PU-Isolierung und Verschraubungen	PWT 1	1	primär: 50°/31°, 2,8 m³/h sek.: 27,5°/46,5°, 2,6m³/h 56 kW; Druckverl. <170 mbar	GEA Ecoflex WP7M-U-45 oder WP757H-U-49 Alfalaval CB76-60E
<i>Beide PLWT vom Hersteller unter Berücksichtigung des Strömungszustandes nochmal nachrechnen lassen !</i>				
Plattentauscher Kühlung mit PU-Isolierung und Verschraubungen	PWT 2	1	primär: 13°/17°, 2,5 m³/h ? sek.: 19°/15°, 2,5 m³/h	GEA WP525L-24 ? Alfalaval TL3-PFG ?
Ausdehnungsgefäß solar		1	300 L / 6bar + Vorschaltgefäß 80 L	
Druckhaltestation für Heizung + Pufferspeicher (27.000 L)		1	Auslegung durch Hersteller;Achtung Wärmeverbund ! Statische Höhe = OG Bürogebäude	
Solarpumpe Primärkreis	P1	1	2,8 m³/h / 650...700 mbar	Wilos Stratos 32 / 1-8 keine Drehzahlregelung
<i>keine Schwerkraftbremse und sonstige verengende Armaturen im Primärkreis !</i>				
el. Kugelhahn	V1	1	DN 40	
Pumpen im Sekundärkreis	P2/P4	2	2,6 m³/h / 400...450 mbar	Wilos Stratos 32 / 1-6 mit Zusatzmodul für 1-10V-Ansteuerung (Drehzahlregelung)
(Hocheffizienz-)Heizkreispumpen und Dreiwege-Mischer			nach Auslegung Flächenheizung – Fa. Harreither	
Transferpumpe (Fernleitung 5/4")	P3	1	1,7 m³/h / 300 mbar - DN32	Laing ecocirc vario 32-6 od. Grundfos UPS 32-60
Zweiwege-Zonenventile*	V2,V3,V4	3	1 1/4" (Kvs mind. 18)	
Umschaltventile *	V6,V7, V8a/b	4	1 1/4" (Kvs mind. 18)	ESBE VRG231 – DN32 + Stellmotor ARA 645 * oder gleichw. Fabrikat
regelbares Dreiwegeventil bzw. 3-Wege-Mischer *	V9, V10	2	DN 32	
el. Zweiwege-Kugelhahn	V11	1	DN 32	
4-Wege-Bivalentmischer	V5		DN 32, Kvs 16	ESBE VRB 141 + Stellmotor 92-2 (od. ARA661)*

1.3.3 Der Stahl-Zylinderspeicher

Der Zylindertank aus Edelstahl umfasst 27.000 Liter Speichervolumen und kann den Heizwärmebedarf des Gebäudes von mehreren Tagen bis Wochen speichern. Er ist so ausgelegt, dass er das Gebäude ohne Einbeziehung der Kugelspeicher mit gespeicherter Wärme versorgen kann. In Abbildung 10 und Abbildung 11 ist der Zylinderspeicher im eingebauten Zustand im Foyer bzw. im Keller des Sonnenhauses Eferding zu sehen. Er ist mit 30 cm Mineralwolle gedämmt und verkleidet.

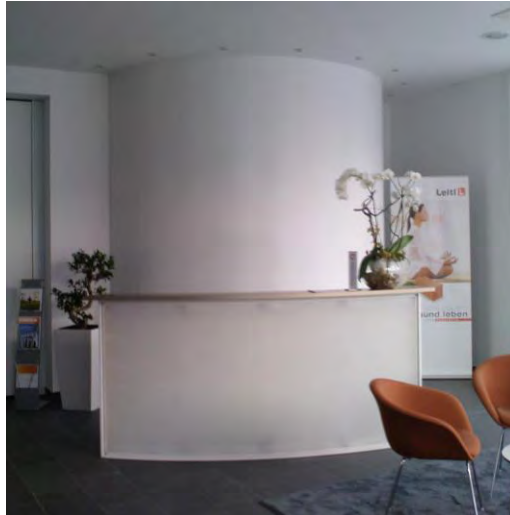


Abbildung 10: Eingebauter Zylindertank im Foyer des Erdgeschoßes



Abbildung 11: Zylindertank mit Apparaturen im Keller

1.3.4 Die Kugeltanks

Die beiden Kugeltanks mit einem Bruttovolumen von je 12.000 Litern (Abbildung 12) wurden zu Versuchszwecken hinsichtlich Praktikabilität und Einsatztauglichkeit für Bestandsobjekte installiert. Die Betriebstemperatur liegt bei 0 °C bis 95 °C, die Betriebsart ist drucklos. Ihre Tankwände sind mit 20 cm PU-Schaum gedämmt. Die Tanks wurden in 50 cm Glasschaum-schotter gebettet (Abbildung 13), was einen zusätzlichen Dämmeffekt bewirken soll. Im Anhang finden sich technische Skizzen der Tanks in der ursprünglichen Einbauvariante.

Es wurden zwei unterschiedliche Kugelspeicher verwendet: bei einem liegen die Wärmetau-scher-Rohre in der Speichermitte, beim anderen liegen sie an der Wandung des Kugelspei-

chers. Hierfür sind 2 x 10,4 m² VA-Wellrohr in zwei Ebenen gewickelt. Die Temperatur-Messeinrichtungen sind Tauchhülsen in vier verschiedenen Höhen. Die Be- und Entladung wird durch Umsteuerventile in der Heizzentrale gesteuert, optional kann dies auch im Domschacht geschehen (Abbildung 14).



Abbildung 12: Kugeltanks vor dem Einbau ins Erdreich



Abbildung 13: Einbau der Kugeltanks ins Erdreich



Abbildung 14: Umsteuerungsventile im Domschacht eines Kugeltanks

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

Im folgenden Abschnitt werden die Projekthintergründe, die Motivation zur Errichtung des Sonnenhauses und für das Monitoring-Projekt erläutert.

2.1 Beschreibung des Standes der Technik

Die technische Wärmeerzeugung mittels Sonnenenergie ist eine seit Jahrzehnten erprobte Technologie. Solarthermie wird meist zur Brauchwassererwärmung, aber auch zunehmend zur Heizungsunterstützung und zum Kühlen eingesetzt. Typischerweise beträgt der Anteil der Solarwärme am Gesamtwärmebedarf eines Gebäudes rund 10 % bis 30 %. Die meisten solarthermischen Anlagen werden in Ein- und Zweifamilienhäusern eingesetzt und dienen ausschließlich der Brauchwassererwärmung.

Neue Konzepte sind hier deutlich breiter anlegt. Beim Gebäudekonzept Sonnenhaus werden solare Deckungsgrade für die Raumbeheizung und Warmwasserbereitung von mindestens 50 % geplant. Der mögliche Deckungsgrad ist stark abhängig vom Heizwärmebedarf und diese wiederum von der thermischen Qualität eines Gebäudes. Bei entsprechender Auslegung der Solaranlage sowie der Speichereinheiten sind solche hohen Deckungsgrade leicht zu erreichen. Mit Hilfe von großen Langzeit-Wärmespeichern ist die generierte Solarwärme in Monaten mit weniger Sonnenstunden noch nutzbar. So werden neuerdings Sonnenhäuser mit einer durchschnittlichen solaren Deckung von 70 %, teilweise sogar bis 100 % errichtet.

In Deutschland gibt es bereits mehr als 1.000 Sonnenhäuser, in Österreich gibt es 35 fertige Sonnenhäuser und 20 weitere sind derzeit in Planung. Auch in der Industrie setzen sich große Anlagen zur solarthermischen Wärmeversorgung immer mehr durch und werden politisch stark forciert. An externen bzw. außenliegenden Speichersystemen für die Anwendung in Bestandsgebäuden wird an verschiedenen Stellen geforscht.

2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Mit dem Erlass der EU-Gebäuderichtlinie (GEEG) sind für die Baubranche neue und große Herausforderungen entstanden. Mit ihrer Novellierung, die Anfang 2012 in Kraft tritt, sind solarthermische Anlagen zur Wärmeversorgung von Gebäuden nahezu obligatorisch (Europäischer Rat, 2012). Der Wärmebedarf für die Raumheizung im Haushaltssektor liegt derzeit bei durchschnittlich 57 % des Endenergiebedarfes, für die Warmwasserbereitung werden rund 25 % des Endenergieverbrauchs in Haushalten aufgewendet (Balaras et al., 2007). Es besteht also ein hoher Bedarf an Wärme im Niedertemperaturbereich, der optimal zu einem hohen Anteil aus Solarenergie gedeckt werden könnte. Die politischen Strategieziele hinsichtlich der Energieversorgung mit erneuerbaren Energien und hinsichtlich Energieeffizienz sind hoch und können nur mit intensiver Forschungs- und Entwicklungstätigkeit am Solarsektor unterstützt werden.

Ziel des Projektes Sonnenhaus Eferding war die Errichtung eines Modellgebäudes zur Verbreitung des Sonnenhauskonzeptes, das in Deutschland schon seit einigen Jahren erfolgreich umgesetzt wird, auch in Österreich. Das Sonnenhaus in Eferding macht als Demonstrationsprojekt die Technologie des Sonnenhaus-Konzeptes anschaulich und überprüfbar. Wichtige Vorarbeiten zum gegenständlichen Monitoringprojekt waren die sorgfältige Planung des Gebäudes und die Dimensionierung der Haus- und Energietechnik, die mithilfe des Know-how deutscher Planer bewerkstelligt wurde. Die deutschen Kollegen haben in Relation zu österreichischen Planern viel Erfahrung in der Auslegung und Planung von Sonnenhäusern. Ihr Wissen ist in vollem Umfang in das Sonnenhaus Eferding eingeflossen. Ein wichtiger Beitrag zum Gesamtkonzept ist die Kühlung mittels Brunnenwasser, die in einem eigenen Projekt errichtet wurde.

2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)

Gebäude mit hohen solaren Deckungsgraden für Raumbeheizung und Warmwasserbereitung sind im Verhältnis zum gesamten Gebäudebestand noch sehr selten. In Österreich existieren gerade mal 35 Sonnenhäuser. Das Sonnenhauskonzept stellt vor allem auf einen geringen Primärenergieverbrauch durch die Gebäudenutzung ab. Das tun andere Gebäudekonzepte nicht.

Je umfassender energietechnische Anlagen sind, umso schwieriger steuerbar sind sie. Speichersysteme, die aus mehreren und unterschiedlichen Tanks bestehen, sind absolut unüblich, für den Sanierungsfall könnten sie allerdings durchaus interessant sein. Die teilweise komplizierten Betriebssituationen solcher Anlagen über einen längeren Zeitraum zu erforschen und regeltechnische wie anlagentechnische Optimierungspotenziale zu identifizieren, ist ein wichtiges Erfordernis bezüglich F&E sowie für die Umsetzung in die Praxis.

Durch das detaillierte Monitoring des ganzjährigen Betriebes über einen mehrjährigen Zeitraum wurden Erkenntnisse über die Betriebsart, Fehlermöglichkeiten und deren frühzeitige

Erkennung sowie allenfalls erforderliche Modifikationen an Anlagen und Regeltechnik gewonnen. Dieses Wissen fließt über Publikationen, Schulungen, Seminare und Folgeprojekte in die Planung, die Errichtung und den Betrieb zukünftiger Sonnenhäuser ein. Dementsprechend unterstützt die Gründung der Initiative Sonnenhaus Österreich im Juni 2011 die Vernetzung relevanter Akteure am Solarsektor in Österreich und weiterhin die Implementierung wissenschaftlicher Forschungserkenntnisse in die praktische Umsetzung auf konkreter Objektebene. Die Technologieerprobung und Kompetenzsteigerung der Mitglieder ist ein zentraler Punkt der österreichischen Initiative.

2.4 Verwendete Methoden im Monitoring-Prozess

Das Monitoring wurde vom Bautechnischen Institut (BTI) gemeinsam mit dem Austria Solar Innovation Center (ASiC) und der C&G Energietechnik GmbH realisiert. Ein Techniker der Firma Leitl Spannton GmbH war vor Ort in die Anlagenüberwachung eingebunden.

Mittels zahlreicher Messeinrichtungen wurden in der haus- und energietechnischen Anlage und im Gebäude laufend Messwerte aufgezeichnet und digital gespeichert, um den Anlagen- und Betriebszustand zu kontrollieren und zu optimieren. Im Monitoring wurden vorrangig untersucht:

- der Solarertrag (Input Speicher)
- der gesamte Energieverbrauch im Sonnenhaus Eferding
- die Energielieferung an das Nebengebäude (Wärmelieferung)
- die Zuheizung in den Speicher (Wärmebezug)

Daten wie der Primärenergiebedarf, die solaren Gewinne für Heizen/Kühlen/Warmwasser und die Verluste der Speichersysteme wurden ebenfalls erfasst, aufgezeichnet und ausgewertet.

Nach einer tabellarischen Auswertung der Daten wurden in regelmäßigen Teambesprechungen die Ergebnisse diskutiert, Fehlfunktionen detektiert und Adaptierungsmaßnahmen vereinbart. Die Regeleinstellungen der Solaranlage, der Lüftungsanlage und der Kühlung wurden optimiert und auf den Veranstaltungs- und Ausstellungsbetrieb angepasst. In der nächsten Besprechungen wurde die Wirksamkeit der Maßnahmen anhand der neuen Messdaten überprüft. Kumulierte Energiebilanzen über den Erfassungszeitraum geben Auskunft über die Verbesserung der Anlagenwirksamkeit.

2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung

Im Folgenden werden kurz die Datenerfassung und ihre Auswertung besprochen.

2.5.1 Datenerfassung und Datenauswertung

Von 30 Temperaturfühlern, sieben Wärmemengenzählern und vier Stromzählern wurden im System im Minutentakt Daten erhoben und in einer txt-Datei aufgezeichnet. Monatlich wurden diese Daten ausgewertet und farblich aufbereitet. Zusätzliche Daten konnten bei Bedarf zur Fehlersuche und zur Anlagenoptimierung herangezogen werden. Die Datenaufbereitung wurde laufend verbessert und immer klarer ausgeführt. Abbildung 15 zeigt den Letztstand der farblichen Darstellung der Tagesmittelwert-Tabellen. Durch die farbliche Abstufung der Datenfelder sind die Betriebswerte und Änderungen optisch deutlich erfassbar.

Tagesmittelwerte

Datum Uhrzeit	Strahlungs-Summe in kWh/m ²	Solarertrag (in kWh)	Zylinder-Temp (in °C)	Zylinder-Tank- Änderung (in kWh- berechnet)	Aussetemp (°C) Tagesmittel	Heizbedarf (in kWh)	Fernleitung Abgabe (in kWh)	Fernleitung Bezug (in kWh)	Kühlung (in kWh)
Di, 31. Jänner 2012	2,8	133	43	-46	-1	156	0	0	0
Mi, 01. Februar 2012	2,8	135	41	-105	-3	146	0	0	0
Do, 02. Februar 2012	2,8	114	38	13	-7	179	0	122	0
Fr, 03. Februar 2012	3,1	142	38	-108	-10	178	0	0	0
Sa, 04. Februar 2012	1,2	19	35	-125	-10	201	0	125	0
So, 05. Februar 2012	2,1	86	31	-11	-8	199	0	117	0
Mo, 06. Februar 2012	2,3	102	31	64	-9	185	0	173	0
Di, 07. Februar 2012	1,5	31	33	-24	-8	194	0	187	0
Mi, 08. Februar 2012	4,3	217	32	61	-7	253	0	94	0
Do, 09. Februar 2012	0,9	0	34	6	-8	147	0	231	0
Fr, 10. Februar 2012	2,4	71	34	68	-7	163	0	114	0
Sa, 11. Februar 2012	4,6	229	36	66	-9	155	0	0	0
So, 12. Februar 2012	3,3	242	38	10	-12	186	0	0	0
Mo, 13. Februar 2012	0,8	0	39	-70	-9	186	0	159	0
Di, 14. Februar 2012	1,4	10	36	-20	-2	121	0	80	0
Mi, 15. Februar 2012	0,8	7	36	-4	3	130	0	147	0
Do, 16. Februar 2012	4,2	196	36	101	2	102	0	0	0
Fr, 17. Februar 2012	0,6	0	39	-154	4	130	0	0	0
Sa, 18. Februar 2012	0,8	3	34	-50	4	100	0	78	0
So, 19. Februar 2012	0,5	0	32	41	3	132	0	202	0
Mo, 20. Februar 2012	2,3	112	34	112	3	113	0	159	0
Di, 21. Februar 2012	5,6	339	37	277	1	82	0	0	0
Mi, 22. Februar 2012	5,2	315	46	158	3	38	0	0	0
Do, 23. Februar 2012	0,6	1	51	-89	4	0	0	0	0
Fr, 24. Februar 2012	2,2	300	48	-320	5	0	0	0	0
Di, 28. Februar 2012	0,2	0	38	-120	7	0	0	0	0
Mi, 29. Februar 2012	0,1	0	34	-27	8	0	0	0	0
Monatssumme (kWh)	57	2671				3320	0	1988	0

Abbildung 15: Monatsweise Auswertung der Tagesmittelwerte der wichtigsten Monitoringdaten

2.5.2 Anlagenoptimierung

In monatlichen Besprechungen wurden die Auswertungen der vorangegangenen Monate diskutiert, die Regeleinstellungen geprüft und ggf. angepasst. Die grafische Darstellung der 10-Minuten-Mittelwerte gibt einen sehr guten Einblick in den Anlagenbetrieb (Abbildung 16), Fehler sind dadurch rasch auffindbar und eliminierbar. Die Optimierung betrifft die Solaranlage, die Lüftungsanlage und die Klimaanlage.

Im Feld Pumpen zeigen die grünen Balken an, wenn eine Pumpe aktiv war. Durch die tabellarische Darstellung können verschiedene Messwerte in übersichtlicher Form einander gegenüber gestellt werden. Es ist zusätzlich jederzeit möglich, die Daten in Form von Verlaufsdiagrammen aus dem Monitoring-Rechner auszulesen.

SH Leitl/ Eferding Monatsübersicht Feb 2012

Tagesverläufe in 10min Mittelwerten

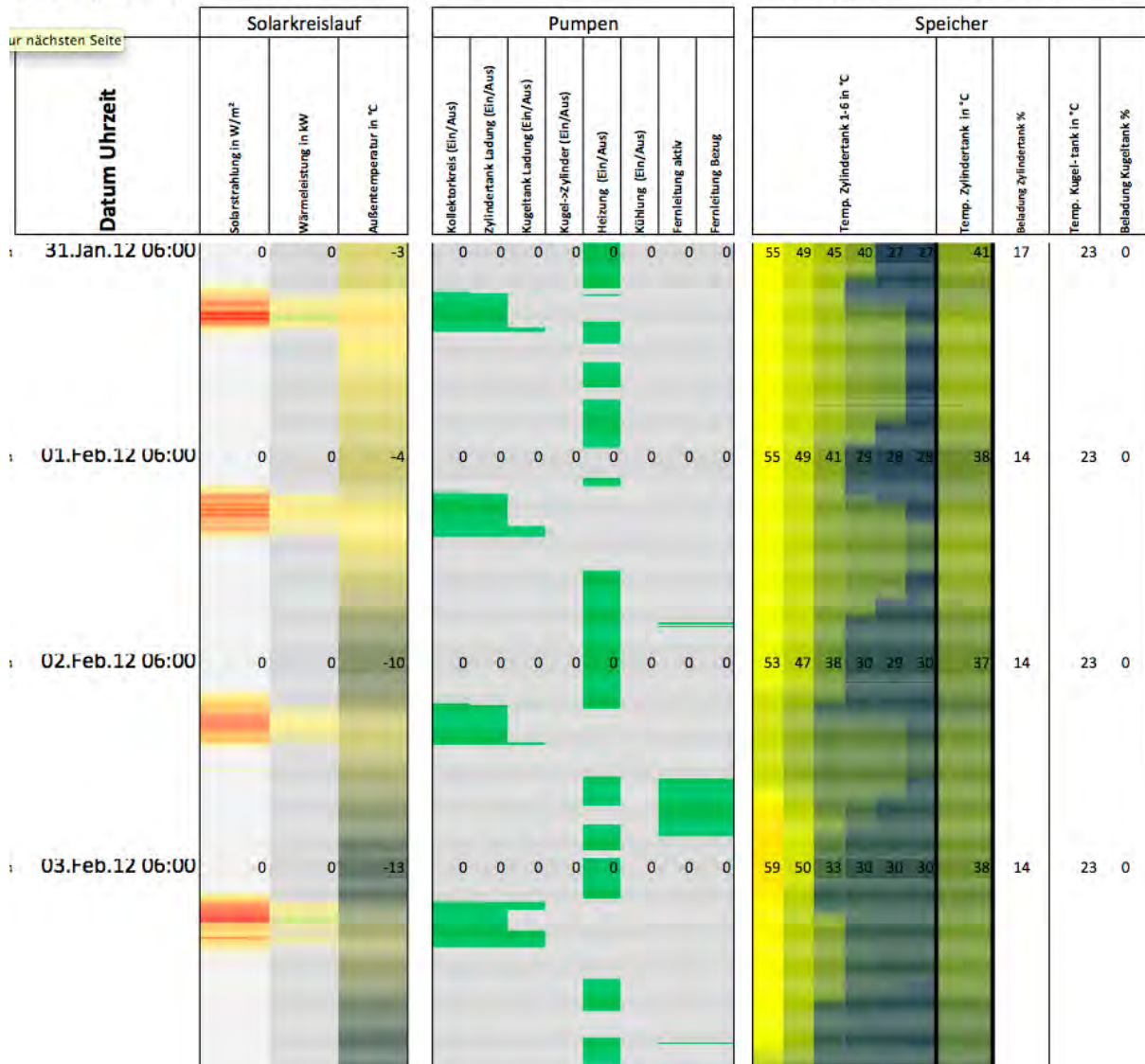


Abbildung 16: Farbliche Aufbereitung der 10-Minuten-Mittelwerte

Graphisch ausgewertet wurden im Tagesverlauf mittels Farbbalken folgende Messwerte:

Block 1: Solarkreislauf

- Solarstrahlung + Wärmeleistung (Farbskala)
- Außentemperatur (Farbskala)

Block 2: Pumpen

- Kollektorkreislauf Primär (P1 läuft)
- Zylindertankbeladung (P2 läuft)
- Kugeltank Ladung (P4 läuft)
- Kugeltank Entladung (P11 läuft)
- Heizungskreislauf
- Kühlkreislauf
- Fernleitung (Farbskala)

Block 3: Speicher

- Zylindertanktemperaturen auf sechs Ebenen
- Durchschnittliche Zylindertanktemperatur
- Beladung Zylindertank in %
- Durchschnittliche Kugeltanktemperatur
- Beladung Kugeltanks in %

Abbildung 17 zeigt eine Farbskala, die den möglichen Messwerten unterlegt war.

