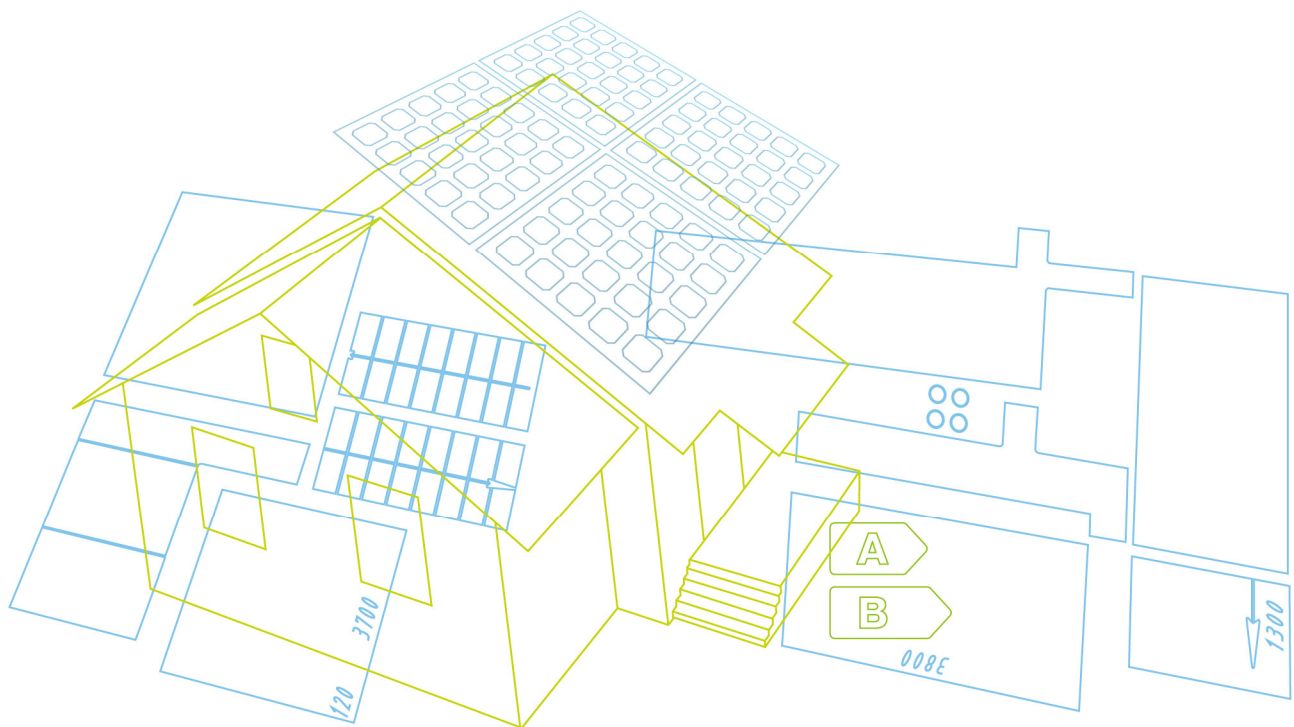




Solares Plus Haus mit bauteilaktivierter Wärmespeicherung in Speicherziegeln



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel' in a cursive script.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

Solar Plus Haus

Solares Plus Haus mit bauteilaktivierter Wärmespeicherung in Speicherziegeln

AutorInnen:

Tim Selke

Günther Gerstbauer

Alexander Lehmden

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
2.1	Aufgabenstellung	5
2.2	Schwerpunkte des Projektes	5
2.3	Einordnung in das Programm	6
2.4	Verwendete Methoden	6
2.5	Aufbau der Arbeit	8
3	Inhaltliche Darstellung	9
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	9
4.1	Ergebnisse des Monitorings von Oktober 2012 bis Juni 2014 im Detail	12
4.2	REALITY CHECK - Ökologische Bewertung aufgrund der Messdaten 2013	21
5	Ausblick und Empfehlungen	22
6	Literaturverzeichnis	23
7	Anhang	23
8	Kontaktdaten	23

2 Einleitung

2.1 Aufgabenstellung

Ziel des Projekts war die beispielhafte Entwicklung, Errichtung und Evaluierung eines Demonstrations-Projektes, das nahezu 100% seines Energieverbrauchs mit erneuerbaren Energieträgern abdeckt.

In der Entwicklung wurde durch die Projektpartner die Komponenten Energieverbrauch, Energieproduktion, Energieübertragung und Energiespeicherung optimal aufeinander abgestimmt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Bauteilaktivierung als Wärmespeicher und Energieüberträger in Kombination mit Solarthermie gelegt. Dafür wurde ein neuer Speicherziegel entwickelt. Die massiven Wände dienten einerseits zur Gebäudeheizung und Kühlung andererseits als Energiespeicher für Sonnenenergie.

2010 hat man bei Wienerberger begonnen, ein Wandtemperierungssystem mit Speicherziegel zu entwickeln und zu prüfen. Auf Grundlage bestehender Prüfnormen konnte das stationäre Verhalten dieses Systems bestimmt werden. In diesem Projekt wurde nun das instationäre Verhalten der Wandtemperierung und des Speicherziegels erforscht. Dabei wurden die Komponenten Wandtemperierung mit Solarthermie zusammengeführt und der solare Deckungsgrad der Wärmebereitstellung optimiert. Diese Interaktion wurde im Projekt zuerst durch Simulation theoretisch untersucht und optimiert und später anhand eines Demonstrations-Projekts durch 1,5 jähriges Monitoring praktisch evaluiert.

Das angestrebte Ergebnis war ein funktionierendes solares Null- bzw. Plus-Hauskonzept zu entwickeln, das hohen Wohnkomfort bietet und durch seine Leistbarkeit und Einfachheit (Lowtech) breite Anwendung finden kann. In diesem Projekt sollte es gelingen den Energieverbrauch des Gebäudes allein über die Wandtemperierung mit erneuerbaren Energieträgern (vorrangig Solarenergie) abzudecken. Die Speichermasse des Wassers in Kombination mit einer massiven Bauweise sollte helfen die zeitliche Divergenz von Energieverbrauch und Energieangebot zu überbrücken (Tag/Nacht, Warme/Kalte Perioden).

2.2 Schwerpunkte des Projektes

Das Projektziel war es das Wandheizungssystem in Kombination mit Solarthermie zu erproben und den Speicherziegel zur Marktreife zu führen. Mit Hilfe dieses Referenzhauses sollen alle Probleme erkannt werden, um damit für zukünftige Projekte das Risiko von technischen oder baulichen Fehlern zu minimieren. Alle Ergebnisse der Experimentellen Entwicklung konnten direkt für die Verbesserung und Weiterentwicklung der Wandtemperierung und des Speicherziegels verwendet werden.

Energiestrategische Ziele:

Energiestrategisches Ziel ist die komplett dezentrale Energieversorgung am Beispiel eines Demonstrationsprojekts nachzuweisen. Durch Kombination Bauteilaktivierung und Solarthermie soll ein möglichst hoher solarer Deckungsgrad, bzw. solare thermische Volldeckung, erreicht werden.

Systembezogene Ziele:

Systembezogenes Ziel ist es die Komponenten Gebäudehülle, Heizsystem und Wandtemperierung zuerst theoretisch durch Simulationen und dann Praktisch durch die Vermessung eines Demonstrationsprojektes zu optimieren. Dadurch sollen vor allem die Wandtemperierung und der Speicherziegel im Kontext mit der Solarthermie technisch verbessert werden und Marktreife erlangen

Technologiestrategische Ziele:

Die Firma Wienerberger will sich durch die Erschließung des Geschäftsfeldes der Bauteilaktivierung als Produzent energie-effizienter Systemlösungen neu positionieren. Es soll neben den traditionellen, keramischen Produkten auch in Zukunft das System für die Bauteilaktivierung angeboten werden.

2.3 Einordnung in das Programm

Die experimentelle Entwicklung fügt sich in das Themenfeld 2, Speichertechnologien in den Themenpunkt fortgeschrittene Speichertechnologien ein. In diesem Programmziel wird die Integration der Wärmespeicherfunktion in traditionellen Bauteilen des Gebäudes unterstützt.

