

Monitoringprojekt „Gebäude als Speicher“

Einfamilienhaus H. (Wind) und Einfamilienhaus F. (Solar)

S. Spaun, H. Kuster,
A. Kuster, J. Lindenthal,
R. Lechner, C. Dankl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

13/2019

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

Impressum

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

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

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Monitoringprojekt „Gebäude als Speicher“

Einfamilienhaus H. (Wind) und Einfamilienhaus F. (Solar)

DI Sebastian Spaun, DI Claudia Dankl
VÖZ – Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie

Harald Kuster, Andrea Kuster
FIN – Future is Now

DI Julia Lindenthal, Robert Lechner
Österreichisches Ökologie-Institut

Wien, März 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMVIT publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	8
Abstract	9
1. Ausgangslage	11
1.1. Haus H – Versorgung mit Windstrom.....	13
1.2. Haus F – Versorgung mit thermischer Solaranlage	15
2. Ergebnisse.....	20
2.1. Messergebnisse Haus H.....	20
2.1.1. Strombedarf und Stromverbrauch	23
2.1.2. Raumtemperaturen.....	26
2.1.3. Zusammenfassung Komfortparameter	31
2.1.4. Conclusio Haus H.....	34
2.2. Messergebnisse Haus F	35
2.2.1. Conclusio Haus F.....	39
2.3. Vergleich der beiden Gebäude.....	40
2.4. Nutzerbefragung – Post Occupancy Evaluation	42
2.4.1. Nutzerbefragung Haus H	42
2.4.2. Nutzerbefragung Haus F.....	42
2.5. Beitrag zur Erreichung der Ziele des Programms „Stadt der Zukunft“	44
3. Schlussfolgerungen.....	45
3.1. Erkenntnisse für das Projektteam	46
3.2. Folgeprojekte.....	47
3.3. Zielgruppen.....	47
3.4. Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten	48
4. Ausblick und Empfehlungen.....	49
5. Verzeichnisse.....	50
5.1. Abbildungsverzeichnis.....	50
5.2. Tabellenverzeichnis	51
5.3. Literaturverzeichnis.....	52
6. Anhang.....	53

Kurzfassung

- Ausgangssituation/Motivation

Die Bauteilaktivierung (BTA) wurde in der Vergangenheit bereits häufig im Bereich von Büro- und Verwaltungsgebäuden, Schulen und Krankenhäusern und teilweise in Gewerbebauten eingesetzt und dort fast ausschließlich mit weiteren Heiz- und Kühlsystemen zum Spitzenlastausgleich kombiniert. In Österreich sind in den letzten Jahren dutzende bauteilaktivierte Einfamilienhäuser mit unterschiedlichen Technologiestandards errichtet worden. Dennoch ist die BTA im Wohnbau noch nicht in der Breite angekommen. Insbesondere in den westlichen Bundesländern wurden zahlreiche Gebäude mit BTA in Kombination mit solarthermischer Versorgung errichtet. Diese Lösung schien für den urbanen, sonnenärmeren, dafür aber windreicheren Osten Österreichs nur beschränkt geeignet.

- Inhalte und Zielsetzungen

Ziel dieses Projekts war es, im Osten Österreichs zwei bauteilaktivierte Einfamilienhäuser zu errichten, die über verschiedene erneuerbare Systeme versorgt werden: Die Wärmepumpe von Haus H wird mit Windstrom betrieben, Haus F funktioniert mit Solarenergie. Mit der Kombination von Wärmepumpe, Erdwärme und erneuerbarer Energie, also Sonnenwärme bzw. Windstrom, sollte gezeigt werden, wie der Anteil erneuerbarer Energie in der Raumwärme erhöht werden kann. Im Fall der Versorgung mit Windstrom war zudem die Nutzung von Überschuss-Windstrom und eine mögliche Entlastung der Stromnetze durch bauteilaktivierte Gebäude ein wesentliches Ziel. Mit der Umsetzung dieser Kombination von thermischer Bauteilaktivierung und Versorgung durch Windstrom am Beispiel eines Einfamilienhauses sollte die Türe zum mehrgeschossigen Wohnbau im dicht besiedelten, städtischen Umfeld aufgestoßen werden.

- Methodische Vorgehensweise

Einer der wesentlichen Inhalte des Monitoringprojekts war der Vergleich der Messdaten mit den projizierten Aufwendungen für beide Energieversorgungssysteme (mit Wind bzw. solar), gesplittet nach Heizung und Warmwasserbereitstellung. Des Weiteren überprüft und verglichen wurden die Gebäude hinsichtlich ihrer Funktionalität und ihres Temperaturverhaltens, der Anteile und Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie sowie deren zeitliche Verteilung.

Die Sammlung und Übertragung der Daten über beide Gebäude zum Projektanten der Anlagen erfolgte elektronisch via Internet. Erfahrungen mit der selbstregulierenden Anlagensteuerung wurden gesammelt und analysiert. Nach Abschluss der Messungen wurden die Daten einer vergleichenden Analyse unterzogen, zudem erhob das Ökologie-Institut in einer unabhängigen Befragung die Zufriedenheit der NutzerInnen in persönlichen Interviews

- Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Insbesondere für das Haus H und die Versorgung mit Windenergie konnte im Monitoringprojekt gezeigt werden, dass die BTA die Voraussetzungen für wirksame Energieflexibilität schafft. Im zweijährigen Monitoring wurde das Haus H über die Wärmepumpe zu 80 % mit Überschuss-Windstrom beheizt. So können Gebäude zur dezentralen Stabilisierung der Energienetze, und zwar Strom- und Wärmenetze, unmittelbar beitragen. Die Bauteilaktivierung ermöglicht, den Energiebedarf durch entsprechende Regelung zeitlich zu verschieben und die Wärmezufuhr auf jene Zeiten zu beschränken, in denen erneuerbarer Strom im Überschuss und demnach kostengünstig zur Verfügung steht.

- Ausblick

Die Klimaziele der österreichischen Bundesregierung sehen vor, dass bis 2030 die gesamte Stromversorgung auf 100 % Erneuerbare umgestellt werden soll. Hier gilt es, das Potenzial der Bauteilaktivierung als Energiespeicher voll auszuschöpfen, da Beton einen relativ preiswerten, gut rezyklierbaren und zudem auch inerten Speicher darstellt. Die Energieflexibilität bauteilaktivierter Gebäude ermöglicht eine Laststeuerung auf der Nachfrageseite, abgestimmt entweder auf die Eigenbedarfsdeckung und/oder auf die Anforderungen der umgebenden Netze. Angesichts immer heißer werdender Sommer stellt die Bauteilaktivierung auch eine energie- und ressourcenschonende Möglichkeit zur passiven Kühlung von Gebäuden dar. Im Osten Österreichs werden 2019 zwei großvolumige Wohnhausanlagen fertiggestellt, in denen Bauteilaktivierung in Verbindung mit Windenergie zum Heizen und Kühlen zum Einsatz kommt. Die Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie hat zur Realisierung dieser Projekte beigetragen und betreut das Themenfeld Bauteilaktivierung federführend im Rahmen von Mission Innovation Austria.

Abstract

- Starting point / motivation

In the past, thermal building component activation (TBA) has already been applied frequently within office and administration buildings, schools and hospitals and partly in commercial buildings, and there almost exclusively in combination with further heating and cooling systems to compensate for peak loads. In Austria, dozens of thermally activated detached houses on differing technological standards have been constructed over the last years. Nonetheless, TBA in housing has not yet reached a wider public. Particularly in the Western Austrian provinces, several buildings were constructed with TBA in combination with solar thermal supplies. This solution was applicable only to a limited extent to the urban, less sunny but more windy East of Austria.

- Contents and goals

Constructing two detached houses with TBA in the East of Austria, supplied by different renewable systems, was the aim of this project: The heat pump of house H is operated by wind electricity, house F operates on solar energy. The aim was to demonstrate how the combination of heat pump, geothermal energy and renewable energy, i.e. solar heat and wind electricity, could be used to increase the share of renewable energy for space heating. For the house supplied with wind electricity, an additional and essential aim was making use of excess wind electricity and possibly reducing the grid loads via the use of the TBA construction. With the implementation of this combination of thermal building activation and supply by wind electricity in an exemplary detached house the technology should be made applicable for multi-storey housing in the densely populated urban environments.

- Methods

One of the main contents of the monitoring project was the comparison of the measured data with the projected demands for both energy supply systems (wind and solar), broken down into heating and hot water supply. Furthermore, the buildings have been tested and compared in their functionality and their temperature behaviour, their share and availability of renewable energy as well as their temporal distribution.

Collecting and transmitting of the data of both buildings to project engineer was electronically via the internet. Experiences with self-regulating facility controls were collected and analysed. After the completion of the measurement, a comparative analysis was made; in addition, the Austrian Ökologie-Institut performed an independent survey of user satisfaction with personal interviews.

- Results and conclusions

Particularly for house H and the supply with wind energy, the monitoring project showed that TBA creates the preconditions for effective energy flexibility. In the bi-annual monitoring, 80 % of the electricity used for heating via heat pump in house H came from excess wind electricity. Thus, buildings can contribute directly to the decentralised stabilisation of the energy grids, for electricity grids as well as for heat grids. With the appropriate provisions, thermal building activation facilitates shifting energy demand in time and limiting the heat supply to those periods, in which renewable electricity is in excess and available at lower costs.

- Prospects

The climate targets of the Austrian federal government envisage a shift in the total electricity supply to 100 % renewable energy until 2030. Fully exploiting the potential of thermal building activation as energy storage is decisive for this aim, since concrete is a relatively low-cost, easy to recycle and, in addition, inert storage. The energy flexibility of thermally activated buildings allows for a load control at demand level, tailored to building's energy demand and/or the requirements of the surrounding grids. Given the increasingly hotter summers, thermal building activation also provides for an option for passive cooling of buildings at low energy and resource demand. 2019 two housing complexes using thermal building activation in combination with wind energy for heating and cooling will be completed. The association of the Austrian cement industry contributed to the realization of these projects and supervises the thematic area thermal building activation within the framework of Mission Innovation Austria.

1. Ausgangslage

- Beschreibung der Ausgangslage

Erneuerbare Energieträger für die Strom- und Wärmeversorgung sind ein Schlüssel zur Erreichung der Klimaziele. Etwa 50 % des jährlichen Energieverbrauchs der EU können dem Heizen und Kühlen von Gebäuden zugeschrieben werden. Der größte Teil dieser Energie stammt allerdings nach wie vor aus fossilen Quellen, nur 18 % aus erneuerbarer Energie [1]. Nur 7 % der Primärenergie, die für Heizen und Kühlen verwendet wird, stammen aus erneuerbaren Quellen wie Wind, PV, Solar- oder Geothermie. In Haushalten EU-weit sind Heizen und Warmwasser für 79 % des Endenergieverbrauchs verantwortlich. Um die Klima- und Energieziele der EU zu erreichen, müssen die Sektoren Heizen und Kühlen den Energieverbrauch drastisch drosseln, ebenso den Verbrauch fossiler Energie. Da erneuerbare Energien volatil und sehr oft antizyklisch zum Bedarf zur Verfügung stehen, braucht es für eine signifikante Erhöhung ihres Anteils Speicher. Hier gilt es, in Zukunft auch das Potenzial massiver Bauteile aus Beton im Sektor Raumwärme zu nutzen.

- Stand der Technik / Stand des Wissens

Beton eignet sich aufgrund seiner hohen Wärmeleitfähigkeit sowie des hohen spezifischen Gewichts in Verbindung mit der guten Wärmekapazität hervorragend zur aktiven und passiven thermischen Aktivierung. Mit dem System der Thermischen Bauteilaktivierung (BTA) kann Beton zum Heizen und Kühlen von Gebäuden eingesetzt werden. Die Funktionsweise der BTA ist einfach: Bei der Errichtung eines Gebäudes werden in großflächige Bauteile – ideal sind Geschoßdecken – Rohrregister einbetoniert, durch die je nach Bedarf warmes oder kühles Wasser geleitet wird. Die aktivierten Betonbauteile werden zu Flächenkollektoren, die Strahlungswärme abgeben, die von NutzerInnen als wohltuend empfunden wird. Aufgrund geringer Temperaturunterschiede zur Raumluft ist das System sehr effizient und führt zu geringen Verlusten.

Das Prinzip der thermischen Aktivierung von Geschoßdecken zur Beheizung und Kühlung von Räumen ist im Planungsleitfaden „Thermische Bauteilaktivierung“ umfassend erläutert und dargestellt, ein großer Vorteil ist der Komfort für die NutzerInnen. „Die Besonderheit des Wärmetransports aufgrund von langwelliger Strahlung („Wärmestrahlung“) besteht darin, dass für diesen Transport kein Übertragungsmedium erforderlich ist. Jeder Körper strahlt zu jeder Zeit Wärme ab und nimmt gleichzeitig Wärme von anderen Strahlungsquellen auf. Wie groß die Intensität der Wärmestrahlung ist, hängt einerseits von den Oberflächeneigenschaften des Körpers und andererseits von der Temperatur der Oberfläche ab. Je höher die Temperatur einer Oberfläche ist, desto größer ist auch deren Wärmeabstrahlung.“ [2, S. 15]. Das Prinzip wird auch in nachstehender Abbildung veranschaulicht.

aktivierte Decke

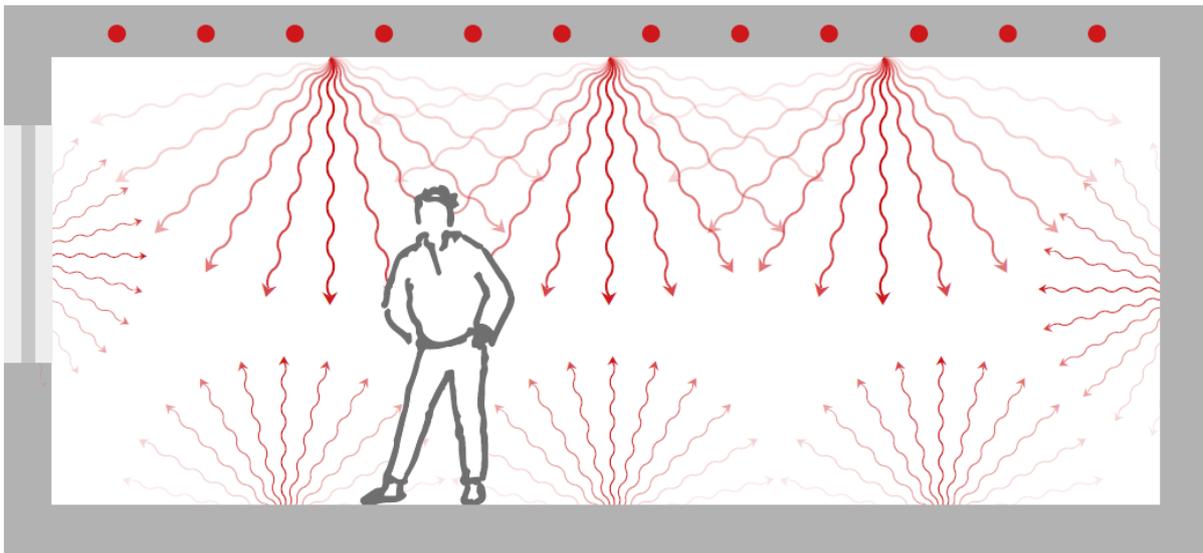


Abbildung 1: Schemaskizze Wärmestrahlung: Jeder Punkt der aktivierten Decke strahlt wie die in der Grafik zufällig ausgewählten Punkte halbkugelförmig Wärme in den Raum ab.

Mithilfe der Speicherfähigkeit von Beton lassen sich Umweltenergien wie Wind und Sonne oder Erdwärme hervorragend nutzen, auch wenn sie – im Vergleich zum Bedarf – im Tagesverlauf antizyklisch (Sonne) bzw. fluktuierend (Wind) zur Verfügung stehen. Das System der BTA kann Energie selbstregulierend speichern, gleichmäßig abgeben (heizen) oder aufnehmen (kühlen). Vielfältige Erfahrungen mit BTA gibt es bei Dienstleistungsgebäuden, seit Kurzem wird die Technologie partiell auch im Wohnbau eingesetzt. Hinter der Idee der Versorgung mit Windstrom bzw. der Nutzung der Bauteilaktivierung als Zwischenspeicher für Windstrom steht der Umstand, dass die Masse des Wohnungsneubaus in den Randgebieten großer Städte stattfindet und sofern keine Fernwärme verfügbar ist, meist fossiles Erdgas als Energieträger zum Einsatz kommt. Auch die solarthermische Versorgung stößt im innerstädtischen Umfeld an Grenzen. Wenn es gelingt, erneuerbaren und nachweislichen überschüssigen und damit kostengünstigen Windspitzenstrom quantitativ zur Versorgung der Wärmepumpe einzusetzen, wäre das System wirtschaftlich und ökologisch hoch interessant (Nutzung des vorhandenen Stromanschlusses, dadurch keine volkswirtschaftliche Infrastruktur, passive umweltfreundliche Kühlung bei gleichzeitiger Regeneration des Erdkollektors).

- **Projekthalt**

Mit dem System der Bauteilaktivierung gibt es umfassende Erfahrungen im Bereich von Büro- und Dienstleistungsgebäuden, aber auch zahlreiche Einfamilienhäuser wurden bereits mit dieser Technologie errichtet. Harald Kuster, innovativer Energieplaner mit Büro in Salzburg, hat bereits zahlreiche Gebäude mit diesem System ausgestattet und dabei vor allem auf solare Versorgung gesetzt. Ziel dieses Projekts war es, neben der solarthermischen Versorgung nun auch eine Versorgung mit fluktuierend anfallender Windenergie in Kombination mit Wärmepumpe und Erdwärme im windreicheren und – insbesondere im Winter aufgrund nebeliger Wetterlagen – sonnenärmeren Osten Österreichs zu erproben. Dazu wurden zwei bauteilaktivierte Einfamilienhäuser errichtet, die über verschiedene erneuerbare Systeme versorgt werden. Die Wärmepumpe von Haus H wird mit Windstrom und Erdwärme (Flachkollektor) versorgt, Haus F

funktioniert mit Solarenergie und als Backup ebenfalls mit Wärmepumpe und Flachkollektor. Beide Gebäude und das Monitoring ihres Energiesystems werden nachfolgend dargestellt.

1.1. Haus H – Versorgung mit Windstrom

Die Planung von Haus H war Grundlage für den Leitfaden zur Thermischen Bauteilaktivierung, das Gebäude ist dort umfassend beschrieben [2, S. 90 ff]: Die Gebäudehülle ist in Passivhaus-Qualität ausgeführt. Darüber hinaus wurde der Wärmebedarf durch den Einbau einer Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung weiter reduziert. Außer einem Anschluss an das öffentliche Stromnetz sind keine weiteren Anschlüsse zur Energieversorgung vorhanden. Die Wärmebereitstellung erfolgt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe. Der benötigte Erdkollektor ist in einer Tiefe von 1,2 m verlegt und hat eine Länge von 2 x 100 m bei einem Verlegeabstand von 0,6 m. Die resultierende Kollektorfläche beträgt somit 120 m².

Die Nennwärmeleistung der Wärmepumpe wurde mit 6 kW gewählt und damit bewusst überdimensioniert, um in kurzen Windfreigabezeiten möglichst viel Energie im Gebäude speichern zu können. Die Wärmepumpe wird zur Warmwasserbereitung und zur Raumheizung herangezogen. Ein wasserbasierter Wärmespeicher für die Raumheizung ist nicht vorgesehen. Die Wärmepumpe ist direkt an die aktivierten Betonbauteile angeschlossen. Als Wärmespeicher für die Warmwasserbereitung wird ein Pufferspeicher herangezogen. Über eine Frischwasserstation wird das benötigte Warmwasser im Durchlaufprinzip erwärmt. Das Pufferspeichervolumen beträgt 1.000 l. Das Haustechnikschema ist auch in Abbildung 2 dargestellt.

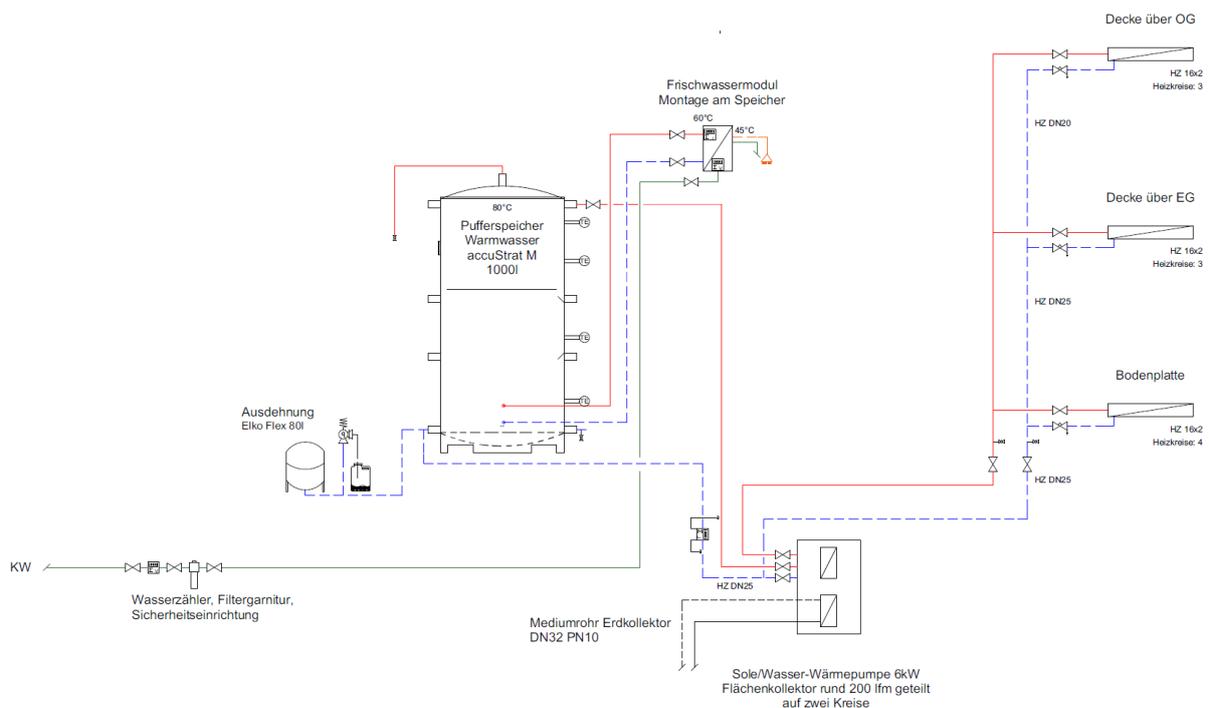


Abbildung 2: Hydraulik-Schema Haus H., Fa. FIN - Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH

Die thermische Aktivierung der Decke zwischen EG und OG erfolgt über drei Heizkreise, welche auf einer Fertigteil-Elementdecke verlegt wurden. In der obersten Geschoßdecke kamen vier Heizkreise zur Ausführung. Der Verlegeabstand der Rohrleitungen beträgt einheitlich 25 cm. Um im Bereich der

Nassräume höhere Temperaturen als im übrigen Gebäude erreichen zu können, wurden kleinere Abstände gewählt. Für Haus H ist keine Kühlung vorgesehen.