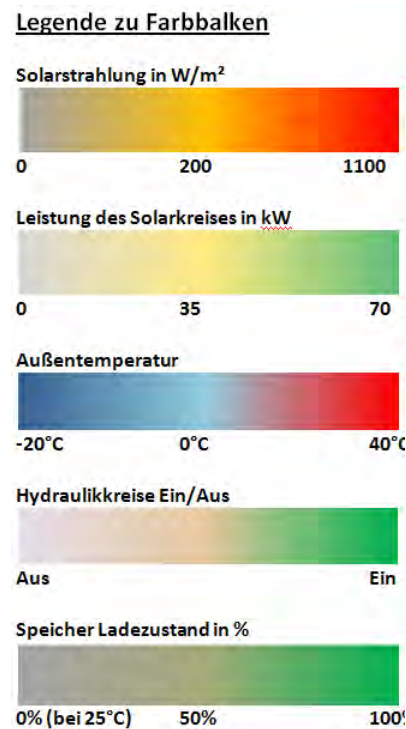


Abbildung 17: Farbliche Aufbereitung der 10-Minuten-Mittelwerte

Sämtliche Einstellungsänderungen wurden in einem Logbuch aufgezeichnet. Außerdem wurde ein Veranstaltungsprotokoll angelegt, in dem die Veranstaltungen im Sonnenhaus Eferding mit der Anzahl der Teilnehmer eingetragen wurden. Das erleichterte die Interpretation der aufgezeichneten Daten, zum Beispiel den höheren Energieverbrauch an einem Wintertag, weil die Eingangstüre längere Zeit offen gestanden ist.

Über das Online-Monitoring-System kann direkt in die technischen Einstellungen (Technikerparameter) der Steuerung eingegriffen werden (Abbildung 18). So ist auch eine Fernwartung möglich. Dieses System wurde eigens für das Monitoring-Projekt programmiert.

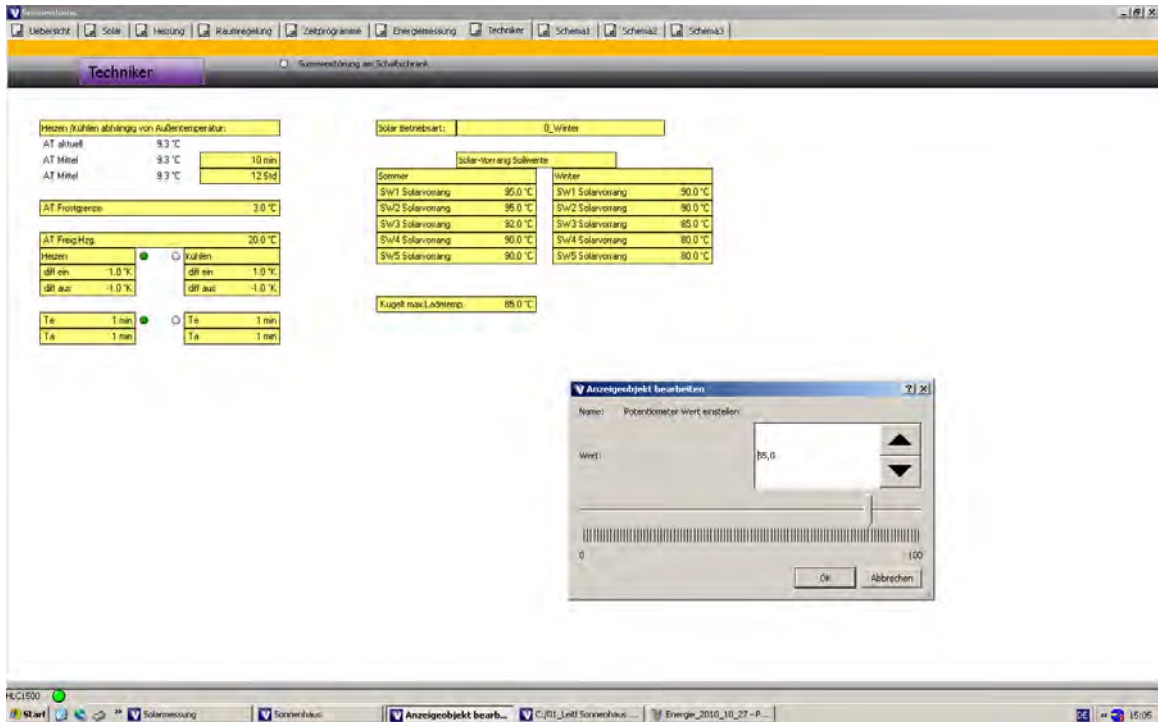


Abbildung 18: Technikerparameter im Online-Monitoring-System

In den Visualisierungen am Monitoring-Rechner sind auch das Solarschema und das Heizungsschema des Sonnenhauses Eferding dargestellt (Abbildungen 19 und Abbildung 20). In diesen Bildschirmansichten werden die jeweils aktuellen Messwerte angezeigt und Änderungen können mit verfolgt werden.

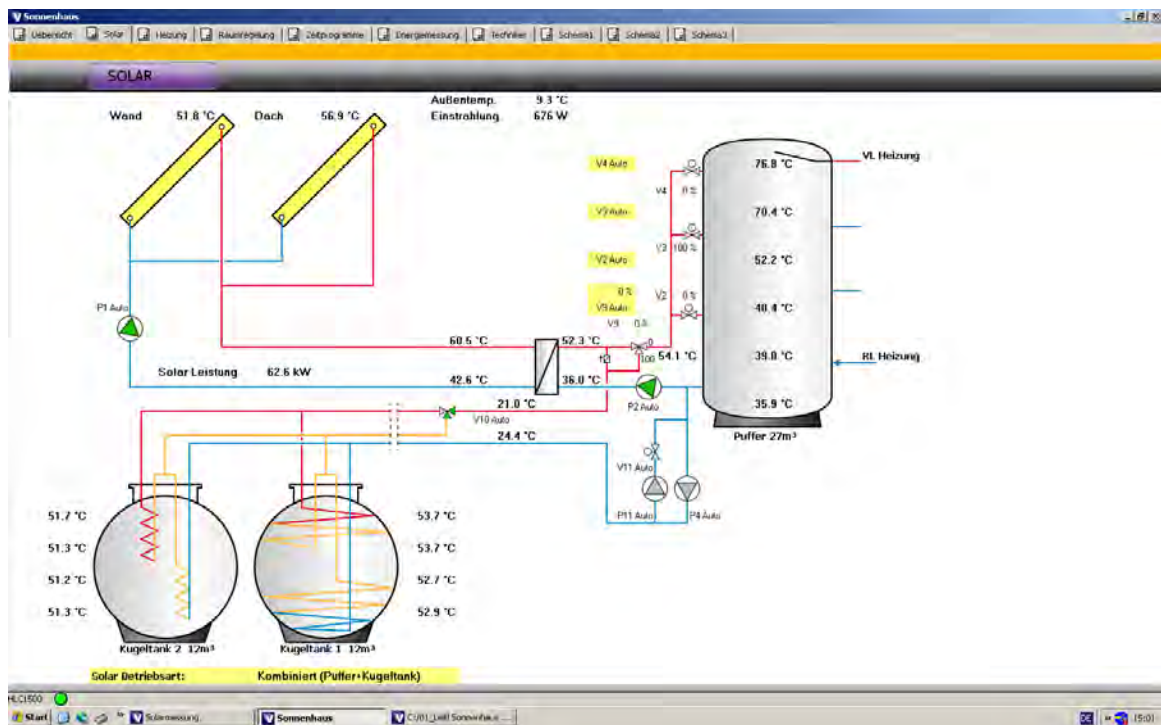


Abbildung 19: Solarschema in der Visualisierung am Monitoring-Rechner mit aktuellen Minuten-Mittelwerten

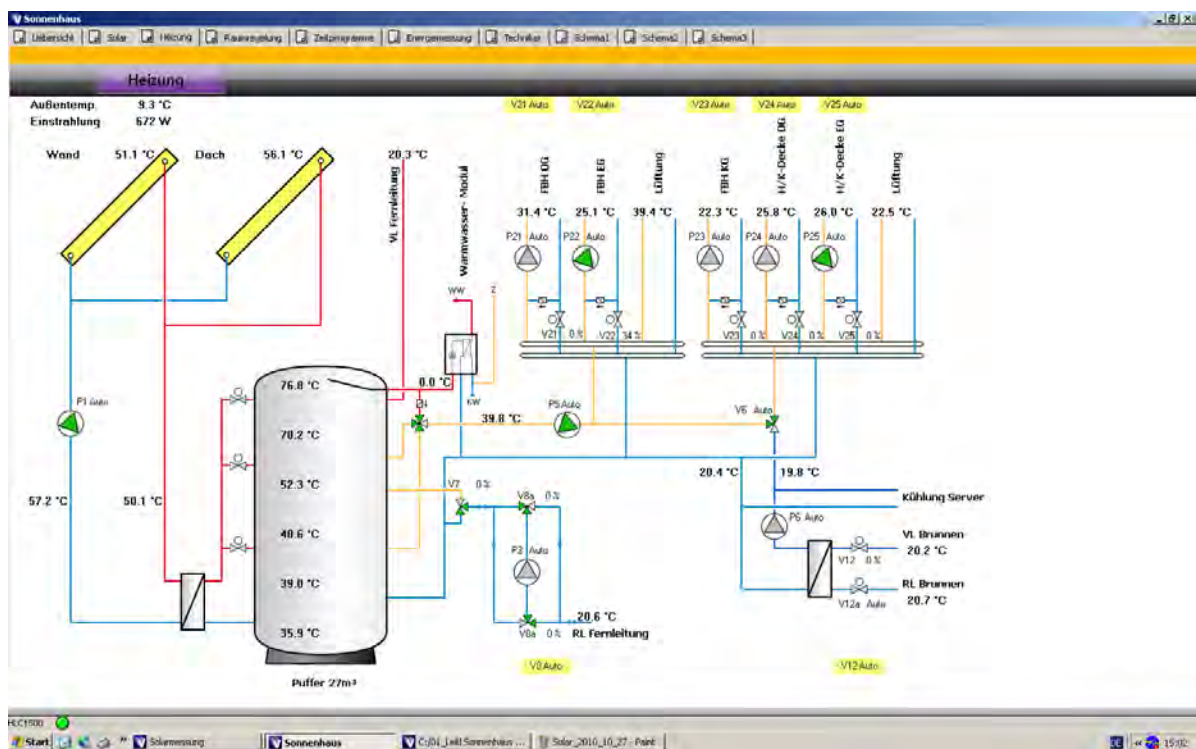


Abbildung 20: Heizungsschema in der Visualisierung am Monitoring-Rechner mit aktuellen Minuten-Mittelwerten

2.5.3 Speichermanagement

Im Zuge des Monitoring-Prozesses wurde die Anlage mit unterschiedlichen Speicherzuständen gefahren. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über das Speichermanagement gegeben:

- Von Mai bis September 2011 wurde die überschüssige Wärmeenergie aus der Solaranlage an das nebenstehende Betriebsgebäude abgegeben, wodurch im Betriebsgebäude der Gasverbrauch reduziert und eine Stagnation der Solaranlage verhindert werden konnte.
- Bis August 2011 wurde die Solarenergie in den Zylindertank geladen, da Umbauarbeiten an den Kugeltanks stattfanden.
- Im August und September 2011 wurden vorrangig die Kugeltanks aufgeladen und ab 9/2011 keine Wärme mehr an das Spanntonwerk abgegeben.
- Im Herbst 2011/2012 wurde das Auskühlverhalten der Kugeltanks bei hohen Speichertemperaturen (95 °C) untersucht. Es wurde keine Wärmeenergie entnommen und in zwei kurzfristigen Perioden keine Wärme eingespeist.
- Das Sonnenhaus wurde in der Heizperiode 2011/2012 ausschließlich mit dem Zylindertank betrieben (Heizung und Brauchwasser), um zu prüfen, ob ein zufriedenstel-

lender solarer Deckungsgrad bei ausschließlicher Nutzung des Stahl-Zylindertanks erreicht wird.

- Nach Ende der laufenden Monitoringphase wird für die Heizperiode 2012/2013 vollständig auf die Kugeltanks umgestellt, um deren Betriebsfähigkeit zu analysieren. Dazu wurde ab September der Wärmeertrag in erster Linie in die Kugeltanks eingespeist und der Wärmebedarf nur aus diesen entnommen. Die weitere Begleitung und Auswertung erfolgt in einem vereinfachten Monitoring.

3 Ergebnisse des Projektes

In diesem Abschnitt werden die Betriebsergebnisse aus verschiedenen Betrachtungszeiträumen vorgestellt und Probleme beim Monitoring erläutert.

3.1 Probleme und Erfahrungen im Verlauf des Monitoring-Prozesses

- Der Außentempersensordatensensor war zu Beginn an einer ungünstigen Stelle angebracht, wodurch es zu einer direkten Sonneneinstrahlung kam. Er musste versetzt werden.
▶ Die geeignete Positionierung des Außentempersensordatensensors ist eine wichtige Basis für die korrekte Datenerfassung, darauf ist bei allen solarthermischen Anlagen besonderes Augenmerk zu legen.
- Die Aufzeichnungen zu den Wärmemengenzählern waren anfangs fehlerhaft. Die Daten sprangen in den dokumentierten Aufzeichnungen immer wieder auf Null. Durch Umprogrammieren des Monitoring-Programmes konnte dieses Problem behoben werden. ▶ Bei Anlagen mit Wärmemengenzählern ist eine Evaluierung der Messwerte über die erste Betriebsperiode von großer Bedeutung, damit Fehlmessungen ausgeschlossen werden können.
- Anfangs machte die zentrale Erfassung der automatisch aufgezeichneten Daten Probleme. Bis Ende Jänner 2011 war die Datenaufzeichnung unvollständig, da das Programm von den Benutzern immer wieder unabsichtlich geschlossen wurde und so für gewisse Zeiträume keine Daten aufgezeichnet werden konnten. Das System muss nach einem Abbruch händisch wieder gestartet werden. ▶ Ein stabiles Programm zur Datenerfassung ist für eine lückenlose Aufzeichnung und die richtige Interpretation der Messwerte unerlässlich.
- Die Aufzeichnungsdaten waren zu Beginn des Monitorings zu stark zersplittet und zu grob gerastert. Die Daten von Temperaturfühlern, Pumpen und Wärmemengenzählern wurden daher in einer gemeinsamen Protokolldatei zusammengefasst und das Aufzeichnungsintervall auf Minuten-Takt verdichtet. Die Pumpenlaufzeiten für Heizkreis und Lüftung werden nach wie vor getrennt aufgezeichnet. Die Datenauswertung

wurde laufend leichter lesbar und farblich differenziert gestaltet. ► Eine klare und leicht verständliche Auswertung der Messdaten, die möglichst automatisiert erfolgen sollte, ist für die Überwachung der Funktionsfähigkeit von großer Bedeutung.

- Die ursprüngliche Messanlage war konzeptionell nicht auf die gegebenen Anforderungen ausgerichtet. Sie konnte die komplexen Betriebssituationen im Zusammenspiel der großformatigen Solar-Heizungsinstallation mit Lüftung und Klimatisierung über Kühldecken nicht im erforderlichen Detaillierungsgrad abbilden. Daher wurde die Messhardware mit Jahresbeginn 2011 geändert. ► Software und Hardware für Steuerung/Regelung und Monitoring müssen an die energietechnische Anlage angepasst und dafür geeignet sein. Auch hier ist eine klare Bedienung und einfache Handhabung sehr wichtig.
- Im Logbuch wurden im Februar 2011 mehrfach Differenzen zwischen Temperaturmesswerten und Solltemperaturen bzw. Anzeigewerten in der Online-Visualisierung vermerkt. Daher wurden das Visualisierungsprogramm umprogrammiert und Darstellungsfehler korrigiert. ► Das Vermerken von Unregelmäßigkeiten und Änderungen im Anlagenbetrieb ermöglicht die korrekte Interpretation von Messdaten und das Auffinden von Problemzonen im Anlagenbetrieb. Eine sorgfältige Dokumentation der Vorgehensweise kann zu einem späteren Zeitpunkt sehr hilfreich sein.
- Der Leitungsanschluss an den Kugeltank war mehrmals undicht, weshalb die Speicher mehrmals außer Betrieb genommen werden mussten. Nach der erstmaligen Energiebeladung der beiden Kunststoffkugeltanks im Herbst 2010 hat sich kurz nach der Inbetriebnahme herausgestellt, dass der Deckel eines der beiden Tanks undicht war. Ursache dafür war, dass sich das Wasser aufgrund des nahe der Wandung liegenden Wärmetauschers (das Wasser wird von außen nach innen erwärmt) zu stark ausgedehnt hat. Dieser Wärmetauscher wurde im Sommer 2011 getauscht und der gleiche Wärmetauscher wie beim zweiten Kugeltank eingebaut (der Wärmetauscher befindet sich nun in der Mitte des Tanks und das Wasser wird von innen nach außen erwärmt). Die Kugeltanks wurden ab August 2011 wieder beladen.
- Die Rohre zu den Kunststoffkugeltanks waren aus Kunststoff und nicht ausreichend beständig gegen die hohen auftretenden Temperaturen. Diese Rohre wurden gegen Kupferrohre getauscht.
- Im März 2011 kam es aufgrund falscher Regeleinstellungen zu keiner Wärmelieferung an das Produktionsgebäude, obwohl der Solarertrag relativ hoch war. ► Auch vermeintlich noch so klare Systemeinstellungen müssen über einen längeren Zeitraum beobachtet und evaluiert werden.

3.2 Energiebilanzen – Gegenüberstellung Simulation und tatsächlicher Betrieb

Laut Simulationsberechnung (Abbildung 21) ist der jährliche Solarertrag mit ca. 30.000 kWh fast doppelt so hoch wie der Energieverbrauch des Sonnenhauses. Rund 8.500 kWh Wärmeenergie können für Warmwasser und in den Übergangszeiten für die Beheizung der Nachbargebäude genutzt werden. Umgekehrt werden von diesen Nachbargebäuden im Winter etwa 3.500 kWh Energie zur Nachheizung benötigt. Das ergibt einen jährlichen Bilanzüberschuss des Sonnenhauses von ca. 5.000 kWh. Laut Simulation sollte außerdem ein Primärenergiebedarf von 0,0 kWh/m²a bei einer CO₂-Emission von 0,29 kg/m²a erreicht werden. Tatsächlich weist die Bilanz des ersten Vollbetriebsjahres einen Primärenergiebedarf von 70 kWh/m²a und eine CO₂-Emission von 13 kg/m²a aus.