Durch Experimentelle Entwicklung werden für ein Demonstrations-Projekt die Komponenten - Gebäudehülle, Heizsystem und Wandtemperierung - so aufeinander abgestimmt, dass ein möglichst hoher solarer Deckungsgrad bei der Wärmebereitstellung erreicht wird.

Nach der praktische Realisierung des Demonstrations-Projekts (Nicht Teil der Förderung) wurde in der Nutzungsphase das Gebäudes vermessen und mit den Ergebnissen die theoretische Vorstudie evaluiert. Die Komponenten - Gebäudehülle, Heizsystem und Wandtemperierung - konnten so im Realversuch weiter optimiert werden.

Dadurch wurde für den Antragsteller Know-How entwickelt, dass er für den späteren Vertrieb der Wandtemperierung benötigt.

2.4 Verwendete Methoden

Im Arbeitspaket 2 „Architektonische Entwicklung und Kostenmonitoring“ wurde eine Gebäudeform entwickelt, die den Ansprüchen des Bauherren und des Forschungsprojekts in architektonisch ansprechender Qualität entsprach. Dies erfolgte in der planerischen Abstimmung der technischen Komponenten Gebäude, Bauteilaktivierung und Solarthermie mit Focus auch auf die Wirtschaftlichkeit.

Im Arbeitspaket 3 „Energetische Modellierung“ war die Zielsetzung einerseits die Identifikation geeigneter energetischer Konzepte zur vollsolaren Wärmeversorgung des Ziegelwohngebäudes und andererseits deren energetischer Bewertung und Optimierung. Dazu wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Identifikation geeigneter Energiesysteme zur vollsolaren Wärmeversorgung
- Bewertung und Optimierung des Zusammenspiels des architektonischen Entwurfs mit Hinblick auf die Nutzung von passiven solaren Gewinnen und der thermisch aktivierten Ziegelbauelemente
- Bewertung und Optimierung des Gesamtkonzepte zum Ziegelwohngebäude der Zukunft mit solarer Vollversorgung

Im Arbeitspaket 4 „Wissenschaftliches Monitoring“ war die Zielsetzung die messtechnische Erfassung des energetischen Gebäude- und Anlagenverhaltens. Die theoretischen Analysen und Thesen hinsichtlich der energetischen Zielwerte aus Arbeitspaket 3 wurden durch wissenschaftliches Monitoring überprüft. Dazu konzentrierten sich die Arbeiten auf die Optimierung des laufenden Gebäude- und Anlagenbetriebs. Das wissenschaftliche Monitoring wurde über 1,5 Betriebsjahre durchgeführt. Dabei wurde betrachtet:

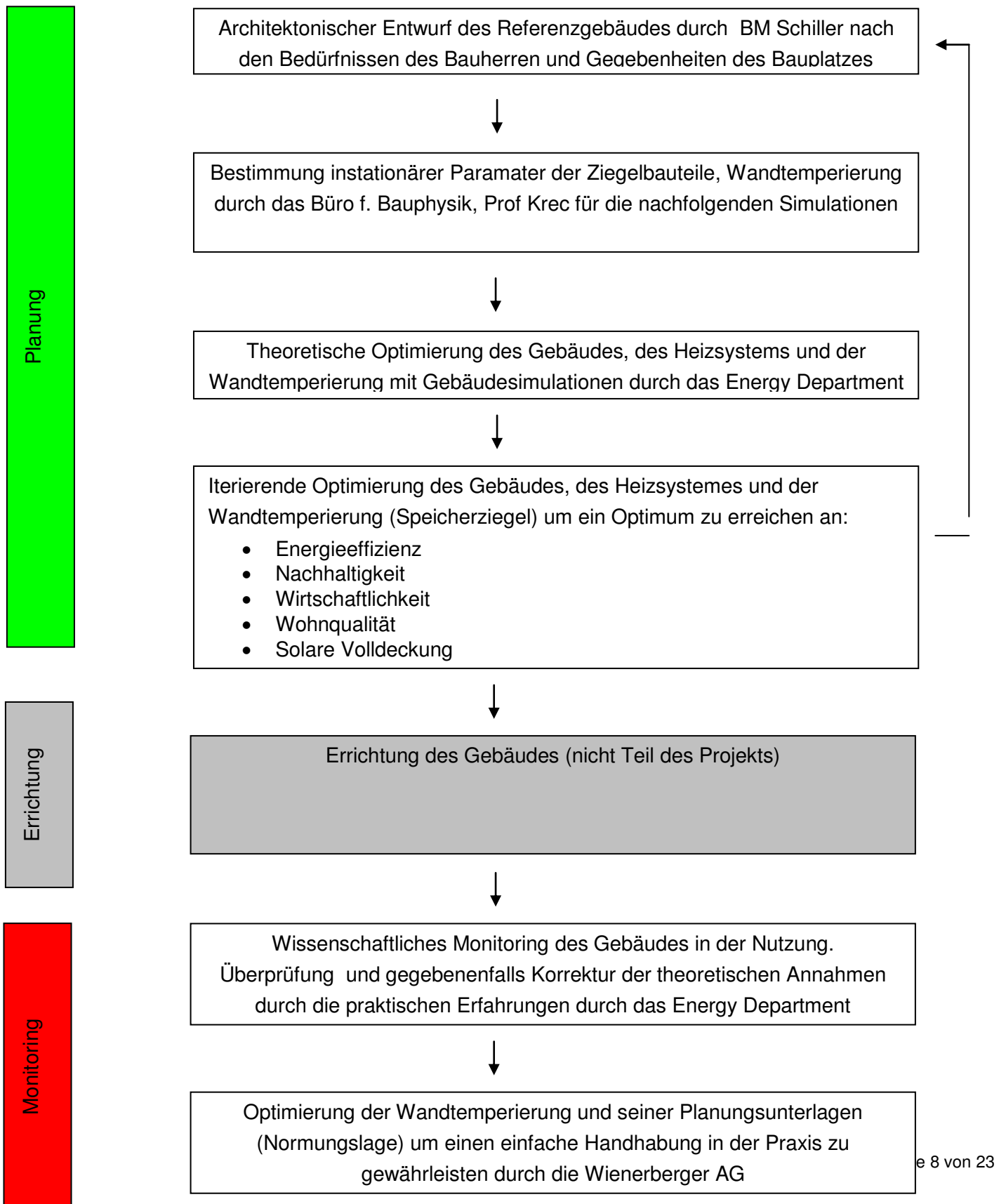
- Bewertung des energetischen Gebäudebetriebs und der thermischen Behaglichkeit
- Identifikation und Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen des Gebäudebetriebs
- Optimierung der Wandtemperierung

Im Arbeitspaket 5 „Produktentwicklung & Disseminierung der Ergebnisse“ wurden die wissenschaftlichen Erkenntnisse in der praktischen Produktenwicklung umgesetzt. Außerdem wurden die Ergebnisse des Projekts der breiten Öffentlichkeit vermittelt.

Das zweite Ziel des Arbeitspakets 5 war die Verbreitung und Präsentation der Ergebnisse und Aufarbeitung der Ergebnisse für Fachexperten. Parallel zum Forschungsprojekt wurde ein Marketingprogramm definiert, das folgende Schwerpunkte enthielt:

- Laufende Veröffentlichungen in Printmedien (Fach- und Publikumsmedien)
- Produktion von Drucksorten (Konzeptbroschüre, Ergebnis- und Endbroschüre)
- Events (Auftaktveranstaltung, Spatenstich und Fertigstellung des Gebäudes)
- Pressekonferenzen (Blog, Google adWords, Newsletters)
- Onlinemarketing
- TV-Berichterstattung
- Nutzung der Forschungsergebnisse in der Lehre

2.5 Aufbau der Arbeit



3 Inhaltliche Darstellung

In einem 1 ½ jährigen Planungsprozess wurde das Pilotprojekt „e4 ZIEGELHAUS 2020“ mit den Planungspartnern Franz Schiller GmbH und Energy Department (AIT Austrian Institut of Technology) entwickelt und errichtet. „e4 ZIEGELHAUS 2020“ ist der Markenname unter dem das Referenzprojekt „Solar Plus Haus“ in der Öffentlichkeit präsentiert wird.