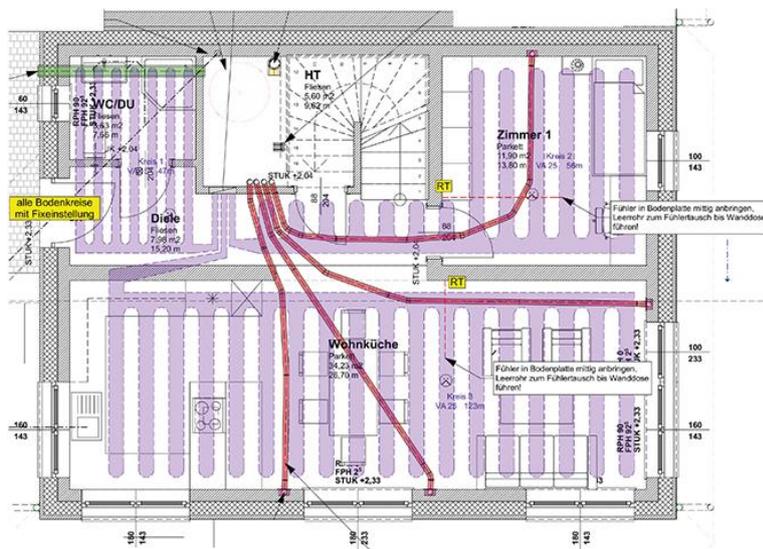


Abbildung 3: Verlegungsplan des Rohrregisters in der Geschoßdecke EG

Auf Wunsch der BewohnerInnen wurde auch die Fundamentplatte mit einer BTA ausgestattet. Die Steuerung der Wärmepumpe erfolgt über Temperaturfühler: Fühler in den Bauteilen aus Beton verhindern eine Überwärmung der Speichermassen bei den Beladevorgängen. Fühler in den Räumen melden an die Anlagensteuerung der BTA die aktuellen Werte der Raumtemperaturen.

In der nachfolgenden Tabelle sind wichtige Eckdaten des Gebäudes dargestellt:

Tabelle 1: Eckdaten Haus H

Überbaute Fläche	87,45 m ²
Bruttogrundfläche (BGF)	2 • 87,45 = 174,90 m ²
Bruttöhöhe	7,07 m
Bruttovolumen	618,30 m ³
Perimeter (Umfang)	37,70 m
Fassadenflächen	266,54 m ²
Hüllfläche	441,44 m ²
Wohnnutzfläche (lt. Einreichplan)	123,75 m ²
Lichte Raumhöhe (EG und OG)	2,65 m

Entwurfsleitend für das Haus H war die Idee der Nutzung der Gebäudeteile als Speicher für Überschuss-Windstromenergie, d.h. die Antriebsenergie für die Wärmepumpe soll weitestgehend aus Überschüssen der Windstromproduktion stammen. Die Windfreigabephase werden der Gebäuderegulierung mit einem Fernsignal vom Energieversorger WEB Windenergie angezeigt. Die Anlagensteuerung der BTA ist so programmiert, dass elektrische Energie aus der regulären Stromproduktion nur im absolut notwendigen Ausmaß bezogen wird.

Um die Überschüsse der Windstromproduktion für die Beheizung des Gebäudes optimal nutzen zu können, muss in Zeiten mit Windfreigabe (Überschuss) die Betondecke auf ein höheres Temperaturniveau angehoben werden. Die dadurch gespeicherte Energie wird genutzt, um längere Zeiträume ohne Windfreigabe überbrücken zu können. Wird die vorweg einzustellende Raum- bzw.

Bauteiltemperatur erreicht, schaltet die Wärmepumpe ab. Wenn der Raum unter der Decke abkühlt, gibt die Decke die in ihr gespeicherte Energie an den Raum ab. Völlig selbstständig und ohne jegliche Regelung. Man spricht in diesem Fall vom Selbstregelungseffekt. In der folgenden Abbildung ist dieses Wechselspiel zwischen Beladung und Entladung für eine 2 ½-wöchige Periode im November 2016 dargestellt.

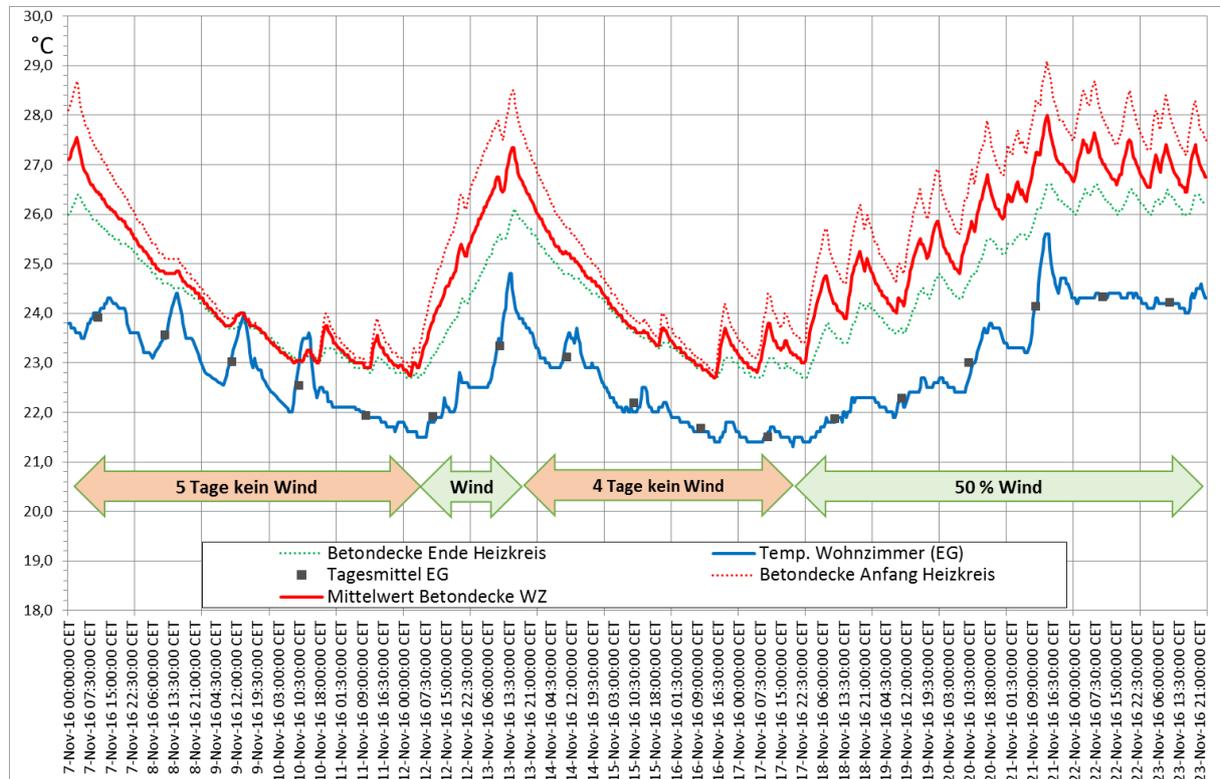


Abbildung 4: Wechselspiel zwischen Beladung und Entladung für eine 2 ½-wöchige Periode im November 2016

Es ist zu erkennen, dass die Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur in einer leichten Wellenbewegung $\pm 1\text{ °C}$ um den Mittelwert von ca. 23 °C schwanken.

Detaillierte Ergebnisse – Messergebnisse für Winter, Sommer sowie für die gesamte Messperiode – sind in Kapitel 2 dargestellt.

1.2. Haus F – Versorgung mit thermischer Solaranlage

Die Planung von Haus F wurde ebenfalls auf Grundlage der im Leitfaden zur thermischen Bauteilaktivierung beschriebenen Gebäude (Seite 90 ff) umgesetzt. Die Gebäudehülle ist in Passivhausqualität ausgeführt, darüber hinaus wurde der Wärmebedarf durch den Einbau einer Komfort-Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung weiter reduziert. Außer einem Anschluss an das öffentliche Stromnetz sind keine weiteren Anschlüsse zur Energieversorgung vorhanden. Im Gegensatz zu Haus H wurde die Förderaktion des Klima- und Energiefonds „Demoprojekte Solarhaus 2015“ unter Schirmherrschaft des BMVIT in Anspruch genommen.

Die Wärmebereitstellung erfolgt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, der benötigte Erdkollektor ist in einer Tiefe von 1,2 m verlegt. Als Mediumrohr wurde ein PE-Kunststoffrohr DN 32 PN 10 mit einer Kreislänge von $2 \times 91\text{ m}$ verwendet. Der Verlegeabstand zwischen den Kollektorkreisen beträgt 0,6 m und die Gesamtkollektorfläche beträgt 120 m^2 .

Die thermische Nennwärmeleistung der Wärmepumpe beträgt 5 kW. Dies ist das kleinste am Markt verfügbare Wärmepumpenaggregat zur Erdwärmenutzung. Als Pufferspeicher zur Nutzung für die Warmwasserbereitung und als Trennspeicher für die Bauteilaktivierung wurde ein Zweizonen-speicher mit Trennschichtplatte mit einem Volumen von 1.000 l eingebaut. Die Warmwasser-versorgung erfolgt über ein Hygiene-Frischwassermodul mit einer Schüttleistung von max. 30 l/min. Die Wärmepumpe deckt den Restenergiebedarf für die Raumheizung sowie Warmwasserbereitung.

Die am Flachdach exakt nach Süden ausgerichtete thermische Solaranlage wurde als Großflächen-Flachkollektor mit einer Bruttokollektorfläche von 16,12 m² konzipiert. Die Kollektor-Aperturfläche beträgt 15,6 m². Um einen möglichst ganzjährig hohen Ertrag zu gewährleisten, wurde die Kollektoranlage auf 70° aufgeständert. Der Kollektorertrag wurde mit dem Simulationsprogramm T*SOL Pro 5.5 simuliert und ergab eine Ertragsprognose von 352,68 kWh/m²a.

Vorrangig sollen Erträge von der thermischen Solaranlage je nach Temperaturerfordernis im Pufferspeicher im oberen Bereich (heiße Zone) bzw. im unteren Bereich (warme Zone) eingebracht werden. Die Verteilung der solaren Wärmeerträge erfolgt über ein durch die Regelanlage gesteuertes Umschaltventil. Aus dem obersten Bereich des Pufferspeichers (heiße Zone) wird das Hygiene-Frischwassermodul versorgt. Die Anspeisung der Bauteilaktivierung, welche sich in drei Zonen teilt, erfolgt über den Anschluss an den Pufferspeicher aus dem Bereich unter der Trennschichtplatte (warme Zone). Für den Fall, dass die solare Versorgung nicht ausreicht, wird über die Sole/Wasser Wärmepumpe der Speicher nachgeheizt.

Die folgende Abbildung zeigt das Haustechnik-Schema von Haus F:

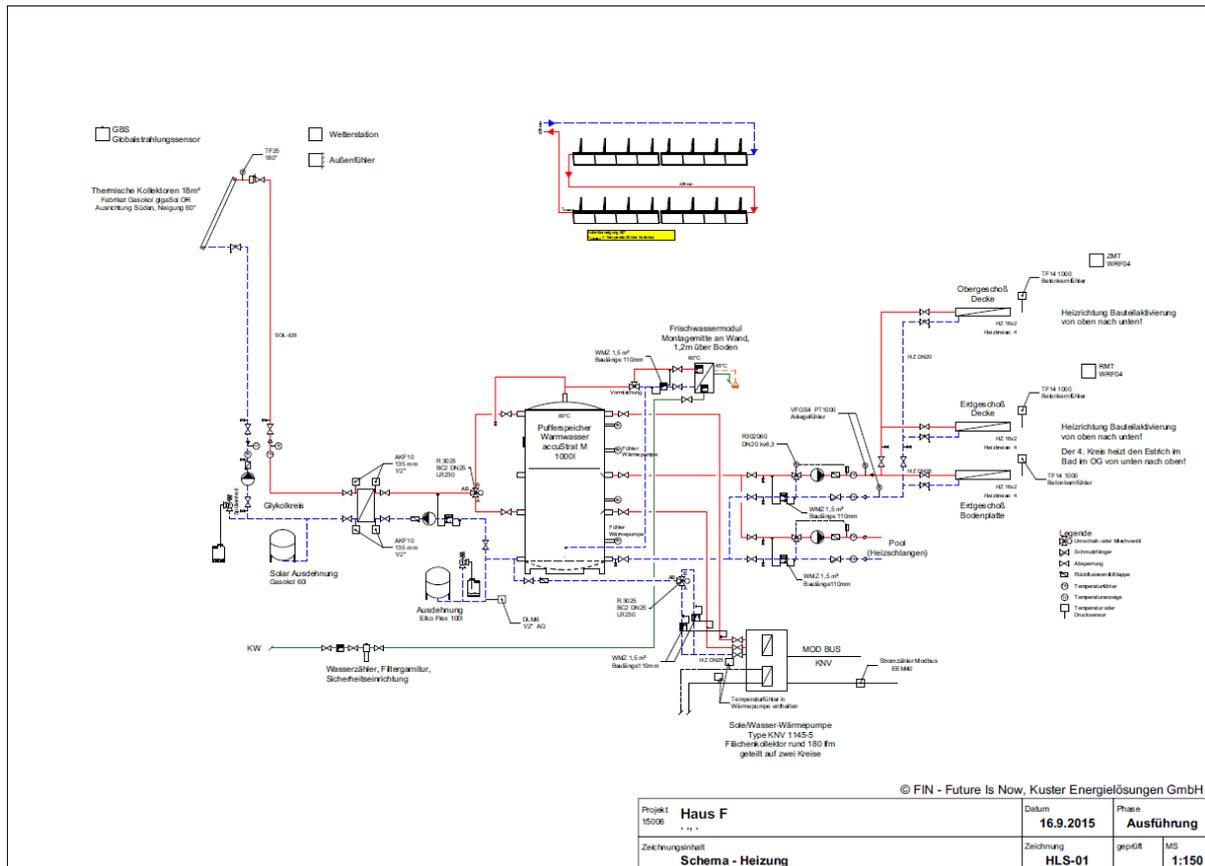


Abbildung 5: Hydraulikschema Haus F, Fa. FIN – Future is Now, Kuster Energielösungen GmbH

Die thermische Aktivierung der Decken über EG und OG erfolgt jeweils über vier Heizkreise, welche auf einer Fertigteilelementdecke verlegt wurden. Das Bad im OG wird sowohl über die Decke als auch über eine Fußbodenheizung (Verlegeabstand 15 cm) versorgt, um bei höheren Raumtemperaturen möglichst niedrige Vorlauftemperaturen nutzen zu können, welche sich positiv auf den Wirkungsgrad der Sole/Wasser Wärmepumpe auswirken. Der Verlegeabstand der Rohrleitungen der Bauteilaktivierung beträgt einheitlich 25 cm. Für Haus F ist ebenfalls keine Kühlung vorgesehen.

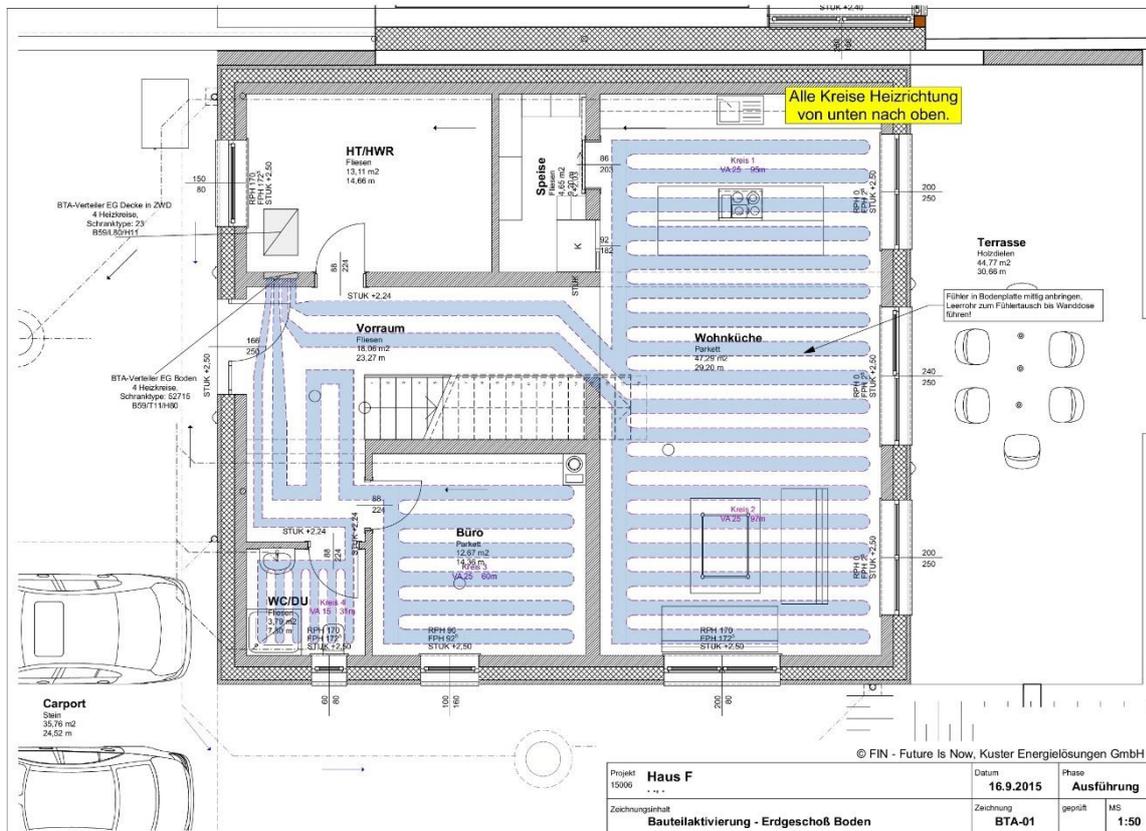


Abbildung 6: Verlegeplan des BTA Rohrregisters Bodenplatte. Auf die Aktivierung der Bodenplatte wurde laut Angabe der Bauherren verzichtet.