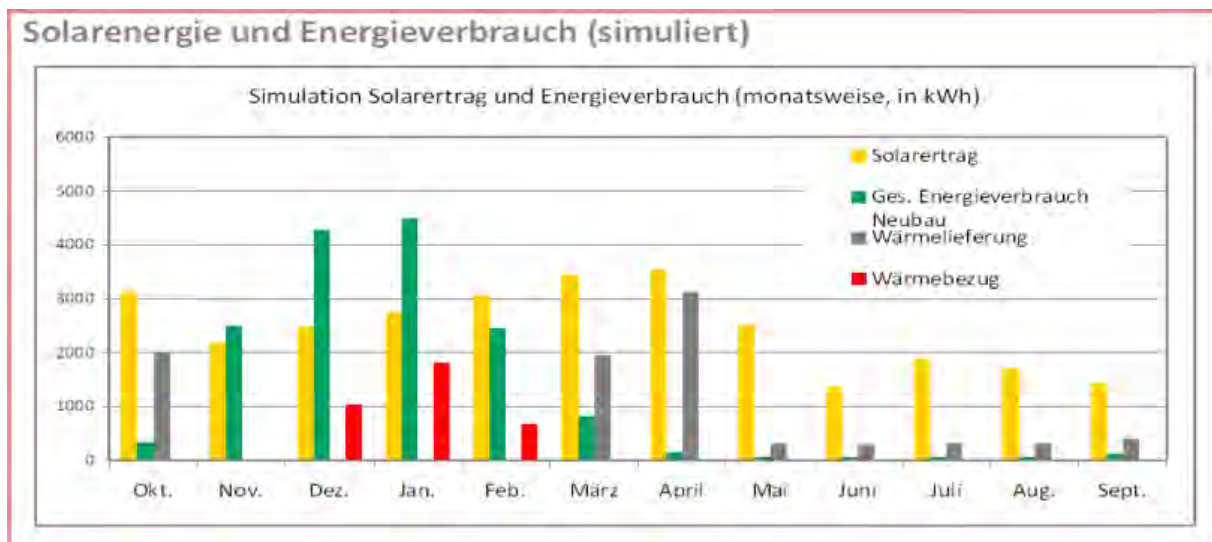


Abbildung 21: Ergebnisse laut Simulation monatsweise, über ein ganzes Jahr

Im ersten Betriebsjahr wurde die Energiebilanz laut Simulation nicht erreicht. Entgegen dem projizierten Wärmeüberschuss ergab sich ein Bilanzminus.

Die Messergebnisse des zweiten Monitoringjahres zeigen höhere Solarerträge als im ersten Jahr. Es kam zu einem geringeren Gesamtenergieverbrauch für das Objekt sowie zu deutlich erhöhten Wärmelieferungen an die Gebäude im Wärmeverbund. Schon im März des zweiten Betriebsjahres konnten erhebliche Wärmemengen an die externen Abnehmer zur Verfügung gestellt werden. Da aufgrund der Nutzung als Seminargebäude kein Warmwasserbedarf besteht, liegt der Heizwärmeverbrauch (=Gesamtenergieverbrauch) über die warme Jahreszeit bei Null (Abbildung 22). Die Stromverbräuche sind nicht abgebildet.

Die hohen Solarerträge in der Übergangszeit ergeben sich aus der steilen Aufstellung der Kollektoren. Das Sonnenhaus ist so konzipiert, dass möglichst viel Solarwärme im Winter generiert werden kann. Dadurch wird auch die Überschusswärme im Sommer reduziert. Der bei konventionellen Anlagen typische Winter-Sommer-Verlauf wird damit abgeschwächt.

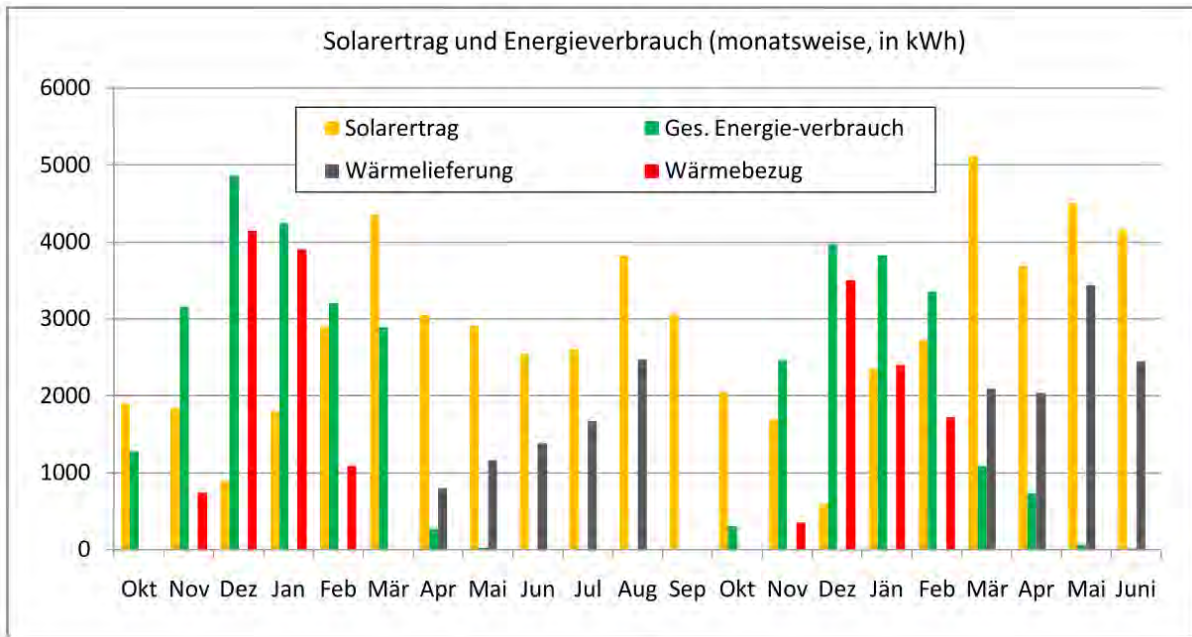


Abbildung 22: Monatsergebnisse der gesamten Monitoringperiode 10/2010 bis 6/2012

3.3 Energiebilanzen im Vergleich

Im Folgenden werden drei Bilanzen besprochen. Sie sind miteinander nicht direkt vergleichbar, da sie nicht die gleichen Bilanzzeiträume betreffen. Je nach Fragestellung müssten die entsprechenden zeitlichen Bilanzgrenzen festgelegt werden.

Die Bilanz von Oktober 2010 bis Mai 2011 zeigt den relativ hohen Wärmeverbrauch bzw. Zuheizbedarf in der ersten Betriebsphase des Sonnenhauses Eferding (Abbildung 23). Zu beachten ist hier, dass es sich um kein ganzes Bilanzjahr handelt und die Daten anfangs nicht lückenlos erfasst werden konnten.

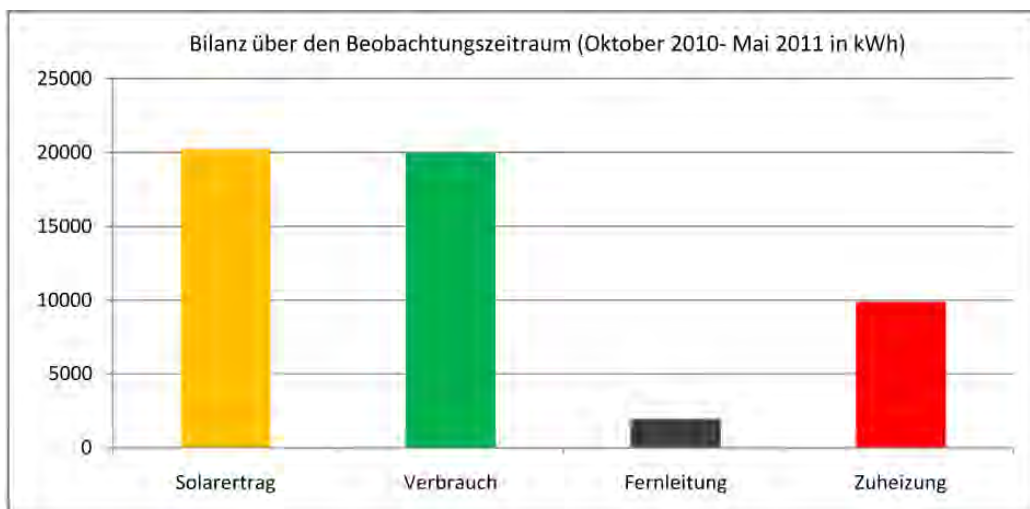


Abbildung 23: Energiebilanz für den Zeitraum 10/2010 bis 5/2011 (8 Monate)

In der Gesamtbilanz von Oktober 2010 bis Juni 2012 (Abbildung 24) ist erkennbar, wie sich die Solarerträge und die mögliche Wärmelieferung an die Nachbarobjekte gesteigert haben. Der betrachtete Bilanzzeitraum beinhaltet zwei Heiz-/Frühjahrsperioden sowie eine Sommer-/Frühherbstperiode, also wiederum nicht zwei volle Betriebsjahre.

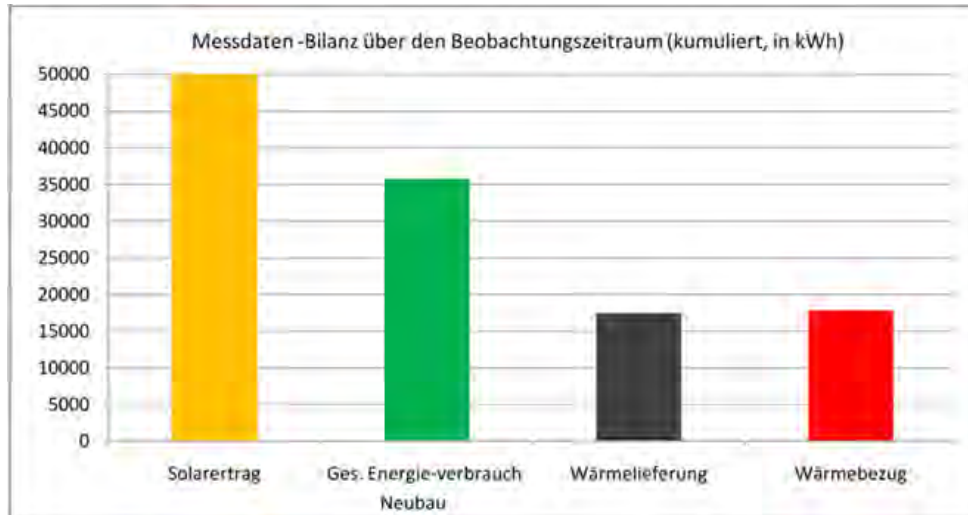


Abbildung 24: Energiebilanz für den Zeitraum 10/2010 bis 6/2012 (21 Monate)

Die Bilanz des gesamten vergangenen Monitoringjahres (Abbildung 25) zeigt im Vergleich zur vorherigen Bilanz (Abbildung 24) deutlich weniger Wärmebezug aus der Zusatzheizung gegenüber der Wärmelieferung an die Verbundobjekte. Vom Sonnenhaus konnte in dieser Betriebsperiode nahezu so viel Wärmeenergie an die benachbarten Betriebsgebäude geliefert werden, wie im Objekt selbst verbraucht wurde. Der Gesamtwärmeverbrauch im Sonnenhaus (grüner Balken) konnte außerdem gegenüber dem Solarertrag merklich verringert werden.

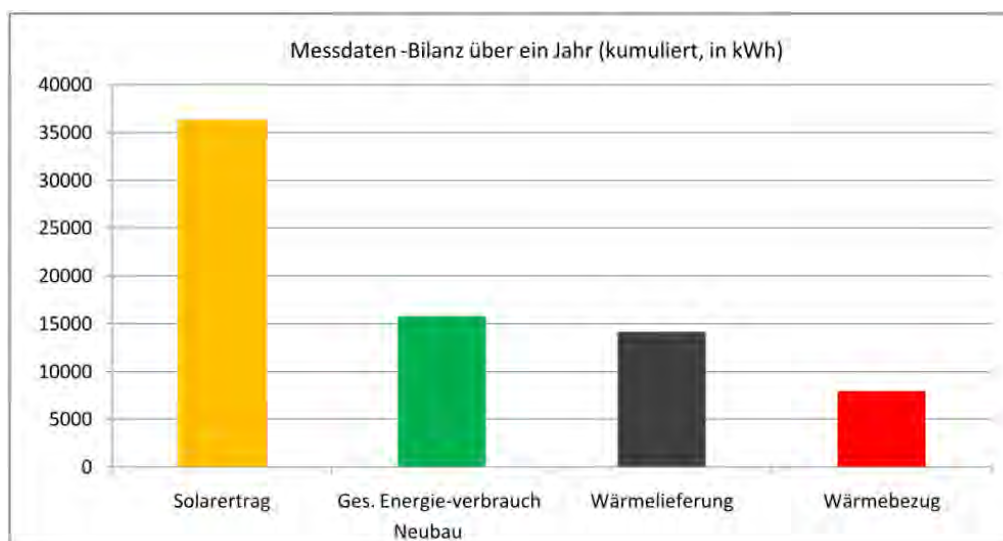


Abbildung 25: Energiebilanz für den Zeitraum 7/2011 bis 6/2012

Abbildung 26 schließlich zeigt die kumulierte Bilanz des gesamten Monitoring-Zeitraumes. Selbst wenn das erste Bilanzjahr mit seinen Anfangsschwierigkeiten in die Bilanz einbezogen wird, zeigt sich, dass mehr Wärme an das Produktionsgebäude abgegeben werden konnte, als von dort bezogen wurde.

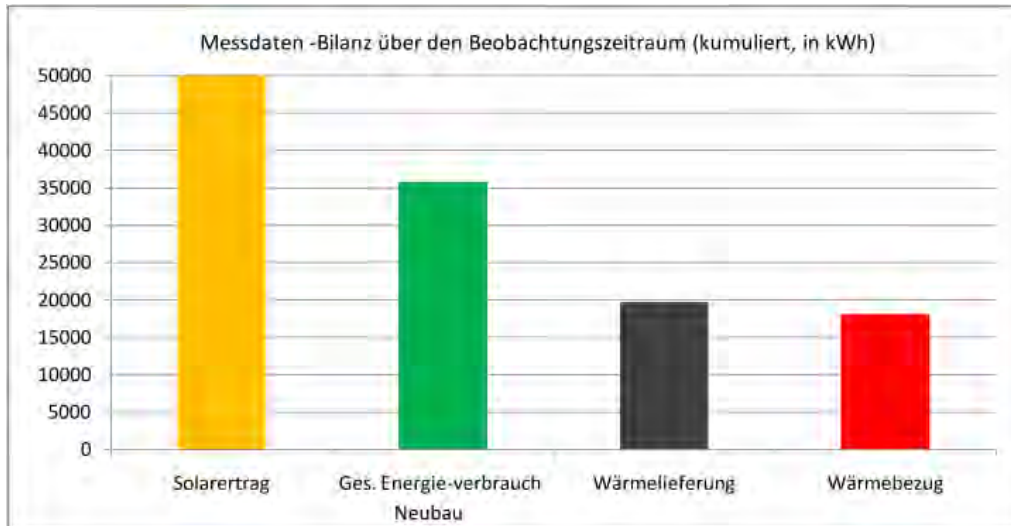


Abbildung 26: Energiebilanz über den Monitoring-Zeitraum 10/2010 bis 9/2012

Für die Nutzung der Solarenergie sind umfangreiche Installationen plus Speicher notwendig, die Verluste erzeugt. Systemverluste entstehen aber auch für Heizungsanlagen mit kleineren Speichern. In der folgenden Rechnung wurden die Systemverluste als Energieverbrauch kalkuliert und anteilig der Wärmequelle (Solar und Fernwärme) zugeordnet. Als Verbrauch gewertet wurden allerdings nur die Verluste, die durch den Betrieb der Heizanlage entstanden sind, da die Stillstands-Verluste der Solaranlage in den Sommermonaten keinen Heizwärmebedarf darstellen. Die Wärmeverluste der Heizung werden in den Monaten Oktober bis März mit 950 kWh pro Monat abgeschätzt. Im gesamten Monitoring Zeitraum Oktober 2010 bis September 2012 ergeben sich folgende Summenwerte:

Verbrauch + Verluste	47.206 kWh
Fernleitung-Bezug	18.113 kWh
➔ Solaranteil im SH	29.093 kWh, das sind 62 % des Gesamtbedarfes

Geht man davon aus, dass der gesamte Solarertrag des Sonnenhauses entweder als Heizwärme (im Winter) oder als Prozesswärme im Werk (im Sommer) sinnvoll genutzt wird, so ist die Gesamteinsparung deutlich höher. Es können alle Systemverluste in die Kalkulation einbezogen werden, da sie bei jeder Art der Wärmebereitstellung anfallen, und zusätzlich wird die Energielieferung über die Fernleitung an das Werk als Verbrauch gerechnet. Im Monitoringzeitraum Oktober 2010 bis September 2012 ergeben sich daraus folgende Gesamtwerte:

Verbrauch SH	47.206 kWh
Verbrauch Werk	19.725 kWh
Systemverluste	32.304 kWh
➔ Gesamtverbrauch	87.835 kWh

Fernleitung-Bezug 18.113 kWh
 → Solaranteil im SH 69.722 kWh, das sind 79 % des Gesamtverbrauches (solare Deckung)

3.4 Energiebilanz in Monatsauswertung

Eine differenzierte Bilanz der einzelnen Monate ergibt folgende Datenwerte (Tabelle 3).

Tabelle 3: Bilanzwerte der einzelnen Monate im Monitoringzeitraum

Jahr	Monat	Heizwärmeverbrauch Sonnenhaus	Solarwärmeverbrauch Werk	Verluste Solarwärme im System und Einspeicherung in die Speicher	Gesamtheizwärmeverbrauch inkl. Solarsystem-verluste	Wärmebezug über Fernleitung (aus Gas)	Nutzung Solarwärme für das Sonnenhaus	Solarwärmee-nutzung gesamt (Sonnenhaus+Werk)
2010	Okt	1.276	0	950	2.226	0	1.276	1.276
2010	Nov	3.156	0	950	4.106	743	2.413	2.413
2010	Dez	4.866	0	950	5.816	4.142	724	724
2011	Jan	4.243	0	937	5.180	3.903	340	340
2011	Feb	3.210	0	966	4.176	1.085	2.125	2.125
2011	Mär	2.892	0	266	3.158	0	2.892	2.892
2011	Apr	275	802	1.857	2.934	0	275	1.077
2011	Mai	21	1.158	1.810	2.989	0	21	1.179
2011	Jun	0	1.386	1.503	2.889	0	0	1.386
2011	Jul	0	1.673	1.044	2.717	0	0	1.673
2011	Aug	0	2.473	1.315	3.788	0	0	2.473
2011	Sep	0	0	2.016	2.016	0	0	0
2011	Okt	301	0	2.230	2.531	0	301	301
2011	Nov	2.466	0	1.150	3.616	352	2.114	2.114
2011	Dez	3.973	0	162	4.135	3.500	473	473
2012	Jän	3.826	0	653	4.479	2.400	1.426	1.426
2012	Feb	3.320	0	1.603	4.923	1.988	1.332	1.332
2012	Mär	1.087	2.091	1.367	4.545	0	1.087	3.178
2012	Apr	731	2.036	716	3.483	0	731	2.767
2012	Mai	65	3.437	1.130	4.632	0	65	3.502
2012	Juni	18	2.444	1.860	4.322	0	18	2.462
2012	Juli	1	645	1.840	2.486	0	1	646
2012	Aug	5	24	2.708	2.737	0	5	29
2012	Sep	74	1.556	2.322	3.952	0	74	1.630
	TTL	35.806	19.725	32.304	87.835	18.113	17.693	37.418

Die Summen der Spalten „Heizwärmeverbrauch Sonnenhaus“ mit 35.806 kWh und „Solarwärmee-nutzung gesamt (Sonnenhaus+Werk)“ mit 37.418 kWh belegen, dass im Sonnenhaus mehr Solarwärme generiert werden kann, als für das Gebäude selbst benötigt wird.

Die grünen Balken in Abbildung 27 beinhalten einerseits die tatsächlichen Systemverluste, aber auch jene solaren Wärmeerträge, die in die Speichermedien eingelagert und für spätere Bedarfe verfügbar gemacht wurden. Beispielsweise wurde im September 2011 und im August 2012 jeweils die Wärmelieferung an das Werk eingestellt und die generierte Solarwärme vollständig in die Speicher eingespeist. Die blauen Balken zeigen den gesamten Heizenergieverbrauch des Sonnenhauses ohne Berücksichtigung der Wärmequelle.