Ziel war es, den Heizwärmebedarf, aber vor allem die Gesamtenergieeffizienz, den Primärenergiebedarf sowie den CO₂-Ausstoß des Hauses so gering wie möglich zu halten. Versorgt wird das Einfamilienhaus ausschließlich durch erneuerbare Energieträger. In der Planung war es das Ziel mehr als 60 % des Energieverbrauchs für Heizen und Warmwasser mit Solarenergie abzudecken und mehr als 100% des Strombedarfs am Gebäude solar zu erzeugen.

Die energetische Planung, Berechnung und Bewertung erfolgte durch das AIT Austrian Institut of Technology mit Unterstützung von Prof. Dr. Klaus Krec, Büro für Bauphysik. Für die Konzeption und die Errichtung ist der Wienerberger MassivWertHaus Baumeister Schiller verantwortlich. Mit dem Bau des Gebäudes wurde im Juli 2011 begonnen. Mitte 2012 wurde das Gebäude fertiggestellt und Weihnachten 2012 von der Lugauer bezogen. Das durch das Energy Department (AIT) und Fa. Franz Schiller GmbH entwickelte Hauskonzept konnte durch die Bauherren zu den veranschlagten Kosten umgesetzt werden. Das begleitende Monitoring der Energieströme und Raumparameter des AIT hat im Jänner 2013 begonnen und wurde mit Juni 2014 abgeschlossen.



4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das e4 ZIEGELHAUS 2020 übererfüllt die Anforderungen der EU-Gebäuderichtlinie für 2020 und leistet damit einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz. So fordert die Europäische Union in ihren Klimaschutzzielen 20 % mehr Energieeffizienz, eine Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger um 20 %, sowie um 20 % weniger CO₂-Emissionen. Mit dem in diesem Projekt geplanten und realisierten Gebäude wurden die ambitionierten Ziele bei weitem übererfüllt, denn das e4 ZIEGELHAUS 2020 erreicht schon heute auch im Betrieb:

- 100 %ige Wärmeversorgung durch erneuerbare Energieträger
- Die Solarstromlieferung vor Ort übertrifft den gesamten Stromverbrauch des Gebäudebetriebs
- Die direkt Nutzung des gelieferten Solarstroms im Gebäude liegt rund bei 36 bis 40 Prozent

- Eine negative Jahresbilanz hinsichtlich des Primärenergiebedarfs (nicht-erneuerbarer Anteil) und der CO₂-Emissionen auf, d.h. mit dem gewählten Bilanzierungsverfahren ist das Gebäude im Betrieb sowohl ein Plusenergie-Gebäude als auch ein Null-(CO₂) Emissions- Gebäude.

Das Gebäude wird wärmetechnisch zu 100 % mit erneuerbaren Energieträgern versorgt. Davon wurden im Jahr 2013 42,5 Prozent des Jahreswärmeenergiebedarfes für Heizen und Warmwasser mit Solarenergie abgedeckt. In den Monaten Okt 13 bis Mai 14 sind folgende solare Deckungsanteile SD an der Wärmeversorgung gemessen worden SD_{Okt} = 100%, SD_{Nov} = 35,4%, SD_{Dez} = 29,7%, SD_{Jan} = 23,3%, SD_{Apr} = 100%, SD_{Mai} = 100%. Der restliche Energiebedarf im Winter wurde durch einen Stückholzkessel erzeugt. Der hohe solare Deckungsgrad wird durch eine 48 m² große Solaranlage und einen 9.580 Liter fassenden Solarwärmespeicher erreicht.

Der Solarwärmespeicher kann mit seinen 9.580 Litern 630 kWh Energie speichern. Diese Energie reicht aus, um das Gebäude im tiefsten Winter ohne Sonneneinstrahlung oder Nachheizung etwa eine Woche lang zu versorgen. Darüber hinaus wurde der Speicher im Inneren des Hauses zentral platziert, um möglichst keine Energie ungenutzt nach außen zu verlieren. Als Zusatzheizung vor allem während der sonnenarmen Winterwochen wird ein Holzkessel mit einer Leistung von ca. 40 kW in das Energiesystem miteinbezogen. Dieser benötigt nur rund 4,5 Raummeter (rund 10.700 kWh) Holz im Winter 2012/2013 bzw. 2,8 Raummeter kWh Holz in den Wintermonaten Okt Nov Dez 2013 und Jan 2014, um das Haus in der kalten Zeit warm zu halten.

Neben einer klassischen Fußbodenheizung wird zusätzlich ein in diesem Projekt entwickeltes Wandtemperierungssystem eingesetzt, das ähnlich einer Fußbodenheizung die Wärme über die Wand großflächig an den Raum abgibt und durch seine Masse gleichzeitig auch als Speichermedium wirkt. Das System kann flexibel genutzt werden, so können die Räume im Sommer bei Bedarf auch gekühlt werden.



Für die Stromerzeugung wird eine Photovoltaikanlage auf dem Garagendach installiert. Die Anlage hat eine Größe von 49 m² (35 Module) und eine elektrische Spitzenleistung bei Normbedingungen von ca. 6,5kWp. Damit wurde der gesamte benötigte Haushaltsstrom des e4 ZIEGELHAUS 2020 über das Jahr mehr als abgedeckt. Im Jahr 2013 wurden 5.882 kWh produziert und 4.650 kWh wurde durch die Gebäudenutzung inklusive Monitoring-Betrieb verbraucht. Der vor Ort gelieferte Solarstrom deckte etwa

36 Prozent des gesamten Stromverbrauchs. Im Jahr 2014 bis Mai wurden 2.730 kWh produziert und 1670 kWh durch den Gebäudebetrieb verbraucht. Etwa 40 Prozent dieses gesamten Stromverbrauchs lieferte die hauseigene Solarstromanlage direkt. Durch die klimafreundliche Produktion von Strom am Gebäude wird eine CO₂- und Primärenergiegutschrift und damit eine neutrale CO₂ und Primärenergiebilanz des Gebäudes erreicht.

Auf Basis der gemessenen Monitoring-Daten 2013 wurde unter Eingabe der aufgezeichneten Wärme- und Strommengen eine Jahresbilanzierung hinsichtlich Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen erstellt. Die Konversionsfaktoren zur Berechnung der Jahresbilanz sind der OIB Richtlinie 6 (OIB 2011) entnommen. Der energetische Gebäudebetrieb 2013 weist trotz der sehr trüben Wintermonate Januar und Februar 2013 eine negative Jahresbilanz hinsichtlich des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen auf. Folglich ist das „Solares Plus Haus“ auch im „Reality Check auf Basis der gemessenen Werte und unter Berücksichtigung des gewählten Bilanzierungsverfahren sowohl ein Plusenergie-Gebäude als auch ein Null-(CO₂) Emissions- Gebäude.

4.1 Ergebnisse des Monitorings von Oktober 2012 bis Juni 2014 im Detail

Die Messwertaufzeichnungen im Rahmen des wissenschaftlichen Monitorings zum Forschungsprojekt ‚Solares Plus Haus‘ laufen von Oktober 2012 bis Juni 2014. Seit Weihnachten 2012 wohnt Familie Lugauer im „e4Ziegelhaus2020“ und seit diesem Zeitpunkt ist die gesamte Haustechnik im realen Betrieb. In diesem Zeitraum hat das AIT eine umfangreiche Messdatenauswertung durchgeführt. Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse des wissenschaftlichen Monitorings vorgestellt. In einem ersten Schritt werden zunächst die monatlichen Wärme- und Strombilanzen über den Beobachtungszeitraum Jänner 2013 bis Mai 2014 vorgestellt und erste Schlüsselkennzahlen zur energetischen Bewertung beziffert.

Monatliche Wärmebilanzen

Abbildung 4.1 enthält monatliche Wärmemengen, die einerseits von den Sonnenkollektoren und dem Stückholz Kessel an den 9.6 m³ Heißwasserspeicher geliefert wurden und andererseits für die Bewärmung der Ziegelwände und des Fußbodens sowie der Warmwasserbereitung zur Verfügung gestellt wurde.