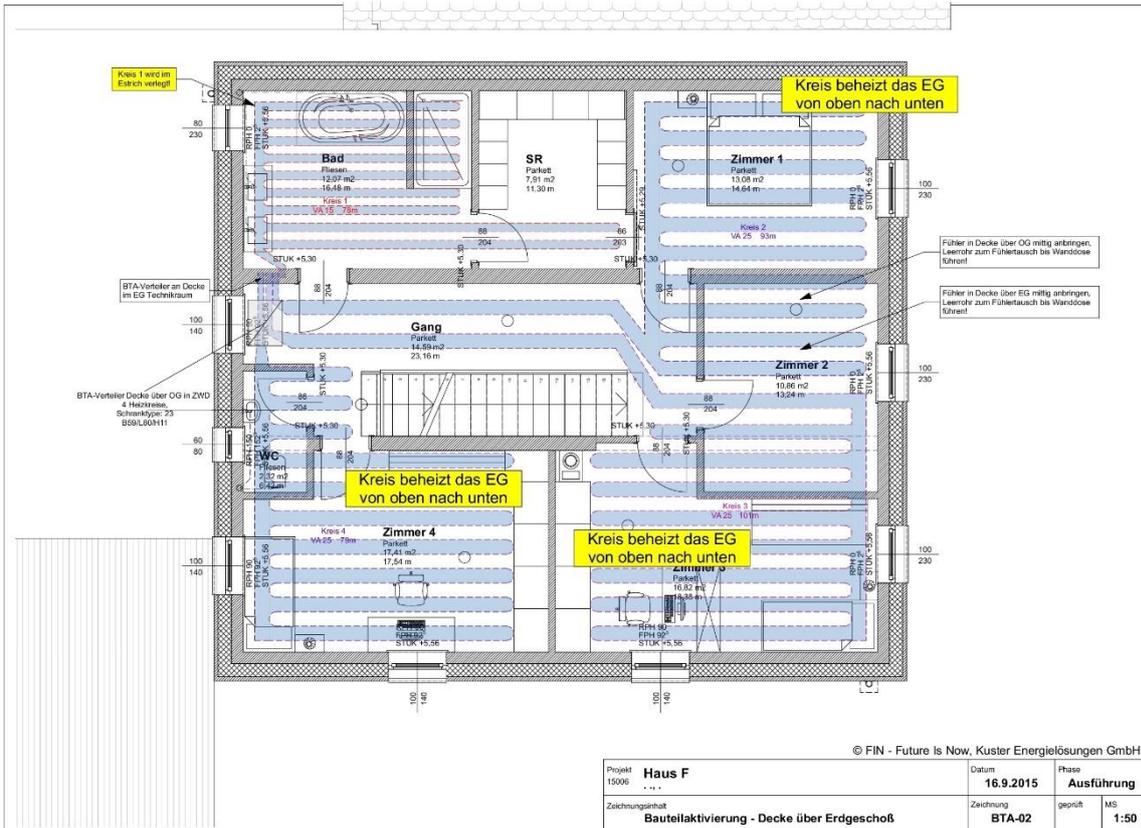


Abbildung 7: Verlegeplan des BTA Rohrregisters Decke über EG

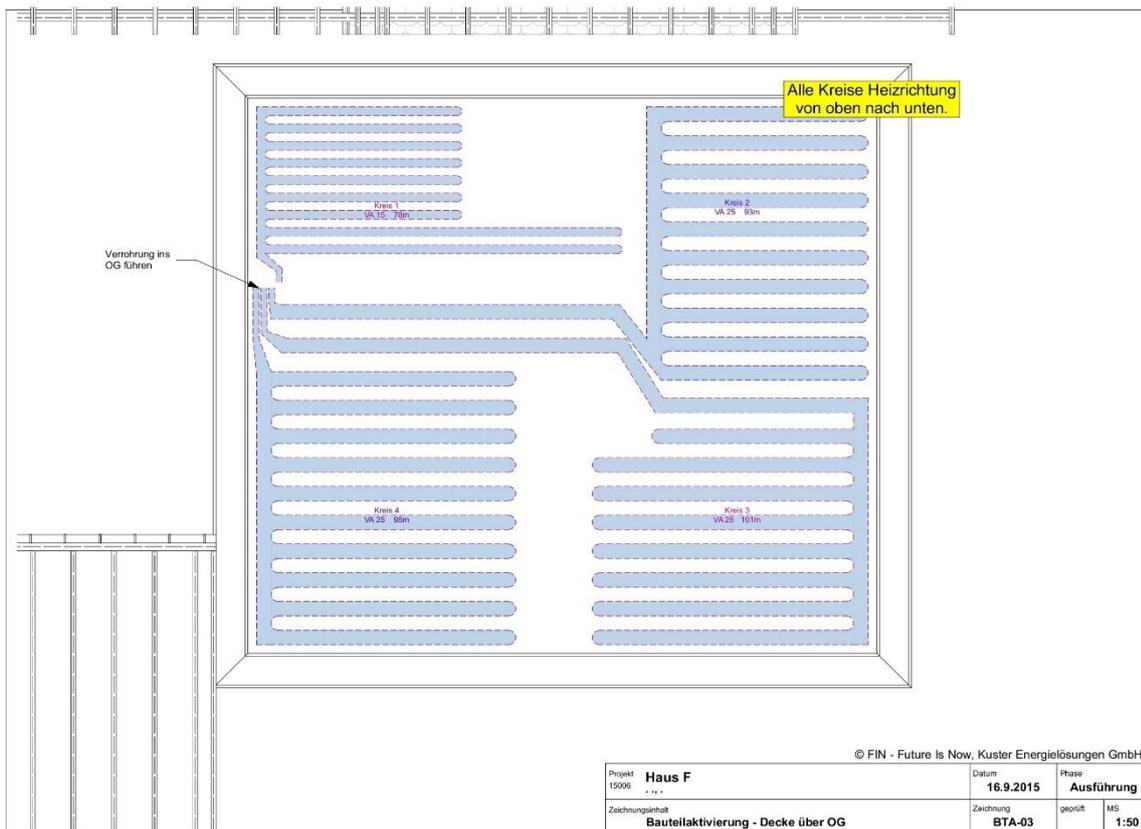


Abbildung 8: Verlegeplan des BTA Rohrregisters Decke über OG

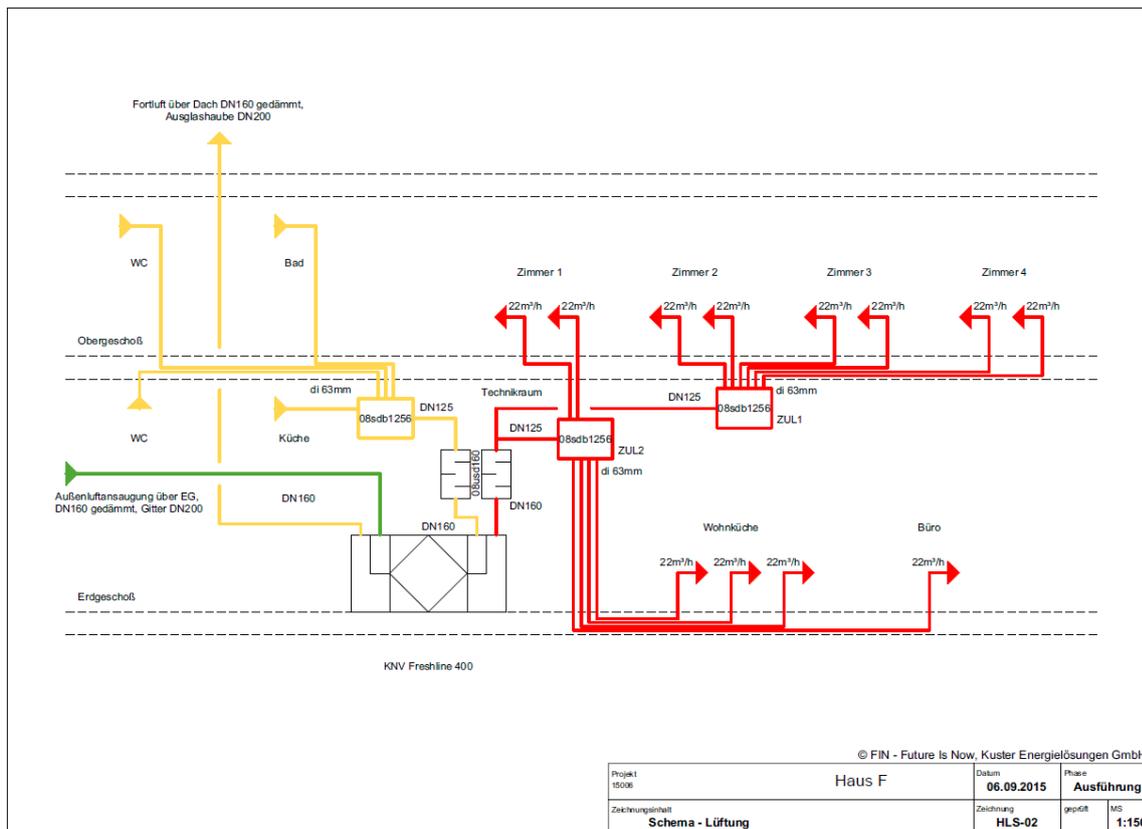


Abbildung 9: Schema Komfort-Wohnraumlüftung, Luftmengenverteilung

Die Steuerung des gesamten Haustechniksystems inklusive der Wärmepumpe erfolgt über eine witterungsgeführte Regelanlage, welche durch Fühler in den schweren Bauteilen ergänzt wird, um eine Überwärmung der Speichermassen bei den Beladevorgängen zu verhindern. Zusätzliche Raumtemperaturfühler verhindern die Überwärmung der Räume bei passiver Sonneneinstrahlung bzw. bei erhöhten passiven Einträgen. Im Sinne des Förderprogramms „Demoprojekte Solarhaus“ wird die Antriebsenergie für den Restwärmebedarf sowie die Warmwasserbereitung während sonnenarmer Perioden unter Nutzung von Ökostrom abgedeckt. Die Erträge aus längeren Sonnenperioden sollten vorrangig im Wärmespeicher Beton, aber auch im Pufferspeicher eingelagert werden. Die dadurch gespeicherte Energie wird genutzt, um längere Zeiträume ohne Sonneneinstrahlung überbrücken zu können. In der nachfolgenden Tabelle sind wichtige Eckdaten des Gebäudes dargestellt.

Tabelle 2: Eckdaten Haus F

Überbaute Fläche	128,50 m ²
Bruttogrundfläche (BGF)	2 • 128,50 = 257,00 m ²
Bruttohöhe	7,25 m
Bruttovolumen	618,30 m ³
Perimeter (Umfang)	45,40 m
Fassadenflächen	289,70 m ²
Hüllfläche	586,00 m ²
Wohnnutzfläche (lt. Einreichplan)	206,00 m ²
Lichte Raumhöhe EG	2,85 m
Lichte Raumhöhe OG	2,62 m

Um die solaren Erträge für die Beheizung von Haus F optimal nutzen zu können, wurde der thermische Solarkollektor exakt nach Süden mit einer Neigung von 70° konzipiert. Damit können während der Heizperiode erhebliche solare Erträge gewonnen und die Betondecke auf ein höheres Temperaturniveau angehoben werden. Wird die vorweg eingestellte Raum- bzw. Bauteiltemperatur erreicht, wird die Energie im Pufferspeicher zwischengelagert. Die Wärmepumpe wird erst dann wieder genutzt, wenn die solaren Erträge zur umfassenden Energieversorgung nicht mehr ausreichen. Wenn der Raum unter der Decke abkühlt, gibt die Decke die in ihr gespeicherte Energie völlig selbstständig und ohne jegliche Regelung an den Raum ab. Man spricht in diesem Fall vom Selbstregelungseffekt des Wärmespeichers Beton.

2. Ergebnisse

Im Jahr 2016 wurde mit dem Monitoring der Einfamilienhäuser begonnen, die Ergebnisse für Haus H und Haus F werden nachstehend dargestellt, beschrieben und ausgewertet. Für Haus F konnten aufgrund technischer Probleme nur Messdaten für das Jahr 2018 generiert werden.

2.1. Messergebnisse Haus H

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Versorgung der Wärmepumpe für die Beheizung in den beiden gemessenen Wintern zu 80 % durch Überschüsse aus der Windstromproduktion erfolgt ist. Sowohl die Fernübertragung des Windsignals vom ca. 80 km entfernten Windpark Neuhof der WEB zur Heizungssteuerung via Mobilfunkverbindung (GSM) als auch die Freischaltung der Wärmepumpe (Überschusswind ja/nein) haben sich als problemlos erwiesen. Nur einmalig kam es im November 2017 durch einen Blitzschlag im Bereich der Windparks zu einer kurzfristigen Störung des Signals. Der Fehler wurde durch die laufende Plausibilitätsprüfung der Messergebnisse rasch bemerkt und sofort behoben.

Am Beginn der Heizperiode 2016 wurden Funktionalität und das Temperaturverhalten des Gebäudes über das webbasierte Softwaretool sehr genau und engmaschig verfolgt. Vor allem das Temperaturverhalten der beiden Geschoße (Betonkerntemperaturen und Raumtemperaturen), das Funktionieren des Regelalgorithmus und der verarbeitbare Windstromanteil waren von besonderem Interesse. Eine erste Zwischenauswertung im Dezember 2016 machte klar, dass die Wärmeverbrauchswerte der Monate Oktober und November 2016 doch deutlich über den Erwartungen – abgeleitet aus den Angaben des Energieausweises und unabhängig davon auch von einer Vorwegsimulation [3] – lagen. Die um ca. 3 Grad höhere Raumtemperatur im Vergleich zur Bezugstemperatur des Energieausweises wurde als mögliche Ursache identifiziert. Doch der daraus überschlagsmäßig abgeschätzte Mehrbedarf konnte die Differenz nicht befriedigend erklären. Aus diesem Grund fand am 21. Dezember 2016 eine Vorort-Besichtigung und Besprechung mit den BewohnerInnen statt. Dabei ergaben sich keine Hinweise auf ein von der Norm abweichendes Nutzerverhalten, allerdings fiel eine relativ hohe Frischluftmenge auf. Folgende Einstellungen des Lüftungsgeräts (mit Wärmerückgewinnung, aber ohne CO₂-Sensor) wurden festgestellt:

Von Heizbeginn bis 21. 12. 2016:	von 6.00 bis 22.00:	216 m ³ h-1 (Stufe II)
	von 22.00 bis 6.00:	130 m ³ h-1 (Stufe I)

Aufgrund der Belegung mit nur zwei BewohnerInnen wurde die Frischluftmenge auf durchgehend $130 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ (Stufe I) zurückgeregelt. Weiter ließ sich das eingesetzte, relativ großzügig bemessene Lüftungsgerät nicht zurückregeln.

Da das Projektteam die Ursachen nicht befriedigend beantworten konnte, beauftragte die VÖZ ao. Univ.-Prof. i. R. Dipl.-Ing. Dr. techn. Klaus Kreč mit einer genaueren Analyse des Heizwärmebedarfs unter den aktuellen Randbedingungen. Im Fokus standen die Abklärung des Einflusses der im Inneren des Gebäudes angesetzten (Soll-)Temperatur auf den Heizwärmebedarf und die Bedeutung der Luftdichtheit und der Luftzufuhr durch das Lüftungsgerät für den Wärmebedarf des Gebäudes.

Conclusio: Die im Zuge des Monitorings gemessenen Wärmeverbrauchswerte lagen deutlich – in der Größenordnung von 50 % – über den rechnerisch prognostizierten Wärmebedarfswerten. Insgesamt eine unbefriedigende Situation für das Projektteam und in weiteren Besprechungen sowie als Conclusio der Analyse von Prof. Kreč wurde klar, dass nur ein zweiter Blower-Door-Test und eine Thermographie Klarheit schaffen können.

Die entsprechende Untersuchung des Hauses H fand am 21. Februar 2017 statt. Das Ergebnis dieses zweiten Blower-Door-Tests ergab einen n_{50} -Wert = $1,98 \text{ h}^{-1}$ und wich damit grob vom ersten Blower-Door-Test mit einem n_{50} -Wert = $0,6 \text{ h}^{-1}$ ab. Als völlig überraschende Ursache stellte sich einerseits die nicht sachgemäß verschlossene elektrische Anbindung sämtlicher Außen-Rollläden heraus (die Durchbohrung der Passivhaus-Wand bei jedem Fenster war nur mit zwei überstrichenen Federdeckeln außen und innen verschlossen worden). Andererseits war ein im Zuge der Bauphase nicht mehr notwendig gewordener Lüftungsschacht (ca. $30 \times 30 \text{ cm}$) durch die oberste Geschoßdecke zwar mit Steinwolle, nicht aber mit einer Abdichtung verschlossen worden.

Nachdem die Messwerte über die gesamte Heizsaison 2016/2017 und die meteorologischen Randbedingungen (Außenlufttemperatur und Sonneneinstrahlung) für die Heizsaison 2016/2017 den Jahrbüchern der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) entnommen werden konnten, wurde Prof. Kreč ein weiteres Mal beauftragt, die Modellierung des Gebäudes für die Heizwärmebedarfsberechnung und unter Zugrundelegung neuerer Informationen (Blower-Door-Test, genauere Angaben zu Wärmebrücken) zu verfeinern.

Diese zweite tiefergehende Untersuchung [4], welche als Anhang des Berichts in vollem Umfang veröffentlicht ist, ergab eine gute Übereinstimmung zwischen dem berechneten Wärmebedarf und dem gemessenen Wärmeverbrauch für die Heizsaison 2016/2017. Der Heizwärmebedarf, berechnet für die Periode 1. November 2016 bis 18. März 2017, betrug 4.836 kWh , der gemessene Heizwärmeverbrauch in diesem Zeitraum lag mit 5.043 kWh etwas höher. Im Heizwärmebedarf mitberücksichtigt sind die berechneten direkten Wärmeverluste der BTA nach außen. Auch die Aktivierung der Fundamentplatte ab dem 21. Januar 2017 wurde berücksichtigt, wie auch die erhöhten Lüftungswärmeverluste bis zum 21. Dezember 2016. Die eigentlich nicht geplante Inbetriebnahme der Aktivierung der Bodenplatte war notwendig geworden, da der von der Baufirma beauftragte Installateur auf den Einbau eines Heizkreises in der Decke über dem Erdgeschoß über dem Badezimmer und dem Eingangsbereich verzichtet hatte.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen den Energiebedarf von Haus H berechnet nach Passivhaus-Projektierungspaket PHPP und nach Energieausweis (EA) sowie den gemessenen Energieverbrauch für den gesamten Zeitraum, für die Heizsaisonen 2016/17 und 2017/18.

Tabelle 3: Heizwärmebedarf von Haus H berechnet nach PHPP und Energieausweis sowie gemessen für den Winter 2016/2017 (inklusive Simulation von Klaus Kreč)

Heizsaison 2016/2017		PHPP	EA
Messzeitraum 1. Okt. 2016 bis 31. März 2017			
		m ²	m ²
Wohnnutzfläche		123,75	
Brutto-Geschoßfläche			175
Bezugsfläche		123,75	175
	[kWh]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Heizwärme bedarf lt. Energieausweis OIB RL6 bei 20 °C	1.957	15,8	11,2
Heizwärme bedarf lt. PHPP bei 20 °C	2.152	17,4	12,3
Heizwärme verbrauch (WP an BTA) bei 23 °C mittlerer Raumtemperatur	5.862	47,37	33,5
Messzeitraum 1. Nov. 2016 bis 18. März 2017			
Heizwärme bedarf mittels Gebäudesimulation, Kreč, 2018, klimabereinigt, bei 23 °C mittlerer Raumtemperatur	4.836	39,1	27,6
Heizwärme verbrauch (WP an BTA) bei 23 °C mittlerer Raumtemperatur	5.043	40,8	28,8

Tabelle 4: Heizwärmebedarf von Haus H nach PHPP und Energieausweis und Heizwärmeverbrauch gemessen in der Heizsaison 2017/18

Heizsaison 2017/2018		PHPP	EA
Messzeitraum 1. Okt. 2017 bis 31. März 2018			
		m ²	m ²
Bezugsfläche		123,75	175
	[kWh]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Heizwärme bedarf lt. Energieausweis OIB RL6 bei 20°C	1.957	15,8	11,2
Heizwärme bedarf lt. PHPP bei 20°C	2.152	17,4	12,3
Heizwärme verbrauch (WP an BTA) bei 23°C mittlerer Raumtemperatur	4.821	39,0	27,5

Beim Vergleich der beiden Winter fällt auf, dass der Heizwärmeverbrauch im zweiten Winter massiv gesenkt werden konnte, da die im ersten Winter aufgedeckten Mängel in der Gebäudehülle nicht mehr zu Buche schlugen.

Tabelle 5: Heizwärmeverbrauch, Warmwasserbedarf und Warmwasserverbrauch, Stromverbrauch und Primärenergieverbrauch von Haus H nach PHPP und Energieausweis gemessen in Jahr II

Messzeitraum 1 Jahr: 1. April 2017 bis 31. März 2018		PHPP (123,75 m ²)	EA (175 m ²)
	[kWh]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Heizwärmeverbrauch (WP an BTA) bei 23°C mittlerer Raumtemperatur	4.839	39,1	27,65
Warmwasserbedarf lt. Energieausweis	2.234	18,1	12,8
Warmwasserverbrauch (WP an WW-Puffer) inkl. Speicher und Verteilverluste	2.778	22,4	15,9
Heizwärme- und Warmwasserverbrauch (WP an BTA & WW-Puffer) inkl. Speicher- und Verteilverluste	7.617	61,6	43,5
Stromverbräuche			
Stromverbrauch Wärmepumpen – Heizen + WW	2.360	19,1	13,5
Haushaltsstrombedarf lt. Energieausweis	2.873	23,2	16,4
Haushaltsstromverbrauch inkl. Lüftung	1.842	14,9	10,5
Stromverbrauch gesamt	4.202	34,0	24,0

2.1.1. Strombedarf und Stromverbrauch

Abbildung 10 zeigt die monatlichen Energielieferungen der Wärmepumpe an die Bauteilaktivierung bzw. an den Warmwasserpuffer. Auch hier sieht man, dass im ersten Jahr die Summen insgesamt bedeutend höher waren. Das zeigt, dass Monitoring und die Überprüfung von Energieverbräuchen generell zu empfehlen sind, da so Differenzen zu Berechnungen und Simulation aufgezeigt werden können und im Fall von Haus H die verursachenden Mängel entdeckt werden konnten.

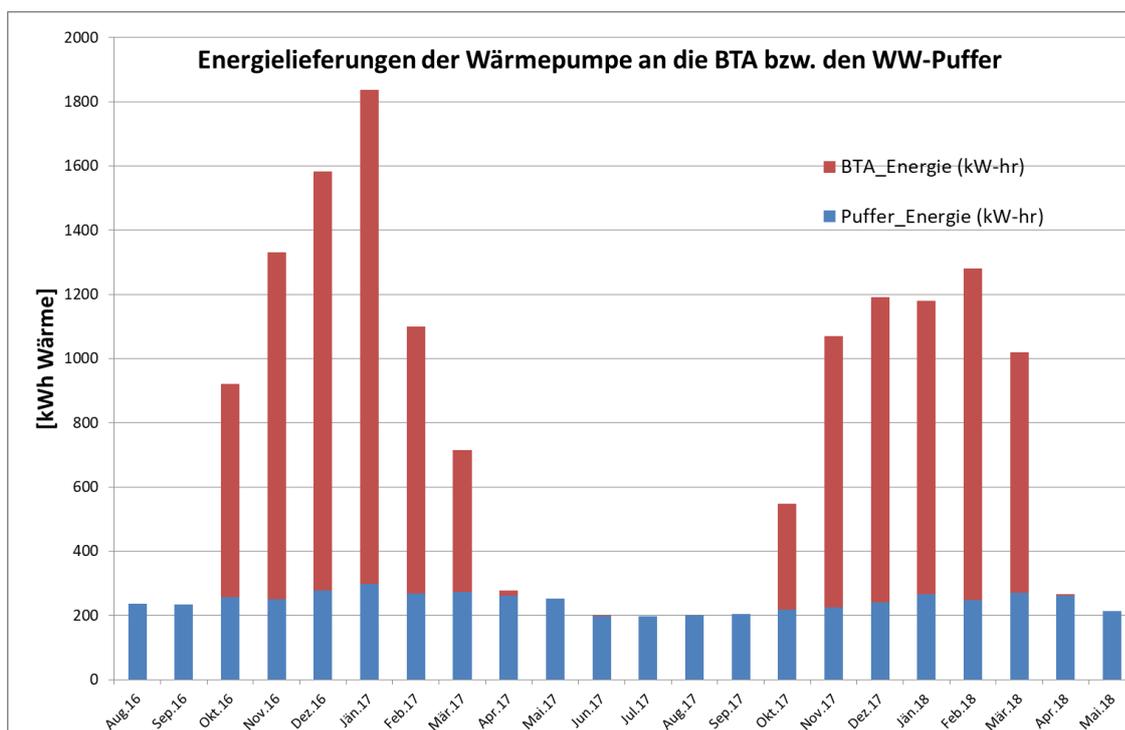


Abbildung 10: Monatliche Energielieferungen der Wärmepumpe an die Bauteilaktivierung und den Warmwasserpuffer

In Abbildung 11 ist der Anteil des Windstroms der Wärmepumpe an die BTA und an den Warmwasserpuffer in kWh dargestellt. Auch hier wieder klar ersichtlich: die absolut niedrigeren Werte im zweiten Winter. Der Fokus gilt den Wintern, die Warmwassererzeugung im Sommer erfolgt größtenteils mit konventionellem Strom, hier gibt es noch Potenzial für Optimierung:

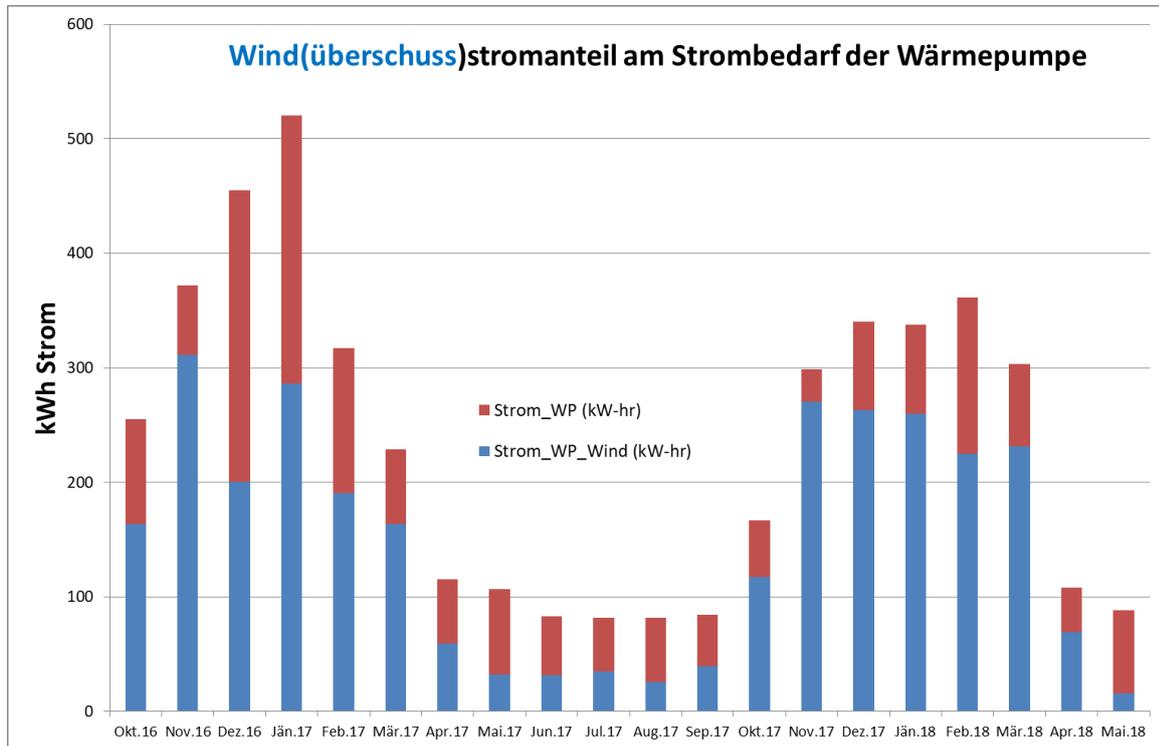


Abbildung 11: Anteil des Wind(überschuss)stroms der Wärmepumpe an die BTA und an den Warmwasserpuffer in kWh

Da das gegenständliche Monitoringvorhaben auf das Potenzial der Bauteilaktivierung zur Steigerung des erneuerbaren Anteils am Heizwärmebedarf abzielt, wurde aus obiger Darstellung der Strombedarf für die Warmwasserbereitung herausgerechnet. Aufgrund der unterschiedlichen Arbeitszahlen der Wärmepumpe für das Temperaturniveau Warmwasser bzw. BTA wurden dafür folgende Annahmen getroffen: Zunächst wurde die Arbeitszahl (AZ) der WP für die Warmwasserproduktion in den Monaten Mai bis September bestimmt, in denen die BTA nicht in Betrieb war, da hier das Ergebnis des WMZ für den WW-Puffer zu 100 % dem Stromverbrauch der WP zugeordnet werden kann. Auch der gemessene Windstromanteil kann der WW-Produktion zugerechnet werden. Der Mittelwert der AZ und des Windstromanteils der Sommermonate wurde als Abschätzung für die verbleibenden Monate des Jahres als AZ für die Warmwasserproduktion herangezogen. Somit konnte der Windüberschussanteil an der Stromversorgung der Wärmepumpe für die Bauteilaktivierung dargestellt werden.