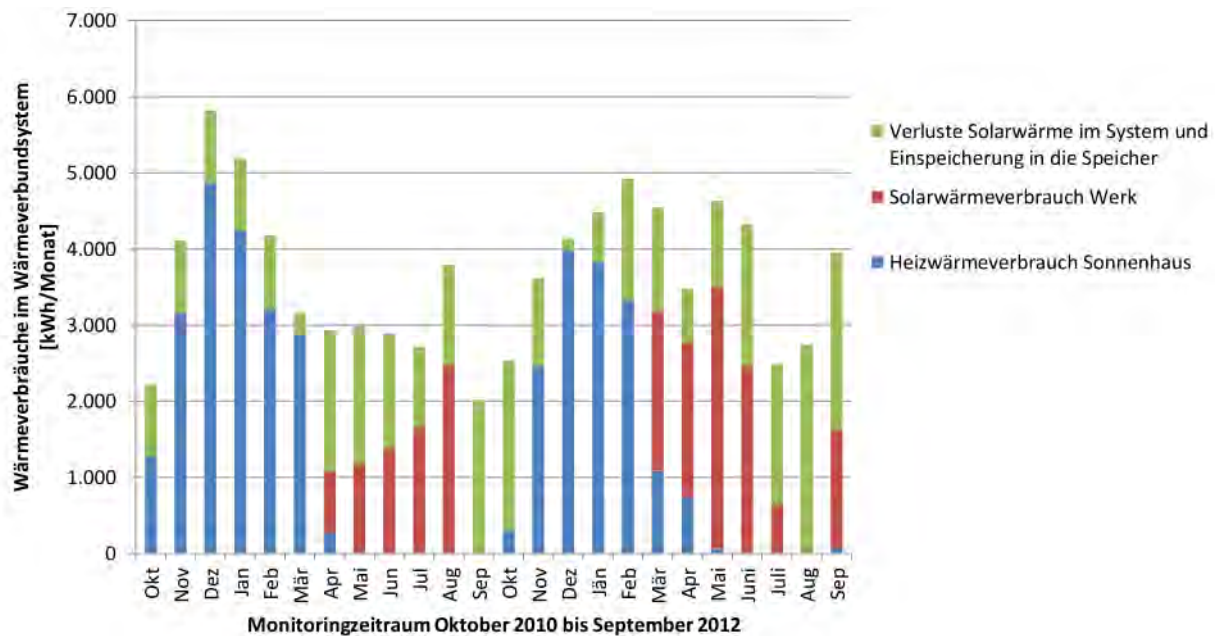


Abbildung 27: Heizwärmeverbräuche im Wärmeverbund

Die Nutzung der rein solar generierten Wärmeerträge im Sonnenhaus und im Werk zeigt Abbildung 28. Auch hier gilt die Aussage bezüglich Verlusten und Wärmeinspeisung in die Speicher.

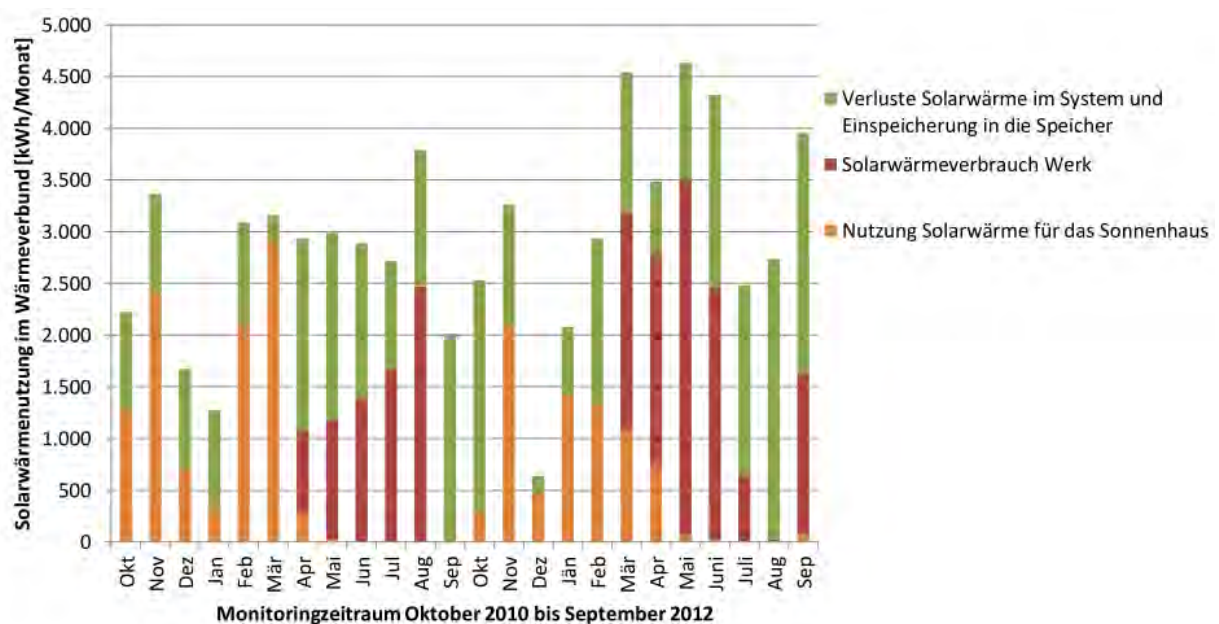


Abbildung 28: Solarwärmenutzung des Sonnenhauses und der Spanntonwerks

3.5 Primärenergetische Betrachtung der monatlichen Energiebilanzen

Werden die Ergebniswerte der monatlichen Auswertung aus Abbildung 28 auf Erdgas als Primärenergieträger umgelegt, können Einsparungen laut Abbildung 29 erzielt werden. Als Vergleichsannahmen liegen der Berechnung zugrunde: Gaskessel, Jahresnutzungsgrad 77 %, Erdgas: 9,6 kWh/m³, 0,20 kg CO₂/kWh.

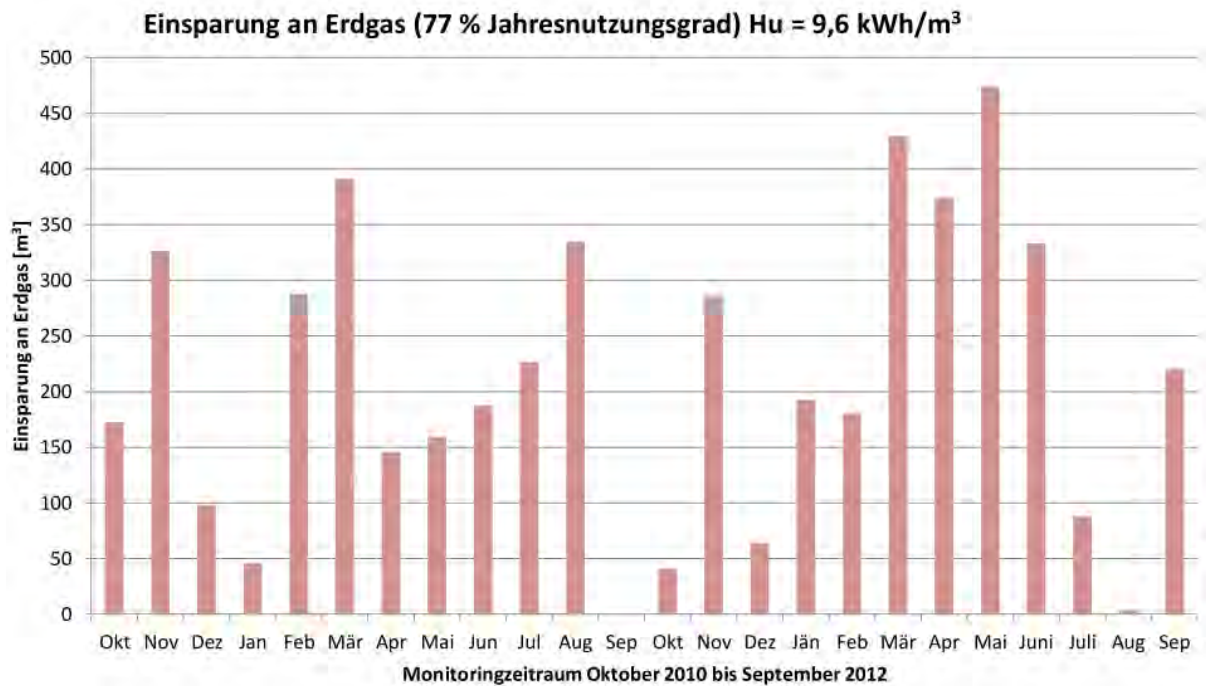


Abbildung 29: Einsparungen an Erdgas im Monitoringzeitraum

Insgesamt konnten im Monitoringzeitraum 5.062 m³ Erdgas durch Solarwärme ersetzt werden.

Wird der solare Endenergieverbrauch auf Kohlendioxidemissionen aus Erdgasnutzung umgerechnet, so ergibt sich, dass von Oktober 2010 bis September 2012 insgesamt 7.484 kg, also rund 7,5 Tonnen CO₂ vermieden werden. Abbildung 30 zeigt die Einsparungen im Jahresverlauf über den gesamten Monitoringzeitraum. Eine deutliche Verbesserung der Einsparungen im zweiten Monitoringjahr ist evident. Die „Einsparungslücken“ im September bzw. August ergeben sich wiederum aus der Wärmeeinspeisung in die Speichermedien. Die Betrachtung der Einsparungen bezieht sich auf den solaren Nutzenergieverbrauch im Wärmeverbund umgelegt auf einen Jahresnutzungsgrad der Gastherme von 77 %.

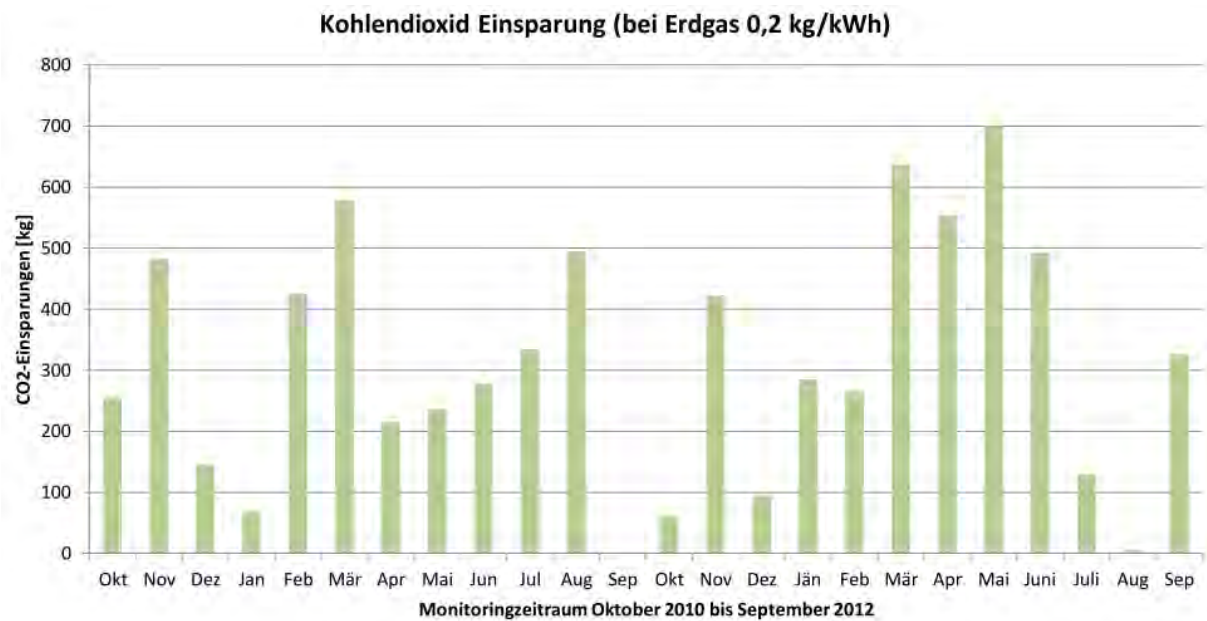


Abbildung 30: Vermeidung von Kohlendioxid-Emissionen im Monitoringzeitraum

3.6 Messdaten zur Aufladung des Stahl tanks (Juli – August 2010)

Zu Beginn der Inbetriebnahme der Anlage wurden die Temperaturen im Stahl tank manuell protokolliert und ausgewertet (Abbildung 31).

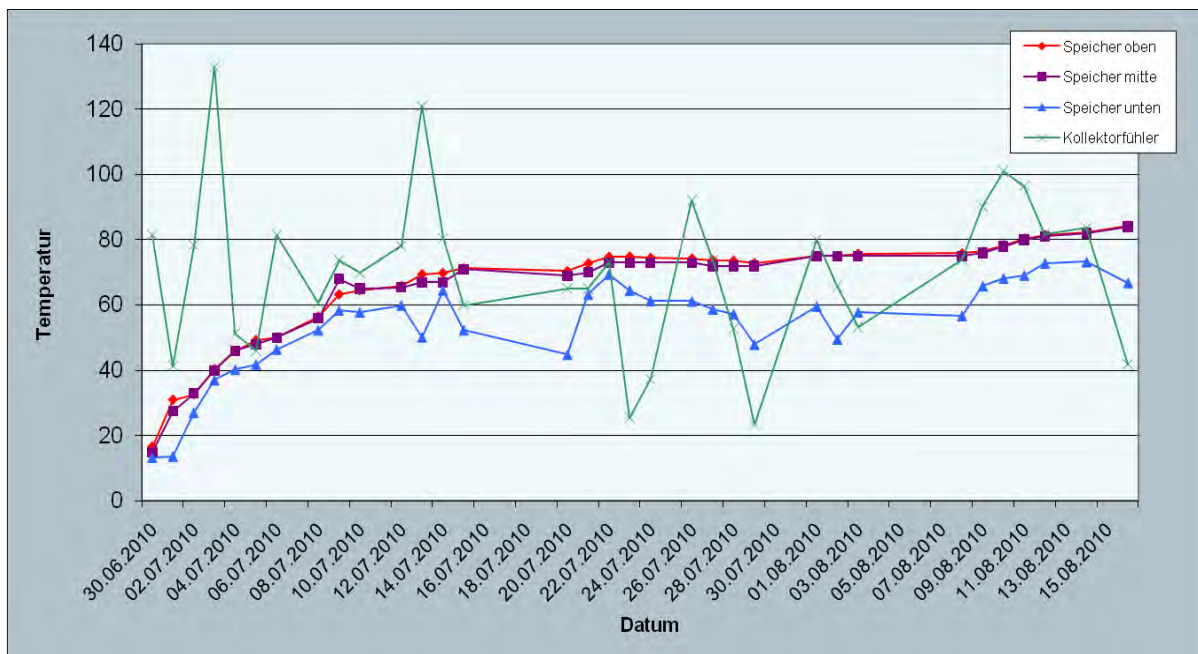


Abbildung 31: Messdaten Stahl tank (Juli – August 2010)

Bereits innerhalb von zehn Tagen haben sich die 27.000 Liter Wasser auf 60 °C erhitzt. Zehn Tage nach dem Befüllen des Tanks und nach Beginn der Temperaturlaufzeichnungen hat sich eine gute Temperaturschichtung von durchschnittlich 10 Kelvin (Speicher oben 10 K wärmer als unten) eingestellt. Innerhalb des oberen Speicherbereiches ist kaum eine Tem-

peraturschichtung aufgetreten. Nach 1½ Monaten sind im oberen Speicherbereich bereits ca. 85 °C gemessen worden.

3.7 Entladen des Zylinderspeichers durch Wärmeverluste

In dem Messzeitraum 14.10.2010 0:00 bis 18.10.2010 0:00 fand keine solare Beladung der Speicher statt. Die Einstrahlung und somit die Kollektortemperaturen waren in diesem Zeitraum zu gering, um nutzbare Wärme an die Speicher abzugeben. Die Messung der Temperaturschichtung in den Speichern (Kugeltanks und Stahlspeicher) erfolgte in Zwei-Minuten-Schritten. Die Temperaturschichtung des im Gebäude integrierten Stahlspeichers wurde anhand von sechs Temperatursensoren erfasst. Die Speichertemperaturen des bereits vor dem Messzeitraum solar beladenen 27 m³ Stahlspeichers und ihre Verlustrate werden in Abbildung 32 dargestellt. Die Abnahme der Speichertemperaturen im oberen Speicherbereich ist gering, im unteren Speicherbereich sind sie erheblich (F6/1).

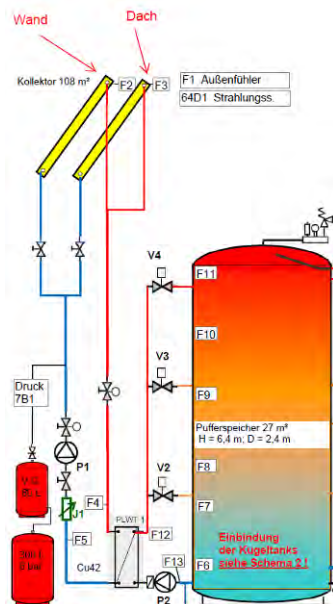


Abbildung 32: Solarprimärkreis mit Pufferbeladung

Erklärung der Abkürzungen in Abbildung 33:

- F6/1: Temperatur im unteren Speicherbereich
- F7/1: Temperatur im Speicherbereich unterer Hälfte Mitte
- F8/1: Temperatur im Speicherbereich unterer Hälfte oben
- F9/1: Temperatur im Speicherbereich obere Hälfte unten
- F10/1: Temperatur im Speicherbereich obere Hälfte Mitte
- F11/1: Temperatur im oberen Speicherbereich

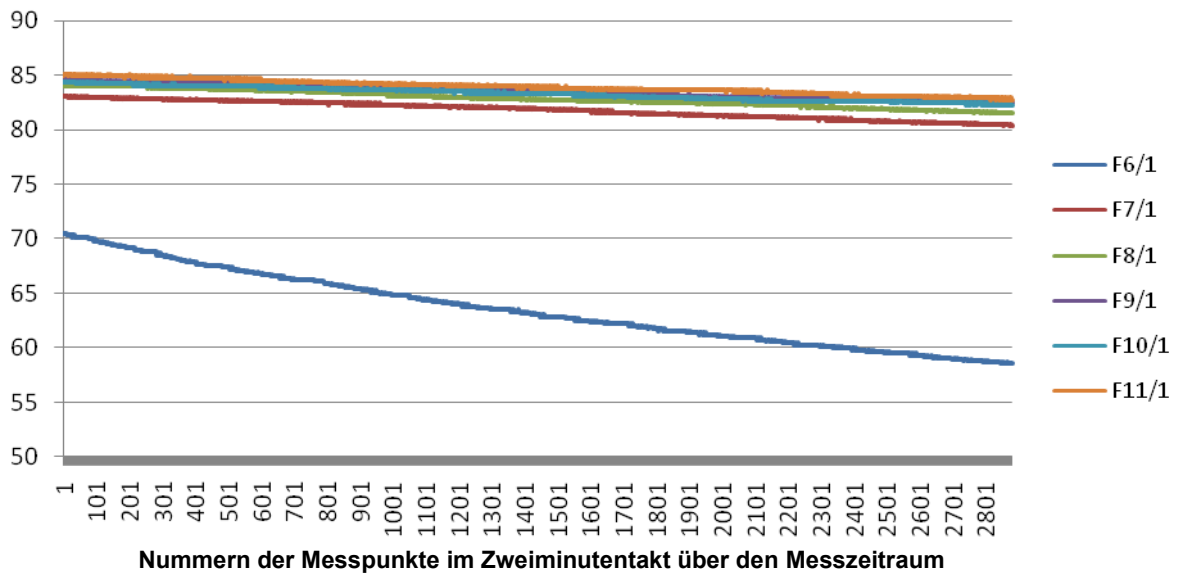


Abbildung 33: Temperaturen im Stahlspeicher

3.8 Temperaturverläufe im Solarkreis und im Pufferspeicher an einem Tag mit solarer Beladung

Abbildung 34 zeigt die Messdaten vom Erhebungszeitraum 19.10.2010 0:00 bis 20.10.2010 0:00. Die Aufzeichnung erfolgte ebenfalls in Zwei-Minuten-Schritten. Die Kollektortemperatur steigt über die Temperatur im unteren Bereich des Speichers und somit schaltet sich die Solarkreispumpe ein. Bei niedrigeren Temperaturen des Kollektorkreisvorlaufes erfolgt die Beladung der Kugeltanks. Die Temperaturschichtung im oberen Speicherbereich (F10 und F11) wird dadurch nicht gestört. Auffällig ist die Abnahme der Temperatur F8 im Speicher noch vor einer solaren Beladung.