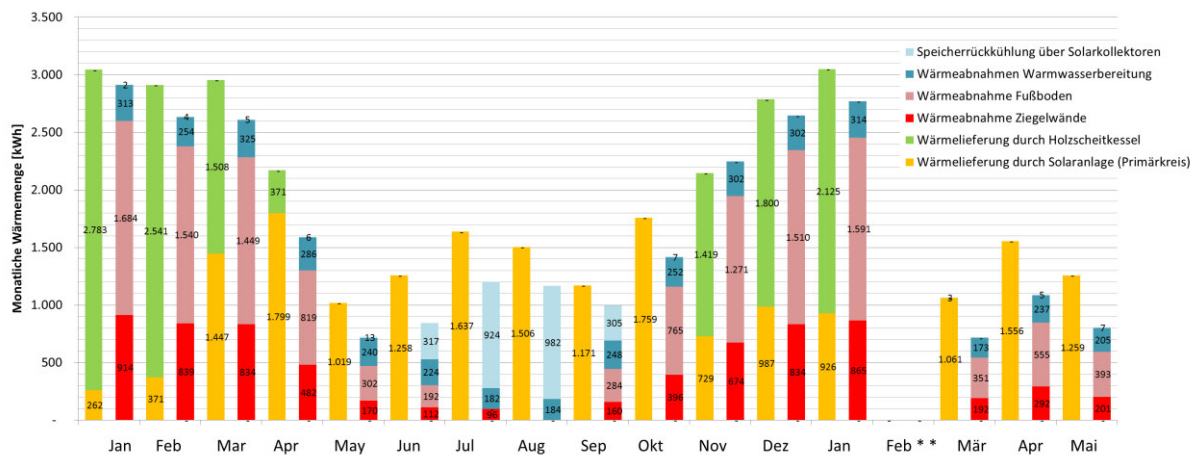


Abbildung 4.1: Monatliche Wärmebilanzen (Wärmelieferung vor Ort und Wärmebedarf) im Zeitraum Januar 2013 bis Mai 2014

**** Ausfall der Messdatenaufzeichnung Anfang Februar bis zum 18. März 2014**

Legende

Wärmelieferung durch Solarkreis

Monatliche solare Wärmemenge [kWh], die vom Solarkreis bestehend aus etwa 48 m² Flachkollektoren an den großvolumigen Heißwasserspeicher übertragen wurde

Wärmelieferung durch Biomassefeuerung

Monatliche Wärmemenge [kWh], die vom Stückholz gefeuerten Kessel an den großvolumigen Heißwasserspeicher übertragen wurde

Wärmeabnahme an Ziegelwände

Monatliche Wärmemenge [kWh], die an die temperierten Ziegelwände übertragen wurde

Wärmeabnahme an Fußbodenheizung	Monatliche Wärmemenge [kWh], die an die Fußbodenheizung übertragen wurde
Wärmeabnahme Warmwasser	Monatliche Wärmemenge [kWh], die zur Bereitstellung des Warmwassers übertragen wurde
Rückkühlung Heißwasserspeicher	Monatlich abgeführte Wärmemenge [kWh], die über den nächtlichen Betrieb der Solarkollektoren an die Umgebung abgegeben wurde.

Im ausgewählten Beobachtungszeitraum **01. Jänner 2013 bis 31. Dezember 2013** wurden hinsichtlich der Wärmebereitstellung zur Gebäudebeheizung vom Wärmeliefersystem rund **9.816 kWh** in die Fußbodenheizung und rund **5.511 kWh** in die temperierten Ziegelwände eingespeist. Die Messdaten dokumentieren eine gelieferte Wärmemenge von rund **3.112 kWh**, um das Brauchwasser zu temperieren. D.h. im Jahr 2013 wurde insgesamt eine Wärmemenge von **18.439 kWh** für die Gebäudetemperierung und Warmwasserbereitung abgenommen. Die steilaufgestellten Flachkollektoren mit rund 48 m² lieferten ca. **13.945 kWh** solare Wärme und der Stückholz gefeuerte Kessel liefert den maßgeblichen Anteil der erforderlichen Wärme mit **10.422 kWh**. Gemäß Gleichung 1 führen diese Wärmemengen zu einer solaren Deckungsrate von **SD = 43,5 Prozent**.

Monatliche Strombilanzen

Im ausgewählten Beobachtungszeitraum **01. Jänner 2013 bis 31. Dezember 2013** wurden im gesamten Ziegelwohngebäude rund **4.650 kWh Strom** verbraucht und **13,6 Prozent (633 kWh)** sind dem Betrieb des wissenschaftlichen Monitorings zu zuordnen. Der Pumpenbetrieb der Wärmelieferanlage inklusive ihrer Verteilung verursachte einen Jahresstromverbrauch von **708 kWh**. In der gleichen Zeitspanne hat die Fotovoltaik-Anlage mit einer installierten elektrischen Spitzenleistung von 6,5 kW_{peak} rund **5.882 kWh** Solarstrom geliefert, dies entspricht einer spezifischen gelieferten Strommenge von **905 kWh pro kW_{peak}**. Vom gelieferten Solarstrom wurden einerseits **4.204 kWh** ins öffentliche Stromnetz eingespeist und andererseits **1.678 kWh** direkt für den Gebäudebetrieb genutzt, d.h. rund **28,5 Prozent** des gelieferten Solarstroms werden direkt genutzt. Bezogen auf den gesamten Stromverbrauch des Gebäudebetriebs inklusive wissenschaftlichen Monitoring erzielt die PV Anlage eine solare Eigendeckung von **36,1 Prozent**.

Hinsichtlich der elektrischen Jahresbilanz 2013 übertrifft das e4-Ziegelhaus 2020 seine Prognosen aus der Planungsphase. Die 6.5 kW_{peak} Photovoltaik- Anlage am Garagendach lieferte 40 Prozent mehr Strom als verbraucht wurde. Die Solarstromerträge der PV-Anlage wurden in der Planungsphase konservativ mit 5.070 kWh/ a abgeschätzt. Die Messdaten, die sowohl durch das wissenschaftliche Monitoring als auch durch die Energiebuchhaltung der Familie Lugauer vorliegen, belegen, dass die PV-Module rund 810 kWh pro Jahr mehr geliefert haben als zu Projektbeginn veranschlagt wurde.

Für die Folgemonate von Januar bis Mai 2014 lässt sich ein positiver Trend hinsichtlich einer verbesserten Eigennutzung des Solarstroms bei vermindertem Gesamtstromverbrauch feststellen. Beispielsweise wurde im Bilanzierungszeitraum von Anfang Juni 2013 bis Ende Mai 2014 ein gesamter Stromverbrauch **4.180 kWh** inklusive Monitoring-Betrieb gemessen und etwa **1.691 kWh** davon wurden direkt von der PV-Anlage geliefert, dies entspricht einer prozentualen solaren Eigendeckung von rund **40**

Prozent. In diesem Zeitraum lieferte die PV-Anlage einen Ertrag von **6.457 kWh**, dies entspricht einer spezifischen gelieferten Strommenge von rund **993 kWh pro kW_{peak}**. **14,5 Prozent (608 kWh)** vom gesamten Stromverbrauch entfallen auf den Betrieb des wissenschaftlichen Monitorings.

Abbildung 4.2 illustriert die monatlichen Strombilanzen (Solarstromlieferung vor Ort und Stromverbrauchgruppen) im Zeitraum von Januar 2013 bis Mai 2014. Monatliche Bewertungsindikatoren hinsichtlich des PV-Anlagenbetriebs, wie der Anteil des direkt im Gebäude genutzten Solarstroms zum Gesamtstromverbrauch oder der Anteil des direkt im Gebäude genutzten Solarstroms zum gelieferten Solarstrom, stellt Abbildung 4.3 dar.