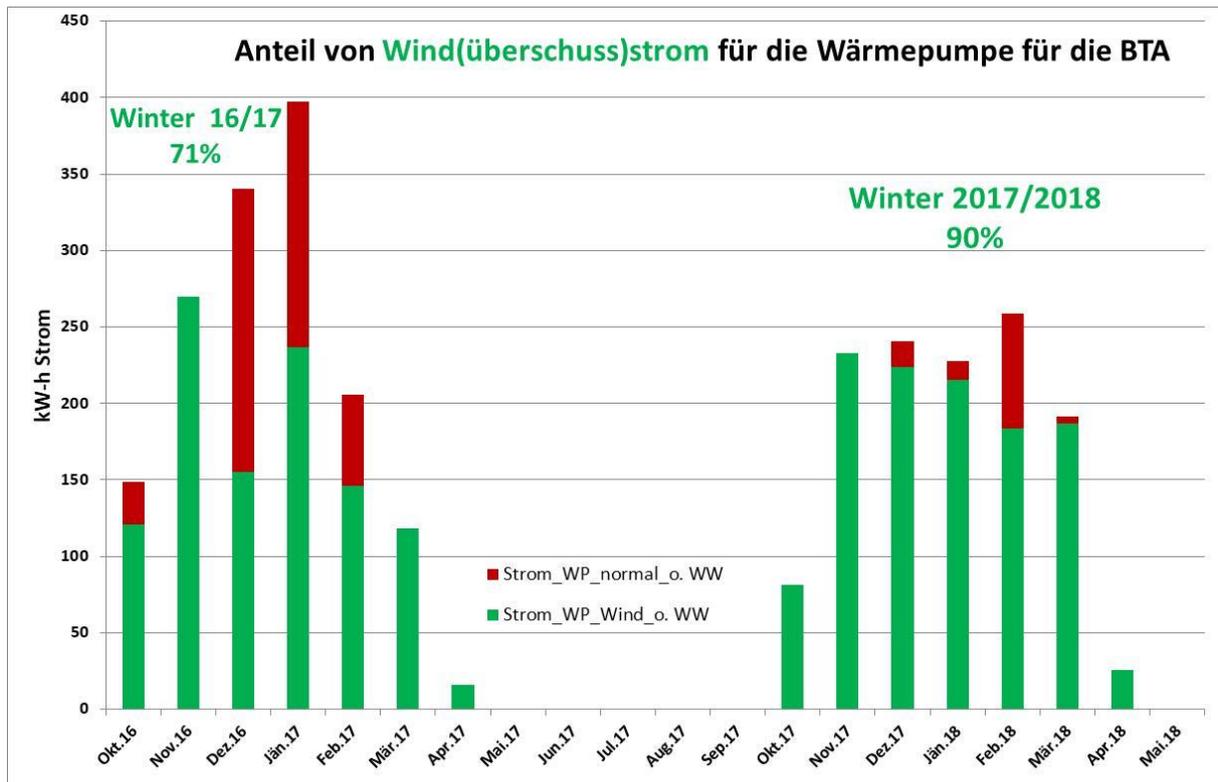


Abbildung 12: Anteil des Wind(überschuss)stroms für die Bauteilaktivierung

Die Ergebnisse für die beiden Winter I (2016/2017) und II (2017/2018) bzw. den gesamten Monitoring-Zeitraum sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 6: Windanteil am Strom der Wärmepumpe für Bauteilaktivierung und Warmwasser

	Windanteil (BTA+WW)	Windanteil (BTA)
Oktober 2016 bis März 2017 (Winter I)	61 %	71 %
Oktober 2017 bis März 2018 (Winter II)	76 %	91 %
Oktober 2016 bis März 2018	64 %	80 %

Der Anteil aus Überschüssen der Windstromproduktion am elektrischen Energiebedarf der Wärmepumpe für das Heizen (Raumwärme durch die Bauteilaktivierung) lag in der Heizperiode 2016/2017 bei 71 %. Sogar Maximalwerte von 100 % wurden in einigen sehr windreichen Monaten erreicht, der minimale Monatsanteil wurde aufgrund einer praktisch durchgängigen 12-tägigen Flaute im Dezember 2016 mit 47 % erreicht.

Die Heizperiode 2017/2018 zeigt gegenüber dem ersten Winter eine deutliche Steigerung des nutzbaren Windüberschussanteils. Dieser lag bei 91 %. Insgesamt war der Winter 2017/18 wärmer, aber auch windreicher. Auch die Senkung des Wärmebedarfs durch die Behebung der Undichtigkeiten insgesamt spielt eine große Rolle, so lag die in den Monaten November 2017 bis Jänner 2018 zugeführte Wärmemenge 30 % unter den Werten des vorangegangenen Jahres.

Gemessen wurde auch der monatliche Haushaltsstrombedarf inklusive des Strombedarfs für die Lüftung, ohne den Strom für die Wärmepumpe, der in nachfolgender Abbildung dargestellt ist:

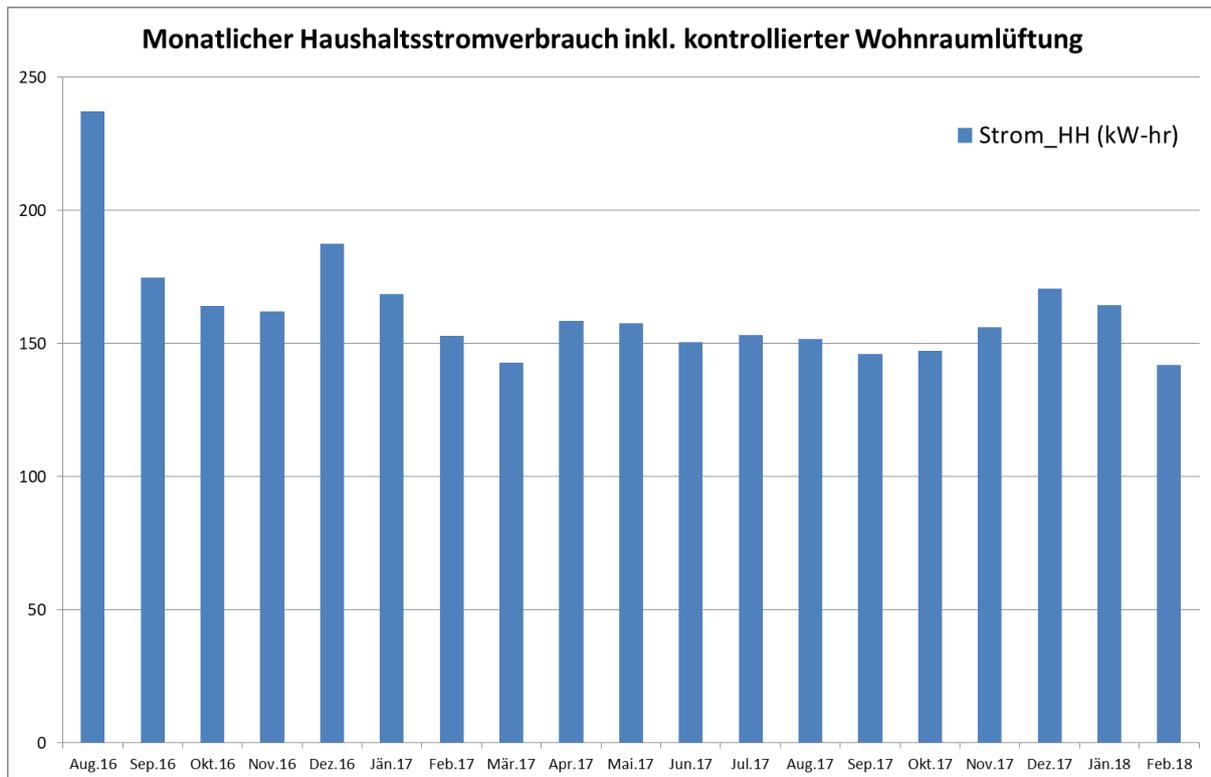


Abbildung 13: Monatlicher Haushaltsstrombedarf inklusive des Strombedarfs für die Lüftung und ohne den Strom für die Wärmepumpe

Gemäß Energieausweis wird der jährlicher Nutzenergiebedarf für Luftförderung mit 531 kWh pro Jahr angesetzt. Somit beträgt der Anteil der Lüftung am Haushaltsstromverbrauch ca. 30 %.

2.1.2. Raumtemperaturen

In Bezug auf den Wohnkomfort und die Nutzerzufriedenheit wurden die Wünsche der NutzerInnen nach einer relativ höheren Raumtemperatur berücksichtigt. Im Zeitraum 2. Mai 2016 bis 17. August 2017 beispielsweise lag die durchschnittliche Raumtemperatur bei 23,3 °C (Sommermonate inklusive). Bezogen auf die Hochwintermonate November 2016 bis Februar 2017 lag die Mitteltemperatur bei 23,1 °C.

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die insgesamt sehr ausgeglichenen Raumtemperaturen in Relation zu den Außentemperaturen. Ab dem 14. Oktober 2016 wurden die beiden Geschoßdecken (über EG und über OG) mittels der Thermischen Bauteilaktivierung (BTA) aktiv als Speicher bewirtschaftet.

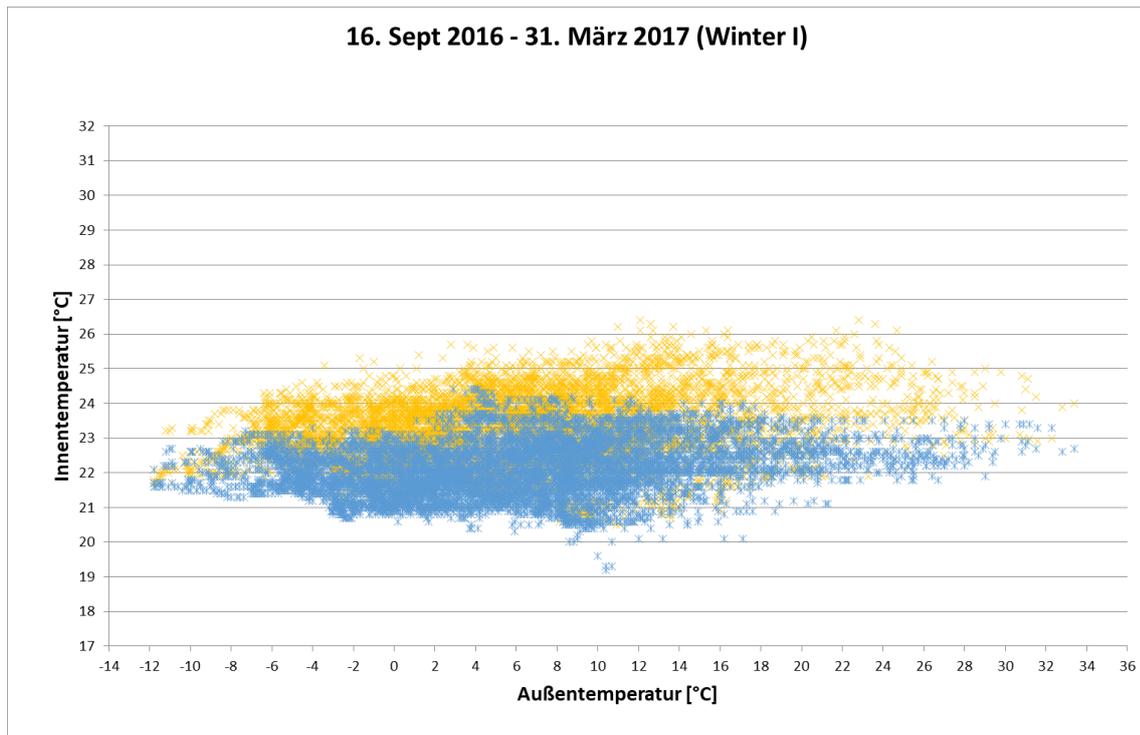


Abbildung 14: Temperaturkomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Winter 2016/2017 (30 Minuten Mittel)

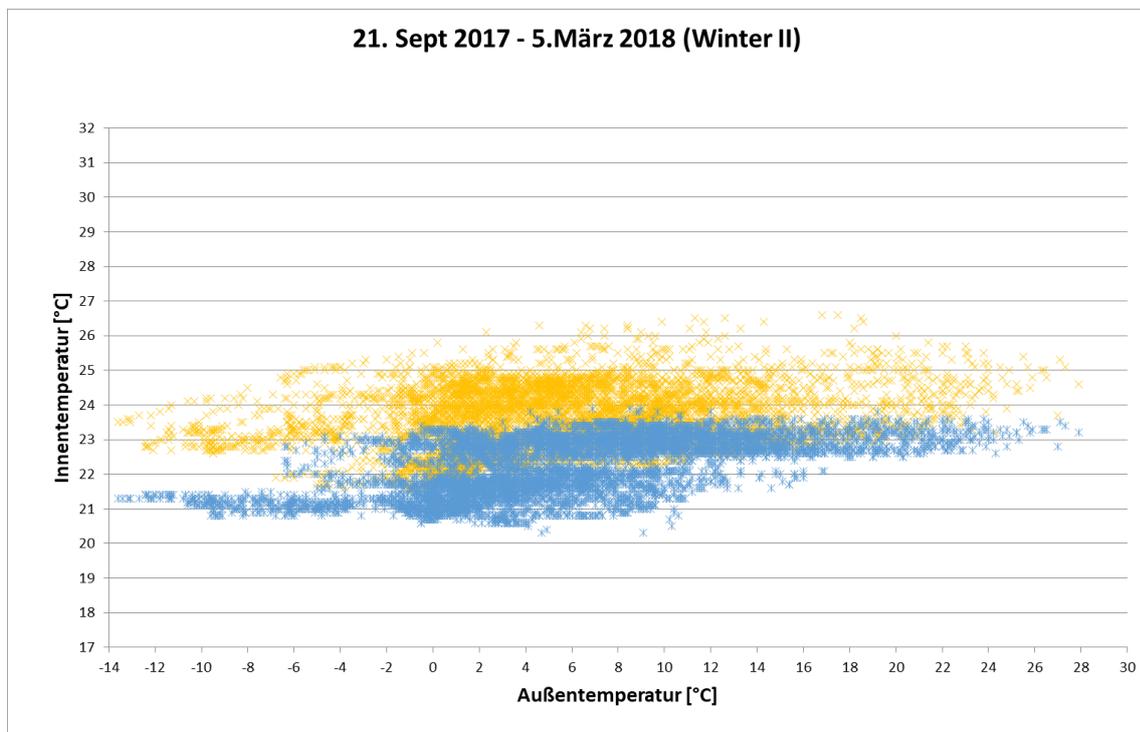


Abbildung 15: Temperaturkomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Winter 2017/2018 (30 Minuten Mittel)

Der Vergleich der beiden Winter zeigt, dass die Temperatur zu jedem Zeitpunkt deutlich über der Referenztemperatur des Energieausweises von 20 °C lag. Man sieht an diesen Diagrammen, dass man auch in der Passivhaushülle und mit BTA zonieren kann und niedrigere Temperaturen im Schlafzimmer möglich sind. Nachfolgend sind die Diagramme für den Temperaturkomfort in den beiden gemessenen Sommern dargestellt.

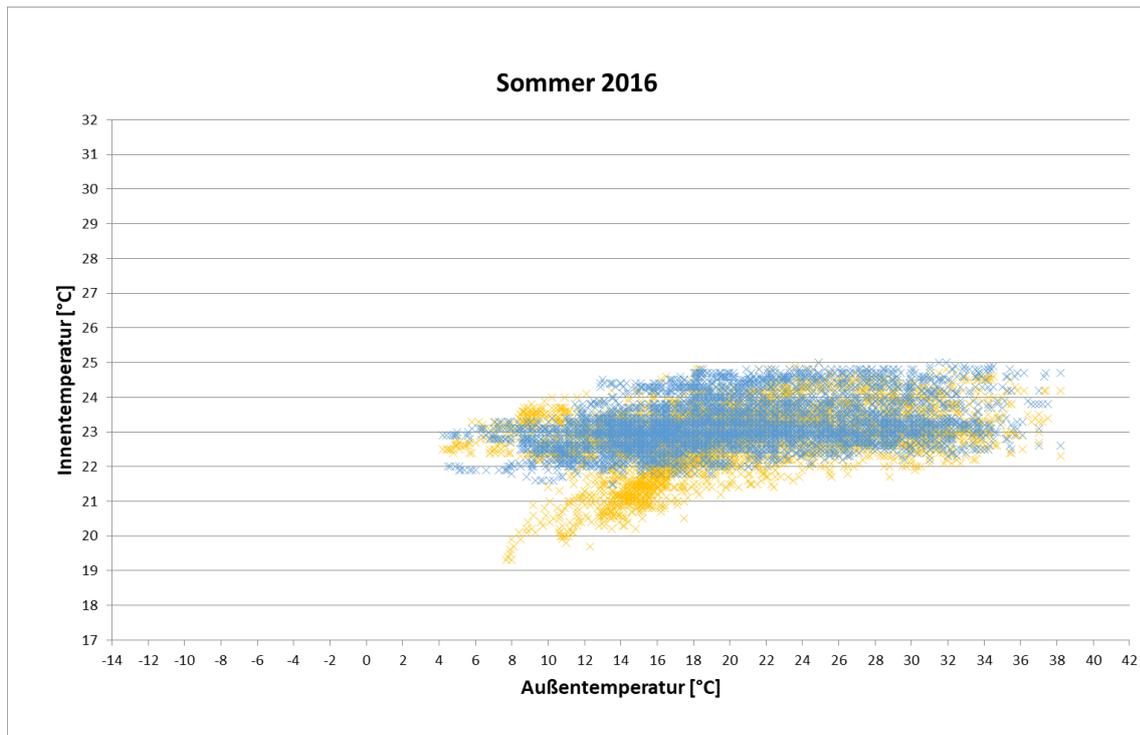


Abbildung 16: Temperaturkomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Sommer 2016

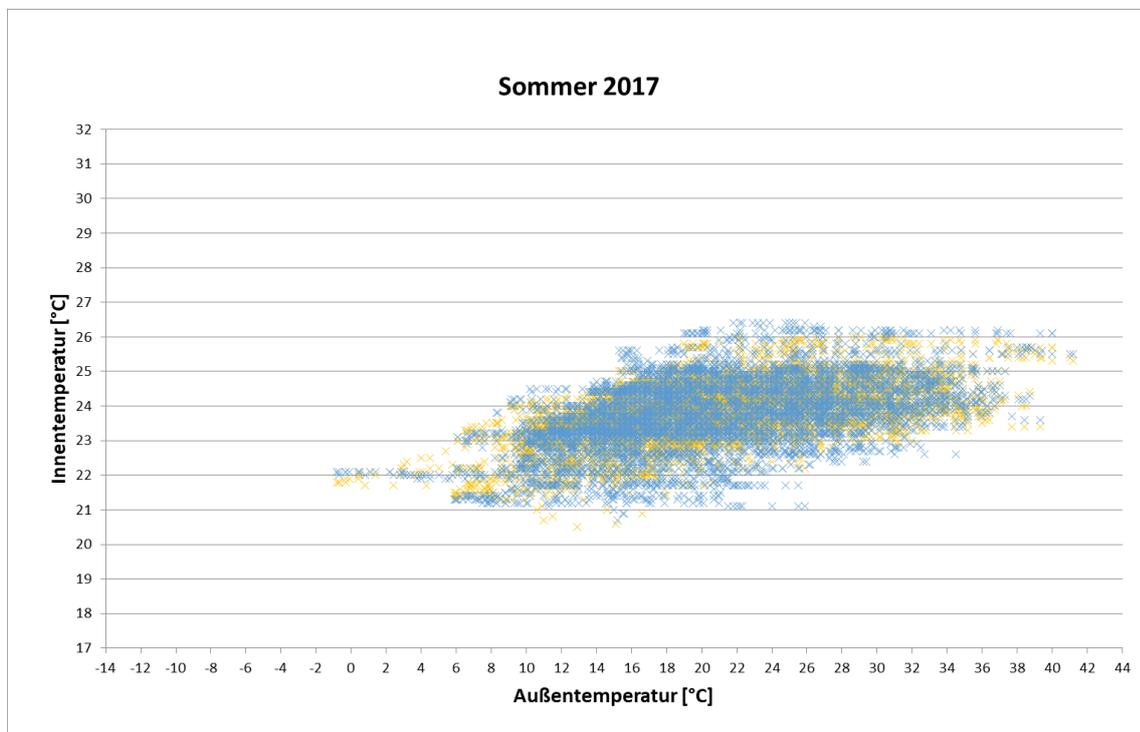


Abbildung 17: Temperaturkomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Sommer 2017

Man sieht, dass die von der ÖNORM B8110 Teil 3 gesetzte Obergrenze der Temperatur von 27 °C nie erreicht wird.

Nachfolgende Abbildungen zeigen die gemessenen Werte für den Feuchtekomfort, ebenfalls getrennt nach Winter und Sommer. Auch hier konnten die Komfortgrenzen nachweislich eingehalten werden.