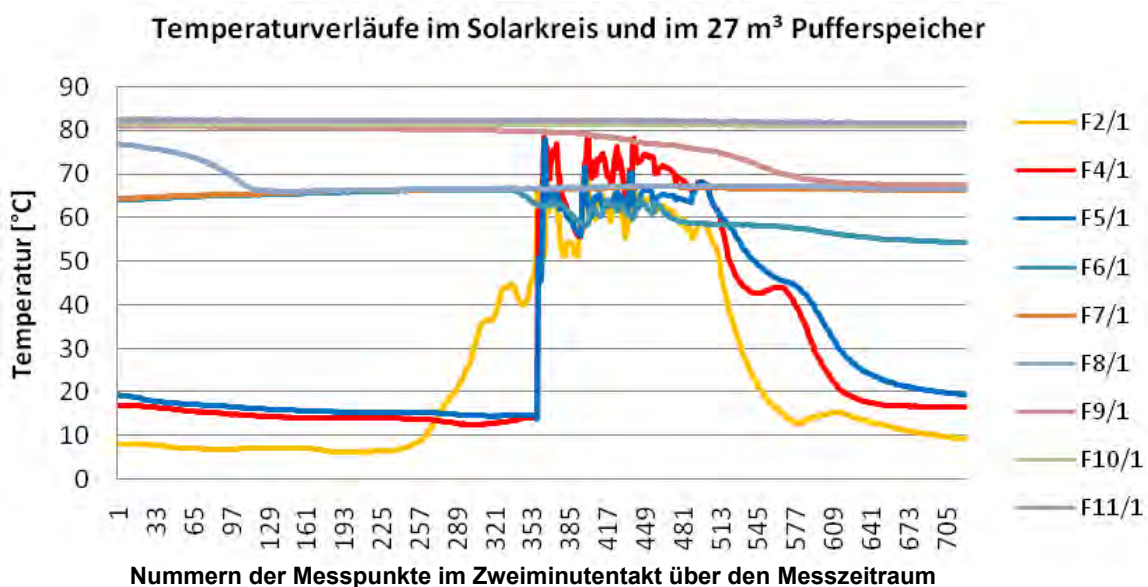


Abbildung 34: Temperaturverläufe an einem Tag

Erklärung der Abkürzungen

- F2/1: Kolleortemperaturfühler (Wandkollektorfläche)
- F4/1: Vorlauftemperatur (Kollektorprimärkreis)
- F5/1: Rücklauftemperatur (Kollektorprimärkreis)
- F6/1: Temperatur im unteren Speicherbereich
- F7/1: Temperatur im Speicherbereich unterer Hälfte Mitte
- F8/1: Temperatur im Speicherbereich unterer Hälfte oben
- F9/1: Temperatur im Speicherbereich obere Hälfte unten
- F10/1: Temperatur im Speicherbereich obere Hälfte Mitte
- F11/1: Temperatur im oberen Speicherbereich

3.9 Eingestrahlte Leistung auf das Kollektorfeld und Leistung des Solarprimärkreises

In Abbildung 35 ist ersichtlich, dass der Kollektorprimärkreis ca. 28 % der eingestrahlichten Leistung auf die Kollektorfläche als solare Leistung aufnimmt und an das Speichersystem abgibt.

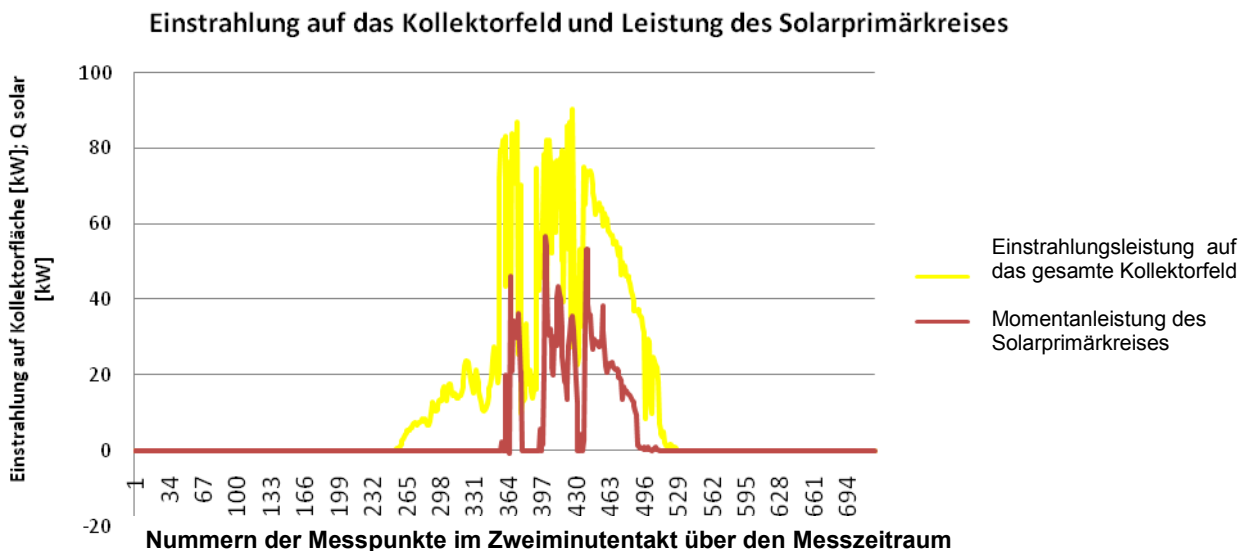


Abbildung 35: Eingestrahlte Leistung auf das Kollektorfeld im Vergleich zur Leistung des Solarprimärkreises

3.10 Ergebnisse der Kugeltank-Analyse

3.10.1 Temperaturverläufe im Solarprimärkreis und in den Kugeltanks

Abbildung 36 zeigt die Temperaturverläufe im Solarkreis und in den Kugeltanks am 19.10.2010. An diesem Tag erfolgte eine vorrangige solare Beladung der Kugeltanks. Die Temperaturen zur solaren Direktbeladung des Pufferspeichers waren zu gering. Die Temperaturen der Kugeltanks konnten im oberen Tankbereich (F23 und F27) an diesem Tag um ca. 3 Kelvin gehoben werden.

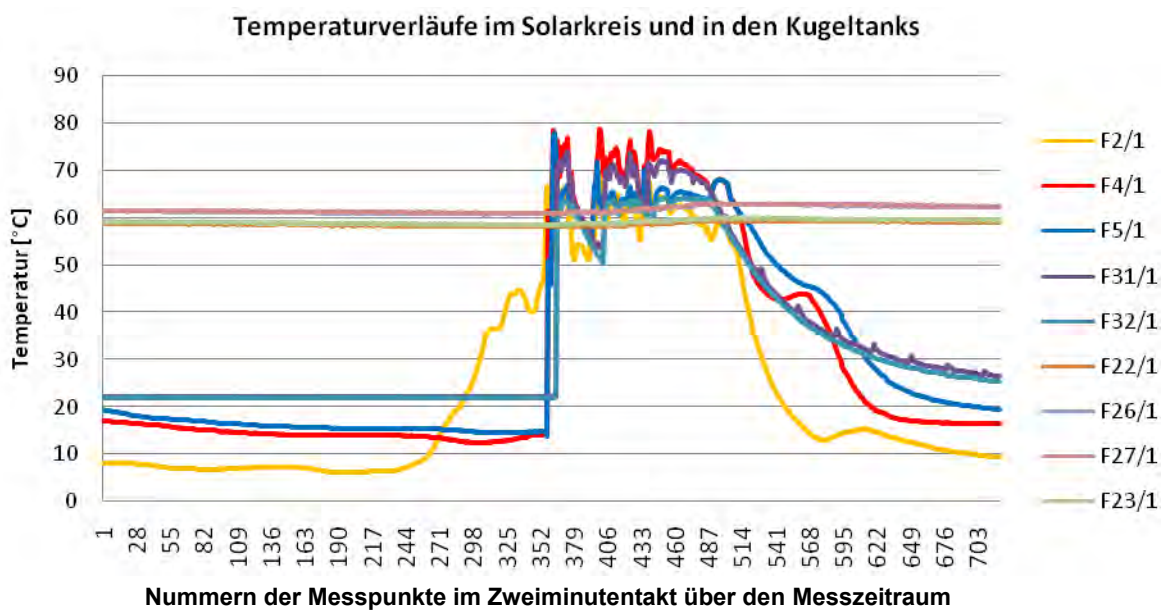


Abbildung 36: Temperaturverläufe der Kugeltanks

Erklärung der Abkürzungen für Abbildung 37:

- F2/1: Kollektortemperaturfühler (Wandkollektorfläche)
- F4/1: Vorlauftemperatur (Kollektorprimärkreis)
- F5/1: Rücklauftemperatur (Kollektorprimärkreis)
- F31/1: Vorlauftemperatur Beladung Kugeltanks
- F32/1: Rücklauftemperatur Beladung Kugeltanks
- F22/1: Temperatur im Kugeltank 1 obere Hälfte unten
- F26/1: Temperatur im Kugeltank 2 obere Hälfte unten
- F27/1: Temperatur im Kugeltank 2 obere Hälfte oben
- F23/1: Temperatur im Kugeltank 1 obere Hälfte oben

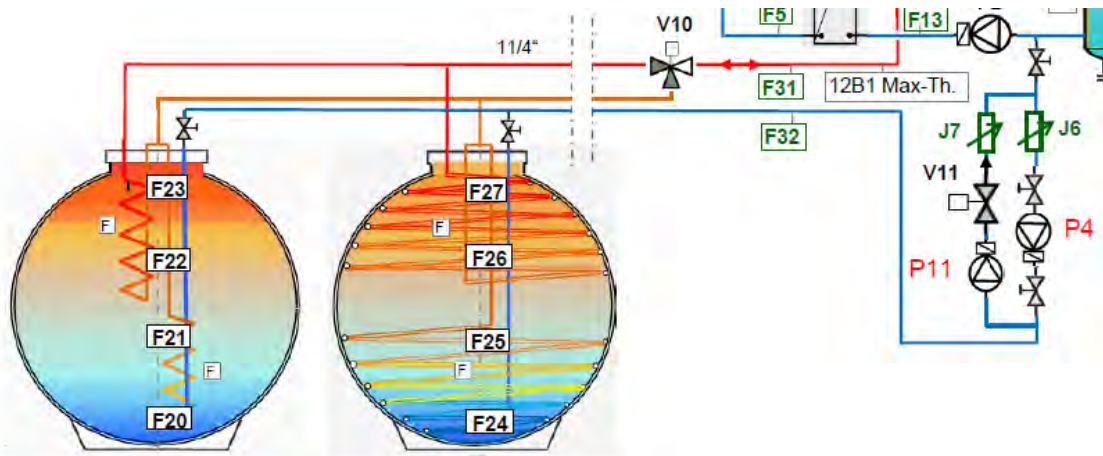


Abbildung 37: Kugeltanks

Im Oktober 2011 wurde das Abkühlverhalten der Kugeltanks untersucht. Dazu wurden sie einmal voll aufgeladen und in zwei Phasen ohne Nachladung ausgekühlt. Für die Auswertung der Ergebnisse wurden 12.000 Liter Wasser pro Tank und eine spezifische Wärmespeicherkapazität von Wasser von $c_p = 4,18 \text{ kJ/kg K}$ zugrunde gelegt. Die angenommene Bodentemperatur im Oktober ist $12 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.10.2 Abkühlrate der Kugelspeicher

Die Temperaturen im Kugelspeicher wurden digital aufgezeichnet und können wie in Abbildung 38 dargestellt, angezeigt werden. Auch im dargestellten Zeitverlauf (13.10.2010 bis 18.10.2010) kommt es zu einem konstanten Temperaturabfall in den Kugelspeichern. Zu sehen sind die oberen Speichertemperaturen.

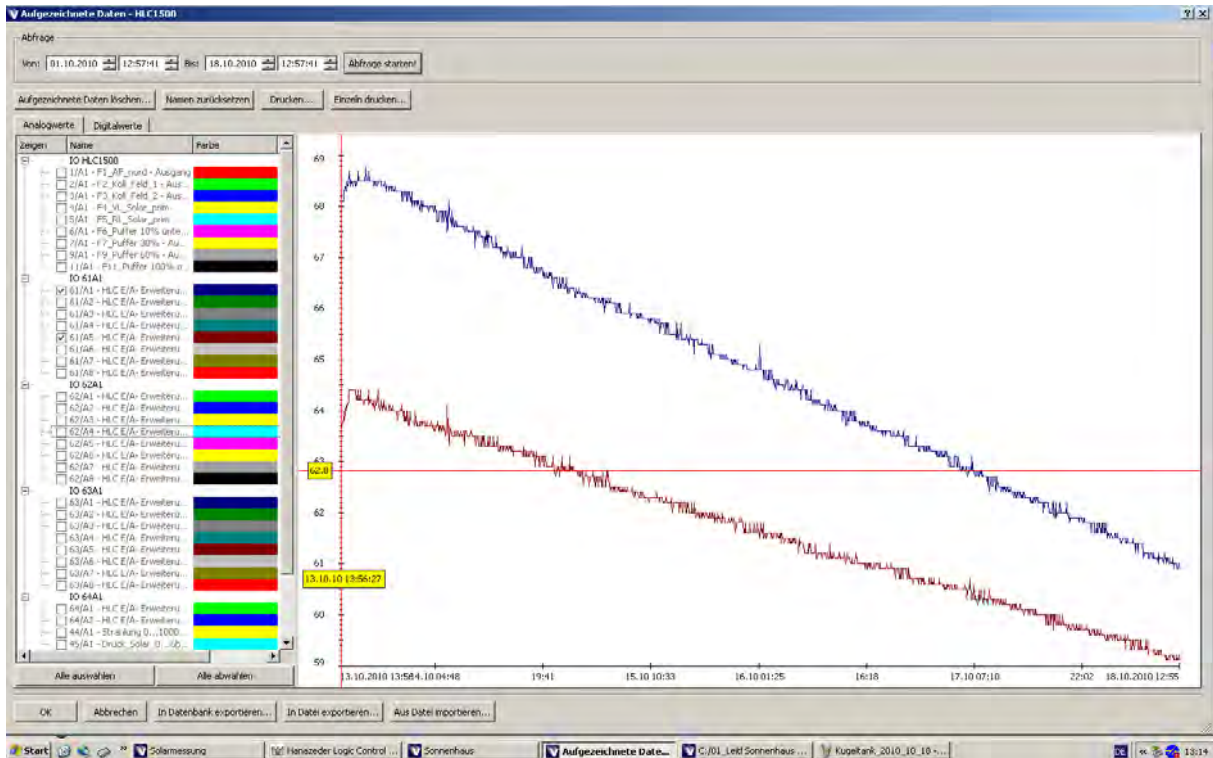


Abbildung 38: Beispiel für die Aufzeichnung der Kugeltanktemperaturen, hier die oberen Temperaturen beider Speicher

Abbildung 39 zeigt den gleichmäßigen Abfall der Speichertemperaturen bei allen Temperaturfühler der Kugeltanks.

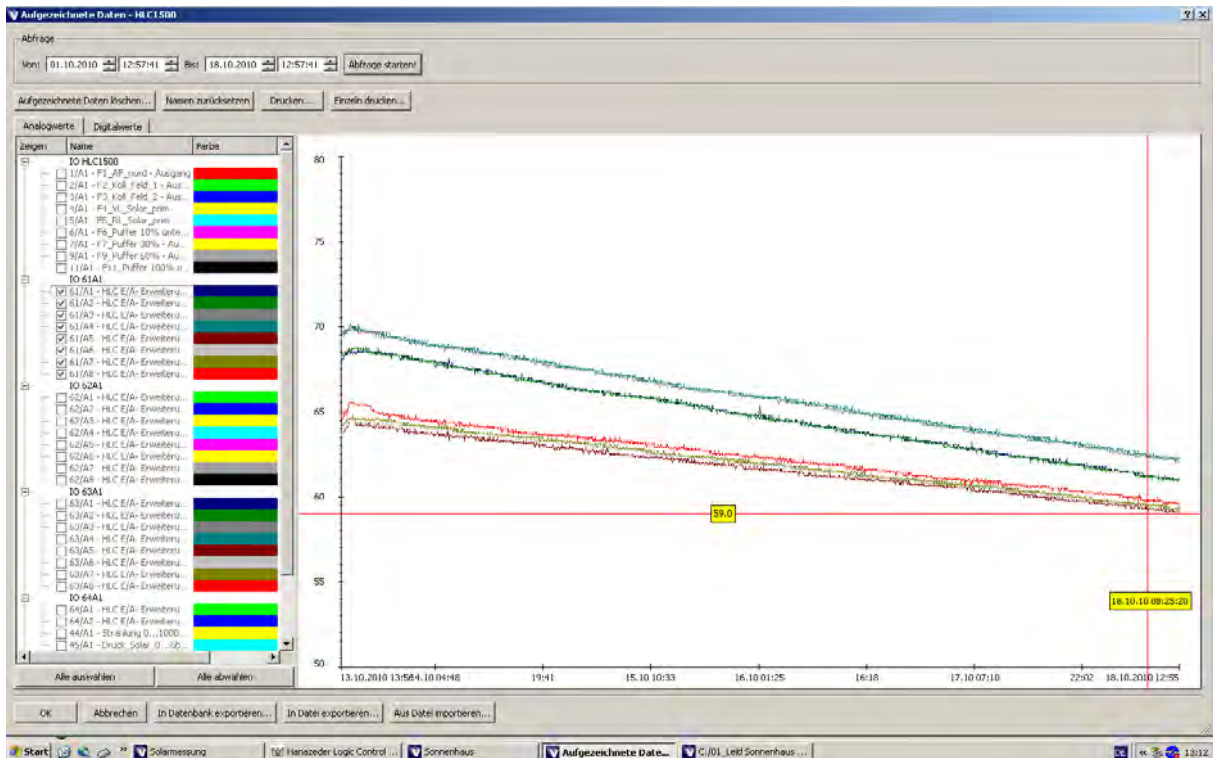


Abbildung 39: Aufzeichnungen der Kugelttemperaturen, Werte der unterschiedlichen Temperaturfühler

Im Verlauf des Oktober 2011 gab es zwei Phasen, in denen keine Aufheizung der Kugeltanks erfolgte (Abbildung 40):

Speichertemperatur-Verlauf 1) 120 Stunden

Von 5.10. bis 10.10.2011 kam es zu einer Abkühlung von 76,1 °C auf 68,3 °C. Bezogen auf die Temperaturdifferenz Speicher zur Umgebung ergibt sich daraus eine Verlustleistung von 15 W/K Temperaturdifferenz. Für eine Speichertemperatur von 70 °C und 12 °C Bodentemperatur zeigt diese Auswertung eine Verlustleistung von 900 W bzw. einen Energieverlust von 21,6 kWh pro Tag.

Speichertemperatur-Verlauf 2) 336 Stunden

Von 19.10. bis 2.11.2011 kam es zu einer Abkühlung von 62,5 °C auf 51,8 °C. Diese Abkühlungsphase ist deutlich gleichmäßiger, die Verlustleistung liegt bei 10 W/K Temperaturdifferenz. Für eine Speichertemperatur von 60 °C (22.10.2011) und 12 °C Bodentemperatur ergibt sich nach dieser Auswertung eine Verlustleistung von 480 W und ein Energieverlust von 11,5 kWh pro Tag.

Verlustleistung der Kugeltanks

Bei gleichmäßiger Aufheizung der beiden Tanks ist für jeden Tank eine Verlustleistung von 10 W pro Kelvin Temperaturdifferenz zum Boden feststellbar. Für beide Tanks gemeinsam beträgt sie 20 W/K. Wird nur ein Tank betrieben, so ist mit einer geringfügig höheren Verlustleistung pro Tank zu rechnen.