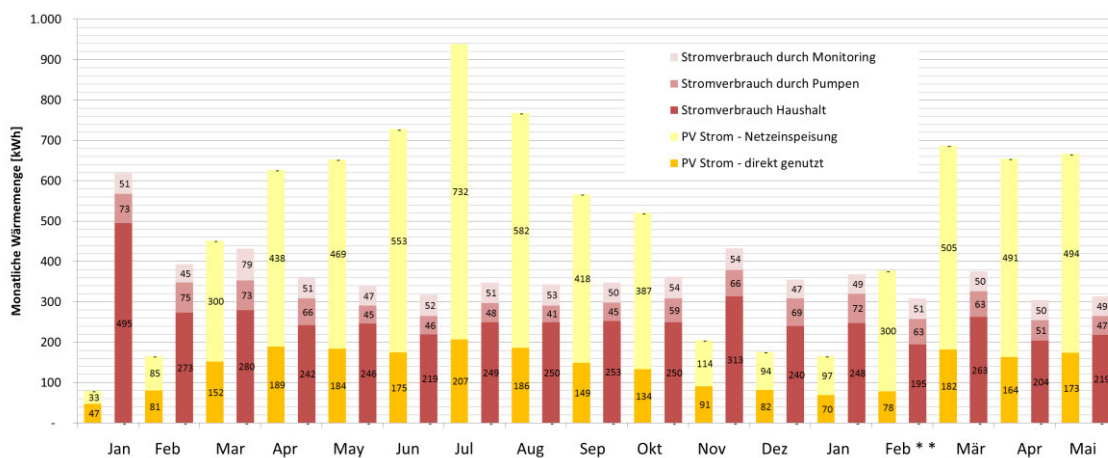


Abbildung 4.2: Monatliche Strombilanzen (Solarstromlieferung vor Ort und Stromverbrauchgruppen) im Zeitraum Januar 2013 bis Mai 2014

**** Ausfall der Messdatenaufzeichnung Anfang Februar bis zum 18. März 2014**

Legende

Stromverbrauch durch Monitoring	Monatliche Strommenge [kWh], die durch den Betrieb des wissenschaftlichen Monitoring-Systems verbraucht wurde
Stromverbrauch durch Pumpen	Monatliche Strommenge [kWh], die von den Pumpen des Wärmeliefersystems konsumiert wurde
Stromverbrauch Haushalt	Monatliche Strommenge [kWh], die durch die Gebäudenutzung (Beleuchtung, Kochen ..) verbraucht wurde.
PV Strom – Netzeinspeisung	Monatliche Strommenge [kWh], die von der PV Anlage geliefert wurde und ins Netz eingespeist wurde.
PV Strom – direkt genutzt	Monatliche Strommenge [kWh], die von der PV Anlage geliefert wurde und direkt im Gebäude verbraucht wurde.

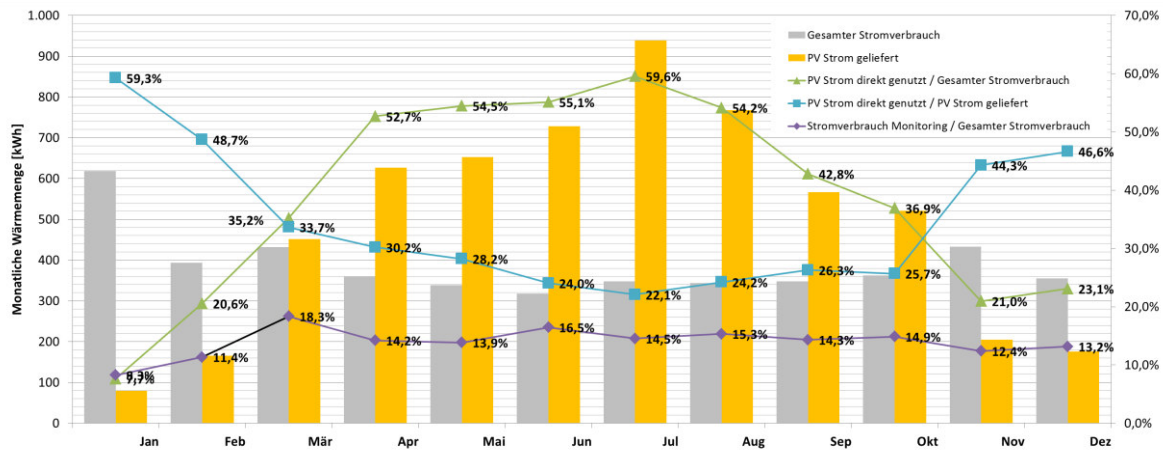


Abbildung 4.3: Monatliche Bewertungsindikatoren hinsichtlich der PV-Anlage im Zeitraum Januar bis Dezember 2013

Legende

Gesamter Stromverbrauch	Monatliche Strommenge [kW], die insgesamt durch den Gebäudebetrieb und den Betrieb des wissenschaftlichen Monitoring-Systems verbraucht wurde
PV Strom geliefert	Monatliche Strommenge [kW], die von der PV Anlage geliefert wurde. Die gelieferte Solarstrommenge wird einerseits ins Netz eingespeist und andererseits direkt im Gebäude genutzt.
PV Strom direkt genutzt / Gesamter Stromverbrauch	Prozentualer Anteil der direkt im Gebäude genutzten monatlichen Solarstrommenge [kWh] im Verhältnis zum gesamten monatlichen Stromverbrauch
PV Strom direkt genutzt / PV Strom geliefert	Prozentualer Anteil der direkt im Gebäude genutzten monatlichen Solarstrommenge [kWh] im Verhältnis zur gesamten Strommenge, die die PV-Anlage lieferte.
Anteil Stromverbrauch Monitoring	Prozentualer Anteil des monatlichen Stromverbrauchs durch das wissenschaftliche Monitoring am gesamten monatlichen Stromverbrauch

Thermische Behaglichkeit im Wohnraum

Das Monitoring beinhaltet die Raumluftmessungen in verschiedenen Räumen des e4-Ziegelhauses 2020. Für die Räume Wohnraum (EG), Schlafzimmer (1.OG) und die beiden Kinderzimmer (1.OG) liefern wandmontierte Kombifühler Messsignale, um den zeitlichen Verlauf der Temperatur, der relativen Feuchte und des CO₂ - Gehalt der Raumluft zu dokumentieren. Auf eine Bewertung hinsichtlich der operativen Raumtemperaturen muss verzichtet werden, da diese nur sehr aufwendig messtechnisch zu erfassen ist. Dazu müssten die Oberflächentemperaturen aller raumumschließenden Flächen registriert werden und in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung erfasst werden. Als Bewertungskriterium für die thermische Behaglichkeit wurde die deutsche Norm DIN 1946 II herangezogen. Diese definiert ein Behaglichkeitsfeld für die Messgrößen relative Feuchte und Temperatur der Raumluft innerhalb der Grenzen von 20°C < TRL < 26°C; 30% < RHRL < 65% und AFRL < 11.5 g/kg.

Abbildung 4.4 und Abbildung 4.5 zeigen im adaptierten Mollier-Diagramm 5-Minuten Messwerte hinsichtlich der relativen Feuchte und Temperatur der Raumluft im Wohnzimmer für die ausgewählten

Monate Jänner und August 2013. Die Beobachtung zeigt, dass die Messwerte für die Wohnraumlufth im Jänner 2013 mit **97,9 Prozent** und im August 2013 mit **76,5 Prozent** im definierten Behaglichkeitsfeld liegen. Abbildung 4.6 zeigt sowohl tabellarisch als auch grafisch die monatlichen Anteile der behaglichen Raumlufthzustände für alle vier beobachteten Räume, die mit entsprechender Messtechnik ausgestattet sind, über den Zeitraum Januar 2013 bis Oktober 2013.

In den Wintermonaten treten zu trockene Raumlufthzustände und in den Sommermonaten treten sowohl überhöhte Werte der relativen Feuchte als auch der Raumlufthtemperatur auf. Die sehr wahrscheinliche Ursache für das Auftreten von Raumlufthzuständen weit außerhalb des Behaglichkeitsfeldes ist ein langanhaltendes Fensterlüften durch die Hausbewohner. Das sommerliche Gebäudeverhalten ist stark vom Nutzverhalten und den Wetterbedingungen abhängig, es gibt kein aktives System zur Kühlung und Entfeuchtung.