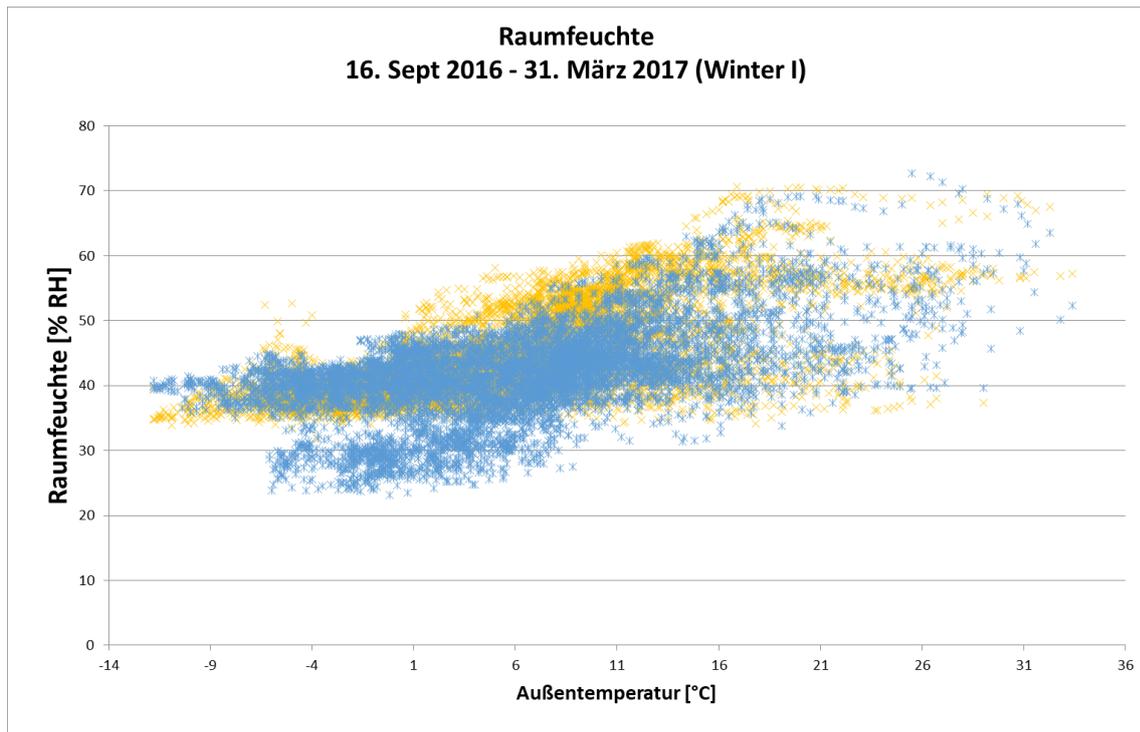


Abbildung 18: Feuchtekomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Winter 2016/2017

Eine Ursache für die niedrigeren Raumfeuchtwerte im November und Dezember 2016 waren die relativ hohen Frischluftmengen des Lüftungsgerätes mit Wärmerückgewinnung. Diese betragen vom Heizbeginn bis zum 21.12.2016 von 6.00 bis 22.00 Uhr $216 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, von 22.00 bis 6.00 Uhr $130 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ und wurden ab dem 22.12.2016 auf durchgehend $130 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ reduziert. In der Auswertung der Raumfeuchtwerte nach Zeit in der nachfolgenden Abbildung ist die signifikante Erhöhung der Raumfeuchtwerte ab der neuen Einstellung erkennbar:

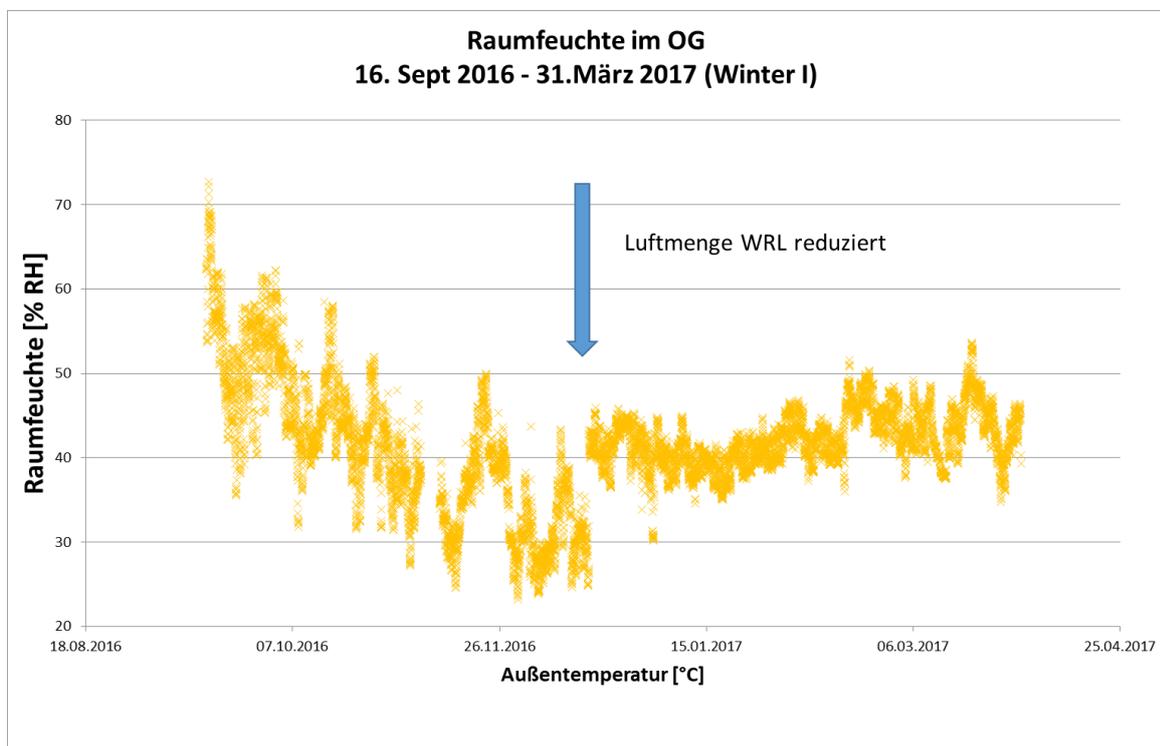


Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung der Raumfeuchtwerte im Winter 2016/2017

Die Messungen aus dem Winter II bestätigen die Wirksamkeit dieser Maßnahme, den Luftwechsel zu reduzieren, für die Raumfeuchte.

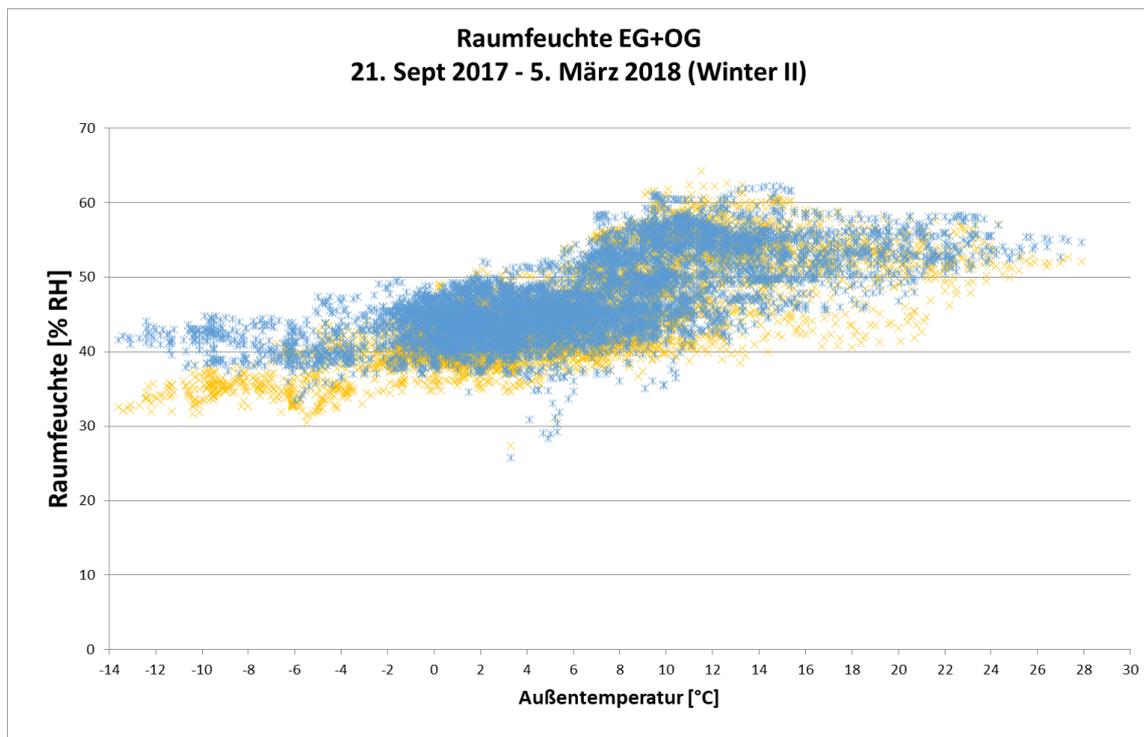


Abbildung 20: Feuchtekomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Winter 2017/18 (30 Minuten Mittel)

Nachfolgende Abbildung zeigt, dass die Raumfeuchtwerte auch im Sommer im Komfortbereich liegen, dargestellt sind die Werte für den Sommer 2017.

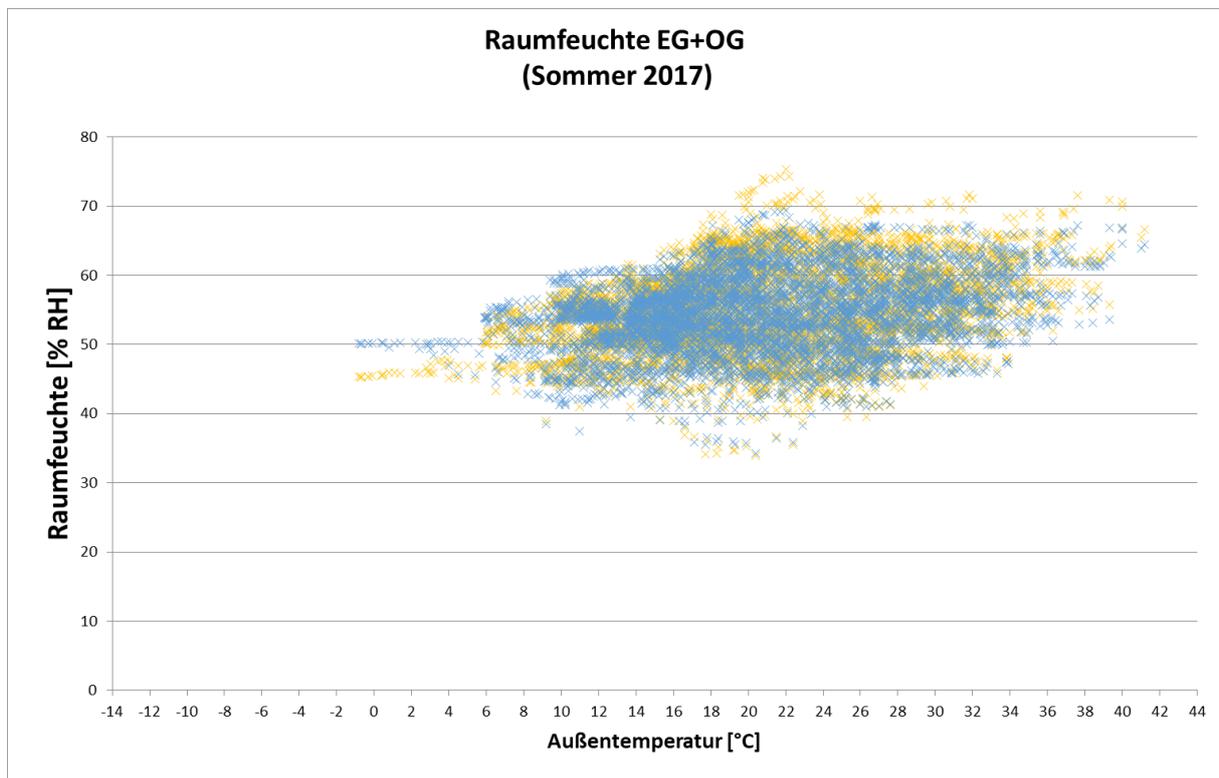


Abbildung 21: Feuchtekomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Sommer 2017

Auch die statistische Auswertung bzw. die Zuordnung der Raumtemperaturen im Erdgeschoß und im Obergeschoß zu den Jahresstunden zeigt die geringen Schwankungen rund um den Mittelwert:

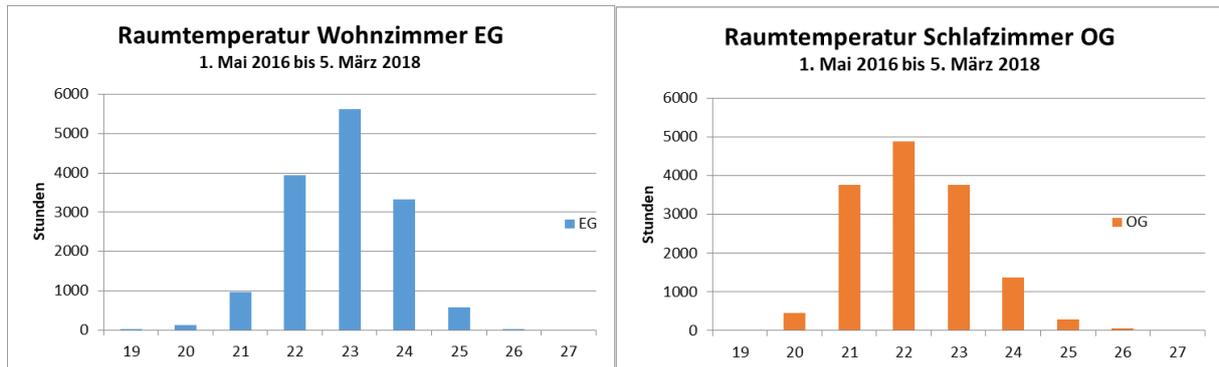


Abbildung 22: Statistische Auswertung der Raumtemperaturen im Wohnzimmer (EG) und im Schlafzimmer (OG)

2.1.3. Zusammenfassung Komfortparameter

Nach Einregulierung der Lüftung und nach Abdichten der undichten Gebäudehülle erreichten die gemessenen Komfortparameter sehr gute Werte, die nachfolgende Tabelle gibt eine Zusammenstellung über den Zeitraum des Monitorings.

Tabelle 7: Überblick über Komfortparameter Haus H im Monitoring-Zeitraum

Zeitraum: 1.Mai 16 bis 5. März 18 Außentemperaturen	< 15°C	> 15°C
Mittlere Raumtemperatur Wohnzimmer EG	23°C	23,8°C
Überhitzungsstunden (>26°C) im Wohnzimmer EG		0,2%
Überhitzungsstunden (>26°C) im Schlafzimmer OG		0.39%
Stunden (< 20°C) im Wohnzimmer EG (1.Mai 16 bis 5. März 18)	0,79%	
Stunden (< 20°C) im Wohnzimmer OG (1.Mai 16 bis 5. März 18)	3,14%	
Mittlere relative Raumfeuchte EG+OG (Sommer 17, Winter 17/18)	45,9%	54,8%

Eine Auswertung der Raumtemperatur über den Monitoring-Zeitraum in Abb. 23 zeigt, dass die Temperaturen von Wohnzimmer EG und Schlafzimmer OG im Sommer weitgehend übereinstimmen, im Winter wird das Schlafzimmer OG um 1 bis 2 Grad kühler betrieben.

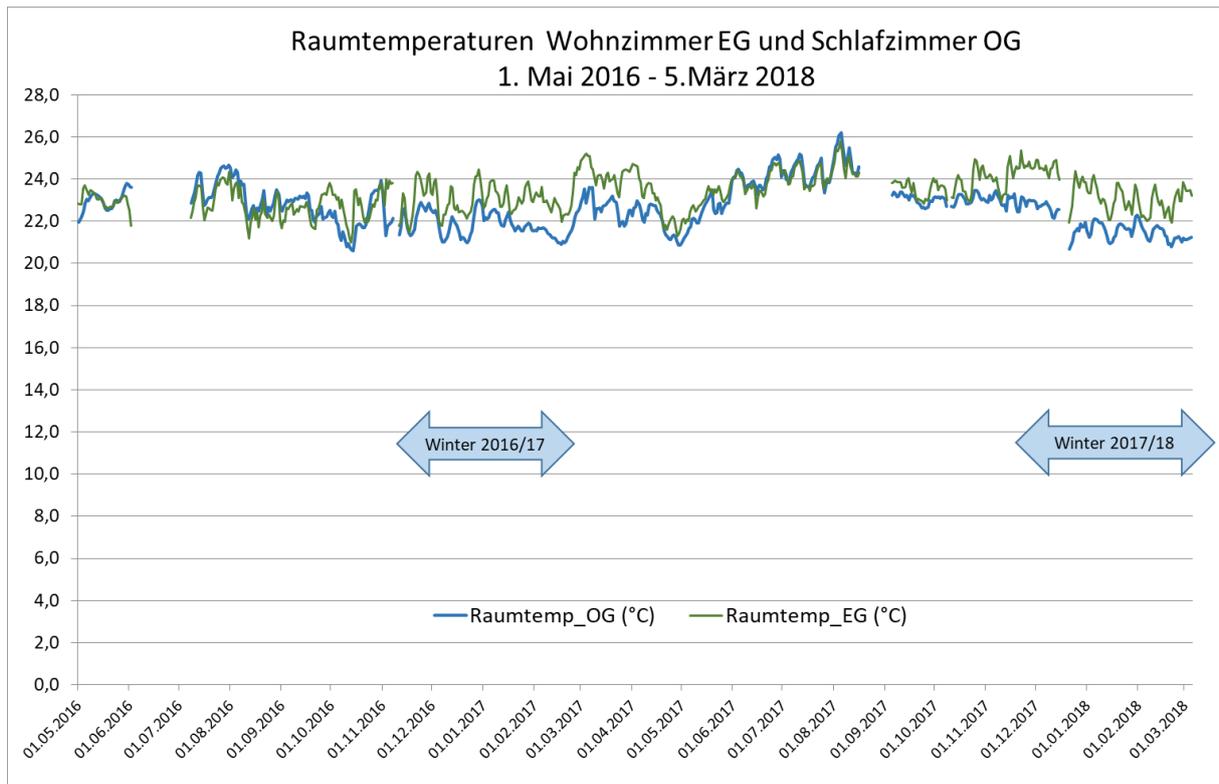


Abbildung 23: Tagesmittel der Raumtemperatur im Wohnzimmer (EG) und im Schlafzimmer (OG) [°C]

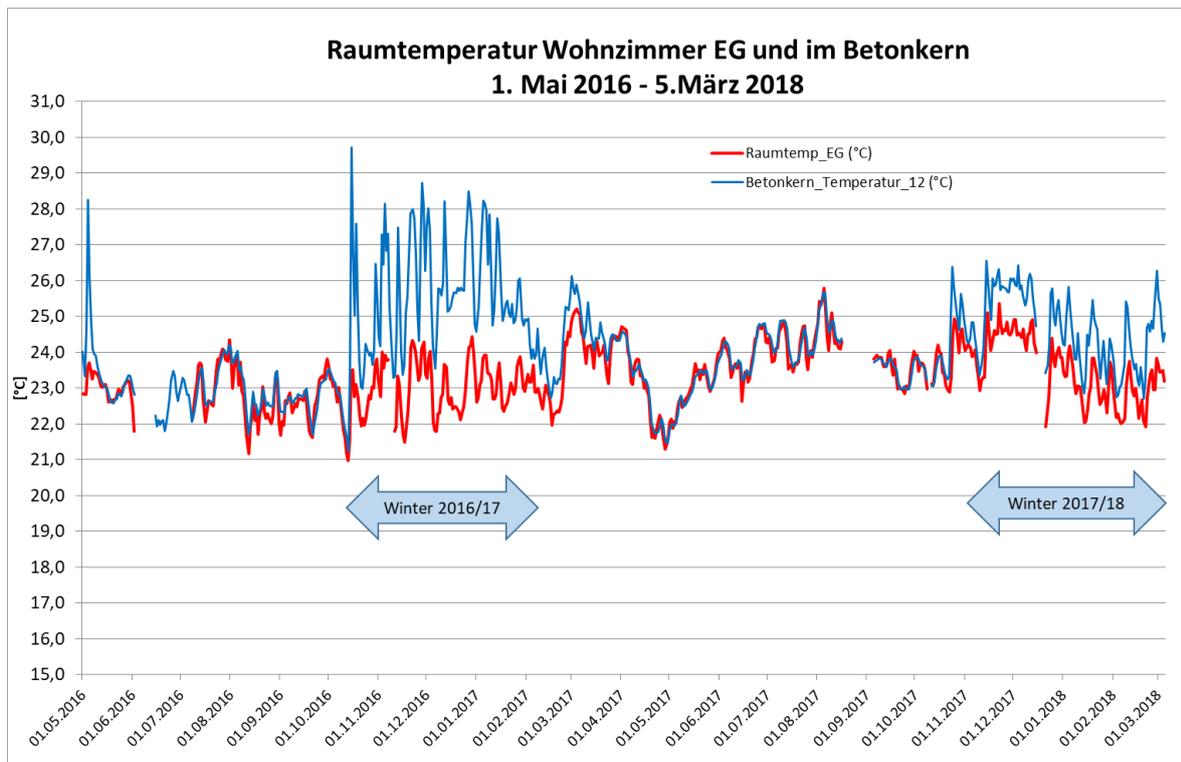


Abbildung 24: Raumtemperatur und Temperatur im Betonkern der Decke darüber [°C]

Nachfolgend werden die Ergebnisse wegen der besseren Lesbarkeit für die Winter I und II getrennt dargestellt.

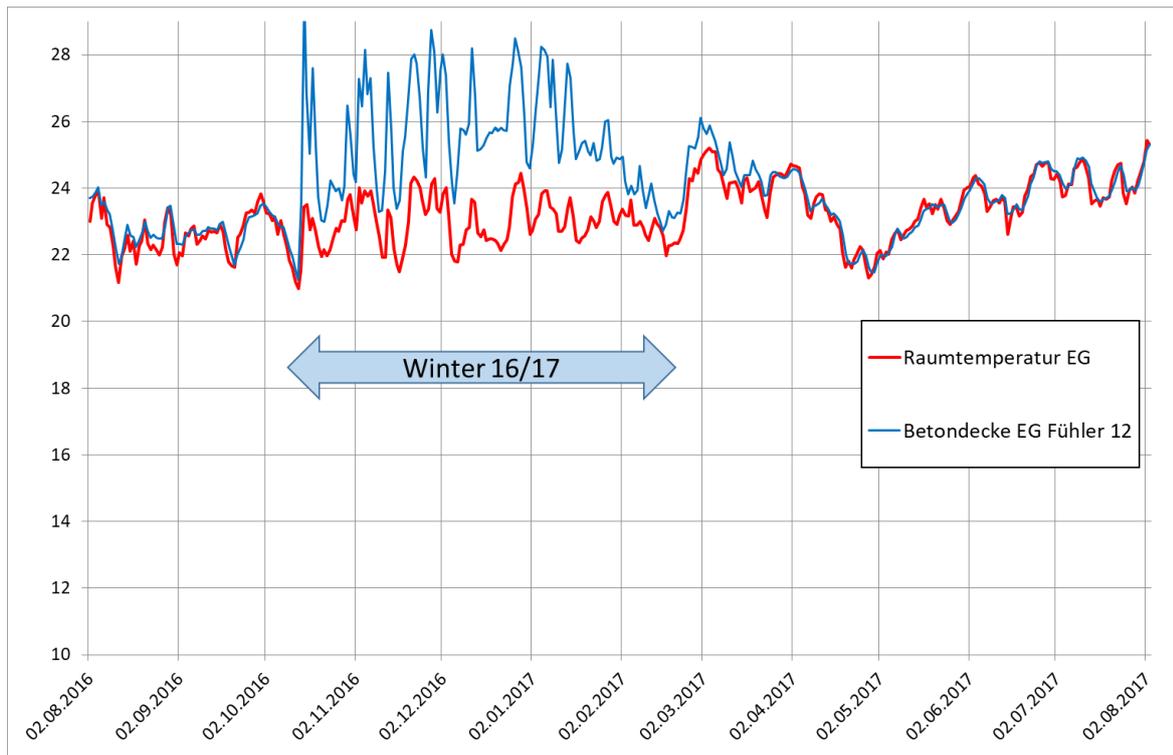


Abbildung 25: Vergleich von Raumtemperatur und Temperatur im Betonkern Winter 2016/17 [°C]

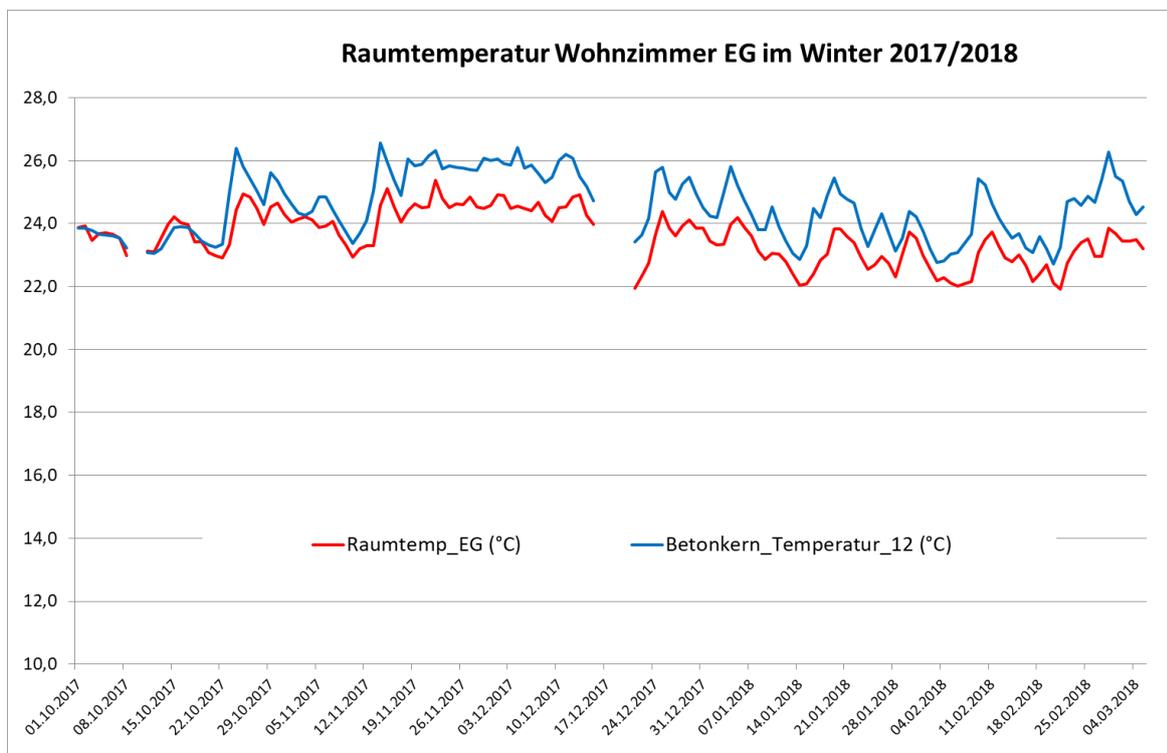


Abbildung 26: Vergleich von Raumtemperatur und Temperatur im Betonkern im Winter 2017/2018 [°C]

Auffallend ist, dass selbst die Bauteil-Temperaturen die Grenze von 28 °C kaum überschreiten, also sehr geringe Temperaturen für die Schaffung eines komfortablen Wohnklimas gebraucht werden.

2.1.4. Conclusio Haus H

Im Durchschnitt der beiden Jahre betrug der Anteil erneuerbarer Wind(überschuss)energie am Heizenergiebedarf 80 %. Um die Speicherwirkung der Bauteilaktivierung für die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie für den Heizfall zu nutzen, wurde eine Schwankung der Raumtemperatur von +/- 1 K rund um den Mittelwert von 23 °C (Band 22–24 °C) zugelassen. Nur in sehr wenigen Fällen wurde die untere Grenztemperatur von ca. 22 °C leicht unterschritten und von den BewohnerInnen als etwas zu kühl eingestuft. Letztlich musste in der zweijährigen Monitoringphase das Band aber nicht verändert werden.

Der erreichte Anteil von 80 % im Zweijahresschnitt ist insofern als sehr erfreulich einzustufen, als die gewünschte mittlere Raumtemperatur beider Winterperioden mit 23,1 °C und dem damit verbundenen signifikant erhöhtem Heizenergiebedarf (+40 %) eine „Ernte“ erneuerbarer Energie im Vergleich zur Energieausweisbezugstemperatur von 20 °C erschwert hat. Erschwerend kamen noch die ungeplanten Undichtigkeiten (Elektroanbindung der 14 Außenjalousien und eine nicht luftdicht verschlossene Öffnung in der obersten Geschoßdecke) dazu. Auch die Luftmenge der kontrollierten Wohnraumlüftung lag anlagebedingt deutlich über den erforderlichen Lüftungsmengen.

2.2. Messergebnisse Haus F

Die Messergebnisse zu Haus F wurden von der Firma FIN – Future is Now ausgewertet, interpretiert und dargestellt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass der nutzbare Solaranteil anstelle der in der Einreichung „Demoprojekte Solarhaus 2015“ prognostizierten 72 % tatsächlich nur 43,9 % beträgt. Dies ist auf mehrere Ursachen zurückzuführen. Durch die Nähe der Donau kommt es in der Umgebung des Hauses zu extrem langanhaltenden Nebelperioden ohne Solarertrag.

Der Warmwasserverbrauch ist in den Monaten November bis März mehr als doppelt so hoch als in der restlichen Jahreszeit. In Verbindung mit dem geringen Solarertrag muss die Sole/Wasser Wärmepumpe einen erheblich höheren Anteil des Warmwasserbedarfs abdecken. Von April bis Oktober führt der geringe Warmwasserbedarf dazu, dass in dieser Periode die Puffertemperaturen zwischen 80 und 100 °C betragen. Dadurch kommt es zu einer wesentlichen Verschlechterung des Wirkungsgrades der Solaranlage.

Der Heizenergieverbrauch beträgt mehr als das Doppelte des im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarfs. Der HWB und der WWB laut Energieausweis betragen 5.448 kWh/a. Würden diese Werte im Verbrauch eingehalten, würde der tatsächliche Solarertrag mit 4.022 kWh eine solare Deckung mit 73,8 % ergeben.

Table 8: Heizwärme- und Warmwasserbedarf laut Energieausweis von Haus F

Kenndaten laut Energieausweis – Bedarfserhebung		EA
Wohnnutzfläche		206 m ²
Brutto-Geschoßfläche		257 m ²
Bruttovolumen		932 m ³
	[kWh]	[kWh/m ² a]
Heizwärmebedarf lt. Energieausweis OIB RL6 bei 20 °C	2.166	8,4
Warmwasserwärmebedarf	3.282	12,8
Gesamtbedarf Heizung und Warmwasser	5.448	21,2

Table 9: Heizwärme- und Warmwasserverbrauch von Haus F gemessen im Jahr 2018

Betriebsjahr 2018 – tatsächlich gemessener Verbrauch (Messzeitraum 1.1. bis 31.12.2018)		
	[kWh]	[kWh/m ² a]
Heizwärmeverbrauch bei 24 °C mittlerer Raumtemperatur Wärmemengenzähler BTA	5.608	21,0
Warmwasserwärmeverbrauch Wärmemengenzähler Frischwassermodul	3.556	13,8
Gesamtverbrauch Heizung und Warmwasser exklusive Puffer- und Verteilverluste	9.164	34,8
Solarertrag	4.022	15,6

Betriebsjahr 2018 – tatsächlich gemessener Verbrauch (Messzeitraum 1.1. bis 31.12.2018)		
Heizwärmeerzeugung Wärmepumpe	5.142	20,0

Die Raumtemperaturen in der Winterperiode liegen im Mittel über 24 °C. Dies ist der Wunsch der BewohnerInnen, bedingt insbesondere durch die Tatsache, dass die Familie F im Jahr 2017 ein Baby bekommen hat. Dies führt u.a. auch zu einem wesentlich höheren Energiebedarf als im Energieausweis errechnet wurde.

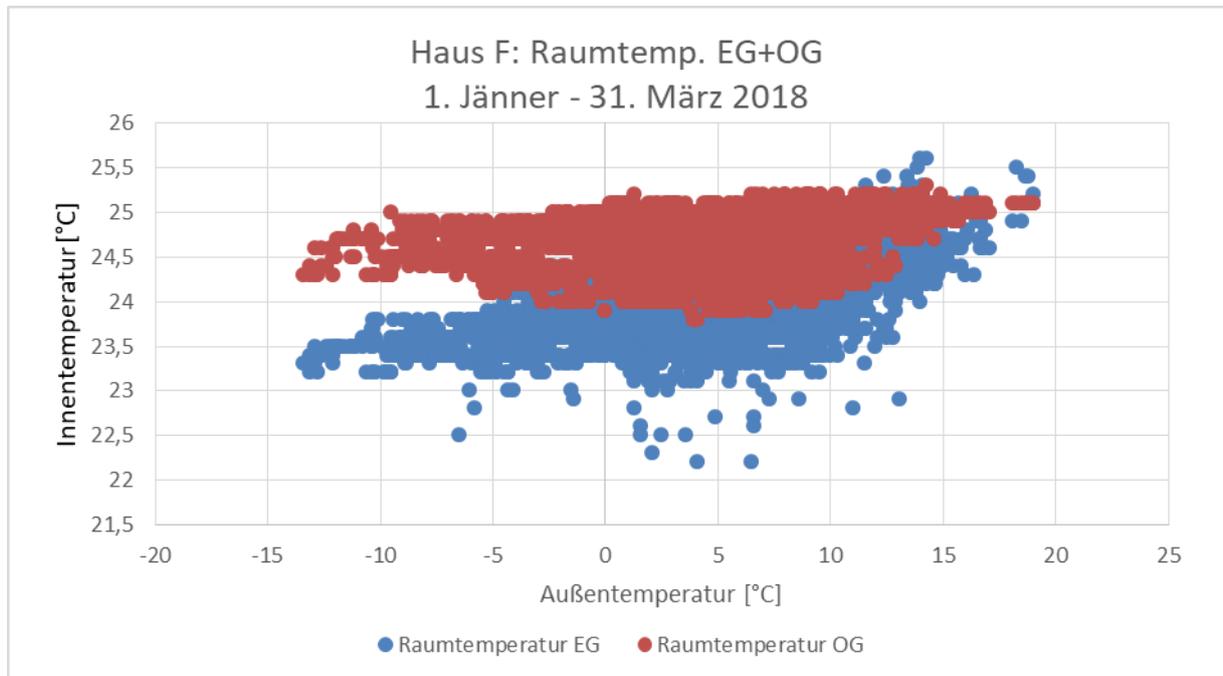


Abbildung 27: Raumtemperatur Haus F im Winter 2018 [°C]

Die Raumtemperaturen außerhalb der Heizperiode sind nur geringfügig höher als im Winter. Hier zeigt sich deutlich die positive Wirkung der massiven Bauweise in Hinsicht auf die sommerliche Überwärmung des Gebäudes. Die Normtemperaturen für den Sommerfall wurden an keinem Tag überschritten.

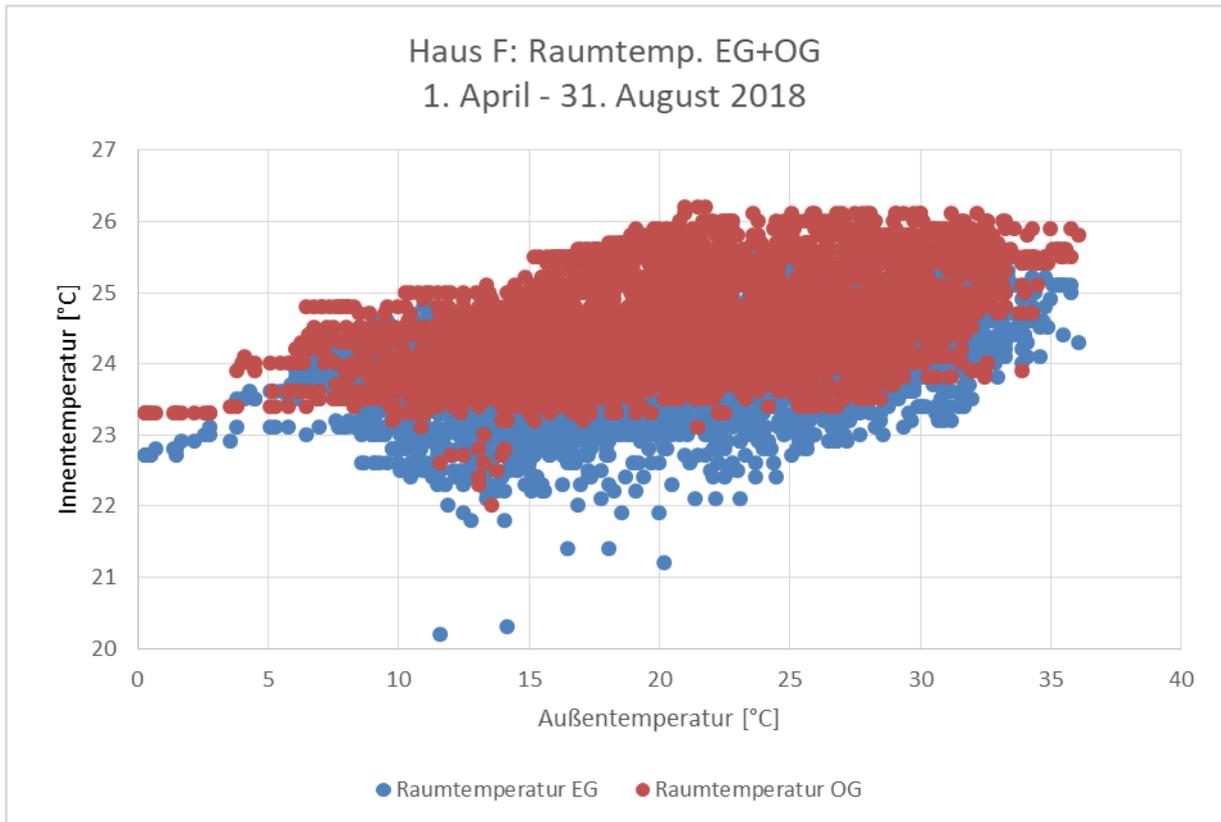


Abbildung 28: Raumtemperatur Haus F April bis August 2018 [°C]

Mit Beginn der Heizperiode nach dem Spätsommer zeigen sich wiederum durchschnittliche Raumtemperaturen im Bereich von 24 °C mit einer sehr geringen Schwankungsbandbreite.

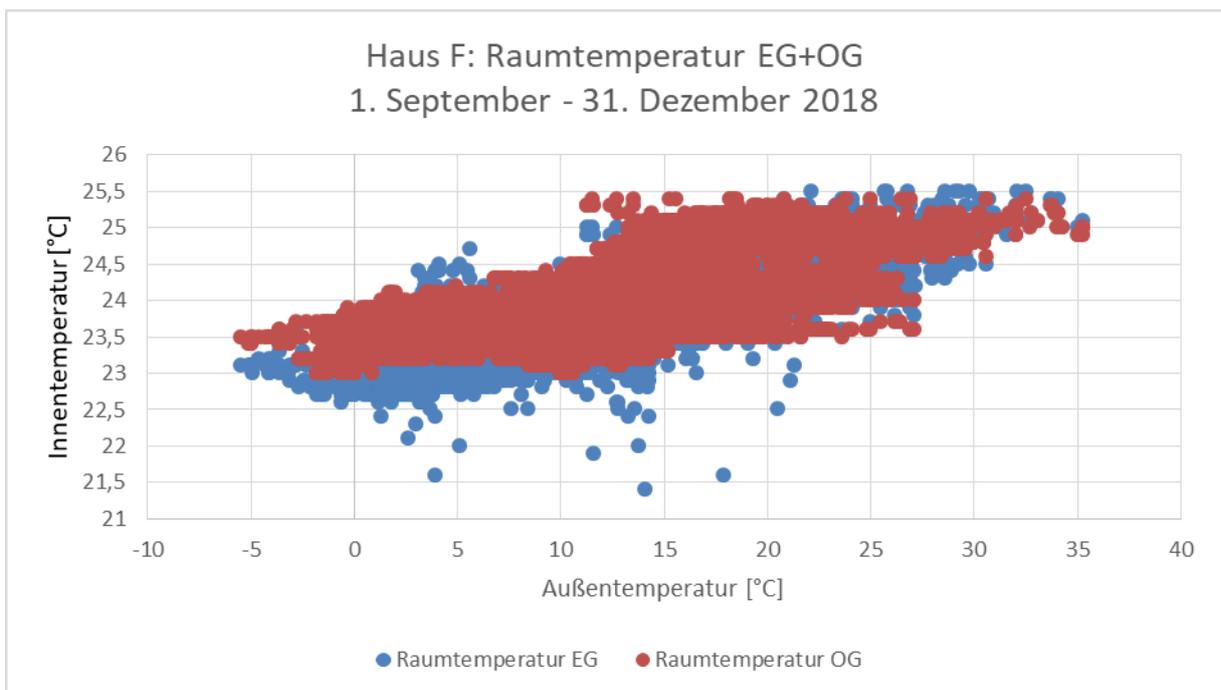


Abbildung 29: Raumtemperatur Haus F September bis Dezember 2018 [°C]

Im Jahresverlauf zeigt sich ein stetiger Solarertrag, welcher aber in den Wintermonaten durch die extreme Nebellage wesentlich geringer ist als in Solarhäusern in begünstigter Sonnenlage. Die

Sole/Wasser Wärmepumpe liefert von Anfang April bis Ende Oktober kaum bis gar keine Energie, da in dieser Periode die Solaranlage den Restwärmebedarf für die Heizung sowie die gesamte Warmwasserbereitung abdeckt.

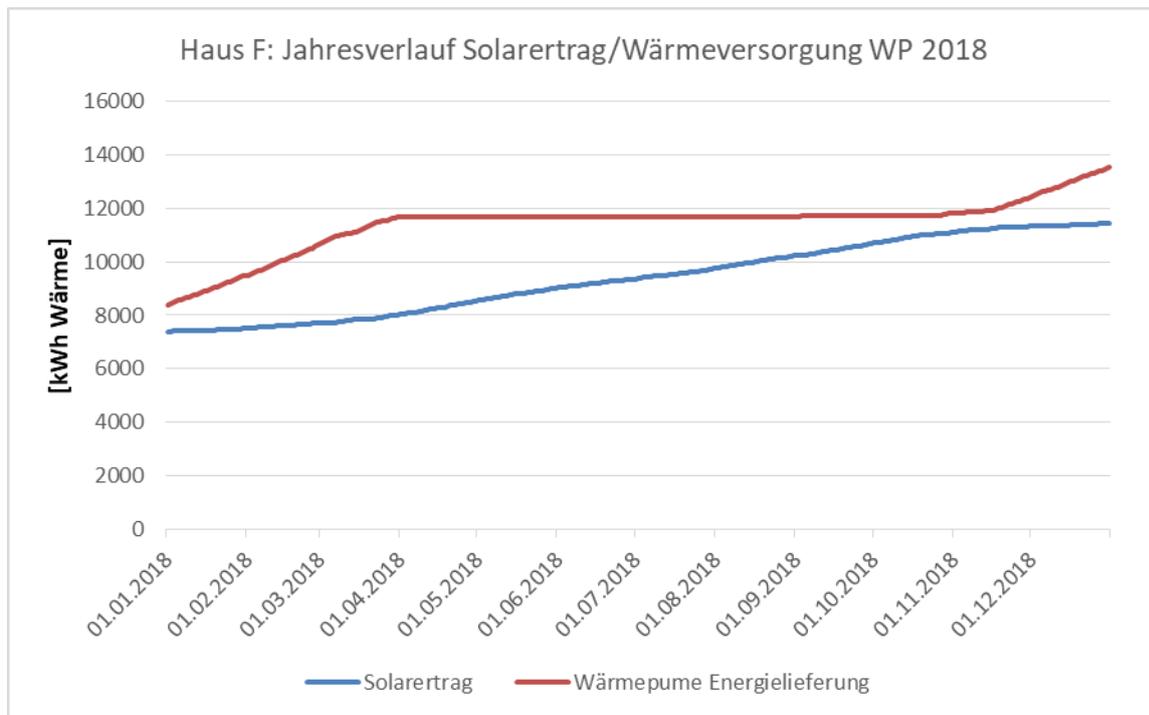


Abbildung 30: Jahresverlauf des Solarertrags und der Heizenergielieferung der Wärmepumpe 2018 [kWh]

Noch deutlicher als im Jahresverlauf zeigen die Monatsbilanzen die Verteilung zwischen Solarertrag und Wärmebeitrag durch die Sole/Wasser Wärmepumpe.

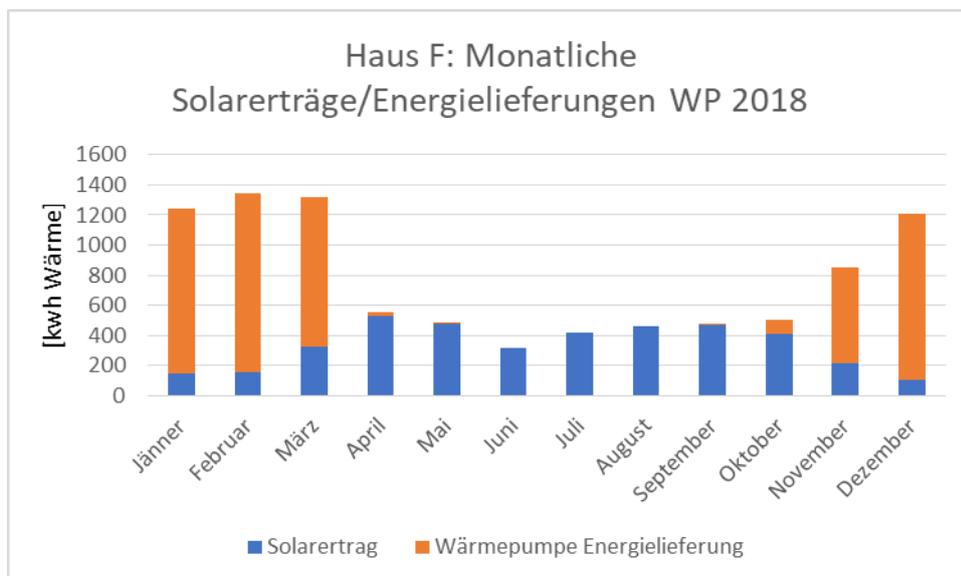


Abbildung 31: Monatliche Solarerträge und Heizenergielieferungen der Wärmepumpe für Heizenergie 2018 [kWh]

Tabelle 10: Monatliche Solarerträge und Heizenergielieferungen der Wärmepumpe für Heizenergie 2018 [kWh]

Monat	Solarertrag	Energielieferung WP
Jänner	143	1.097
Februar	158	1.183
März	324	991
April	529	27
Mai	475	4
Juni	319	0
Juli	415	0
August	463	0
September	469	6
Oktober	412	90
November	213	642
Dezember	102	1.102
Summe	4.022	5.142

2.2.1. Conclusio Haus F

Der Ausbildungsstand der Fachfirmen für Installationstechnik entspricht nicht immer den tatsächlichen Möglichkeiten, welche diese innovative Sparte der Solarthermie bietet. Dies führte im konkreten Projekt zu mehreren z.T. größeren Mängeln, die immer wieder unter großem Aufwand behoben werden mussten. Dadurch war es auch nicht möglich, relevante Daten aus dem ersten Betriebsjahr zu generieren.

Ein Blower-Door-Test wurde zwar zum richtigen Zeitpunkt durchgeführt, entsprach jedoch nicht ganz den Anforderungen des Haustechnikplaners. Erfahrungsgemäß zeigt sich gerade im Bereich des Einfamilienhausbaus, dass im Zuge der Fertigstellungsarbeiten noch Durchdringungen durch die an und für sich sehr gute Gebäudehülle geführt werden, welche nicht dem Passivhausstandard gerecht abgedichtet bzw. entsprechend in die Hülle integriert werden. Ein zusätzlicher Blower-Door-Test zur Qualitätssicherung nach der Gesamtfertigstellung wäre absolut empfehlenswert.

Gebäude mit einer hochwertigen Ausführung gemäß dem heute zeitgemäßen Baustandard weisen sehr niedrige Energieverbrauchszahlen auf. Dies führt bei NutzerInnen zumeist dazu, dass unnötig hohe Raumtemperaturen als scheinbare Komforterhöhung erwartet werden.

Das Gebäude als Wärmespeicher funktioniert insgesamt sehr gut, dies zeigt sich an den extrem gleichmäßigen Temperaturverläufen über ein gesamtes Jahr. Sommerliche Überwärmung findet trotz langanhaltender Hitzeperioden nicht statt, da das Zusammenspiel zwischen Energieeinträgen und entsprechend genutzten Speichermassen gut funktioniert.

Beim Haus F wurde auch ein Außenpool errichtet, welcher jedoch bis zum Abschluss der Begleitforschung nicht wärmeversorgt wurde. Mit der Inbetriebnahme dieses Pools wird sich auch der Kollektorertrag noch einmal wesentlich steigern, wenngleich sich der Eintrag zur Heizung und Warmwasserbereitung nicht erhöhen wird. Festzuhalten ist noch, dass während der gesamten Messperiode von Jänner bis Dezember 2018 der thermische Solarkollektor durch den steilen Neigungswinkel von 70° zu keiner Zeit in Stagnation gegangen ist.

2.3. Vergleich der beiden Gebäude

Ziel des Projekts war, das Potenzial der Bauteilaktivierung zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien v.a. in der Heizperiode zu erheben. Dazu wurden zwei bauteilaktivierte Einfamilienhäuser verglichen, die mit unterschiedlichen erneuerbaren Energieformen versorgt werden: mit Windstrom (Haus H) bzw. Solarthermie (Haus F) jeweils gekoppelt mit Wärmepumpe und Erdwärmetauschern. Die nachfolgenden beiden Abbildungen zeigen jeweils für ein Kalenderjahr den Anteil der erneuerbaren Energiequelle am Heizenergiebedarf (BTA) für die beiden Gebäude:

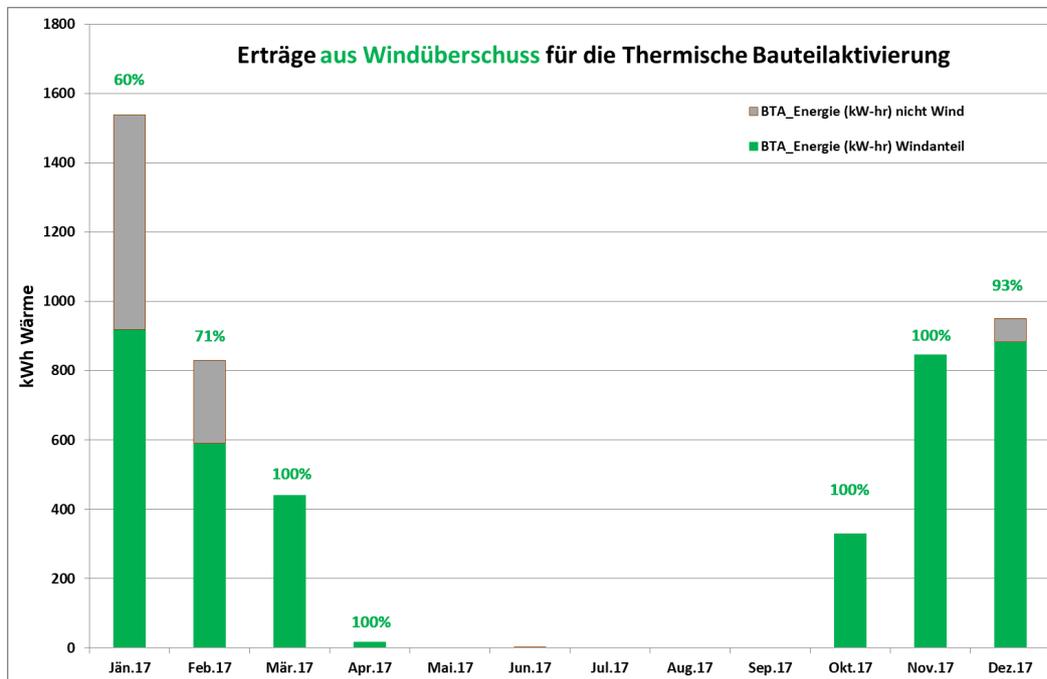


Abbildung 32: Erträge aus Windüberschuss für die Thermische Bauteilaktivierung (Heizung) im Haus H 2017 [kWh Wärme]

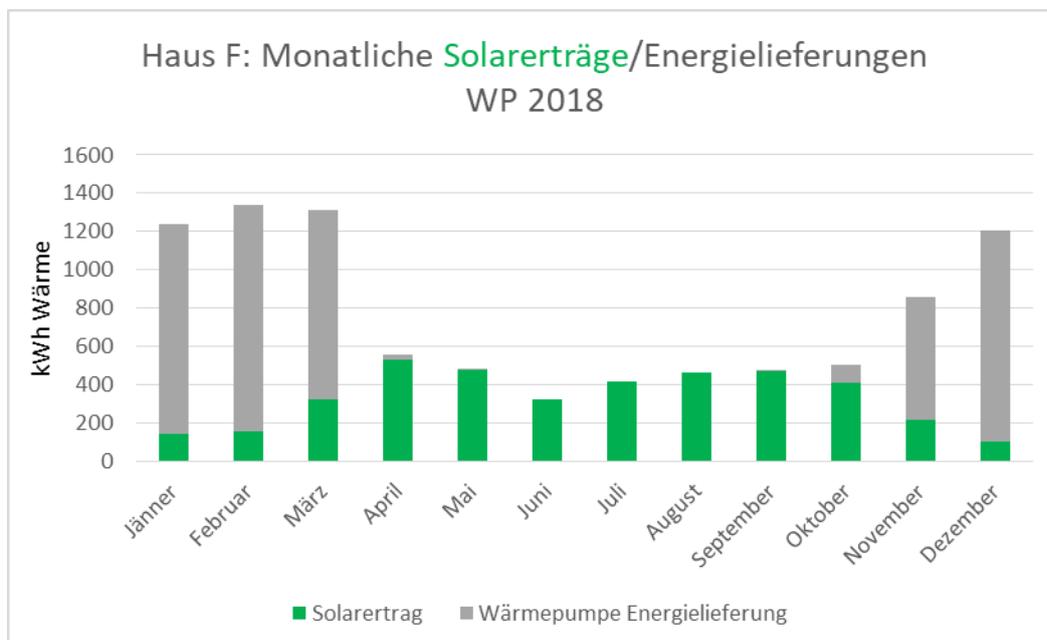


Abbildung 33: Monatliche Solarerträge und Heizenergielieferungen der Wärmepumpe für Heizenergie im Haus F 2018 [kWh Wärme]

Da das gegenständliche Monitoringvorhaben auf das Potenzial der Bauteilaktivierung zur Steigerung des erneuerbaren Anteils am Heizwärmebedarf abzielt, wurde der Warmwasserbedarf nicht dargestellt.

Für das Haus H ist das Kalenderjahr 2017 dargestellt. Obwohl der Jänner 2017 einer der kältesten seit 30 Jahren war und auch die zuvor beschriebenen Undichtigkeiten in der Hülle von Haus H noch nicht beseitigt waren, konnten 60 % der Heizenergie im Jänner durch Windüberschuss-Energie gedeckt werden. Im März 2017 konnten durch geringere Wärmeverluste erstmal 100 % Versorgung erreicht werden. Im September 2017 wurden die baulichen Mängel behoben, was in den guten Ergebnissen in den Monaten Oktober bis Dezember 2017 deutlich sichtbar wird. Zusammenfassend betrug der Anteil der Windüberschuss-Energie am Heizenergieverbrauch in den Wintermonaten 81 %.

Für Haus F liegen aufgrund technischer Probleme nur Daten für das Jahr 2018 vor. Das Diagramm zeigt in den Wintermonaten (Oktober bis April) einen im Schnitt nur sehr geringen Beitrag der Solarenergie (22 %). Als Ursache dafür werden seitens des Planers die Nebellage in Donaunähe, die hohen Innentemperaturen und der hohe Warmwasserverbrauch im Winter genannt. In den Monaten April bis Oktober deckt die Solaranlage den gesamte Warmwasserbedarf (in Abbildung 33 nicht dargestellt) wie auch im April und im Oktober weitgehend den Restwärmebedarf für die Heizung ab.

Folgende Schlussfolgerungen lassen sich daraus ableiten:

1. Während solare Energie – PV und Solarthermie – vorwiegend im Sommer im Überschuss vorhanden ist, steht die Windenergie tendenziell stärker in den Wintermonaten zur Verfügung, in denen Heizenergiebedarf besteht.
2. Durch die de facto immer vorhandene Netzinfrastruktur ist die Versorgung mit Wind(überschuss)energie unabhängig vom Standort auch in dicht verbauten urbanen Stadtlagen möglich.
3. Die dezentrale Speicherung in tausenden Betondecken könnte zudem eine geradezu ideale Entlastung der Stromnetz-Infrastruktur darstellen.
4. Die optimale Nutzung von erneuerbarer Energie setzt allerdings eine hohe Planungs- und Ausführungsqualität voraus.
5. Die jahrzehntelange Trennung von Bau(-ausführung), Haustechnik und Energieversorgung und das daher fehlende Verständnis für das große Potenzial gewerkeübergreifender Optimierung, ist in der Aus- und Weiterbildung zu begegnen.
6. Beide Projekte zeigen deutlich, dass Monitoring und die Überprüfung von Energieverbräuchen generell zu empfehlen sind, da nur so sichergestellt werden kann, dass energieeffiziente Gebäude mit niedrigen Betriebskosten auch tatsächlich umgesetzt werden.
7. In beiden Häusern lag die von den BewohnerInnen gewählte durchschnittliche Innenraumtemperatur (23 bzw. 24 °C) deutlich über der Referenztemperatur der Energieausweisberechnung. Die Energieausweisberechnung gibt daher in der frühen Entscheidungsphase den Hausherrn ein i.d.R. unrealistisches Verbrauchs- und Energiekostenbild wieder. Die Referenztemperatur sollte angehoben werden.
8. Zudem hat sich auch gezeigt, wie wichtig ein Blower Door Test und eine Thermographie nach der endgültigen Fertigstellung bzw. nach einer gewissen Betriebsphase wäre.

2.4. Nutzerbefragung – Post Occupancy Evaluation

Die Erhebung der Zufriedenheit der EigentümerInnen von Haus H und Haus F erfolgte durch Julia Lindenthal vom Österreichischen Ökologie-Institut im Rahmen eines leitfadengestützten Interviews vor Ort und einer anschließenden qualitativen Auswertung der Ergebnisse.

Haus H wurde im Dezember 2015, Haus F im Juli 2016 bezogen, die Befragungen fanden im Jänner 2019 (Haus H) bzw. im Februar 2019 (Haus F) statt. Die nachfolgenden Kapitel 2.4.1 und 2.4.2 fassen die Aussagen der befragten BewohnerInnen zusammen. Dabei ist zu beachten, dass bei Befragungen wie beispielsweise auch in Bewohnerforen der Fokus seitens der NutzerInnen oft in Richtung unangenehmer Aspekte gelegt wird.

2.4.1. Nutzerbefragung Haus H

In **Haus H**, in welchem die Wärmebereitstellung und Warmwasserbereitung über eine Sole-/Wasser-Wärmepumpe erfolgt, deren Antriebsenergie weitestgehend aus den Überschüssen der Windstromproduktion stammt, ist die Zufriedenheit nach den Anpassungen der ersten Monitoringphasen generell sehr hoch. Es wurde durch die Bank „sehr zufrieden“, „bereitet keine Probleme“ oder „stört gar nicht“ angekreuzt. Die BewohnerInnen möchten demgemäß auch so lange wie möglich im Haus bleiben. Die Rückmeldung zur Zufriedenheit deckt sich mit den Messergebnissen aus dem Monitoring. Es gab nach der erfolgten Optimierung (Einregulierung der Lüftung, Abdichten der undichten Gebäudehülle – nach dem ersten Winter, Oktober 2016 – März 2017) keinerlei nennenswerte Probleme mit der Haustechnik, die gemessenen Verbräuche entsprachen dem ermittelten Bedarf oder lagen teilweise sogar darunter.

Man ist mit dem System der Bauteilaktivierung generell sehr zufrieden, es wird als sehr innovativ empfunden und man ist stolz auf die im Vergleich zum österreichischen Durchschnitt sehr niedrigen Stromverbräuche.

Auch die Lüftungsanlage hat von Anfang an tadellos funktioniert, man schätzt die gute Luft und macht die Fenster kaum mehr auf, höchstens im Sommer abends/nachts zur Kühlung.

Die wenigen Punkte, die als etwas mühsam oder doch eher störend erwähnt worden sind, betreffen zum einen die Gefahr der sommerlichen Überwärmung bei nicht strikter Verschattung, zumal diese bis auf die Wohnzimmertüre nicht verstellbar ist (Rollläden), und zum anderen die Temperaturschwankungen durch die Sonneneinstrahlung bei gleichzeitiger Trägheit des Systems (eine Veränderung der Einstellung wirkt sich erst 24 Stunden später aus). Die Kühl-Funktion der Bauteilaktivierung wurde nicht vorgesehen.

Es wurde auch erwähnt, dass das Haus kein „warmes Gefühl“ erzeuge, obwohl die Innentemperatur konstant bei rund 23 °C liegen.

Die BewohnerInnen sind froh, dass auch die Bodenplatte aktiviert ist.

2.4.2. Nutzerbefragung Haus F

Bei **Haus F** standen der Interviewerin zum Zeitpunkt der Befragung noch keine aufbereiteten Monitoring-Ergebnisse zur Verfügung.

Als primäre Energieversorgung geplant und verbaut wurde ein thermischer Solarkollektor. Die Wärmeverteilung erfolgt wiederum über die Decke über dem Erdgeschoß und über die oberste Geschoßdecke. Ein 1.000-Liter-Pufferspeicher fungiert als Trenn- und Warmwasserspeicher, eine 6 kW Sole/Wasser Wärmepumpe dient als Back-up für längere Schlechtwetterperioden und eine Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung sorgt für die Frischluft.

Die Befragung ergab, dass die energietechnische und wassertechnische Ausstattung, die niedrigen Betriebskosten und die ansprechende Architektur die wichtigsten Faktoren für die Kaufentscheidung waren. Nach nunmehr fast dreijähriger „Wohnerfahrung“ ist die **Zufriedenheit** „mit dem Haus insgesamt“ zwar sehr hoch, doch diese Zufriedenheit gilt in erster Linie der architektonischen Qualität, der Helligkeit des Hauses, den Freiräumen und der massiven Bauweise.

Die generelle Zufriedenheit hält sich in Grenzen, das Haus entspricht nur weitgehend bzw. eigentlich nicht den Erwartungen, es gibt zu viele Mängel und Kompromisse. Die HauseigentümerInnen würden dieses Haus nur unter „anderen Bedingungen“ empfehlen, nämlich „anderes Heiz- und Warmwasserbereitungssystem“ und „reduzierte Technik“. Die in technischer Hinsicht große Unzufriedenheit liegt hauptsächlich darin begründet, dass die Warmwassermenge bei weitem nicht ausreichend ist, dass die Solaranlage die prognostizierten Erträge nicht erreicht und die Wärmepumpe quasi auf Dauerbetrieb läuft, wofür sie aber nicht ausgelegt ist. Der Stromverbrauch und somit auch die Betriebskosten sind drei- bis viermal so hoch wie im Energieausweis.

Die Bodenplatte wurde nicht aktiviert (und leider auch nichts für eine spätere Aktivierung vorbereitet), der Fußboden im EG wird als zu kalt empfunden. Ebenfalls als unangenehm empfunden wird, dass die Fußbodenheizung in Bad und Schrankraum des OG an die Bauteilaktivierung gekoppelt ist und nicht separat gesteuert werden kann. Gewünscht würde ein warmer Boden am Morgen und am Abend, auch wenn die BTA nicht in Betrieb ist.

Als negative Aspekte werden angeführt, dass man bei der BTA die Räume nicht separat steuern kann und das System generell sehr träge ist, sowie, dass man keine Decke abhängen kann. Die Tatsache, dass bei der BTA die Strahlungswärme von oben kommt, stört gar nicht, weil es überhaupt nicht auffällt. Die BewohnerInnen würden sich das nächste Mal allerdings nicht mehr für eine Bauteilaktivierung entscheiden und stehen auch dem Solarkollektor skeptisch gegenüber. Momentan wird kein Mehrwert in der Solaranlage gesehen. Die Erträge sind gering, nach Ansicht der EigentümerInnen aufgrund des Standorts mit zu viel Nebel und zu wenig Sonne.

Überzeugt hat die sehr gute Gebäudehülle.

Die Lüftungsanlage funktioniert an und für sich gut, die Luftqualität wird als sehr gut bezeichnet, es gibt auch keine Probleme mit Schimmel, aber im Schlafzimmer wird Zugluft wahrgenommen. Allerdings wird die Anlage als zu laut eingestuft. Geregelt werden können Lüftungsstärke und Temperatur, genutzt werden die Regelungsmöglichkeiten der Lüftungsanlage aber nur ca. einmal pro Jahr. Man kommt mit der Regelung gut zurecht, aber die Auswirkungen sind nur „überschaubar spürbar“. Winters wie Sommers wird ca. einmal pro Tag über das Fenster gelüftet, man hat das Gefühl, ausreichend mit Frischluft versorgt zu werden.

Auch im Haus F wird berichtet, dass es in den Übergangszeiten und im Sommer schnell viel zu warm wird, würde man nicht rigoros verschatten. Im Unterschied zu Haus H sind die Lamellen hier verstellbar. Das Problem der sommerlichen Überwärmung kann auch von der Lüftungsanlage nicht

gelöst werden und man würde deshalb gerne **die Kühlfunktion der Bauteilaktivierung** in Anspruch nehmen. Doch die passive Kühlung war im Konzept nicht vorgesehen und wurde darum auch nicht installiert.

In beiden Häusern waren die zu erwartenden niedrigen Betriebskosten für den Bau bzw. Kauf des Hauses entscheidend. Bei Haus H wurden diese Erwartungen erfüllt, bei Haus F nicht.

Fazit: Die Bauteilaktivierung funktioniert an und für sich sehr gut. Das System wird als sehr träge eingestuft, das stört aber nicht, solange die angestrebten Raumtemperaturen mehr oder weniger gut erreicht werden. Im Vergleich zwischen den beiden Systemen schneidet die Variante „Antrieb der Wärmepumpe für die Bauteilaktivierung mittels Windstrom“ in der Zufriedenheitserhebung um einiges besser ab, da es einfach möglich ist, die erzeugte Energie zu speichern und die umweltfreundliche Wärmebereitstellung deshalb auch bei mehrtägiger Flaute nicht gefährdet ist. Beim System der Aktivierung durch Solarenergie zeigt sich, dass dieses besser für sonnigere Standorte geeignet ist. Die nicht zufriedenstellenden Ergebnisse bei Haus F hängen möglicherweise auch mit technischen Problemen bei den Anschlüssen zusammen, die dafür verantwortlich sein könnten, dass die Energie von der Sonne praktisch nicht zum Einsatz kommt. Derzeit wird von den BewohnerInnen kein Mehrwert der bei ihnen verbauten Technologie gesehen, die noch dazu deutlich höhere Investitionskosten verursachte. Sie würden beim nächsten Mal bezüglich Haustechnik auf Passivhaustechnologie mit Wärmepumpe, Wohnraumlüftung und Fußbodenheizung setzen.

Die Interviews haben gezeigt, dass den BewohnerInnen wichtig ist, auch die Bodenplatte zu aktivieren, um kalte Füße zu vermeiden. Hier gilt es aber insbesondere, auch die Oberflächenbeschaffenheit (Kontakttemperatur) zu beachten. Im Sommer sollten die Möglichkeiten der passiven Kühlung ausgeschöpft werden und jedenfalls individuell verstellbarer, außenliegender Sonnenschutz vorgesehen werden, um Wärmeeintrag von außen zu verringern und dennoch die Helligkeit und die Sicht nach außen nicht zu beeinträchtigen.

Die Komfortbereiche sind in beiden Häusern deutlich höher als in der Norm vorgesehen, liegen durchschnittlich bei 23 °C bzw. bei 24 °C, die Temperatur wird subjektiv allerdings nicht so empfunden.

Eine Wiederholung der Einschulung bzw. eine Nachbetreuung beim Umgang mit der innovativen Technik wurde sowohl von den EigentümerInnen des Haus F als auch des Haus H als wünschenswert erachtet.

2.5. Beitrag zur Erreichung der Ziele des Programms „Stadt der Zukunft“

Der Einsatz von Bauteilaktivierung zum Heizen und Kühlen von Gebäuden hat bei sorgfältiger Planung und richtiger Umsetzung großes Potenzial zu den Programmzielen von „Stadt der Zukunft“ beizutragen: Wenn die Betondecken – also meist ohnehin vorhandene Bauteile – aktiviert werden, trägt dies zur Ressourceneffizienz bei, da kein anderes Heiz- oder Kühlsystem eingebaut werden muss.

Bei der Bauteilaktivierung handelt es sich um ein System, bei dem mit relativ niedrigeren Temperaturen geheizt bzw. mit relativ hohen Temperaturen gekühlt werden kann, dadurch ist das System insgesamt sehr effizient, da die Verluste gering sind. Auch die Effizienz anderer Systeme, die in Verbindung mit der Bauteilaktivierung arbeiten, wie z.B. Wärmepumpen, kann so gesteigert werden.

Das System gibt Strahlungswärme ab, was zu einem hohen Komfort für BewohnerInnen bzw. NutzerInnen führt und so zu mehr Wohn- und Lebensqualität beiträgt.

Durch die Nutzung von solarer Energie bzw. von Überschuss-Windenergie werden Stromnetze entlastet, Windkraftbetreiber können bei großflächigem Einsatz ihre Parks bei Überschuss länger nutzen, wodurch der Anteil erneuerbarer Energie insgesamt signifikant erhöht werden kann. Erneuerbare Energien fallen volatil an, daher ist es besonders wichtig, Möglichkeiten der Speicherung zu schaffen. Die BTA ermöglicht es, Gebäude flexibel zu betreiben: Energie wird mittels Wärmepumpe und BTA in den massiven Gebäudeteilen gespeichert, wenn sie gerade verfügbar ist. Abgegeben wird komfortable Strahlungswärme. Aktivierte Bauteile und Gebäude können Strom- und Wärmenetze entlasten, indem sie als dezentrale thermische Speicher zum Bestandteil der Energienetze werden. [5]

Bei dem System handelt es sich um ein leicht einsetzbares Low-tech-System, das gut multipliziert und verbreitet werden könnte, wenn die entsprechenden Branchen – respektive Bauträger und Installateure – über das erforderliche Know-how in Planung und Umsetzung verfügen und ihre KundInnen auch dahingehend beraten.

Österreich ist auf dem Gebiet der thermischen Bauteilaktivierung führend bezüglich Know-how und Umsetzung in Demonstrationsgebäuden. Sebastian Spaun hat das Thema auf zahlreichen internationalen Kongressen der Zementindustrie vorgestellt und ist dort auf großes Interesse gestoßen. Aufgrund der vielen Forschungsaktivitäten – von der Entwicklung des Rechenkerns über weitere Tools –, unzähliger Vorträge, Lehrveranstaltungen an den Bauakademien und mit dem Planungsleitfaden „Thermische Bauteilaktivierung“ entstanden österreichweit bereits zahlreiche Projekte. Mit jedem realisierten Projekt steigt das Interesse der Bevölkerung. Entscheidungsträgern in Städten und Gemeinden Österreichs werden die Vorzüge des Systems bei Vorträgen und Veranstaltungen nähergebracht. Energiespezialisten aus Europa, aber auch aus Südkorea, China oder Japan haben die heimischen Leuchtturmprojekte besucht und tragen die Erkenntnisse in ihre Heimat.

3. Schlussfolgerungen

Einer Studie der TU Wien zur Wärmezukunft Österreichs [7] ist zu entnehmen, dass Wärmepumpen in Verbindung mit Solarsystemen und Umgebungswärme in der Zukunft wichtige Player am Raumwärmemarkt werden. Hier kann die Bauteilaktivierung als Niedertemperatursystem zur Effizienz wesentlich beitragen. Für die KundInnen sind der Anlagen-Preis und die laufenden Betriebskosten wichtig. Hier hat das Monitoringprojekt gezeigt, dass die Bauteilaktivierung mit sehr günstigen Betriebskosten für NutzerInnen verbunden ist.

Insbesondere beim Haus H konnte durch die Verbindung mit dem Windpark der WEB gezeigt werden, dass auch das Speicherpotenzial der Bauteilaktivierung zur Entlastung der Stromnetze zu den Zielen einer Versorgung mit 100 % erneuerbarer Energie wesentliche Beiträge leisten kann. Insbesondere bei einer großflächigen Umsetzung, ergeben sich nennenswerte Speicherleistungen, die VÖZ hat hierzu folgende Grobabschätzung angestellt:

Aus der Anzahl der Neubaugenehmigungen im Bereich des Wohnbaus und einer Grobschätzung der durchschnittlichen Wohnungsgrößen lässt sich derzeit ein ungefähres Volumen von ca. 5 Mio. m² Bruttogeschoßfläche p.a. abschätzen (nur Wohnbau). Unter der Berücksichtigung der

Marktdominanz von Betondecken und unter Einbeziehung von Schräg- und Giebeldächern (v.a. im Einfamilienhausbereich) über dem obersten Geschoß schätzt die VÖZ das theoretisch aktivierbare Potenzial auf 4 Mio. m² Deckenfläche pro Jahr im Wohnungsneubau. Daraus lässt sich folgendes Energiespeicherungspotenzial grob abschätzen:

Grundlagen:

- Spezifisches Gewicht Beton: ca. 2.400 kg/m³
- Volumsbezogene Wärmespeicherkapazität C: 667 Wh/m³K
- Annahme des gewählten Temperaturbandes: 4 K

Schlussfolgerungen:

- → 1 m³ Beton kann bei Erwärmung um 4 K eine Wärmemenge von 2,67 kWh abspeichern!
- → 1 m² Betondecke (Annahme 25 cm dick) kann somit 0,68 kWh Wärme speichern.
- Die Speicherkapazität des jährlichen Zuwachses an Betondecken von rd. 4 Mio. m² im Wohnbau beträgt daher 2,67 GWh bei einmaliger (!) und vollständiger Beladung.
- Die gezählten Ladungen der Betondecke im Haus H lagen zwischen 20 und 25 pro Winter

Die großflächige Aktivierung neu gebauter Betondecken könnte somit wesentlich zur Speicherung von Strom und Wärme beitragen. Das träge System der Bauteilaktivierung ermöglicht es zudem, diese Energie einzulagern, wenn fluktuierende und volatil anfallende erneuerbare Energie vorhanden ist.

Im Zuge der Disseminationsmaßnahmen wurden die Autoren immer wieder mit der Frage konfrontiert, ob in Zukunft genügend Windstrom für die Thermische Bauteilaktivierung in Kombination mit Wärmepumpe und Erdwärme vorhanden wäre: Dazu folgende Grobabschätzung:

- Annahme I: Die gesamte jährlich errichtete Betondeckenfläche von 4 Mio. m² wird aktiviert.
- Annahme II: Der Stromverbrauch für die Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser ist pro m² 16,5 kWh pro Jahr (Monitoring-Ergebnis für das Haus H).
- Der jährliche Strommehrbedarf wäre somit 65,7 GWh für 4 Mio. m².
- Gemäß der Studie „Stromzukunft Österreich 2030“, TU Wien müsste zur Erreichung des 100 % Strom aus Erneuerbaren-Ziels gemäß Mission 2030 die Windstromerzeugung von dzt. 6.569 GWh (2,8 GW) auf ca. 21.115 GWh (9 GW) gesteigert werden, somit pro Jahr um ca. 1.100 GWh.
- → Der Strommehrbedarf von 65,7 GWh stellt daher nur einen Bruchteil der Ausbaunotwendigkeiten von ca. 1.100 GWh jährlich dar.

Besonders interessant ist, dass der Strom im windreicheren Winter verbraucht wird. Durch die Energieflexibilität bauteilaktivierter Gebäude erfolgt die Stromabnahme zudem quantitativ netzdienlich.

3.1. Erkenntnisse für das Projektteam

Das Gebäude als Wärmespeicher funktioniert insgesamt sehr gut, dies zeigt sich an den gleichmäßigen Temperaturverläufen über ein gesamtes Jahr. Es ist aber von zentraler Bedeutung, das System richtig zu planen und auszulegen. Das Monitoring als solches hat sich als wichtiges Feature

erwiesen, da mit der Überprüfung der Daten wesentliche Mängel erkannt und teils auch behoben werden konnten. Der Vergleich der prognostizierten und der realen Verbräuche hat auch zu weiteren wesentlichen Erkenntnissen geführt, die für die weitere Umsetzung des Systems wichtig sind. Die diesbezüglich beauftragten Studien der VÖZ beim Bauphysikexperten Klaus Kreč haben auch gezeigt, dass die direkten Wärmeverluste der thermisch aktivierten Bauteile nach außen nicht zu vernachlässigen sind: Neben den Wärmeverlusten in den Randbereichen (Attika, Einbindung der Zwischendecke, Sockel) sind die Wärmeverluste der thermisch aktivierten obersten Decke sowie der Fundamentplatte zu berücksichtigen. [4]

3.2. Folgeprojekte

Erfreulicherweise wurden durch die Verbreitungsaktivitäten bereits während der Projekt- und Monitoringphase die ersten mehrgeschoßigen Wohnbauprojekte angestoßen, die mit Bauteilaktivierung zum Heizen und Kühlen ausgestattet werden. Die Wohnhausanlage in der Mühlgrundgasse in Wien der Bauträger Neues Leben und M2plus Immobilien und der Wohnpark Wolfsbrunn in Sommerein des Bauträgers Südraum befinden sich derzeit in Bau und werden noch im Jahr 2019 fertiggestellt.

3.3. Zielgruppen

Erfahrene Planer wie Projektpartner Harald Kuster oder Baumeister Aichinger können auf viele umgesetzte Projekte verweisen, beispielsweise dargestellt auf der Website von FIN – Future is Now Kuster Energielösungen GmbH: <https://www.futureisnow.eu/home/unsere-projekte/> Es sollte aber gelingen, einen größeren Kreis von PlanerInnen und ArchitektInnen anzusprechen und diese von den Vorzügen der Bauteilaktivierung und der Einfachheit des Systems zu überzeugen, damit diese wiederum ihre Bauherren entsprechend beraten können. Generell sind Demonstrationsprojekte, über die berichtet wird und die man besuchen kann, ein wichtiges Medium, um auch Bauherren zu erreichen und generell über das System zu informieren. Während der Projektlaufzeit haben bereits mehrere Bauträger weitere Demonstrationsprojekte mit dem System der Bauteilaktivierung im großvolumigen Wohnbau gestartet. Auch diese begleitet die VÖZ zum Teil noch im Monitoring und in der Öffentlichkeitsarbeit, z.B. in Form von Baustellenbesuchen mit Entscheidungsträgern in der Mühlgrundgasse im Juni 2018 und in Sommerein im September 2018.

Die Möglichkeit, die Netze zu entlasten und in das System der Bauteilaktivierung Energie dann einzulagern, wenn sie vorhanden ist, ist auch für Energieversorgungsunternehmen und Windparkbetreiber eine interessante Option.

Aus Sicht des Klimaschutzes leistet die Bauteilaktivierung einen Beitrag, im Bereich der Raumwärme auf fossile Energieträger verzichten zu können. Als Heizsystem ohne Öl und Gas wird die Stromheizung mit Wärmepumpe weiter an Bedeutung gewinnen. Die Kombination mit aktivierten Bauteilen kann durch die niedrigen Vorlauftemperaturen zur Effizienz des Systems generell beitragen, aber auch dazu, dass die Bauteile vorausschauend und netzschonend mit erneuerbarer Energie beladen werden können.

3.4. Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten

Zentrale Notwendigkeit ist die Aus- und Weiterbildung von PlanerInnen zur Auslegung des Systems, und von Fachkräften aus dem Bau- und Installationsgewerbe zur Umsetzung. Diesbezügliche Unterlagen, insbesondere auch zur Information von Bauherren, wurden im Rahmen eines Qualifizierungsnetzes erarbeitet und stehen auf der klimaaktiv Lernplattform „Thermische Bauteilaktivierung“ zur Verfügung [7]. In diese Richtung braucht es weitere Initiativen. Dringend gebraucht werden einfache Tools zur Auslegung des Systems für Haustechnik-PlanerInnen.

Aber auch generell ist das System der Bauteilaktivierung mit all seinen Vorteilen noch zu wenig bekannt. Die VÖZ unternimmt daher umfangreiche Vortragstätigkeiten, um hier entgegen zu wirken, und bringt das Know-how aus dem Projekt auch in zahlreiche nachfolgende Forschungsprojekte ein, z.B. SolBau [8].

Tabelle 11: Vortragstätigkeit der VÖZ zu Bauteilaktivierung, mit Schwerpunkt auf Haus H

Titel der Veranstaltung	Datum	Vortragstitel	TN
Energie- und Umweltagentur NÖ, Netzwerktreffen	18.-19.10.2016	Mit Sonne, Wind und Beton Energie sparen. Das ungehobene Potential der thermischen Bauteilaktivierung	25
VÖZ Kolloquium 2016	14.11.2016	Mit Wind und Beton Häuser heizen und kühlen	300
Bayrischer Industrieverband Baustoffe, Steine und Erden	23.11.2016	Mit Sonne, Wind und Beton Energie sparen. Das ungehobene Potential der thermischen Bauteilaktivierung	25
GSV Vorstand	02.03.2017	Mit Wind und Beton Energie sparen	15
20. Vilsener Baustofftagung	15.03.2017	BTA-thermische Bauteilaktivierung	30
Croatian Chamber of Architects, Zagreb	8.–15.03.2017	Heating and cooling with concrete	70
Cembureau Workshop marketing and promotion of concrete	17.05.2017	Concrete buildings as micro energy hubs delivering climate friendly solutions	170
BIBM Congress, Spanien	18.–19.05.2017	Saving energy with wind, sun and concrete	25
The Concrete Initiative, Brüssel	25.09.2017	Austrian case study: energy storage house	200
bmvit/TU Wien/AEE Energy flexible buildings	26.09.2017	Concrete structures in single-family-houses used as micro-energy hub for surplus wind power	80
Energybase/17&4, Seminar THEBAVOL	16.11.2017	BTA-Besondere Projekte in Österreich Besondere Anforderungen bei BTA	120
Cembureau, Brüssel Concrete Dialoge	21.11.2017	Concrete structures used as micro energy hubs in an integrated energy system	80
KNV Partnertagung	08.03.2018	Heizen und Kühlen mit Beton	120
Brandschutzforum Austria	06.04.2018	Thermische Bauteilaktivierung – Was ist das? Die Wärmespeicherung in Betonelementen	100
Außenwirtschaftsforum The Future of Building 2018	08.05.2018	Thermic activation of concrete-based components	100
Energie Zukunft Tirol	09.05.2018	Bauteilaktivierung Funktionsweise und prakt. Voraussetzungen	200
bmvit / Klima- und Energiefonds	16.05.2018	Aktivierung von Speichermassen von Gebäuden als Lastausgleich für Strom- und	100

Titel der Veranstaltung	Datum	Vortragstitel	TN
Smart Energy Systems Week Austria		Wärmenetze	
Schulungs- und Vernetzungstreffen der Klima- und Energie- ModellregionsmanagerInnen, Kremsmünster	17.05.2018	Workshop „Thermische Speicherung in Gebäuden“	40
ERMCO 2018 Congress, Oslo	07.06.2018	Concrete buildings as micro energy hubs delivering climate friendly solutions	300
Fachkongress Innovative Stromanwendungen im Wohnbau 2018, Feldkirch	14.06.2018	Energieflexible Gebäude als Speicher für Umweltenergien (und Überschüsse) nutzbar machen	110
Workshop Thermische Bauteilaktivierung	15.06.2018	BTA in der Praxis, so einfach geht's!	30
Betonkolloquium, Graz	20.09.2018	Bauteilaktivierung – Gebäude mit Beton netzdienlich heizen und kühlen	200
Polish Cement Association 2018 Concrete Days	08.–10.10. 2018	Storing energy with concrete	1.000
BMNT, Enviotech 2018	30.10.2018	Windstrom speichern – in Beton! Die intelligente Verknüpfung von Energieproduktion mit Kurz- und Langzeitspeicherung in Gebäuden	150
VÖZ Kolloquium 2018	13.11.2018	Energiespeicher Beton: Aktuelle Monitoring-Ergebnisse von einem Einfamilienhaus	350
Kooperationsveranstaltung der klimaaktiv Programme „Bauen und Sanieren“ und „erneuerbare Wärme“	14.11.2018	Thermische Bauteilaktivierung Windstrom speichern in Beton	50
Energiesparmesse Messe, Fachbesuchertag – Forum Wärmepumpe	27.02.2019	Bauteilaktivierung – smartes Kühlen und Heizen über die Betondecke	40
Beton – Material für die Zukunft, com:bau Dornbirn	08.03.2019	Bauteilaktivierung – smartes Kühlen und Heizen über die Betondecke	70

Die VÖZ hat auf ihrem alljährlichen Kolloquium „Forschung & Entwicklung für Zement und Beton“ am 13. November 2018 eine Session dem Thema „F&E Umsetzung der Bauteilaktivierung“ gewidmet. Die Vorträge zum Monitoring von Haus H und zu weiteren bauteilaktivierten Wohnbauten und Projekten sind im Tagungsband veröffentlicht [9].

4. Ausblick und Empfehlungen

Derzeit entstehen mehrere Demonstrationsgebäude im großvolumigen Wohnbau, in denen die Bauteilaktivierung zum Heizen und Kühlen eingesetzt wird. Die Projekte in der Mühlgrundgasse in Wien und der Wohnpark Wolfsbrunn in Sommerein werden im Jahr 2019 bezogen und anschließend einem Monitoring unterzogen. Hier ist es wichtig, die Ergebnisse auszuwerten, die Technologie weiter zu optimieren und breit einzusetzen, um das zukunftssträchtige Potenzial der ressourceneffizienten Kühlung wie auch den Beitrag zur Erhöhung von Windstrom bei gleichzeitiger Entlastung der Netze voll lukrieren zu können.

Die weitere Optimierung dieser wichtigen Themen, aber auch die Einbindung von aktivierten Gebäuden in Mikro- und Fernwärmenetze und in Zukunft Anergienetzen sind Fragen, die in weiteren Forschungs- und Innovationsprojekten untersucht werden sollen.

Förderungen

Das Erneuerbaren-Energie-Gesetz EEG sollte Anreize für netzdienliches Verhalten von Verbrauchern setzen, wie z.B. Vergünstigung der Netznutzungs- und Netzverlustgebühren oder die Befreiung von Pauschalgebühren, z.B. Ökostrompauschale.

Analog zur Investitionsförderung für Photovoltaik-Speicher gemäß Ökostromgesetz 2012 könnte die Thermische Bauteilaktivierung als Speicher bei der Umsetzung des Erneuerbaren Ausbau Gesetzes (EEG) bzw. bei der Wärmewendestrategie berücksichtigt werden.

5. Verzeichnisse

5.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schemaskizze Wärmestrahlung: Jeder Punkt der aktivierten Decke strahlt wie die in der Grafik zufällig ausgewählten Punkte halbkugelförmig Wärme in den Raum ab.	12
Abbildung 2: Hydraulik-Schema Haus H., Fa. FIN - Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH.....	13
Abbildung 3: Verlegungsplan des Rohrregisters in der Geschoßdecke EG	14
Abbildung 4: Wechselspiel zwischen Beladung und Entladung für eine 2 ½-wöchige Periode im November 2016.....	15
Abbildung 5: Hydraulikschema Haus F, Fa. FIN – Future is Now, Kuster Energielösungen GmbH.....	16
Abbildung 6: Verlegeplan des BTA Rohrregisters Bodenplatte. Auf die Aktivierung der Bodenplatte wurde laut Angabe der Bauherren verzichtet.	17
Abbildung 7: Verlegeplan des BTA Rohrregisters Decke über EG.....	18
Abbildung 8: Verlegeplan des BTA Rohrregisters Decke über OG	18
Abbildung 9: Schema Komfort-Wohnraumlüftung, Luftmengenverteilung	19
Abbildung 10: Monatliche Energielieferungen der Wärmepumpe an die Bauteilaktivierung und den Warmwasserpuffer	23
Abbildung 11: Anteil des Wind(überschuss)stroms der Wärmepumpe an die BTA und an den Warmwasserpuffer in kWh	24
Abbildung 12: Anteil des Wind(überschuss)stroms für die Bauteilaktivierung	25
Abbildung 13: Monatlicher Haushaltsstrombedarf inklusive des Strombedarfs für die Lüftung und ohne den Strom für die Wärmepumpe	26
Abbildung 14: Temperaturkomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Winter 2016/2017 (30 Minuten Mittel)	27
Abbildung 15: Temperaturkomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Winter 2017/2018 (30 Minuten Mittel)	27
Abbildung 16: Temperaturkomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Sommer 2016.....	28

Abbildung 17: Temperaturkomfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Sommer 2017.....	28
Abbildung 18: Feuchtekombfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Winter 2016/2017	29
Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung der Raumfeuchtwerte im Winter 2016/2017	29
Abbildung 20: Feuchtekombfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Winter 2017/18 (30 Minuten Mittel).....	30
Abbildung 21: Feuchtekombfort in Wohnzimmer EG (gelb) und Schlafzimmer OG (blau) im Sommer 2017.....	31
Abbildung 22: Statistische Auswertung der Raumtemperaturen im Wohnzimmer (EG) und im Schlafzimmer (OG).....	31
Abbildung 23: Tagesmittel der Raumtemperatur im Wohnzimmer (EG) und im Schlafzimmer (OG) [°C]	32
Abbildung 24: Raumtemperatur und Temperatur im Betonkern der Decke darüber [°C]	32
Abbildung 25: Vergleich von Raumtemperatur und Temperatur im Betonkern Winter 2016/17 [°C] ..	33
Abbildung 26: Vergleich von Raumtemperatur und Temperatur im Betonkern im Winter 2017/2018 [°C].....	33
Abbildung 27: Raumtemperatur Haus F im Winter 2018 [°C].....	36
Abbildung 28: Raumtemperatur Haus F April bis August 2018 [°C]	37
Abbildung 29: Raumtemperatur Haus F September bis Dezember 2018 [°C]	37
Abbildung 30: Jahresverlauf des Solarertrags und der Heizenergielieferung der Wärmepumpe 2018 [kWh]	38
Abbildung 31: Monatliche Solarerträge und Heizenergielieferungen der Wärmepumpe für Heizenergie 2018 [kWh]	38
Abbildung 32: Erträge aus Windüberschuss für die Thermische Bauteilaktivierung (Heizung) im Haus H 2017 [kWh Wärme].....	40
Abbildung 33: Monatliche Solarerträge und Heizenergielieferungen der Wärmepumpe für Heizenergie im Haus F 2018 [kWh Wärme]	40

5.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eckdaten Haus H	14
Tabelle 2: Eckdaten Haus F.....	19
Tabelle 3: Heizwärmebedarf von Haus H berechnet nach PHPP und Energieausweis sowie gemessen für den Winter 2016/2017 (inklusive Simulation von Klaus Kreč)	22
Tabelle 4: Heizwärmebedarf von Haus H nach PHPP und Energieausweis und Heizwärmeverbrauch gemessen in der Heizsaison 2017/18.....	22
Tabelle 5: Heizwärmeverbrauch, Warmwasserbedarf und Warmwasserverbrauch, Stromverbrauch und Primärenergieverbrauch von Haus H nach PHPP und Energieausweis gemessen in Jahr II	23
Tabelle 6: Windanteil am Strom der Wärmepumpe für Bauteilaktivierung und Warmwasser.....	25
Tabelle 7: Überblick über Komfortparameter Haus H im Monitoring-Zeitraum.....	31

Tabelle 8: Heizwärme- und Warmwasserbedarf laut Energieausweis von Haus F.....	35
Tabelle 9: Heizwärme- und Warmwasserverbrauch von Haus F gemessen im Jahr 2018.....	35
Tabelle 10: Monatliche Solarerträge und Heizenergielieferungen der Wärmepumpe für Heizenergie 2018 [kWh]	39
Tabelle 11: Vortragstätigkeit der VÖZ zu Bauteilaktivierung, mit Schwerpunkt auf Haus H.....	48

5.3. Literaturverzeichnis

- [1] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS: An EU strategy on heating and cooling, 2016 <https://ec.europa.eu/energy/en/news/commission-launches-plans-curb-energy-use-heating-and-cooling> (abgerufen am 13.07.2018)
- [2] Friembichler Felix, Handler Simon, Krec Klaus, Kuster Harald: Thermische Bauteilaktivierung – Planungsleitfaden Einfamilien- und Reihenhäuser. bmvit Berichte aus der Energie- und Umweltforschung 9/2016. Wien 2016
- [3] Handler Simon: Konditionierung von massiven Einfamilienhäusern mit Wärmepumpe unter Nutzung der Leistungsspitzen im öffentlichen Stromnetz. Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H, Wien 2016
- [4] Kreč Klaus, Berechnung des Wärmebedarfs der TBA des Hauses H in Göllersdorf für die Heizsaison 2016/2017. Kurzbericht im Auftrag der Zement + Beton Handels- und Werbeg.m.b.H., Schönberg am Kamp 2018
- [5] Knotzer Armin, Weiss Tobias: Energieflexibilität von Gebäuden – Potenzial, Anwendung, Zukunft. In: AEE Intec (Hg.): erneuerbare energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft, Heft 03/2018 „Energieflexibilität – "Zugpferd" für smarte Gebäude und Netze“, Gleisdorf
- [6] Kranzl Lukas et. al: Wärmezukunft 2050 Erfordernisse und Konsequenzen der Dekarbonisierung von Raumwärme und Warmwasserbereitstellung in Österreich. Im Auftrag von Erneuerbare Energie Österreich, Wien 2018
- [7] klimaaktiv E-Learning Plattform, Energie im Gebäude, Kurs Thermische Bauteilaktivierung <https://www.klimaaktiv-elearning.at/Lernplattform/course/view.php?id=45> (abgerufen am 18. März 2019)
- [8] Zilles Sebastian, Venus David: Kostenoptimale Nutzung von Bauteilaktivierung als Energiespeicher. In: AEE Intec (Hg.): erneuerbare energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft, Heft 03/2018 „Energieflexibilität – "Zugpferd" für smarte Gebäude und Netze“, Gleisdorf
- [9] Kolloquium Forschung & Entwicklung für Zement und Beton 2018, Kurzfassung der Beiträge, F&E Umsetzung der Bauteilaktivierung S. 31 ff https://www.zement.at/downloads/downloads_2018/Kolloquium_Kurzbeitraege_2018_neu.pdf (abgerufen am 18. März 2019)

6. Anhang

Ao. Univ. Prof. i. R. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Kreč, Berechnung des Wärmebedarfs der TBA des Hauses H in Göllersdorf für die Heizsaison 2016/2017. Kurzbericht im Auftrag der Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H., Schönberg am Kamp 2018



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)