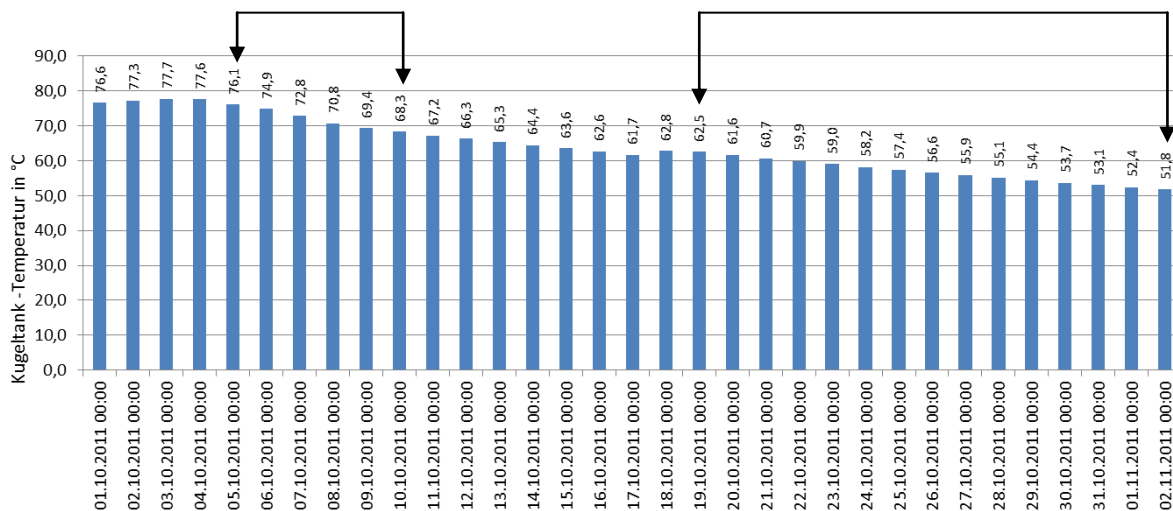


Abbildung 40: Verlauf der Durchschnittstemperatur der Kugeltanks (ohne Schichtung), Oktober 2011

3.10.3 Schichtverhalten der Kugelspeicher

In den Kunststoffkugeltanks wurden ursprünglich zwei unterschiedliche Wärmetauschersysteme eingebaut:

- Wärmetauscher in der Mitte des Tanks (Wasser erwärmt sich von innen nach außen)
- Wärmetauscher nahe der Wandung des Tanks (Wasser erwärmt sich von außen nach innen)

Ziel war es, zu untersuchen, ob sich die beiden Wärmetauschertypen gleich gut für den Speicherbetrieb in Kombination mit Kunststoffkugeltanks eignen. Es hat sich gezeigt, dass der außenliegende Wärmetauschertyp nicht geeignet ist, da sich das Wasser zu stark ausdehnt und der Deckel des Tanks nicht abgedichtet werden konnte. Daher wurde dieser Wärmetauscher durch einen innenliegenden ersetzt.

Im Herbst 2011 war bei beiden Kunststoffkugeltanks ersichtlich, dass sich keine Temperaturschichtung (oben heißeres Wasser – unten kälteres Wasser) einstellt. Die Temperatur oben im Tank unterscheidet sich von der Temperatur im unteren Bereich nur um 1 – 2 Kelvin, es ist kein vergleichbares Schichtverhalten wie im zylinderförmigen Stahltank möglich:

Temperatur im Stahltank (21.10.2011):

- Oben: 92,7°C
- Unten: 41,5°C

Temperatur in den Kunststoffkugeltanks (21.10.2011):

- Oben: 62,9°C
- Unten: 61,6°C

Die Hauptursache dafür wird in der Geometrie des Wärmetauschers vermutet, welcher über die gesamte Kugeltankhöhe reicht.

4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

Forschung, Technologieentwicklung und Innovationen stehen im Zentrum der österreichischen Energiestrategie 2050 zur Weiterentwicklung des österreichischen Energieversorgungssystems, um den Anforderungen der Zukunft begegnen zu können. Ein Hauptfokus liegt auf der Energieeffizienz, ein anderer ist die Anwendung erneuerbarer Energieträger. Der verpflichtende Anteil an erneuerbaren Energieträgern am Endenergieverbrauch für das Jahr 2020 beträgt 34 %.

4.1 Einpassung in das Programm

Sonnenenergie ist eine CO₂ freie Primärenergiequelle, die ohne Zeitlimit zur Verfügung steht. Dementsprechend wird von Sonnenhäusern deutlich weniger Primärenergie verbraucht als bei anderen energieeffizienten Gebäudekonzepten. Dies zeigt eine Studie des Sonnenhausinstitutes Deutschland (Abbildung 41).

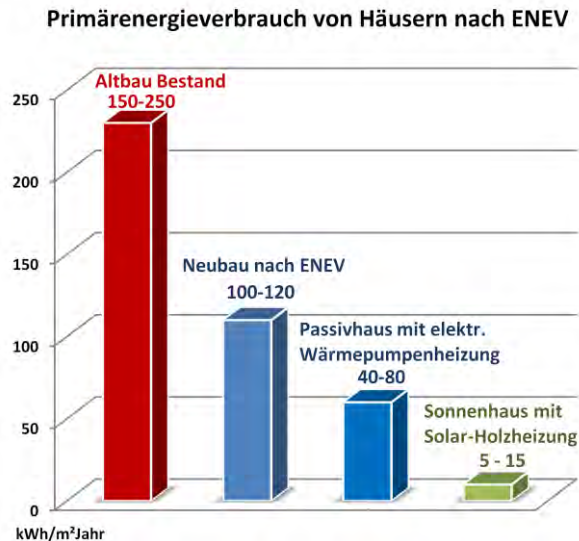


Abbildung 41: Primärenergieverbrauch von Häusern nach EnEV (D)
(Quelle: Sonnenhaus Institut e.V., 2012)

Die Nutzung von Solarwärme ist deutlich kostengünstiger und effizienter als Wärme, die aus Solarstrom generiert wird. In Österreich wird im internationalen Vergleich viel Wert auf die Erforschung von Technologien für Solarwärme gelegt, wobei zunehmend großflächige solarthermische Anlagensysteme erforscht und unterstützt werden. Auch der europäische SET-Plan hat die Entwicklung CO₂ armer Technologien und die Verbesserung ihrer Wettbewerbsfähigkeit zum Ziel. Das Potenzial von solarthermischen Anlagen ist nicht nur in Österreich groß, mit den derzeit und künftig steigenden Energiepreisen wird ihre Anschaffung immer interessanter, auch im privaten Bereich sowie für großflächige Anwendungen. Die zunehmende Marktdurchdringung und Weiterentwicklungen der Anlagentechnik führen zu Kostenreduktion für Solartechnologien. Damit sinken die Amortisationszeiten für Solaranlagen und ihre kombinatorische Technik.

Hohe solare Deckungsgrade für Wohnhäuser, aber auch für Bürogebäude, gewährleisten zudem eine relative hohe Versorgungssicherheit für die Gebäudenutzer. Über den gesamten Lebenszyklus solcher Gebäude betrachtet, liegen sowohl die Energiekosten als auch die Emissionen deutlich unter denen anderer Gebäudekonzepte. Können solare Großanlagen im Sommerbetrieb und in der Übergangszeit externe Wärmeabnehmer mitversorgen, so ist es durchaus möglich, eine positive Energiebilanz zu erzielen. Das bedeutet, dass mehr Energie im Gebäudebetrieb erzeugt wird, als vom Objekt selbst verbraucht wird. Langfristig unterstützen solche Konzepte das Ziel der Energieautarkie, die ohne eine intensive Nutzung von Solarenergie nicht möglich ist. Damit entsprechen Sonnenhäuser mit hohen solaren Deckungsgraden als Gebäude der Zukunft der langfristigen Vision, die Energieeffizienz bei Gebäuden über den gesamten Lebenszyklus derart zu erhöhen, dass die treibhausrelevanten Emissionen in Summe auf Null reduziert werden.

Das Sonnenhaus Eferding ist als solches Plus-Energie-Gebäude konzipiert und unterstützt somit das Programmziel, wonach Gebäude der Zukunft ihren Eigenbedarf an Energie abde-

cken und zusätzliche Energie erzeugen sollen. Es hat zusätzlichen Modellcharakter bezüglich Koppelung von Privatgebäuden (hier: Veranstaltungsgebäude) mit Industrieobjekten im Wärmeverbund. Da im Bereich hoher solarer Deckungsgrade bislang noch kaum Kenntnisse im Umgang mit solchen Anlagen vorliegen, wird mit dem Projekt ein deutlicher Innovations-schritt vorgezeigt.

Das Demonstrationsgebäude wird als Seminargebäude für die Sonnenhausakademie und andere fachbezogene Schulungen genutzt. Auf diese Weise kann das Konzept Sonnenhaus direkt der Öffentlichkeit näher gebracht werden. Auch für Private steht das Sonnenhaus Eferding offen. Eine Dauerausstellung und Führungen auf Anfrage ermöglichen Interessierten einen fundierten Einblick in die Funktionsweise der Sonnenhaustechnologie. Die Erkenntnisse im Herstellungs- und Monitoring-Prozess werden im Rahmen der Sonnenhaus Schulungen an relevante Fachkreise (Planer und Bauausführende) weiter gegeben.

4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Das Sonnenhaus Eferding zielt auf die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und die Reduktion von CO₂ Emissionen am Gebäudesektor ab. Das Monitoring-Projekt betrifft die Sicherstellung der geringen Energieverbräuche durch Überwachung und Adaptierung der Anlagentechnik über einen längeren Zeitraum.

Die Potenziale zur Reduktion von CO₂ Emissionen und Erhöhung der Energieeffizienz am Gebäudesektor sind sehr hoch, bei den relativ geringsten Kosten für die Effizienzmaßnahmen (IPCC, 2007). Allerdings wird nach der Umsetzung von Effizienzprogrammen immer wieder festgestellt, dass die erwarteten Einsparungen nicht erreicht werden. Dieses Phänomen wird gesamtwirtschaftlich als Reboundeffekt bezeichnet, der verschiedene Ebenen betreffen und unterschiedliche Ursachen haben kann. Bei Gebäuden gibt es technisch bedingte Reboundfaktoren, die mitunter einen beträchtlichen Anteil am Gesamtenergieverbrauch ausmachen können. In Summe können solche Effekte einen großen Teil von Energieeinsparungen durch politische Effizienzprogramme zunichtemachen. Die Evaluierung und Anpassung von technischen Gebäudesystemen hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit ist besonders bei komplexen Systemen, aber auch bei einfachen Anlagen, von großer Wichtigkeit, damit solche Effizienzprogramme ihr Ziel nicht verfehlen. Der technisch bedingte Reduktionsfaktor von Effizienzmaßnahmen ist nicht eindeutig bezifferbar, da hier sehr viele Einflussfaktoren ineinander greifen und aufeinander einwirken. Gemeinsam mit anderen Faktoren können solche Reboundeffekte gesamtwirtschaftlich gesehen durchaus 30 % der geplanten Einsparungen ausmachen (Haas und Biermayr, 2000). In einigen Studien ist sogar von bis zu 60 % bei Raumwärme in längerfristiger Hinsicht die Rede (Sorrell et al., 2009). Ein Teil dieser Effekte kann durch eine gewissenhafte Anlagenevaluierung über einen längeren Zeitraum hinweg vermieden werden. Das zeigt sich im vorliegenden Monitoring-Projekt für das Sonnenhaus Eferding sehr deutlich.

4.3 Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Als Zielgruppen der Ergebnisse aus dem Forschungs- und Monitoringprojekt Sonnenhaus Eferding gelten Fachkreise für Solar- und Combianlagen, Sonnenhausplaner und ausführende Unternehmen. Im Zuge von Schulungen der Initiative Sonnenhaus Österreich werden die Erkenntnisse aus dem Gesamtprojekt Sonnenhaus Eferding an die Fachöffentlichkeit weitergegeben. Dies geschieht in Form von Basis-, Kompakt- und Intensivseminaren und endet mit einer Zertifizierung der TeilnehmerInnen. Diese Schulungsschiene spricht folgende Berufsgruppen an: EnergieberaterInnen, PlanerInnen, BaumeisterInnen, InstallateurInnen, EnergietechnikerInnen, SolarteurlInnen usw. Vortragstätigkeit im Rahmen von Kongressen und Fachveranstaltungen sowie die individuelle Information und Beratung von privaten InteressentInnen ergänzen die Verbreitung der Projektergebnisse und des Sonnenhauskonzeptes an sich.

Weiters erfolgt innerhalb des Netzwerks der Sonnenhaus Initiative Österreich (Industriebetriebe, KompetenzpartnerInnen) ein intensiver Erfahrungsaustausch. Ergänzend unterstützen die MitarbeiterInnen der Initiative Sonnenhaus die Mitglieder und Partnerbetriebe bei der praktischen Umsetzung des Sonnenhauskonzeptes im Rahmen konkreter Projekte und Bauvorhaben. Auf diese Weise wird eine laufende Weiterbildung und Stärkung der Partnerbetriebe im Netzwerk und außerhalb davon gewährleistet. Sie ist jederzeit auch für andere Fachgruppen zugänglich.

4.4 Beschreibung der Umsetzungspotenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse

Entsprechend der Vorgabe der Europäischen Union mit der novellierten EU-Gebäude-Richtlinie dürfen ab dem 31.12.2020 im Neubausektor nur mehr Gebäude errichtet werden, deren Energiebedarf bei fast Null liegt. In den nationalen Plänen zur Umsetzung der Richtlinie ist die Verwendung von aktiven Solarsystemen und von Systemen zur Erzeugung u.a. von Wärme aus erneuerbaren Quellen dezidiert in der Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zu berücksichtigen. Daraus kann abgeleitet werden, dass Sonnenhäuser voll auf der Linie von Nahezu-Null-Energie-Gebäuden liegen, wie sie in der Richtlinie gefordert werden. Entscheidend für das Konzept Sonnenhaus ist die Formulierung „Gesamtenergieeffizienz“, denn der Primärenergiebedarf und die CO₂ Emissionen sind bei Sonnenhäusern sehr gering.

Die Potenziale zur verstärkten Umsetzung von Gebäuden mit Nutzung von Sonnenenergie sind, verglichen mit dem Ist-Stand, sehr groß. In Österreich entfallen allein 35 % des Endenergieverbrauchs in der Gebäudenutzung auf Heizwärme (108 TWh) (Weiss und Biermayr, s.a., 57). Auf Mehr- und Einfamilienhäuser entfallen insgesamt 55,1 % dieses Wärmeverbrauches für Beheizzwecke, weitere 8,1 % werden zur Warmwasserbereitung aufge-

wendet. Das kurzfristige Potenzial für Niedertemperaturwärme aus Sonnenenergie in Österreich liegt bis zum Jahr 2020 im ambitionierten Fall bei rund 10 % des Endenergieverbrauchs für Heizwärme (Abbildung 42), wofür eine Kollektorfläche von 3 m² pro Einwohner erforderlich ist. Im Jahr 2006 lag dieser Wert gerade mal bei 0,33 m² pro Einwohner (Weiss und Biermayr, s.a., 58). Alleine um dieses kurzfristige Ziel zu erreichen, ist eine starke Forcierung der Nutzung von Solarwärme erforderlich. Dafür ist bis 2020 eine jährliche Wachstumsrate am Solarsektor von 20 % nötig. Dieses Wachstum ist allerdings nur mit einer entsprechenden Weiterentwicklung der benötigten Technologien möglich (Weiss und Biermayr, s.a., 59). Das langfristige Szenario für das Jahr 2050 einer ambitionierten Anwendung von Solartechnik wird von Weiss und Biermayr (s.a., 60) mit einer spezifischen Kollektorfläche von 8 m² und einer Gesamtleistung von 46,1 GW_{th} angegeben. Mit diesem 40 % Anteil am Endenergieverbrauch wäre das mögliche Potenzial für Solarwärme nach bisherigem Erkenntnisstand weitgehend ausgeschöpft. Gegenüber dem Jahr 2006 müsste die installierte Kollektorfläche dann 24,35 mal so groß sein wie heute (Weiss und Biermayr, s.a., 61).

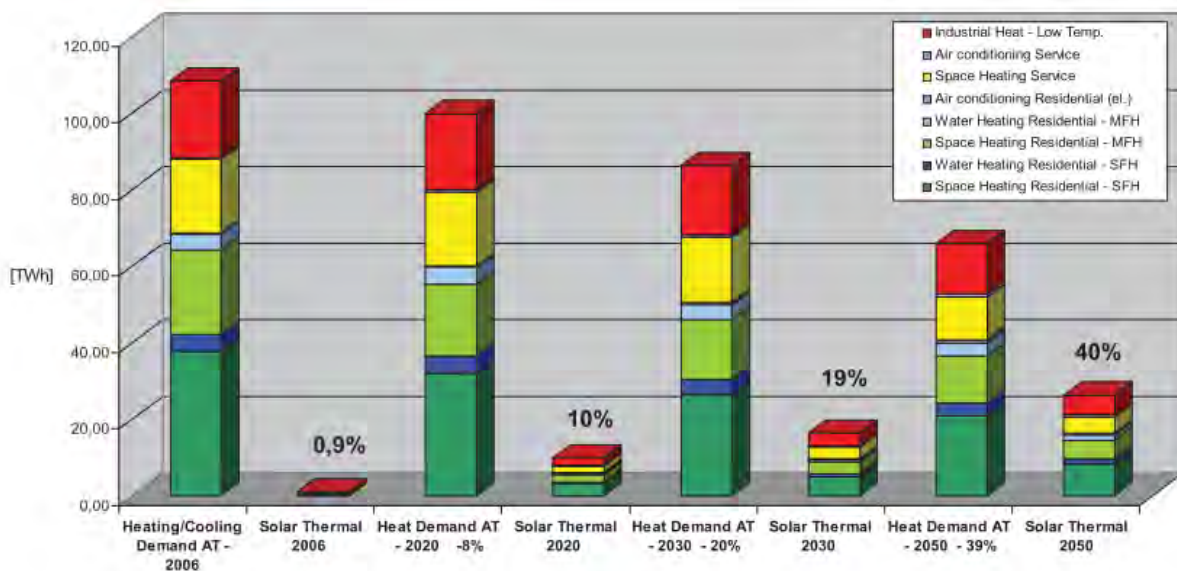


Abbildung 42: Ambitionierte Entwicklung am Energiesektor in Österreich hinsichtlich des Einsatzes von Solarenergie für Heizung und Kühlung
(Quelle: Weiss und Biermayr, s.a., 63)

Diese Zahlen machen deutlich klar, dass - trotz der relativ guten Stellung der Solarthermie in Österreich im internationalen Vergleich – solche Werte nur bei starker Forcierung der Solarthermie erreicht werden können. Dazu gehören insbesondere Forschung und Technologieentwicklung am Solarsektor. Aber auch die Anlagenevaluierung und die Übertragung der Erkenntnisse in die Praxis sind von großer Bedeutung, damit die gesetzten Effizienzziele in der Realität erreicht werden können und nicht nur am Papier existieren.

5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die schlechten Ergebnisse der Energiebilanzen zu Beginn des Monitorings im Sonnenhaus Eferding ergeben sich zum einen aus dem notwendigen Ausheizen der Restbaufeuchte, andererseits aus technischen und steuerungsbedingten Dysfunktionen der Anlage. Zudem konnten die Kugeltanks nicht für eine zusätzliche Wärmespeicherung zum Einsatz kommen.

Bei den Kugeltanks zeigte sich, dass eine Dämmstärke von 20 cm nicht ausreichend ist. 30 cm sollten das Minimum sein. Glasschaumschotter ist zur Dämmung von Erdeinbauten ungeeignet, es geht zu viel Wärme an das Erdreich verloren. Außerdem funktioniert das Schichtverhalten der Kugeltanks nicht zufriedenstellend. Liegen die Wärmetauscher bei Kugeltanks an der Außenwand, dehnt sich das Wasser zu rasch aus, der Deckel ist undicht und Wasser tritt aus. Kugeltanks mit innenliegenden Wärmetauschern (Erwärmung von innen nach außen) haben dieses Problem nicht.

Das gegenständliche Modellgebäude kann von der Nutzung her nicht mit einem Wohngebäude verglichen werden und ist dafür nicht repräsentativ. Die Belegung ist sehr unregelmäßig und bei manchen Veranstaltung sehr hoch. Längere Öffnungszeiten der Haustüre können auch im Winter oft nicht vermieden werden, sie verursachen einen dementsprechend hohen Energiebedarf für den Ausgleich der Lüftungswärmeverluste über die Eingangstüre. Vermutlich wurden dementsprechend in der Simulation die Lüftungswärmeverluste bei den Veranstaltungen zu niedrig angesetzt.

Durch Behebung der Anlagenfehler im ersten Betriebsjahr und ein geeignetes Energiemanagement im zweiten Betriebsjahr konnten die nutzbaren Solarerträge deutlich gesteigert werden. Die großen Unterschiede bei den Betriebsergebnissen der Solaranlage in den beiden untersuchten Betriebsjahren zeigt die hohe Bedeutung einer Anlagenevaluierung über einen längeren Zeitraum. Unentdeckte Systemfehler wirken sich stark auf das Betriebsergebnis aus. Wäre kein Monitoring und keine laufende Anlagenoptimierung erfolgt, wäre das Minus im ersten Jahr noch höher ausgefallen. Einbaufehler und Fehlsteuerungen bei komplexen energietechnischen Anlagen können nur durch ein geeignetes Kontrollsystem detektiert und behoben werden. Eine gewissenhafte Anlagenoptimierung über mehrere Betriebsjahre ist ein absolutes MUSS!