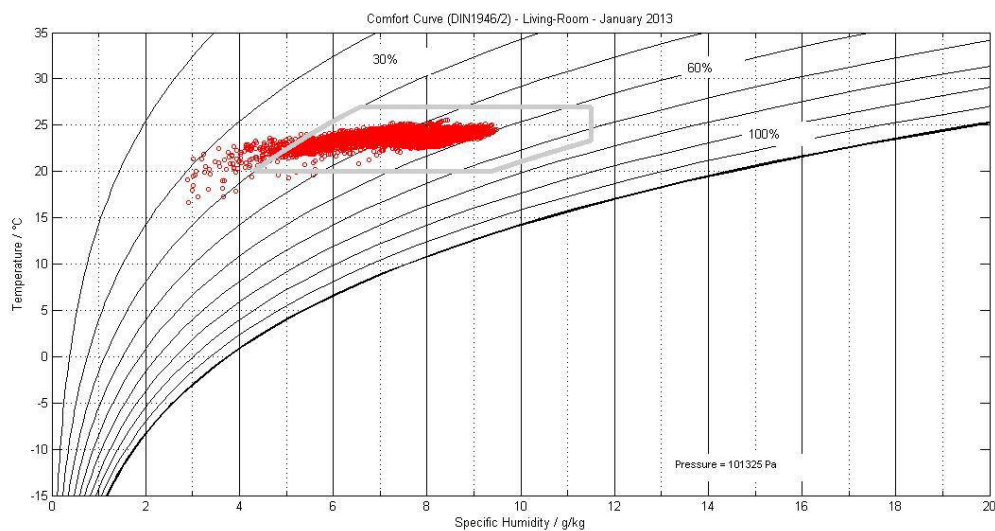


Abbildung 4.4: 5 Minuten Werte der relativen Feuchte und Temperatur Raumlufth (Living Room) im Wohnbereich im Erdgeschoss für den Monat Januar 2013

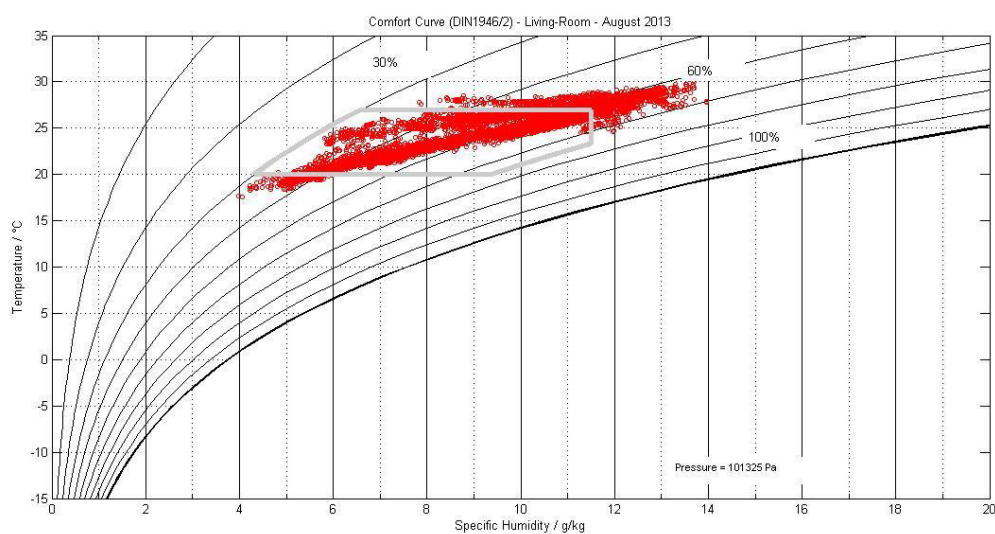


Abbildung 4.5: 5 Minuten Werte der relativen Feuchte und Temperatur Raumlufth (Living Room) im Wohnbereich im Erdgeschoss für den Monat August 2013

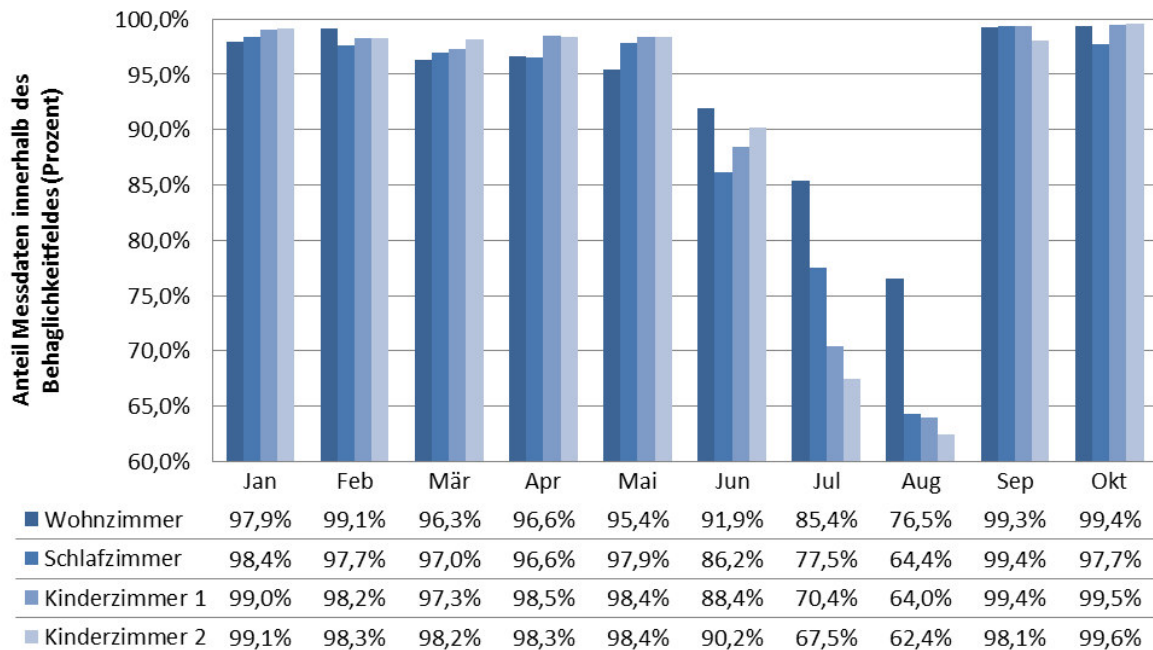


Abbildung 4.6: Monatlichen Anteile der behaglichen Raumluftzustände für vier beobachtete Wohnräume im Zeitraum von Januar 2013 bis Oktober 2013.

Detailanalyse energetische Betriebsverhalten der temperierten Ziegelwand

Über die Auswertung der monatlichen Wärmebilanzen zeigt sich zunächst, dass rund ein Drittel des Wärmeeintrags (Konvektion und Strahlung) zur Raumtemperierung mittels der neuartigen thermisch aktivierten Ziegelwände erfolgte.

Abbildung 4.7 zeigt das energetische Betriebsverhalten der temperierten Ziegelwand im Stiegenhaus im Erdgeschoss. In den ersten drei Januarwochen wurde diese Ziegelwand permanent mit einem Volumenstrom von rund 50 bis 75 Liter pro Stunde mit Wasser durchströmt. Die Vorlauftemperatur in die Ziegelwand schwankt in Abhängigkeit der Vorgaben durch Nutzer und Regelung zwischen $24^{\circ}\text{C} < \text{TZW_VL} < 32^{\circ}\text{C}$, d.h. die Vorlauftemperaturen sind deutlich unter der angesetzten Temperatur von $\text{TZW_VL} = 40^{\circ}\text{C}$ in den theoretischen Untersuchungen zur Wärmeleistung der temperierten Ziegelwand. Die Materialtemperaturen der Putzschicht auf der kalten- sowie warmen Seite der temperierten Ziegelwand liegen etwa 1 bis 2 Kelvin unter der Vorlauftemperatur und liegen zwischen 23°C und knapp über 26°C . Die Wärmeleistung, die vom Wärmeträger Wasser in dieser Messperiode an die Ziegelwand eingebracht wurde, liegt etwa zwischen 70 und 200 Watt.

Abbildung 4.8 zeigt Tagesprofile der Ziegelwand im Stiegenhaus hinsichtlich Temperaturen und eingebrachter Wärmeleistung am 1. März 2013. Die Ziegelwand wird an diesem Tag zweimal in Betrieb gesetzt und wurde etwa mit einer Vorlauftemperatur von $\text{TVL} = 32^{\circ}\text{C}$ bis 33°C beschickt. Die Rücklauftemperaturen des Wassers wurden im Wertebereich von etwa 28°C bis 30°C durch das Monitoring-System aufgezeichnet. Zu Betriebsbeginn der Temperierung wurde eine Wärmeleistung von etwa 400 Watt in die Ziegelwand eingebracht, im Verlaufe des Tages senkte sich die eingebrachte

Wärmeleistung auf rund 100 Watt ab. Bezogen auf die spezifische Fläche bedeutet das eine eingebrachte Wärmeleistung von rund 10 bis 40 Watt pro Quadratmeter beheizter Wandfläche.

Außerdem enthält Abbildung 4.8 noch Aufzeichnungen zu den oberflächennahen Temperaturen der warmen Seite der Ziegelwand an fünf unterschiedlichen Positionen und sind Abbildung 4.7 zu entnehmen. Je nach örtlicher Lage des Temperatursensors werden unterschiedliche absolute Temperaturen erreicht und an diesem Tag wird die Oberfläche um bis zu 2 Kelvin aufgeheizt. Die wärmste Stelle wird mit knapp über 27°C an der linken ober Ecke der Ziegelwand registriert.

Abbildung 4.9 zeigt das Tagesprofil der gesamten Fußbodenheizung im Erdgeschoss. Die Vorlauftemperaturen in die Fußbodenheizung liegen im gleichen Bereich wie bei der oben diskutierten Ziegelwand. Beide Flächenheizsysteme sowohl die Ziegelwände als auch die Fußbodenheizung hängen am gleichen hydraulischen Heizkreis. Die Konstruktion der Fußbodenheizung lässt größere Temperaturspreizungen zu und die Rücklauftemperaturen lagen an diesem Tag im Bereich von 25°C bis zu knapp 29°C. Am 1. März 2013 wurden rund zwischen 4 und 9 kW Wärmeleistung in die Fußbodenheizung eingebracht. Bezogen auf die spezifische Fläche bedeutet das eine Wärmeeinbringung von rund 20 bis 45 Watt pro Quadratmeter beheizter Fußbodenfläche.

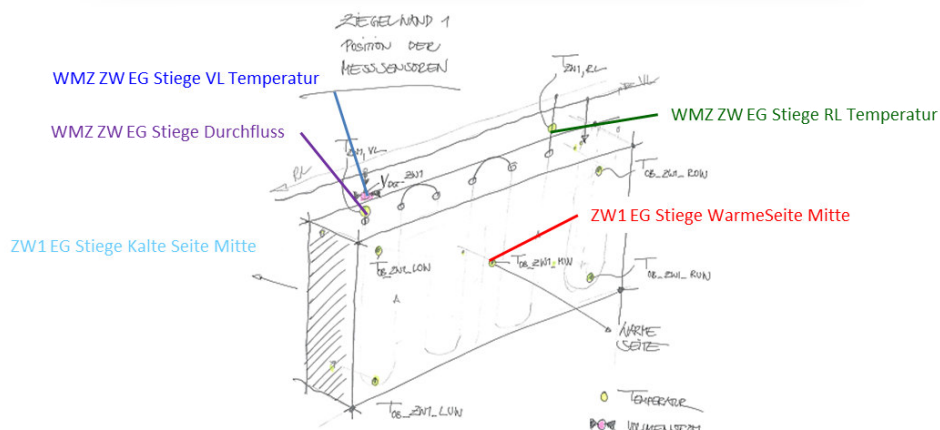
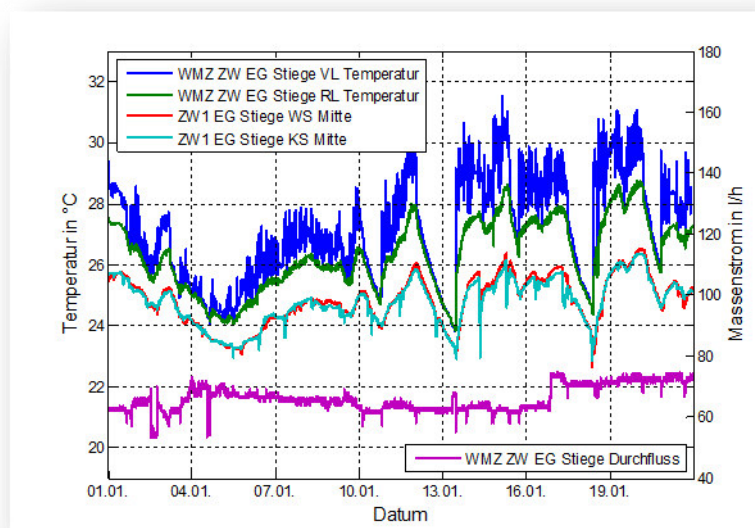


Abbildung 4.7: Betriebsverhalten der temperierten Ziegelwand im Erdgeschoss in den ersten drei Januarwochen 2013

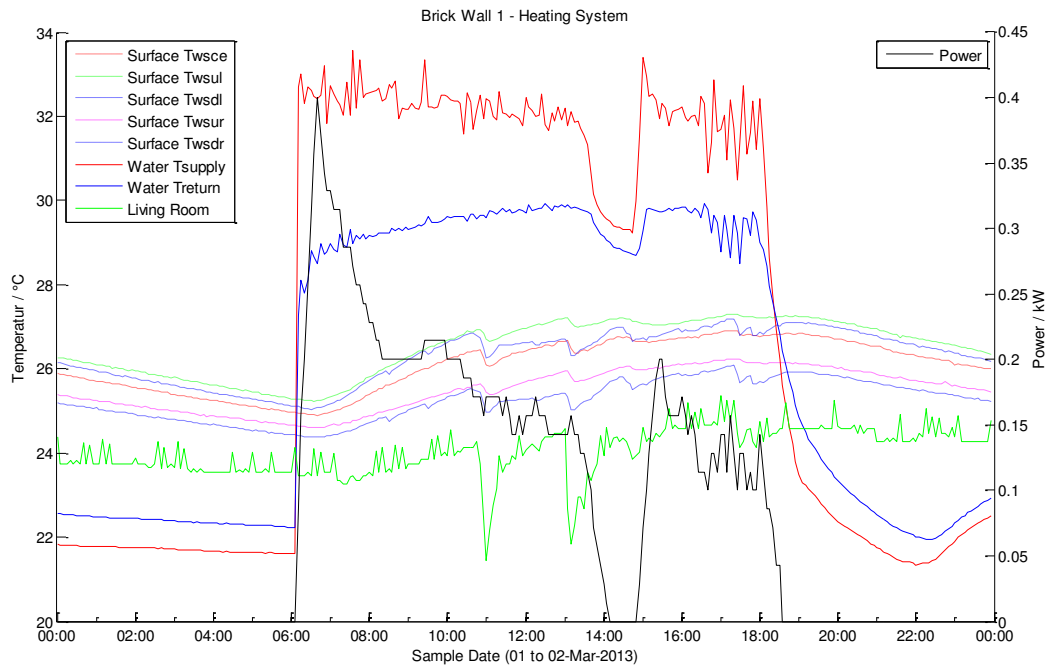


Abbildung 4.8: Temperaturen und eingebrachte Wärmeleistung der Ziegelwand am 1. März 2023

Legende

SurfaceTwsce	Oberflächentemperatur der Putzschicht der temperierten Ziegelwand auf der warmen Seite an der Position Mitte
Surface Twsul	Oberflächentemperatur der Putzschicht der temperierten Ziegelwand auf der warmen Seite an der Position oben links
Surface Twddl	Oberflächentemperatur der Putzschicht der temperierten Ziegelwand auf der warmen Seite an der Position unten links
Surface Twsur	Oberflächentemperatur der Putzschicht der temperierten Ziegelwand auf der warmen Seite an der Position oben rechts
Surface Twskr	Oberflächentemperatur der Putzschicht der temperierten Ziegelwand auf der warmen Seite an der Position unten rechts
Water Tsupply	Wassereintrittstemperatur in die Ziegelwand
Water Treturn	Wasseraustrittstemperatur aus der Ziegelwand
Living Room	Raumlufthtemperatur im Wohnzimmerbereich
Power	In die Fußbodenheizung eingebrachte Wärmeleistung