Im Wärmeverbund mit externen Wärmeabnehmern ist es möglich, in Jahresbilanz eine 100%ige solare Deckung bei Sonnenhäusern zu erreichen. Allerdings ist die richtige Einstellung der Anlagentechnik dafür essenziell. Beim gegenständlichen Monitoringprojekt wurde die Systemgrenze mit der Wärmeübergabe an die Nachbarobjekte im Wärmeverbund angesetzt. Eine Analyse der externen Abnehmerseite wurde nicht durchgeführt.

Folgende Punkte fassen die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Monitoring hinsichtlich Ertrags- und Funktionsüberwachung von komplexen Energieversorgungsanlagen zusammen:

- Wichtig für eine lückenlose Datenerfassung und somit für eine stabile Online-Überwachung ist ein System, das von den Nutzern bzw. Projektbeteiligten nicht unabsichtlich außer Betrieb genommen werden kann.

- Die Art der Datenauswertung in farbig differenzierten Listen hat sich als sehr sinnvoll erwiesen, da die Funktion der Anlage sehr gut erfasst werden kann.
- Logbuch und Veranstaltungskalender schaffen einen Überblick über besondere Ereignisse, die zur richtigen Interpretation der Messergebnisse beitragen.
- Eine komplexe energietechnische Anlage – unabhängig von der Größe der jeweiligen Systemeinheiten – kann nur mit einer ausgereiften Überwachung während der ersten Betriebsjahre in einen sehr guten Funktionszustand gebracht werden.
- Um eine dauerhaft gute Anlagenfunktion sicher zu stellen, empfiehlt sich eine laufende Überwachung über den gesamten Betriebszeitraum.
- Ein Qualitätssicherungsprozess für Gebäude und Technik ist unerlässlich, um jene hohen Erträge aus erneuerbaren Energien zu generieren, wie sie anhand von Simulationen berechnet wurden.

6 Ausblick und Empfehlungen

Die Probleme bei komplexen haustechnischen Anlagen sind nach wie vor zahlreich. Von großer Bedeutung ist die standardmäßige Qualitätssicherung der Heizungs- und Lüftungsanlagen, die an das thermische Verhalten eines Gebäudes angepasst sind, nach deren Errichtung und vor Inbetriebnahme der Anlagen. Eine gute und umfassende Information und Schulung der Nutzer ist außerdem unumgänglich. Diese beiden Maßnahmenpakete müssen standardmäßig in die Errichtung und Nutzung von neuen Gebäuden sowie bei thermisch-energetischen Sanierungen mit komplexen haustechnischen Anlagen integriert sein. Die Installation von leicht bedienbaren Steuerungs- und Kontrolleinheiten, an denen die Nutzer ihren Energieverbrauch in Echtzeit ablesen können, erleichtert das Auffinden von Fehlfunktionen bei energietechnischen Anlagen.

Zumindest bei mittleren und großen Objekten sollte nach der Inbetriebnahme ein automatisches Monitoring über mehrere Betriebszyklen eine Selbstverständlichkeit sein. Um solche Monitorings kostengünstig anbieten zu können, ist es erforderlich, einfache und rationelle Monitoring- und Überwachungssysteme zu entwickeln, die optimalerweise automatisiert sind und über online-Zugänge bedient und ferngewartet werden können. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht dazu ganz besonders bei Steuerungs- und Regelungseinheiten. Sie müssen leicht verständlich und einfach handhabbar sein und eine hohe Betriebssicherheit gewährleisten, die eine lückenlose Datenaufzeichnung sicherstellt.

Einen wichtigen Beitrag zur Evaluierung der Wirksamkeit von Programmen zur Steigerung der Energieeffizienz könnte eine Meldepflicht der realen Energieverbräuche von Empfängern der Wohnbauförderung über mindestens drei Jahre nach Erhalt der Fördergelder leisten. Damit kann der Gesetzgeber rechtzeitig auf Fehlentwicklungen im Gesamtenergieverbrauch reagieren, Forschungsbedarfe erkennen und entsprechende Lenkungsmaßnahmen einleiten.

Anmerkung

Die detaillierten Messdaten zum Monitoringprojekt Sonnenhaus Eferding werden gerne für weiterführende Arbeiten zur Verfügung gestellt. Sie sind über das Bautechnische Institut auf Anfrage erhältlich. Kontaktperson: DI Petra Johanna Sölkner, Tel.: 0732 / 221515 DW 26.

Im Werk Hörsching der Firma Leitl Beton GmbH&CoKG sind 300 m² Solarkollektoren installiert. Seit zwei Jahren werden ebenfalls zahlreiche Messdaten erhoben und inzwischen einer deutschen Universität für Forschungs- und Entwicklungszwecke zur Verfügung gestellt.

7 Literatur- / Abbildungs- / Tabellenverzeichnis

7.1 Literaturverzeichnis

Balaras Constantinous A., Gaglia Athina G., Georgopoulou Elena, Mirasgedis Sevastianos, Sarafidis Yiannis, Lalas Dimitris P.: European residential building stock and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potentials energy savings. Building and Environment 42 (2007), Vol. 3, 1298-1314.

Bohmann Verlag (Hrsg.): Unser Haus. Richtig bauen, klug sanieren, behaglich wohnen. Ausgabe 2012. Bohmann Druck und Verlag GesmbH & CoKG, Wien 2012.

Europäischer Rat, 2010. Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. In der Neufassung vom 19.05.2010. Brüssel.

Haas Reinhard und Biermayr Peter: The rebound effect for space heating. Empirical evidence from Austria. Energy Policy 28, Vol. 6-7, 2807-2813; 2000.

Sorrell Steve: Jevons's Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. Energy Policy 37, Vol. 4, 1456-1569; 2009.

Weiss Werner und Biermayr Peter: Potential of Solar Thermal in Europe. ESTIF: Brussels s.a.

7.2 Internetquellen

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.): Climate change 2007 – Synthesis Report. Verfügbar in: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf (abgerufen am 28. August 2011; 14:10) (2007)

Sonnenhaus Institut e.V., 2012: <http://www.sonnenhaus-institut.de/downloads.html> (abgerufen am 24. Oktober 2012; 15:17)

7.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell eines Sonnenhauses mit südseitig ausgerichteter Solaranlage und Pufferspeicher im Gebäudeinneren	13
Abbildung 2: Komponenten einer Sonnenhaus-Heizung.....	14
Abbildung 3: Außenansicht Vital-Sonnenhaus Eferding mit Dach- und Wandkollektoren.....	15
Abbildung 4: Bauplan Südsansicht.....	16
Abbildung 5: Bauplan Ostansicht und Westansicht.....	16
Abbildung 6: Bauplan Nordansicht.....	16
Abbildung 7: Hydraulikschema des Sonnenhauses Eferding	18
Abbildung 8: Speicherschema des Sonnenhauses Eferding.....	18

Abbildung 9: Schema der Einbindung des Neubaus Sonnenhaus Eferding in den Wärmeverbund mit dem bestehenden Betriebsgebäude	20
Abbildung 10: Eingebauter Zylindertank im Foyer des Erdgeschoßes	22
Abbildung 11: Zylindertank mit Apparaturen im Keller	22
Abbildung 12: Kugeltanks vor dem Einbau ins Erdreich.....	23
Abbildung 13: Einbau der Kugeltanks ins Erdreich	23
Abbildung 14: Umsteuerungsventile im Domschacht eines Kugeltanks	24
Abbildung 15: Monatsweise Auswertung der Tagesmittelwerte der wichtigsten Monitoringdaten	27
Abbildung 16: Farbliche Aufbereitung der 10-Minuten-Mittelwerte	28
Abbildung 17: Farbliche Aufbereitung der 10-Minuten-Mittelwerte	29
Abbildung 18: Technikerparameter im Online-Monitoring-System	30
Abbildung 19: Solarschema in der Visualisierung am Monitoring-Rechner mit aktuellen Minuten-Mittelwerten	30
Abbildung 20: Heizungsschema in der Visualisierung am Monitoring-Rechner mit aktuellen Minuten-Mittelwerten	31
Abbildung 21: Ergebnisse laut Simulation monatsweise, über ein ganzes Jahr	34
Abbildung 22: Monatsergebnisse der gesamten Monitoringperiode 10/2010 bis 6/2012	35
Abbildung 23: Energiebilanz für den Zeitraum 10/2010 bis 5/2011 (8 Monate)	35
Abbildung 24: Energiebilanz für den Zeitraum 10/2010 bis 6/2012 (21 Monate)	36
Abbildung 25: Energiebilanz für den Zeitraum 7/2011 bis 6/2012	36
Abbildung 26: Energiebilanz über den Monitoring-Zeitraum 10/2010 bis 9/2012.....	37
Abbildung 27: Heizwärmeverbräuche im Wärmeverbund	39
Abbildung 28: Solarwärmenutzung des Sonnenhauses und der Spanntonwerks.....	39
Abbildung 29: Einsparungen an Erdgas im Monitoringzeitraum	40
Abbildung 30: Vermeidung von Kohlendioxid-Emissionen im Monitoringzeitraum	41
Abbildung 31: Messdaten Stahltank (Juli – August 2010).....	41
Abbildung 32: Solarprimärkreis mit Pufferbeladung	42
Abbildung 33: Temperaturen im Stahlspeicher	43
Abbildung 34: Temperaturverläufe an einem Tag	43
Abbildung 35: Eingestrahelte Leistung auf das Kollektorfeld im Vergleich zur Leistung des Solarprimärkreises.....	44
Abbildung 36: Temperaturverläufe der Kugeltanks	45
Abbildung 37: Kugeltanks	46
Abbildung 38: Beispiel für die Aufzeichnung der Kugeltanktemperaturen, hier die oberen Temperaturen beider Speicher	47
Abbildung 39: Aufzeichnungen der Kugeltemperaturen, Werte der unterschiedlichen Temperaturfühler	47
Abbildung 40: Verlauf der Durchschnittstemperatur der Kugeltanks (ohne Schichtung), Oktober 2011.....	48
Abbildung 41: Primärenergieverbrauch von Häusern nach EnEV (D)	50
Abbildung 42: Ambitionierte Entwicklung am Energiesektor in Österreich hinsichtlich des Einsatzes von Solarenergie für Heizung und Kühlung	53

Abbildung 43: Südostansicht Sonnenhaus Eferding	60
Abbildung 44: Südwestansicht Sonnenhaus Eferding	60
Abbildung 45: Nordwestansicht Sonnenhaus Eferding	60
Abbildung 46: Stahltank im Keller	61
Abbildung 47: Installationsführungen im Keller	61
Abbildung 48: Eingangsbereich, verkleideter Stahltank im Erdgeschoss	61
Abbildung 49: Vortrags- bzw. Seminarraum im Erdgeschoss	62
Abbildung 50: Küche und Cafeteria im Obergeschoss.....	62
Abbildung 51: Besprechungsraum im Obergeschoss	62
Abbildung 52: Planskizze zur Einbausituation der Kugeltanks	63
Abbildung 53: Planskizze Kugeltank Variante A	63
Abbildung 54: Planskizze Kugeltank Variante B	64
Abbildung 55: Energieparameter und Temperaturmesswerte am Monitoring-Rechner	65
Abbildung 56: Schaltuhren für die Aktivierung der angeschlossenen Heizkreise	66
Abbildung 57: Einzelraumregelung via Monitoring-Rechner.....	66
Abbildung 58: Beispiel für die Aufzeichnungen der Pufferspeichertemperaturen	67
Abbildung 59: Programmstruktur, Beispiel für die logischen Verknüpfungen im Monitoringprogramm.....	67

7.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der Durchflussregler	20
Tabelle 2: Auflistung der wichtigsten Anlagenkomponenten.....	21
Tabelle 3: Bilanzwerte der einzelnen Monate im Monitoringzeitraum	38
Tabelle 4: Abkühlrate der Kugeltanks von 05.10 bis 10.1.2011 und von 19.10. bis 2.11.2011.....	64

8 Anhang

8.1 Fotos vom Sonnenhaus Eferding



Abbildung 43: Südostansicht Sonnenhaus Eferding



Abbildung 44: Südwestansicht Sonnenhaus Eferding



Abbildung 45: Nordwestansicht Sonnenhaus Eferding



Abbildung 46: Stahltank im Keller



Abbildung 47: Installationsführungen im Keller

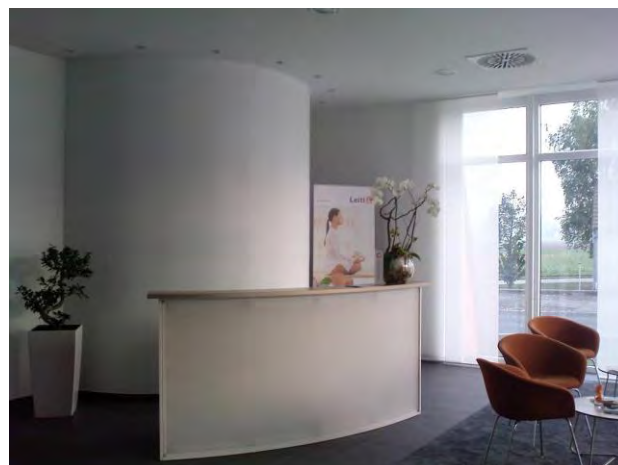


Abbildung 48: Eingangsbereich, verkleideter Stahltank im Erdgeschoss



Abbildung 49: Vortrags- bzw. Seminarraum im Erdgeschoss



Abbildung 50: Küche und Cafeteria im Obergeschoss



Abbildung 51: Besprechungsraum im Obergeschoss

8.2 Einbauskizzen der Kugeltanks

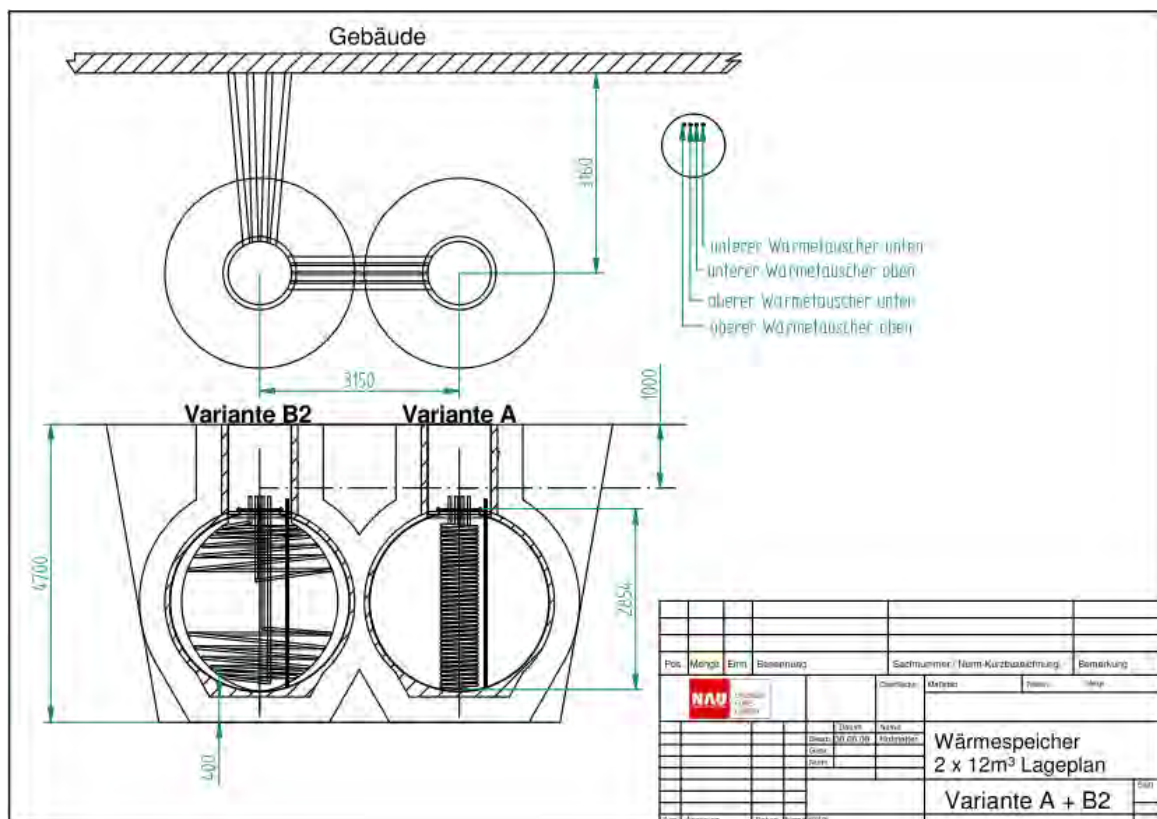


Abbildung 52: Planskizze zur Einbausituation der Kugeltanks

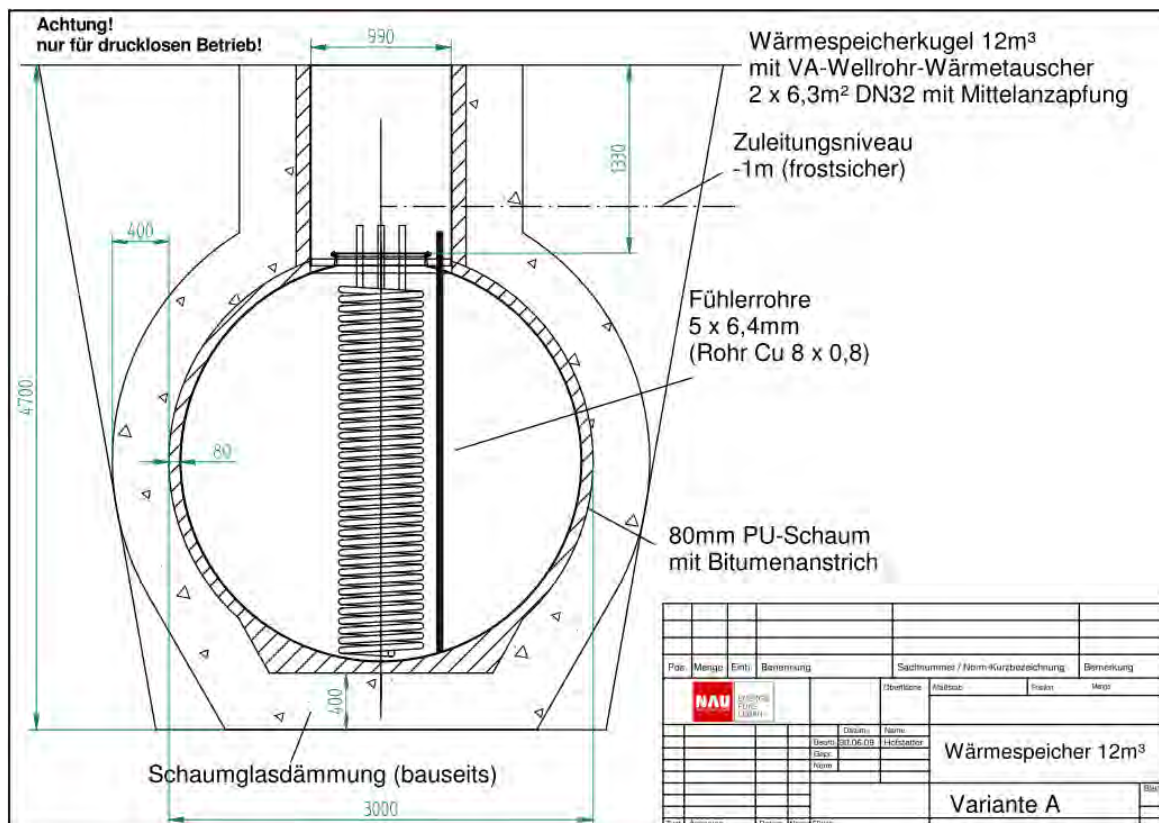


Abbildung 53: Planskizze Kugeltank Variante A

19.10.2011 07:00	62,5	50,5		
20.10.2011 07:00	61,6	49,6	45775	10,7
21.10.2011 07:00	60,7	48,7	44648	10,6
22.10.2011 07:00	59,9	47,9	40743	9,8
23.10.2011 07:00	59,0	47,0	46019	11,3
24.10.2011 07:00	58,2	46,2	42300	10,6
25.10.2011 07:00	57,4	45,4	39471	10,1
26.10.2011 07:00	56,6	44,6	39571	10,3
27.10.2011 07:00	55,9	43,9	35886	9,5
28.10.2011 07:00	55,1	43,1	36675	9,8
29.10.2011 07:00	54,4	42,4	36816	10,0
30.10.2011 06:00	53,7	41,7	35426	9,8
31.10.2011 06:00	53,1	41,1	31983	9,0
01.11.2011 06:00	52,4	40,4	31977	9,2
02.11.2011 06:00	51,8	39,8	32323	9,4

8.4 Bildschirmansichten am Monitoring-Rechner

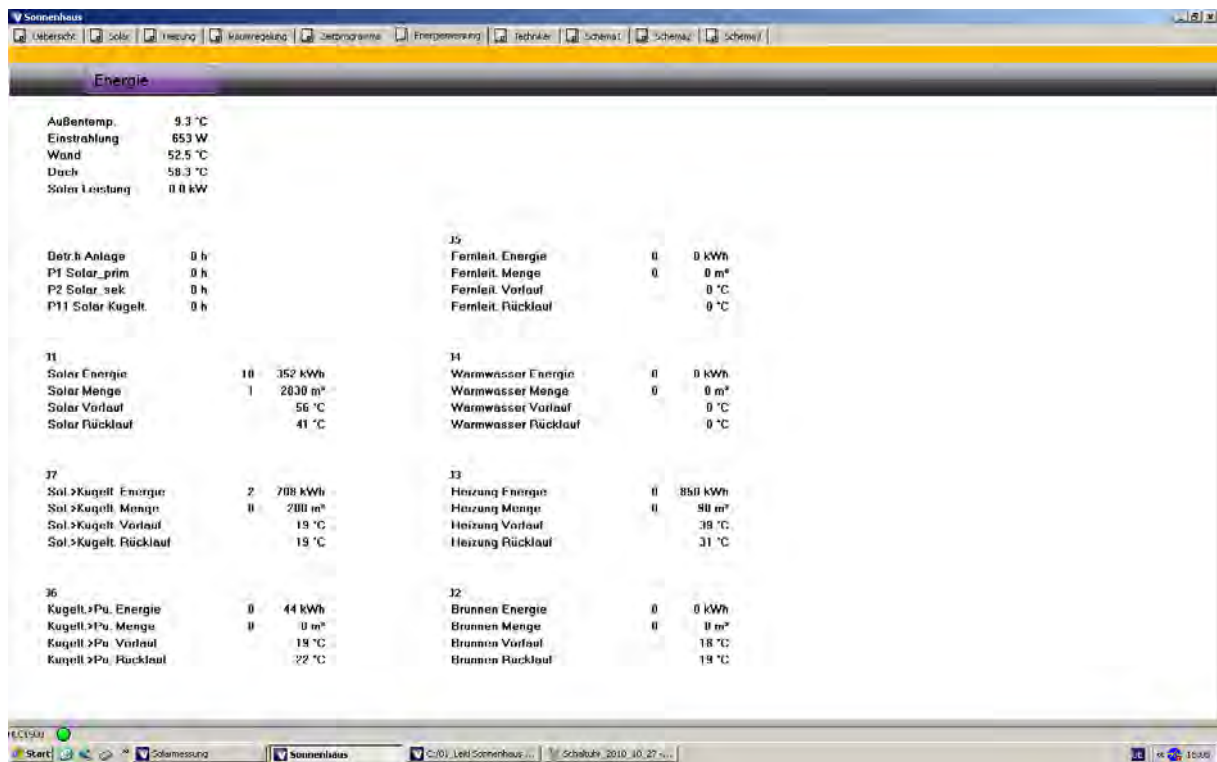


Abbildung 55: Energieparameter und Temperaturmesswerte am Monitoring-Rechner

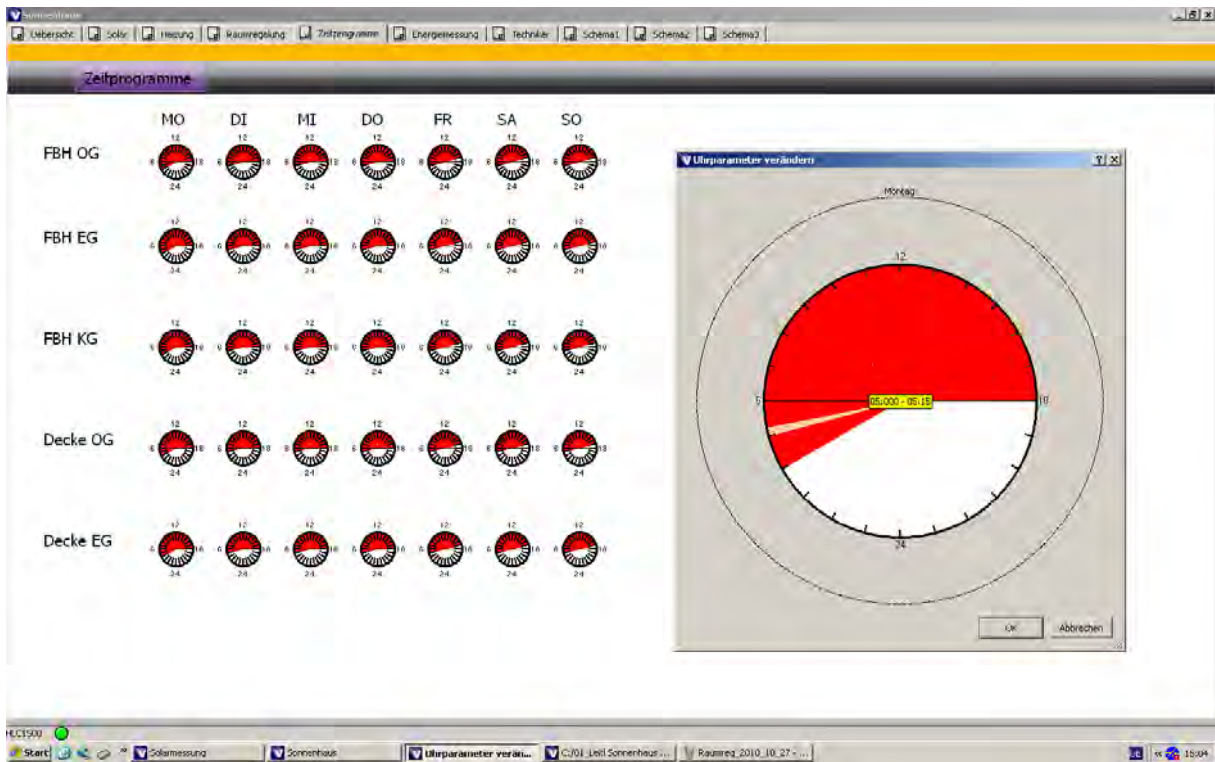


Abbildung 56: Schaltuhren für die Aktivierung der angeschlossenen Heizkreise

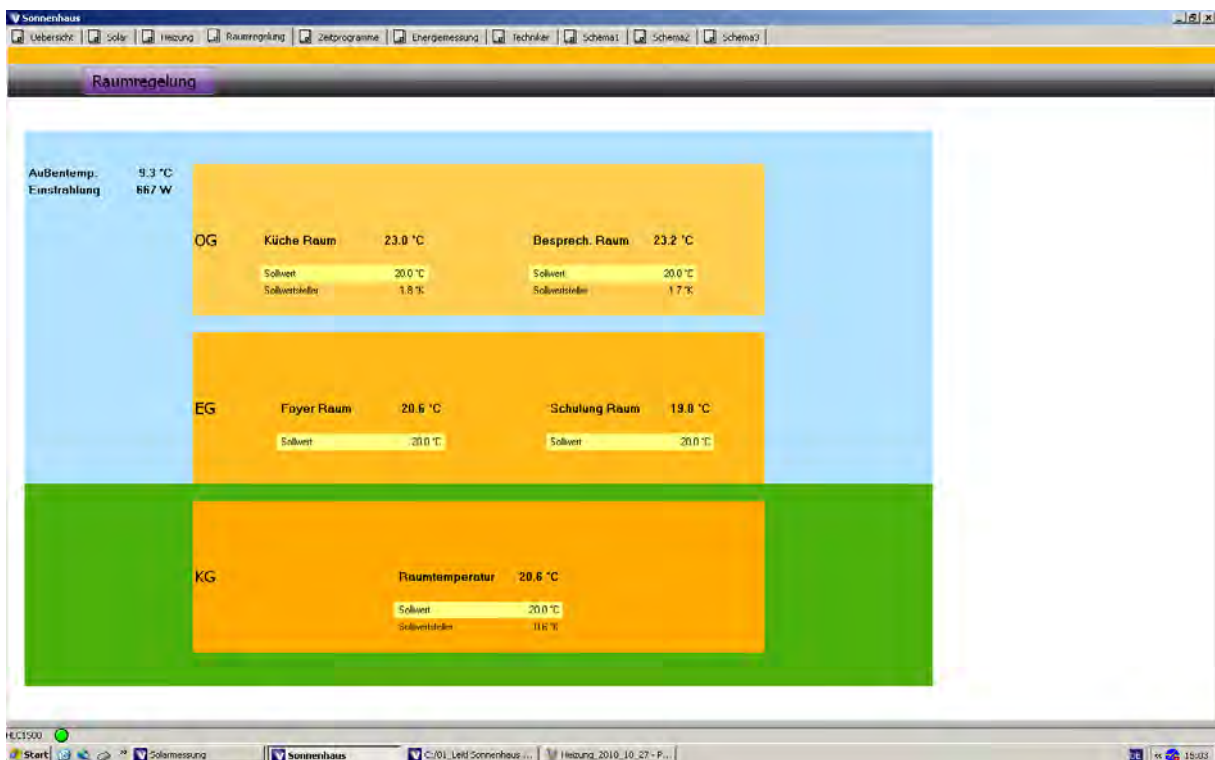


Abbildung 57: Einzelraumregelung via Monitoring-Rechner

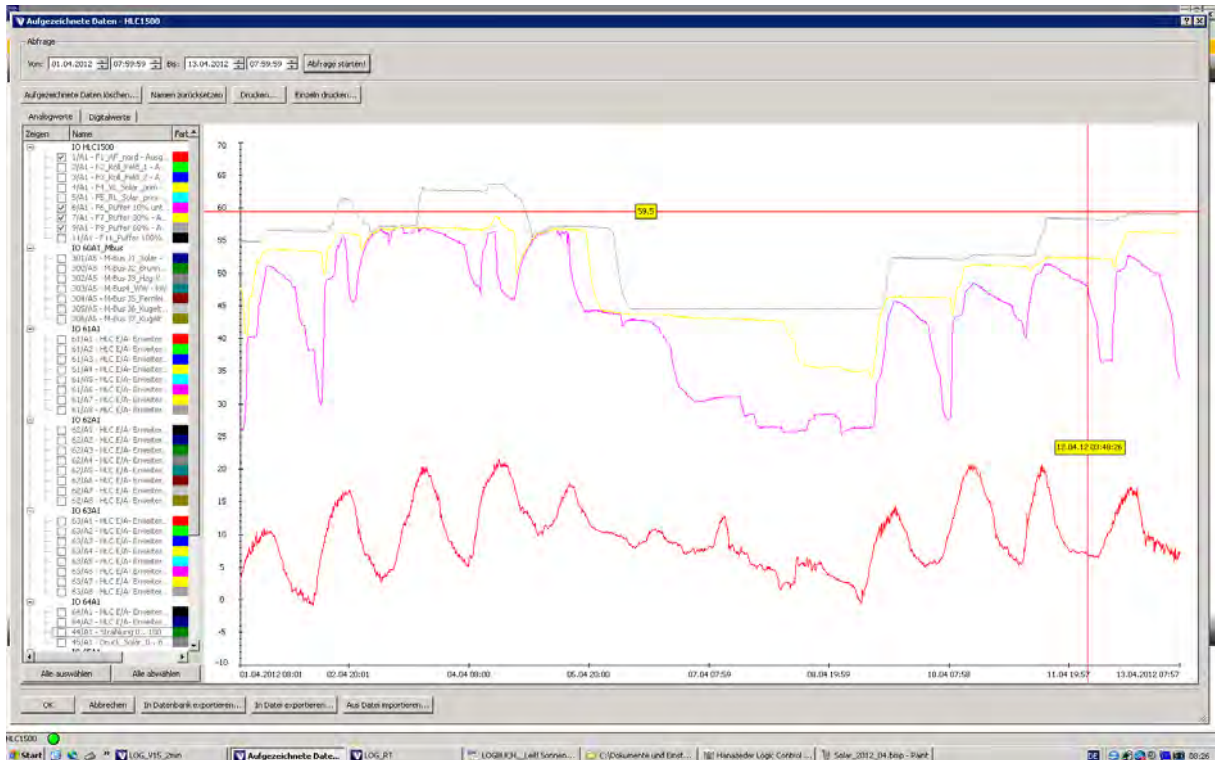


Abbildung 58: Beispiel für die Aufzeichnungen der Pufferspeichertemperaturen

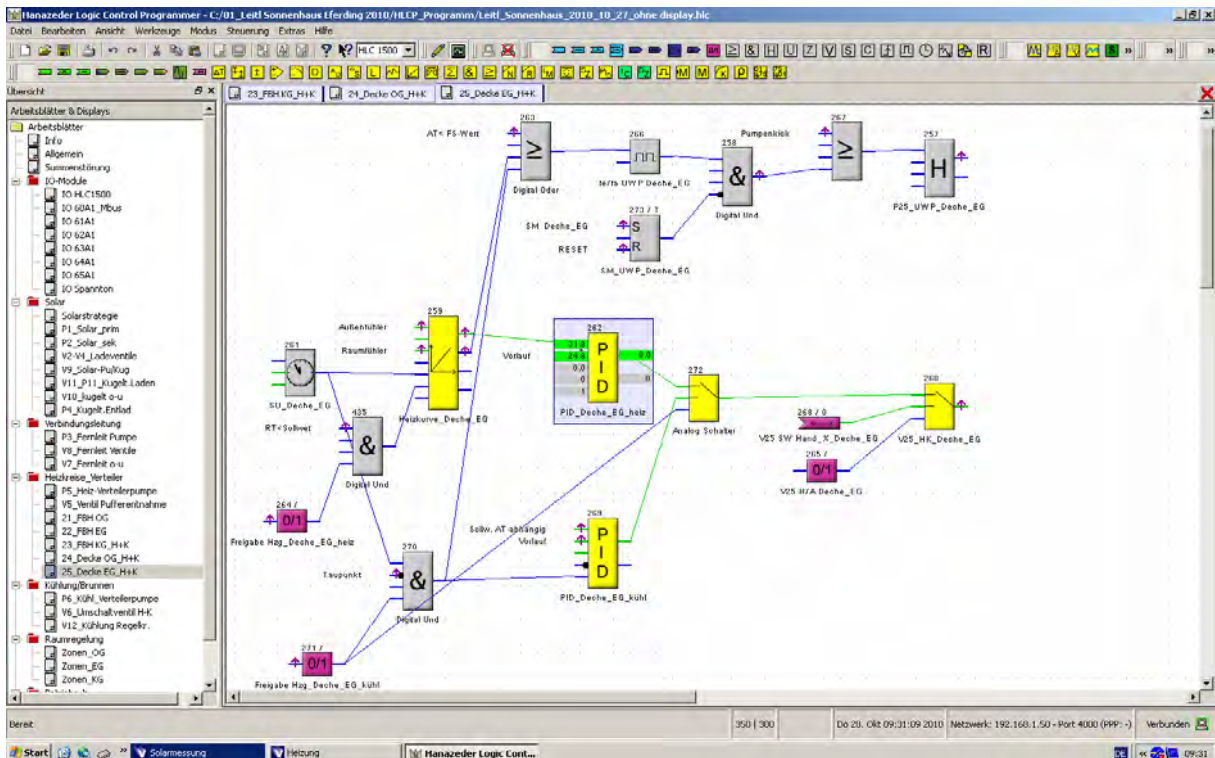


Abbildung 59: Programmstruktur, Beispiel für die logischen Verknüpfungen im Monitoringprogramm

8.3 Übersicht über die technischen Daten des Gebäudes und der haustechnischen Anlage

8.3.1 Objektdaten

Bauherr:	Leitl Spannton GmbH
Nutzung:	Veranstaltungs- und Ausstellungsgebäude
Eröffnung:	01. Oktober 2010
Nettonutzfläche:	520 m ²
BGF:	660 m ²
HWB:	23,5 kWh/m ² a
PEB:	0 kWh/m ² a (Bilanz lt. Simulation)
CO ₂ -Emissionen:	0,29 kg/m ² a (Bilanz lt. Simulation inkl. Hilfsstromverbrauch)
Stromverbrauch	Gesamt: 12.662 kWh/a
	Heizung: 2.206 kWh/a
	Lüftung: 856 kWh/a

8.3.2 Anlagendaten

Solarkollektoren:	108 m ² , Neigung 70°, südseitig, wand- und dachintegriert
Zylinderspeicher:	27.000 Liter, Stahl, gebäudeintegriert
Kugelspeicher:	2 Stück, je 12.000 Liter, Kunststoff
Solare Deckung:	100 % projektiert, in Jahresbilanz und im Verbund mit einem Betriebsgebäude (Gastherme)
Wärmeabgabe:	Fußboden-, Wandheizung, Decken-Niedertemperaturheizung
Kühlung:	Brunnenwasserkühlung über Fußboden, Wand und Decke
Lüftung:	Kompaktlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung, $\eta = 75 - 85 \%$ Luftleistung 2.300 m ³ /h
Zusatzheizung:	Gastherme im benachbarten Betriebsgebäude Zuheizung hauptsächlich im Kernwinter
Wärmeverbund:	Wärmelieferung bei solarem Überschuss an das benachbarte Bürogebäude und das Produktionsgebäude
Warmwasser:	ganzjährig solar, inkl. Verbundobjekte
Anlagensteuerung:	Hanazeder HLC1500, frei programmierbar, mit EA-Modulen und M-Busmodul; steuerungsintern: Can-Bus

8.3.3 Daten zu den Kugeltanks

Anzahl / Inhalt:	2 Stück, je 12.000 Liter
Nutzvolumen:	je 11.400 Liter (Volumendifferenz 0 °C bis 95 °C = 1,04)
Behälterdämmung:	100 mm PU-Schaum, 50 cm Glasschaumschotter
Betriebsweise:	drucklos
Betriebstemperatur:	0 °C bis 95 °C
Wärmetauscher:	2 x 10,4 m ² VA-Wellrohr in zwei Ebenen gewickelt
Messeinrichtungen:	Tauchhülsen zur Temperaturmessung in vier Höhen
Be- und Entladung:	Umsteuerventile in der Heizzentrale bzw. optional im Domschacht

8.4 Projektbeteiligte

Projektleitung:	Bautechnisches Institut Dipl.-Ing. (FH) Isabella Hofer Ing. Dipl.-Ing. Petra Johanna Sölkner, Bakk.techn. Dipl.-Ing. Harald Mayr
Datenauswertung:	Austria Solar Innovation Center Dipl.-Ing. Dr. Bernhard Zettl Dipl.-Ing. Harald Dehner Dipl.-Ing. Dr. Gerald Steinmaurer
Steuerungstechnik:	C&S Energietechnik GmbH Ing. Rudolf Steinmaier
Haustechnik:	Maier & Stelzer GmbH
Vor-Ort-Aufsicht:	Leitl Spannton GmbH
Gebäudeplanung:	Architekt Dipl.-Ing. (FH) Georg Dasch
Energietechnik:	Dipl.-Ing. Wolfgang Hilz (Sonnenhaus-Institut e.V., D)
Bauherr:	Leitl Spannton GmbH, A 4071 Eferding, Leitl-Straße 1

Bautechnisches Institut (BTI)

Das Bautechnische Institut ist eine außeruniversitäre Versuchs- und Forschungsanstalt für Baustoffe und Baukonstruktionen. Schwerpunkt des Tätigkeitsumfangs ist der Hochbau, von den Ausgangsmaterialien über den Herstellungsprozess, die Fertigprodukt-Eigenschaften und den Einbau bis zur Begutachtung im Sanierungsfall.

Zu den Kernkompetenzen des Bautechnischen Institutes gehören:

- Prüfung, Überwachung
- Beratung
- Forschung und Entwicklung

Ein relativ neues Tätigkeitsfeld des BTI ist die Auslegung und Betriebssimulation sowie das Monitoring (Funktions- und Ertragskontrolle) von thermischen Solaranlagen (Kleinanlagen bis hin zu großen Solaranlagen).

Austria Solar Innovation Center (ASiC)

Das ASiC ist eine außeruniversitäre Forschungsinstitution in Vereinsform und befasst sich unter anderem mit:

- Intensivierung der Forschung auf dem Gebiet der Solartechnik
- verstärkte Nutzung und Weiterentwicklung der Solartechnik
- Stärkung der technologischen Position von Oberösterreich im Hinblick auf die Solartechnik

Der Hauptschwerpunkt der F&E-Tätigkeit des ASiC ist im Bereich von solarthermischen Systemen angesiedelt, z.B. Entwicklungsunterstützung von Kollektoren, Erstellung einer Planungsmappe für solarthermische Großanlagen, Erstellung von Haustechnik-Konzepten, vor allem aber auch das Monitoring von solarthermischen Anlagen.