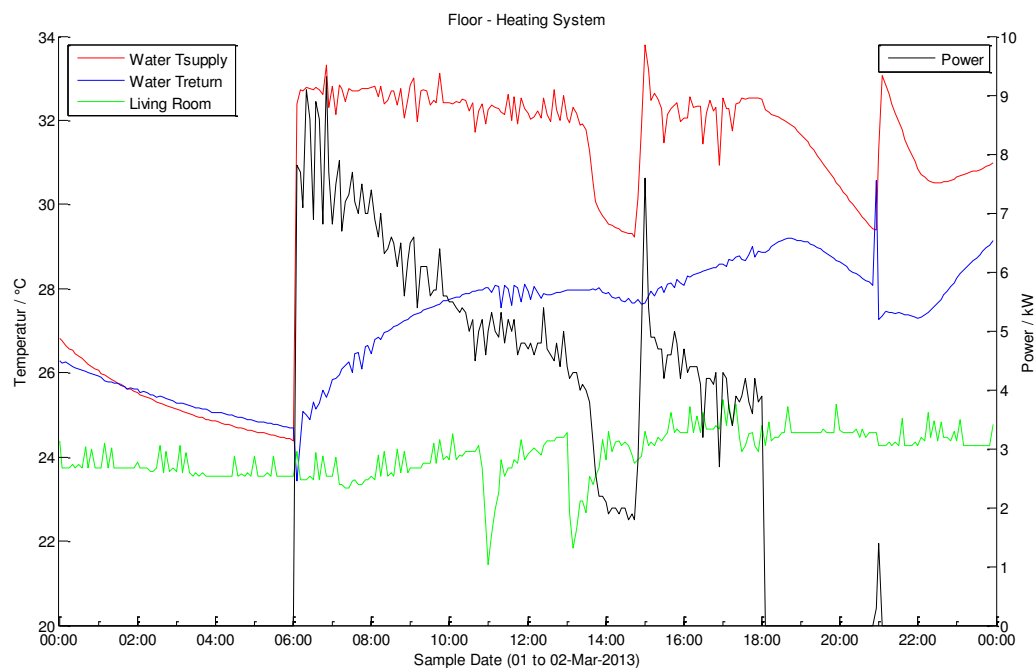


Abbildung 4.9: Energetisches Betriebsverhalten der Fußbodenheizung am 1. März 2023

Legende

Water Tsupply	Wassereintrittstemperatur in den Fußbodenheizkreis
Water Treturn	Wasseraustrittstemperatur aus dem Fußbodenheizkreis
Living Room	Raumlufthtemperatur im Wohnzimmerbereich
Power	In die Fußbodenheizung eingebrachte Wärmeleistung

4.2 REALITY CHECK - Ökologische Bewertung aufgrund der Messdaten 2013

Auf Basis der gemessenen Monitoring-Daten 2013 wird unter Eingabe der aufgezeichneten Wärme- und Strommengen eine Jahresbilanzierung hinsichtlich Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen erstellt. Die Konversionsfaktoren zur Berechnung der Jahresbilanz sind der OIB Richtlinie 6 (OIB 2011) entnommen und sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aufgelistet. Tabelle 4.1 zeigt die Ergebnisse dieser ökologischen Bewertung im Detail. Der energetische Gebäudebetrieb 2013 weist trotz der sehr trüben Wintermonate Januar und Februar 2013 eine negative Jahresbilanz hinsichtlich des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen auf. Folglich ist das „e4-Ziegelhaus 2020“ auch im „Reality Check auf Basis der gemessenen Werte und unter Berücksichtigung des gewählten Bilanzierungsverfahren sowohl ein Plusenergie-Gebäude als auch ein Null-(CO₂) Emissions-Gebäude.

Tabelle 4.1: Jahresbilanz 2013 hinsichtlich Primärenergie und CO₂ Emissionen

Energiebedarf	[kWh/m ² BGF a]	[kWh/a]
Heizwärme (Fußboden + Ziegelwand)	55,3	15.327,0
Warmwasser	11,2	3.112,0
Wärmeverluste Haustechnik*		
Gesamter Wärmebedarf	66,6	18.439,0
Haushaltsstrom	11,9	3.309,7
Haustechnikstrom (Heizen + WW)	2,6	707,5
Monitoring	2,3	633,0
Gesamter Strombedarf	16,8	4.650,2
Energieförderung pro Jahr		
Biomassekessel (Wärme)	37,6	10.422,0
Solaranlage (Wärme)	50,3	13.945,0
Photovoltaik (Strom)	21,2	5.882,0
Primärenergiebilanz	[kWhPE_{ne}¹/m² BGF a]	[kWhPE_{ne}/a]
Haushaltsstrom	25,7	7.115,9
Haustechnikstrom (Heizen + WW)	5,5	1.521,1
Monitoring	4,9	1.361,0
Biomasse (Heizen + WW)**	2,8	781,7
Gutschrift		
Photovoltaik Anlage	-45,7	-12.646,3
Gesamte Primärenergiebilanz	-6,7	-1.866,7
CO₂-Bilanz pro Jahr	[kg CO₂/m² BGF a]	[kg CO₂/a]

¹ NE Nicht erneuerbarer Anteil

Haushaltsstrom	5,0	1.380,1
Haustechnikstrom (Heizen + WW)	1,1	295,0
Solaranlage	1,0	264,0
Biomassekessel	0,2	52,1
Gutschrift		
Photovoltaik Anlage	-8,9	-2.452,8
Gesamte CO2-Bilanz	-1,7	-461,6

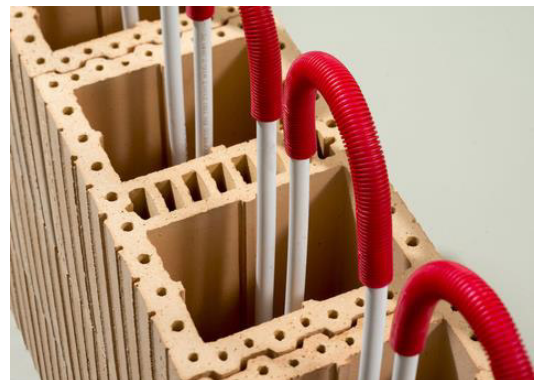
Annahmen dazu

*) Die thermische Solaranlage kompensiert die hohen thermischen Verluste (Differenz zwischen Wärmelieferung und Wärmeabgabe in Fußbodenheizung und Ziegelwand)

**) Der Holzsplit Kessel hat einen Jahresnutzungsgrad von 80 Prozent

5 Ausblick und Empfehlungen

Durch das Forschungsprojekt konnte die Wienerberger Wandtemperierung zur Marktreife geführt werden. Die Forschungsergebnisse haben wichtige Grundlagen für Bemessungs- und Einbauhilfen geliefert. Erste Projekte mit dem Heiz- und Kühlsystem sind bereits in Österreich in Planung und Umsetzung.



Die jetzt 1 Jahr und 6 Monate dauernde Vermessung des Demonstrationsobjektes wird durch das AIT fortgesetzt werden um weiter die Interaktion Gebäudes mit der Wandtemperierung zu untersuchen. Dafür werden die vorhandenen Messeinrichtungen im Demonstrationsgebäude genutzt. So soll auch das Langzeitverhalten des Gebäudes beobachtet werden und über mehrere Jahre ein besseres durchschnittliches Bild der energetischen Performance bekommen werden.

Die Wienerberger AG ist außerdem Projektpartner des Forschungsprojekts „SolCalc“ das von der TU-Wien – Institut für Hochbau und Technologie, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz. Ziel des Forschungsprojekts ist die Entwicklung eines normierten Rechenalgorithmus für die Energieausweiserstellung von Wohngebäuden mit einem solaren Deckungsgrad bis 100% unter Berücksichtigung optimaler Einbindung von Biomasse und Wärmepumpen. Das Projekt hat am 1. Juni 2014 begonnen und wird am 30. Juni 2016 abgeschlossen werden.

6 Literaturverzeichnis

7 Anhang

8 Kontaktdaten

Alexander Lehmden
Wienerberger AG
A-1100 Wien, Wienerberg City, Wienerbergstraße 11
T +43 1 60 192 10615
alexander.lehmden@wienerberger.com
www.wienerberger.com

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Energy Department
Sustainable Buildings and Cities
Tim Selke

SCHILLER Ges.m.b.H
Günther Gerstbauer

IMPRESSUM

Verfasser

Wienerberger AG
Wienerbergstraße 11, 1100 Wien
Wienerberg City
Tel: +43 1 60 192 10615
E-Mail: alexander.lehmden@
wienerberger.com
Web: www.wienerberger.com
– Alexander Lehmden

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Energy Department
Sustainable Buildings and Cities
– Tim Selke

SCHILLER Ges.m.b.H
– Günther Gerstbauer

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH