

---

Erweiterung der Einsatzgrenzen  
bewährter Passivhaustechnik  
smartEXT

C. Drexel, A. Eberle, S. Kaltheier

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**00/2014**

**Impressum:**

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

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

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

# Erweiterung der Einsatzgrenzen bewährter Passivhaustechnik smartEXT

Ing. Christof Drexel  
drexel und weiss – energieeffiziente haustechniksysteme gmbh

Dr. Alfons Eberle  
EberleTec e.U.

□ DI Stephen Kalthier  
Planungsteam E-Plus GmbH

Wolfurt, Mai 2014

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

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

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“).

Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

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

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



# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Kurzfassung .....                                     | 10 |
| Abstract.....   | 12 |
| 1 Einleitung.....                                     | 14 |
| 1.1 Motivation .....                                  | 14 |
| 1.2 Wirtschaftlichkeit.....                           | 15 |
| 2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt .....    | 16 |
| 2.1 Stand der Technik.....                            | 16 |
| 2.2 Zielsetzungen .....                               | 16 |
| 2.3 Zusatznutzen .....                                | 17 |
| 3 Ergebnisse des Projektes .....                      | 18 |
| 3.1 Arbeitspaket 1 – Konzeption .....                 | 18 |
| 3.1.1 Ziele und Inhalte.....                          | 18 |
| 3.2 Arbeitspaket 2 – Haustechnik .....                | 22 |
| 3.2.1 Ziele und Inhalte.....                          | 22 |
| 3.3 Arbeitspaket 3 – Verifikation .....               | 28 |
| 3.3.1 Ziele und Inhalte.....                          | 28 |
| 4 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen .....  | 34 |
| 4.1 Gegenüberstellung der Verbräuche .....            | 34 |
| 4.2 Zusammenfassung der Bewohnerbefragung .....       | 35 |
| 4.3 Konklusionen .....                                | 37 |
| 4.4 Rückführung der Erkenntnisse.....                 | 38 |
| 5 Ausblick und Empfehlungen .....                     | 39 |
| 6 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis ..... | 40 |
| 7 Anhang.....   | 42 |



# Kurzfassung

## Ausgangssituation/Motivation

Die Drexel und Weiss GmbH stellt unter anderem **nachhaltig umweltschonende Kompaktgeräte** her, die im Wohnbau nach **Passivhausstandard** (Heizwärmebedarf < 10 – 15 kWh/m<sup>2</sup>/a) zur **Wärmerückgewinnung**, bzw. zur Heizung und Warmwasserbereitstellung als **Komplettsystem eingesetzt werden**.

**Kostenbetrachtungen** können bei aktuellen Neubauten allerdings dazu führen, dass der **Passivhausstandard nicht vollumfänglich** realisiert wird. Dann können die genannten **Kompaktgeräte** aktuell **nicht wirtschaftlich eingesetzt** werden.

## Inhalte und Zielsetzungen

Zielsetzung ist also, die **Einsatzgrenzen der Kompaktgeräte** zu erweitern, um diese nachhaltige Technologie auch im **guten Niedrigenergiehaus** (20-25 kWh/m<sup>2</sup>/a) verwirklichen zu können und damit deren Verbreitung voranzutreiben.

Dazu wird ein neuartiges Konzept zur Bereitstellung der Heizwärme entwickelt und evaluiert. Konkret übernimmt ein Kompaktgerät die **Grundlast zentral** und zur Abdeckung der **Spitzenlast** werden **dezentrale Zusatzheizungen** eingesetzt. Es soll festgestellt werden, ob dadurch **Verteilverluste minimiert** und die **Effizienz gesteigert** werden kann.

## Methodische Vorgehensweise

Zunächst wurden dezentrale Zusatzheizungen für drei Wohneinheiten/Baukörper ausgelegt und aufgebaut unterstützt durch **Simulation** der Wärmeströme, der resultierenden Temperaturverteilung und **Reaktionszeiten**, inkl. **Parameterstudien** mittels rechnergestützter **Optimierung**. Weiter wurden neuartige **Regelstrategien** (kombinierte Einzelraumregelung) für das Zusammenspiel von Komfortlüftung und Zusatzheizungen entwickelt und implementiert. Zur Erfassung und Aufnahme der notwendigen Messdaten wurden **Verifikationssysteme** eingerichtet und ein umfangreiches **Monitoring** durchgeführt. Parallel dazu wurde das **Nutzerverhalten** erhoben, um es in der Auswertung den **PHPP Studien (Passivhaus Projektierungspaket PHPP)** gegenüberstellen, und die Ergebnisse besser interpretieren zu können.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Untersuchung lieferte in dieser Deutlichkeit nicht vorher gesehene Resultate und **wertvolle Erkenntnisse**. Sie zeigt unter anderem, dass – besonders in diesem speziellen Fall der **Spitzenlastabdeckung** – immer **Baukörper**, Einbauten zur Bereitstellung von **Heizwärme und Warmwasser**, sowie AnwenderInnen bzw. **NutzerInnen** als „**Gesamtsystem**“ zu beurteilen sind. Nur dann können sinnvolle Aussagen getroffen, bzw. sinnvolle Schlüsse gezogen werden. Es wird deutlich, unter welchen **Voraussetzungen die gewonnenen Erkenntnisse für Niedrigenergiehäuser** nutzbar gemacht werden können,

bzw. welche weiteren Konzepte dafür zu untersuchen sind. Dadurch wurde das Risiko der Erstanwendung abgemildert. Die Aussagen sind **nun fundiert und belastbar** und zur Verbreitung in der Branche geeignet. Weitere experimentelle Entwicklung kann darauf aufbauen.

Die für **Passivhäuser** entwickelte Technologie kann unter bestimmten **Voraussetzungen** auch in **Niedrigenergiehäusern** angewendet werden. Damit geht sogar eine Steigerung der Wohnqualität einher, da ein **individuelles Klima in den Einzelräumen** erleichtert wird. Weiter können dadurch Umwelt- und wirtschaftliche Ziele gleichermaßen erreicht werden. Schon entwickelte **Passivhaustechnik** kann in einem größeren Volumen eingesetzt werden und **einen Beitrag zu leistbarem Wohnen** liefern.

### Erreicht wurden

- Einfaches Haustechnikkonzept für Lüftung, Wärmerückgewinnung, Raumheizung und Warmwasser.
- Reduktion des Mehraufwandes für die Gebäudehülle durch Ausweitung der Einsatzgrenzen bewährter Passivhaustechnik auf ca. 20-25 kWh/m<sup>2</sup>/a.
- Deutlich geringere Investitionskosten im Vergleich zu konventionellen Lösungen (wassergeführte Systeme).
- Gleichwertige oder sogar geringere Energiekosten durch Vermeidung von Speicher- und Verteilverlusten, sowie gezieltem Einsatz von Energie dort und dann, wo und wann sie gebraucht wird (Einzelraumregelung).
- Verringerte Wartungs- und Reparaturkosten durch Reduktion der Anlagenkomponenten.
- Steigerung der Wohnqualität, indem ein individuelles Klima in den Einzelräumen erleichtert wird; erhöhter Komfort durch Strahlungswärme „just in time“ und z.B. kühlem Schlafzimmer nach Bedarf.
- Beitrag zur Erreichung der Umweltziele.

### Ausblick

Monitoring und Rückführung der Erkenntnisse zeigen Voraussetzungen auf, die Technologie erfolgreich einsetzen zu können, sowie welche Punkte im weiteren Einsatz beachtet, bzw. weiter untersucht werden müssen.

- Geeignete Sensorik betreffend Anwesenheit.
- Daraus abgeleitet Optimierung der Regelstrategie.
- Nach Möglichkeit Einhaltung der im Zuge der Untersuchung entwickelten Anwendungsregeln (ohne Komfortverlust möglich, da Missachtung meist nur reine Gewohnheit).

# Abstract

## Starting point/Motivation

The company drexel und weiss gmbh – passive house technology – is producer of **sustainable environment-friendly compact units** comprising heat recovery, heating and domestic hot water possibilities, **suitable for buildings involving passive house standard** (eg. heating energy demand < 10-15 kWh/m<sup>2</sup>/a) as **overall systems**.

Today's buildings **sometimes fail to match passive house requirements** entirely however, due to **cost monitoring** reasons over lifetime typically. Then **compact units** currently cannot be applied (for these so called low energy consuming buildings) in an **economic way**.

## Contents and Objectives

The present study aims to **extend the application boundaries** of compact units towards 20-25 kWh/m<sup>2</sup>/a, to bring the above mentioned technology of comfort ventilation into **low energy consuming buildings** and increase their dissemination therefore. To this end newly developed, **locally placed auxiliary heating systems** to cover **peak loads** are to be evaluated, while basic heating load is still beared by conventional **compact units** as a **central** ventilation system.

It has to be clarified whether under these conditions **distribution losses** can be **minimised** and **energy efficiency** as well as **living quality** will **go up**.

## Methodological approach

To achieve the mentioned goals, **auxiliary heating systems** for three building blocks were selected, specified and dimensioned supported by **simulation of heat flow**, resulting **temperature distribution** and **response times** including **parameter variation** studies due to computational **optimization**. Furthermore development of **control strategies** resp. algorithms and **single room control circuits**, together with build-up of **lab systems** to combine auxiliary heating equipment and comfort ventilation.

**Data** sensing and **recording** equipment was implemented leading to comprehensive **monitoring** and verification of the expected results. **User behaviour** was recorded at the same time, making data comparison (with **phpp studies**) and evaluation possible in an easier way.

## Results

This investigation demonstrates (in its distinctiveness) hardly foreseen results and **valuable findings**. Among others, it shows – especially in this certain case of peak load covering – that in every case an **overall system**, including the **user**, has to be evaluated. Only then reasonable prediction is possible. It can therefore be assumed what we have to take into account when utilising the findings gained for low energy consuming buildings, resp. which kind of investigations are required further.

Passive house technology is suitable in low energy consuming buildings too, under certain conditions. We gain enhanced living quality and are able to achieve economical as well as ecological goals.

### **Achieved**

- Simplified concept of ventilation, heat recovery, room heating and for domestic hot water
- Reduction of financial expenses concerning building envelopes through extension of application boundaries of proven passive house technology towards 20-25 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Distinctly lower financial investment compared to customary (water driven) solutions
- Equal or even lower energy consumption due to avoidance of storage and distribution loss as well as single room control circuits
- Reduced maintenance and repair efforts because of less equipment parts.
- Enhanced living quality due to the possibility of individual climates in every single room and utilizing radiation heat
- Contribution to ecological as well as economic targets

### **Prospects / Suggestions for future research**

Monitoring and feedback of preliminary findings show preconditions to successfully utilise this technology, as well as which items need further attention or investigation.

- Suitable sensor technology to detect presence.
- Deduced optimization of control strategy.
- Compliance with rules developed during this study wherever possible (no loss of comfort, because of only usualness mostly)



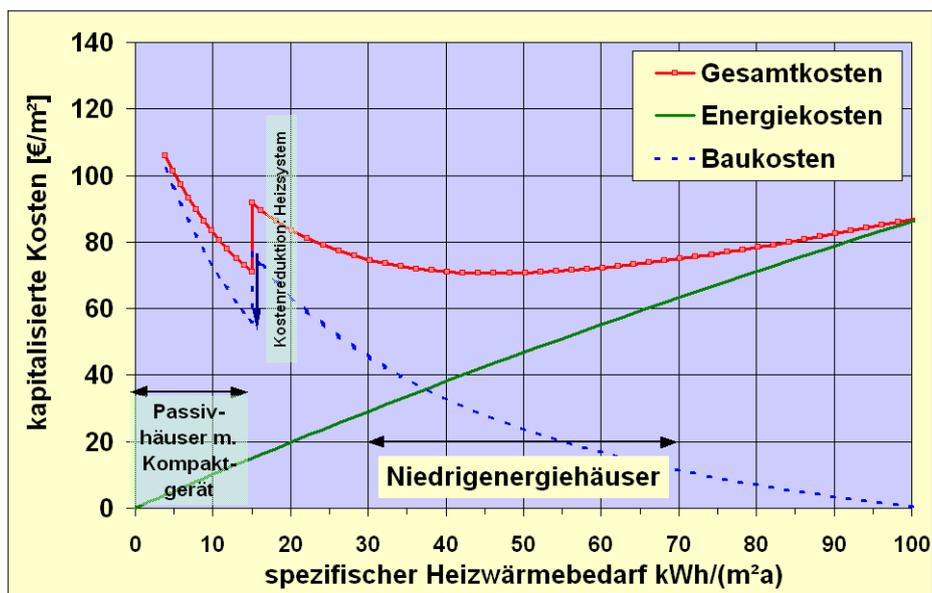
## 1.2 Wirtschaftlichkeit

**Wärmerückgewinnung** gelingt mit Kompaktgeräten aus dem Lieferprogramm der drexel und weiss gmbh, sofern der Heizwärmebedarf des **Baukörpers 15 kWh/m<sup>2</sup>/a** nicht maßgeblich überschreitet.

Eine **Leistungserhöhung** (bzw. Erhöhung der Luftmenge) dieses Systems zur **Erweiterung der Einsatzgrenzen** ist aus folgenden Gründen **nicht möglich**:

- Energiekosten steigen unverhältnismäßig
- Feuchte der Raumluft sinkt inakzeptabel
- Erhöhter Investitionsbedarf (auch durch baulichen Mehraufwand)

Die kompromisslose Einhaltung des Passivhausstandards ist oft mit unverhältnismäßig hohen **Baukosten verbunden, da diese nicht linear, sondern nach einem Potenzgesetz mit dem Heizwärmebedarf verknüpft** sind. Sie wachsen also ebenfalls unverhältnismäßig, wenn der Wärmebedarf wunschgemäß geringer sein soll (Abb. 1.2). Zu Buche schlagen hier in erster Linie die Kosten der Wärmedämmung.



**Abb. 1.2 Baukosten in Abhängigkeit vom spezifischen Heizwärmebedarf nach Dr. Wolfgang Feist, Passive Haus Institut Darmstadt (2006)**

Zwar sind unter 10-15 kWh/m<sup>2</sup>/a stark verminderte Technikkosten anzusetzen, trotzdem ist es **ähnlich attraktiv im Bereich des Niedrigenergiehauses** zu bleiben, höhere Energiekosten in Kauf zu nehmen, jedoch das gebundene Kapital minimal zu halten!

Stand der Technik ist daher, dass der Einsatz der umweltschonenden Kompaktgeräte mit Wärmerückgewinnung auf Wohnbauten nach dem Passivhausstandard beschränkt bleibt!

## 2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

### 2.1 Stand der Technik

Durch die Wärmebereitstellung mittels reiner Luftheizung, wie sie in Bauten nach Passivhausstandard möglich ist, ergeben sich weitere Unterschiede zu herkömmlichen wassergeführten Systemen, die im Zuge dieser Untersuchung ebenfalls adressiert werden.

- Da es sich hauptsächlich um eine Konvektionsheizung handelt, wird bei reiner Luftheizung teilweise der fehlende **Strahlungsanteil** bemängelt.
- Die **individuelle Regelbarkeit** der Einzelraumtemperaturen ist eingeschränkt. Diese ist bis heute nur bei wassergeführten Systemen technischer Stand, wäre jedoch auch bei Lüftung und Wärmerückgewinnung wünschenswert.
- Der Aufheizvorgang ist träge, da unzureichend Leistungsreserven vorhanden sind, die **Luftmenge** kann nicht immer optimal an die **Personenbelegung** angepasst werden.

### 2.2 Zielsetzungen

Diese Untersuchung verifiziert folgerichtig die **Abdeckung von Grund- und Spitzenanforderung** des Heizwärmebedarfs durch **zwei** (unterschiedliche) **Systeme**. Die Grundanforderung soll durch Passivhaustechnik gedeckt werden. Eine schnell reagierende Zusatzheizung soll **Spitzenwärme exakt dort bereitstellen, wo sie gebraucht wird**.

Im Zuge dieser Sondierung wurden Konzepte, betreffend die **technische Auslegung von Zusatzheizungen, sowie deren Einbindung in herkömmliche Regelkreise**, durch Erweiterung um eine intelligente **Einzelraumregelung**, erarbeitet und verifiziert. Mittels Einsatz intelligenter Haustechnik **wurde versuchsweise die technologische Basis des Niedrigenergiehauses weiterentwickelt, und eine wirtschaftlich- und umweltrelevante Effizienzsteigerung** erreicht.

Die Planung des Projektes wurde eng abgestimmt, bzw. verlief konform mit den Stadien der baulichen Ausführungen **dreier Wohneinheiten/Baukörpern** die vom Wärmeenergiebedarf im relevanten Bereich (des Niedrigenergiehauses) liegen, sodass das **Vorhaben kostengünstig verifiziert werden konnte**.

## 2.3 Zusatznutzen

Ziel war ebenso die in Abschnitt 2.1 gelisteten Diskussionspunkte mit dem gewählten Ansatz einer Lösung zuzuführen.

- Der nicht ausreichend vorhandene **Strahlungsanteil** sollte durch die Zusatzeinrichtungen **verstärkt** werden.
- Die räumlich (und zeitlich) relativ gleichmäßige Temperaturverteilung sollte durch die neue **Einzelraumregelung** entschärft, die eingeschränkte individuelle Regelbarkeit durch eine neue Regelstrategie erweitert werden.
- Der Trägheit des Aufheizvorganges sollte durch das schneller reagierende Zweitsystem entgegengewirkt werden. Damit sollte die Anpassung an die Personenbelegung optimiert werden.

**Die Grundtemperierung wurde auf den kühlfsten Raum abgestimmt** (z.B. Schlafzimmer mit 19°C). Dann konnte die notwendige **Luftmenge** (um die notwendige Heizenergie einzubringen) auch in Kälteperioden **klein gehalten** werden, wenn niemand anwesend ist. **Spitzenlasten** sollten durch das Zweitsystem **nur bei Anforderung** abgedeckt werden. Die **Effizienz sollte gesteigert**, ein **Austrocknen** der Raumluft vermieden werden.

## 3 Ergebnisse des Projektes

Die Arbeiten wurden in vier Paketen: Konzeption, Haustechnik, Verifikation und Dokumentation durchgeführt.

### 3.1 Arbeitspaket 1 – Konzeption

#### 3.1.1 Ziele und Inhalte

Ziele der Konzeptphase waren neben Projektdetailplanung und fachlichen Recherchen folgende:

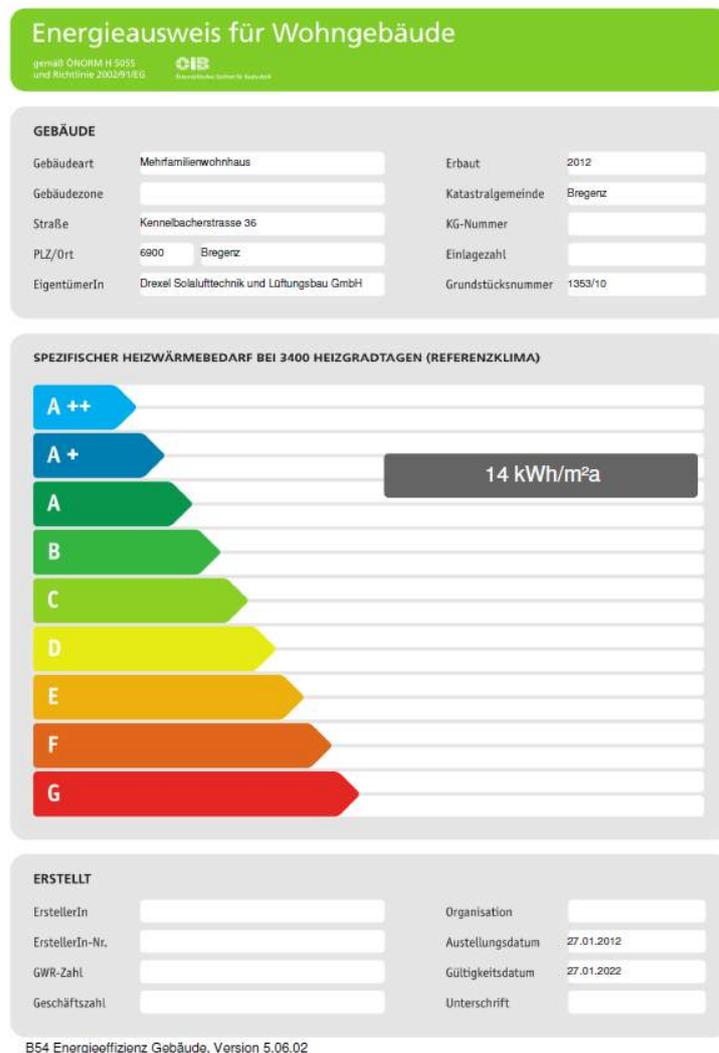
- Auslegung der Kompakteinheiten mit Wärmerückgewinnung.
- Abklärung der Anforderung und Auswahl der zusätzlichen Wärmebereitstellungstechnologie.
- Planung der Platzierung der Zusatzeinrichtungen und Spezifikation.

Inhalt war die Erstellung eines Gesamtkonzeptes inklusive Grundlast- und Spitzenlastabdeckung, konkret:

- Berechnung des Wärmebedarfs.
- Detailplanung unter Berücksichtigung der baulichen Gegebenheiten (s. Anhang).
- Entwicklung eines geeigneten Modells als Simulationsbasis.
- Rechnergestützte Simulation der Wärmeströme, Temperaturverteilung und Reaktionszeiten.
- Optimierung durch Parameterstudien.

In der Konzeptionsphase war eine **angepasste QFD (Qualitätsfunktionendarstellung)** vorgesehen. Normalerweise ein Qualitätssicherungsinstrument, das die Funktionen eines Produktes in Einklang mit den Wünschen der KundInnen bringen soll. Hier wurde unter diesem Titel das **Verhalten der NutzerInnen in die Untersuchung miteinbezogen** (s. auch Abschnitt 4.2), das ja als Ausdruck des „Kundenwunsches“ interpretiert werden kann (daher angepasst).

Wobei die Projektergebnisse wieder in zukünftige Konzeptionsarbeiten zurückwirken, wie in Abschnitt 4.4 genauer ausgeführt wird.



**Abb. 3.1 Energieausweis der Wohneinheit Nord im Testgebäude (stellvertretend)**

### **Auslegung Kompaktgerät mit Wärmerückgewinnung**

Die Komfortlüftung wurde auf Grundlage der Energieausweise (Abb. 3.1) für die drei zur Verifikation zur Verfügung stehenden Baukörper (süd/mitte/nord-orientierte Reihenhäuser) ausgelegt (Abb. 3.3 bis Abb. 3.5).

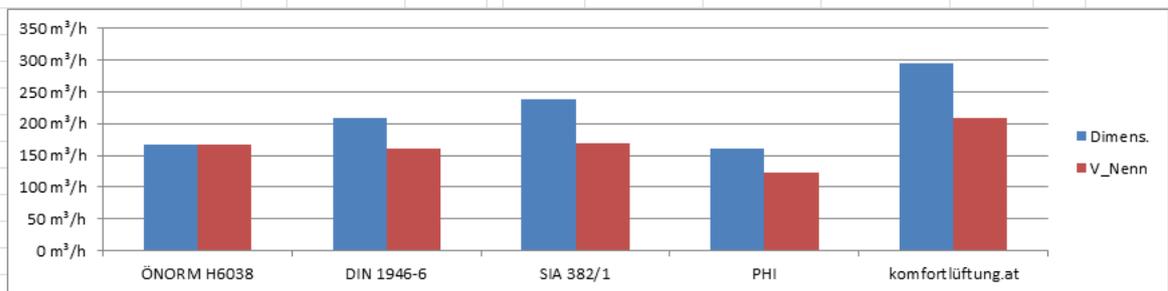
Gewählt wurde ein drexel und weiss aerosmart M mit den Komponenten Lüftungsmodul mit Wärmerückgewinnung, Kleinstwärmepumpe für Luft- u. Brauchwassererwärmung und Brauchwasserspeicher.

#### **Techn. Daten:**

- Luftmenge: 80 - 235 m³/h
- Thermische Nennleistung: 1300 W
- Wärmebereitstellungsgrad: 78%
- Abmessungen: B/T/H mm 600/600/2053
- Angebauter Lüftungswürfel: B/T/H mm 600/600/700
- Prüfzertifikat: Fraunhoferinstitut ISE, Freiburg PHI Zertifikat

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Anzahl Personen                | 4   |
| Nutzfläche                     | 139 |
| Raumhöhe                       | 2,4 |
| Anzahl Küchen                  | 1   |
| Anzahl Bäder (auch inkl. WC)   | 2   |
| Anzahl WC sep.                 | 1   |
| Anzahl Abstellraum             | 0   |
| Küche eigener Raum (0/1)       | 0   |
| Anzahl Wohnzimmer              | 1   |
| Anzahl Schlafzimmer 2 Personen | 1   |
| Anzahl Schlafzimmer 1 Person   | 2   |
| Anzahl Arbeitszimmer / Büro    | 2   |

|                   |          |                     |             |             |               |          | (Stufe 2) |          |
|-------------------|----------|---------------------|-------------|-------------|---------------|----------|-----------|----------|
| Auslegung         | Personen | Luftwechsel         | Zulufträume | Ablufträume | Ergebnis ist  | Dimens.  | V_Nenn    |          |
| ÖNORM H6038       | 144 m³/h | 167 m³/h » 0,50 1/h |             | 140 m³/h    | max.          | 167 m³/h | 4%        | 167 m³/h |
| DIN 1946-6        |          | 161 m³/h » 0,48 1/h |             |             | Nenn --> +30% | 209 m³/h | 30%       | 161 m³/h |
| SIA 382/1         |          |                     | 170 m³/h    | 140 m³/h    | Nenn --> +40% | 238 m³/h | 49%       | 170 m³/h |
| PHI               | 120 m³/h | 104 m³/h » 0,31 1/h |             | 160 m³/h    | max.          | 160 m³/h | 0%        | 123 m³/h |
| komfortlüftung.at | 144 m³/h | 167 m³/h » 0,50 1/h | 210 m³/h    |             | Nenn --> +40% | 294 m³/h | 84%       | 210 m³/h |



| Anzahl Personen:                                     |                     | 4          |        | Betriebsvolumenstrom (Stufe 2): |             |            |           |                | Mindestluftmengen [m³/h] - nach |          |                  |          | gewählt: |  |
|--|---------------------|------------|--------|---------------------------------|-------------|------------|-----------|----------------|---------------------------------|----------|------------------|----------|----------|--|
| Raumnummer   | Raumbezeichnung     | Größe [m²] | RH [m] | ÖNORM H6038                     | DIN 1946    | SIA 382/1  | PHI       | Empfehlung d+w | Zuluft                          | Abluft   | L <sub>w</sub> : |          |          |  |
| 1  | Bad (auch inkl. WC) | Abluft     | 4      | 2,4                             | 40          | 45         | 40        | 31             | 0                               | 40       | 4,17 1/h         |          |          |  |
| 2  | Schlafzimmer 2P     | Zuluft     | 33     | 2,4                             | 0           | 0          | 0         | 0              | 40                              | 40       | 0,51 1/h         |          |          |  |
| 3  | Arbeitsraum / Büro  | Zuluft     | 23     | 2,4                             | 0           | 0          | 0         | 0              | 0                               | 20       | 0,36 1/h         |          |          |  |
| 4  | Bad (auch inkl. WC) | Abluft     | 8      | 2,4                             | 40          | 45         | 40        | 31             | 0                               | 40       | 2,08 1/h         |          |          |  |
| 5  | Schlafzimmer 1P     | Zuluft     | 11     | 2,4                             | 0           | 0          | 0         | 0              | 20                              | 20       | 0,76 1/h         |          |          |  |
| 6  | Schlafzimmer 1P     | Zuluft     | 16     | 2,4                             | 0           | 0          | 0         | 0              | 20                              | 20       | 0,52 1/h         |          |          |  |
| 7  | WC sep.             | Abluft     | 2      | 2,4                             | 20          | 25         | 20        | 15             | 0                               | 20       | 4,17 1/h         |          |          |  |
| 8  | Küche               | Abluft     | 9      | 2,4                             | 40          | 45         | 40        | 46             | 0                               | 40       | 1,85 1/h         |          |          |  |
| 9  | Wohnzimmer          | Zuluft     | 33     | 2,4                             | 0           | 0          | 0         | 0              | 40                              | 40       | 0,51 1/h         |          |          |  |
| -  |                     |            |        |                                 |             |            |           |                |                                 |          |                  |          |          |  |
| SUMME  |                     |            | 139 m² | 2,40 m                          | 140 m³/h    | 160 m³/h   | 140 m³/h  | 123 m³/h       |                                 | 140 m³/h | 140 m³/h         | 0,42 1/h |          |  |
|  |                     |            |        |                                 | ÖNORM H6038 | DIN 1946-6 | SIA 382/1 | PHI            | d+w                             |          |                  |          |          |  |
| Betriebsvolumenstrom (Stufe 2) nach jeweiliger Norm: |                     |            |        |                                 | 167 m³/h    | 161 m³/h   | 150 m³/h  | 123 m³/h       | 140 m³/h                        | 140 m³/h |                  |          |          |  |

**Abb. 3.2 Luftmengen dimensionierung nach verschiedenen Normen und Luftmenge raumspezifisch aufgeteilt**

Die Dimensionierung der Luftmengen erfolgt je nach Land und Region nach verschiedenen Kriterien. Neben der Personenanzahl wird das Raumvolumen herangezogen, aber auch die Anzahl von Zu- und/oder Ablufträumen. Je nach Methode handelt es sich beim Ergebnis um die maximale Luftmenge (für die Dimensionierung maßgeblich), oder die Nennluftmenge (auch Betriebsvolumenstrom).

Oft unterscheiden sich die nationalen Normen nur unwesentlich, während die privaten Institutionen sowohl nach unten (PHI), als auch nach oben (www.komfortlüftung.at) ausschlagen.

### Zusatzeinrichtungen (Platzierung s. Abb. 3.4)

Die Baukörper entsprechen bzgl. Heizwärmebedarf einem **guten Niedrigenergiehaus**. Spitzenabdeckung kann hier von der Lüftung gerade **nicht mehr wirtschaftlich** mit vernünftiger Luftmenge geleistet werden. Als schnell reagierende zusätzliche Heizung zur Abdeckung von **Spitzenlasten** werden daher **Infrarotpaneele** mit einer Leistung von **400 W** in den Dimensionen 1500x300x30 mm eingesetzt. Sie haben ein Gewicht von ca. 8 kg und werden **wohnraumspezifisch** an Decke oder Wand montiert.

Auslegung der Zusatzeinrichtungen nach der **Differenz zur Wärmebereitstellung durch die Lüftung** in folgender Tabelle 3.1.

| Raum                      | WNF            | Heizlast max spez | Heizlast max | Luftmenge         | Heizleistung Zuluft | Zusatzleistung erf. | Panel       | Reserve     |
|---------------------------|----------------|-------------------|--------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------|-------------|
|                           | m <sup>2</sup> | W/m <sup>2</sup>  | W            | m <sup>3</sup> /h | W                   | W                   | W           | W           |
| Küche / Essen / Wohnen OG | 47             | 20                | 940          | 40                | 280                 | 660                 | 890         | 230         |
| Zimmer Ost EG             | 10             | 15                | 150          | 15                | 69                  | 81                  | 400         | 319         |
| Bad                       | 8              | 25                | 200          | 0                 | 0                   | 200                 | 890         | 690         |
| Zimmer Nord EG            | 16             | 15                | 240          | 30                | 139                 | 101                 | 400         | 299         |
| Zimmer Süd EG             | 11             | 15                | 165          | 15                | 69                  | 96                  | 400         | 304         |
| Flur / Entree EG          | 13             | 10                | 130          | 0                 | 0                   | 130                 | 400         | 270         |
| UG                        | 39             | 20                | 780          | 40                | 185                 | 595                 | 1430        | 835         |
| <b>Summe</b>              | <b>144</b>     |                   | <b>2605</b>  | <b>140</b>        | <b>742</b>          | <b>1863</b>         | <b>4810</b> | <b>2947</b> |

**Tabelle 3.1 Auslegung der Zusatzheizung**

Damit kann jede gewünschte Temperaturanforderung schnell erfüllt werden, und zwar auch in normalerweise höher temperierten Räumen, wie dem Badezimmer.

### Basisdaten für Simulation und Optimierung

Als Grundlage für die **Simulation** der Wärmeströme, Temperaturverteilung und Reaktionszeiten, sowie zur Beurteilung des Strahlungsanteiles wurden für die einzelnen Räume folgende Anfangs-Sollwerte vorgegeben:

- Kinder: 0:00 bis 13:00 20°C; 13:00 bis 16:00 22°C; 16:00 bis 23:59 20°C
- Eltern: 0:00 bis 23:59 19°C
- Bad: 0:00 bis 06:00 21°C; 06:00 bis 08:00 24°C; 08:00 bis 21:00 21°C; 21:00 bis 23:59 24°C
- Wohnen: 0:00 bis 06:00 20°C; 06:00 bis 23:59 22°C

**Die Regelstrategie wird als Teil des folgenden Arbeitspakets beschrieben.**

## 3.2 Arbeitspaket 2 – Haustechnik

### 3.2.1 Ziele und Inhalte

Die Ziele des Arbeitspakets Haustechnik waren einerseits geprägt von der **Entwicklung einer Regelstrategie** auf Grundlage und parallel zu den Erkenntnissen aus der Simulation, andererseits wurden hier schon die **Verifikationssysteme** unter Berücksichtigung der **Ergebnisse der Konzeptphase** und der baulichen Gegebenheiten aufgebaut. Diese Arbeiten konnten wie geplant, großteils unabhängig durchgeführt werden.

Inhalte:

- Simulation und Parameterstudien zur Optimierung.
- Entwicklung und softwaretechnische Implementierung einer Regelstrategie, die das Zusammenspiel der beiden Wärmebereitstellungssysteme bewerkstelligt. Berücksichtigt werden u.a. Regelstabilität, Effizienz und Bedienphilosophie bzgl. Reaktionszeiten. Mikroprozessor-Programmierung (Hochsprache)
- Aufbau der zusätzlichen Wärmebereitstellung (Strahlungspaneel) in den vorgesehenen Baukörpern (Niedrigenergiehaus) nach der erstellten Planung (Abb. 3.4).
- Aufbau der Verifikationssysteme inkl. Datenerfassung.

Die folgenden Abbildungen (Abb. 3.3 Abb. 3.3bis Abb. 3.5) zeigen im Überblick die zu Verifikationszwecken zur Verfügung stehenden Baukörper und Einrichtungen.



**Abb. 3.3 Die drei für das Monitoring zur Verfügung gestellten Wohneinheiten**



**Abb. 3.4 Infrarot-Paneele zur Spitzenabdeckung an Decke und Wand Installiert**



Abb. 3.5 Komfortlüftung mit Kleinstwärmepumpe zur Grundlastabdeckung

### Regelungskonzept als Basis für die Simulation

Hier wurden die Eckdaten des Regelkonzeptes zusammenfassend dargestellt. Die softwaretechnische Implementierung auch bzgl. Datenerfassung wurde im Anschluss gesondert angeführt.

- Die drei jeweils **dreigeschossigen Reihenhäuser** werden in **je 6 Zonen** eingeteilt.
- Die Luftmenge des aktiven Heizsystems zur Bereitstellung der Grundversorgung kann mit  $140 \text{ m}^3/\text{h}$  konstant angenommen werden. Aufgeteilt auf:
  - Wohnzimmer:  $40 \text{ m}^3/\text{h}$
  - Schlafzimmer (UG):  $40 \text{ m}^3/\text{h}$
  - 2x Kinderzimmer: je  $30 \text{ m}^3/\text{h}$

Temperaturüberhang der Zuluft im Heizbetrieb konstant  $35^\circ\text{C}$ .

- Regelung der zentralen Wärmepumpe (WP) passiert **abhängig von der Abweichung** der mittleren Werte (über alle Zonen) von Raum Ist- und Solltemperaturen.
- Je **ein dezentrales Element** (Strahlungspaneel,  $400 \text{ W}$  elektrisch) **pro Zone** mittig an der Decke. Einzelraumregelung mit hinterlegtem Tagesprofil (s. Konzeption, Basisdaten für Simulation und Optimierung). Aktivierung bei Unterschreitung der Solltemperatur um  $0,6^\circ\text{C}$ , Deaktivierung, wenn der Sollwert wieder erreicht ist.

- Regelung der zentralen WP über den mittleren Istwert der Raumtemperatur mit einer **symmetrischen Hysterese von  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$**  um den mittleren Sollwert der Raumtemperatur. WÄRMEPUMPE EIN bedeutet dabei, dass die eingebrachte Zuluftmenge eine Übertemperatur von rd.  $35^{\circ}\text{C}$  zur Raumluft aufweist.

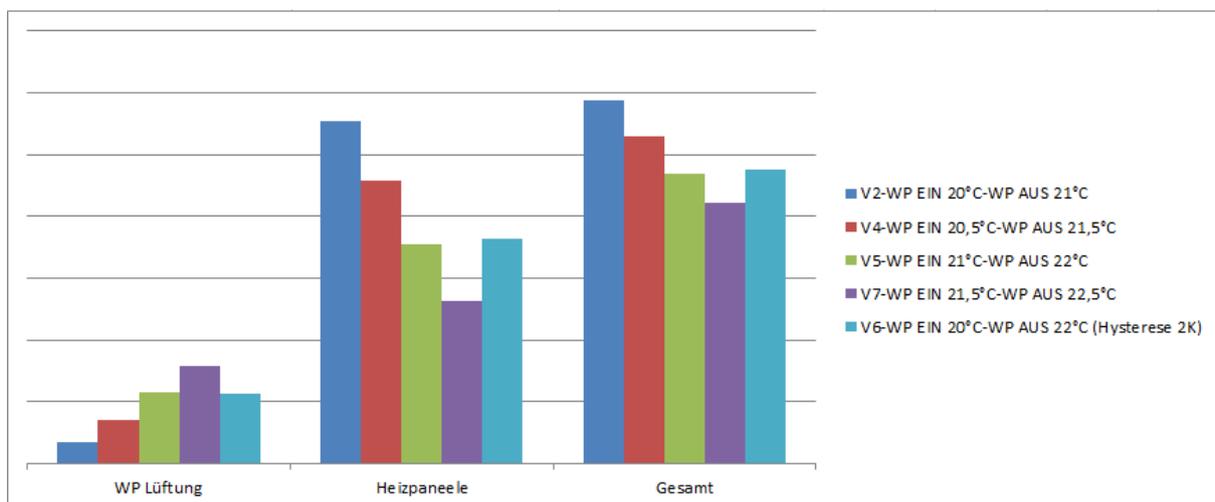
Mit diesen Vorgaben wurden nun die **geplanten Simulationsläufe** durchgeführt, wobei folgende Ergebnisse zu erwarten waren:

- Heizwärmebedarf
- Anteil Wärmepumpe, Anteil Heizpaneele
- Ist-Temperaturverläufe je Zone / vgl. Soll-Profil
- Unterschied Raumluft- und operative Temperatur (exemplarisch für einen Raum)

### Simulation und Optimierung der Regelstrategie

Der Wärmeeintrag der Zuluft Heizung deckte nicht den gesamten Wärmebedarf der einzelnen Räume und war im Verhältnis zu optimieren.

Endergebnisse bzgl. der simulierten Varianten sind in Abb. 3.6 dargestellt. **Verglichen wurde der Bedarf an rein elektrischer Energie** (in beliebigen Einheiten, da hier der relative Gesamtverbrauch als Aussage genügt). **Folgend sind daher die Varianten V5 und V7 zu bevorzugen.**



**Abb. 3.6 Variantenvergleich (V2..V7)  
Bedarf an elektrischer Energie in beliebiger Teilung**

#### Detaillierte Interpretation der Simulationsresultate 1.Teil:

- Die Wärmepumpe (WP) nach dem Mittelwert der Sollwerte der Raumtemperaturen zu regeln ist ungünstig, da die Schlafräume den Sollwert gegen  $20^{\circ}\text{C}$  drücken und dann im Ergebnis (Variante V2) zu nur **2kWh/m<sup>2</sup>/a** WP und inakzeptablen **11kWh/m<sup>2</sup>/a** für die E-Paneele führen.

- An den geringen Raumheizlasten Kinderzimmer und Eltern EG auch an kalten Tagen sieht man, dass es nicht sinnvoll ist, diese Raumsollwerte in eine Sollwert-Mittelwertbildung einfließen zu lassen.
- Die Überwärmungsproblematik der Varianten 5, 6, 7 mit Ausschaltpunkt 22,0 und 22,5 der WP ist in den Schlafräumen nur theoretisch, da im Modell die Zimmertüren immer geschlossen sind, was ja in der Praxis tagsüber meist nicht der Fall ist. Nachts ist das Überwärmungsproblem in diesen Räumen geringer.
- Die Schalthysterese der WP hat mindestens im Simulationsmodell keine Relevanz. Wesentlich ist nur die Ausschalttemperatur der WP. Von der Energieperformance her sind **V5 und V7** mit 1K Hysterese (Modell TAS braucht eine Mindesthysterese von 1K um im Iterationsschritt ein Ergebnis zu erhalten) **zu empfehlen**. Vermutlich ist die Energieperformance aber bei + - 0,3K Hysterese minimal geringer, nur die Laufzeit der WP ist kürzer. Am einfachsten, auch hinsichtlich Übertragbarkeit auf andere Projekte, bietet sich an nach dem Sollwert des Wohnraumes zu regeln, weil er die höchste Solltemperatur tags und nachts hat.
- In der Übergangszeit bei noch Heizbetrieb März und Oktober würde sich wegen tendenziell größerer Überwärmungsgefahr der Schlafräume anbieten, eine flache Abhängigkeit der Ausschalt-Temperatur. Der WP zur Außen-Temperatur zu programmieren.

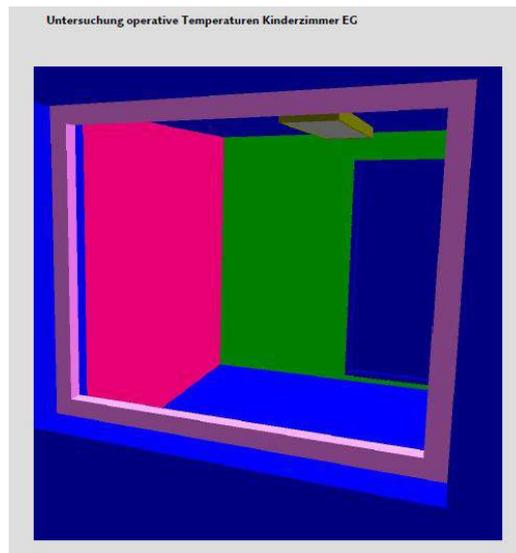
Damit lässt sich nun die **anfangs zu verwendende Regelstrategie festlegen** und in weiterer Folge implementieren, wobei auf **Flexibilität für spätere Optimierungen** zu achten ist.

Im **2. Teil der Simulation** wurde die „empfundene (operative) Temperatur“ anhand des Kinderzimmers untersucht. Damit erhält man eine Aussage über den Anteil der beteiligten **Strahlungswärme**.

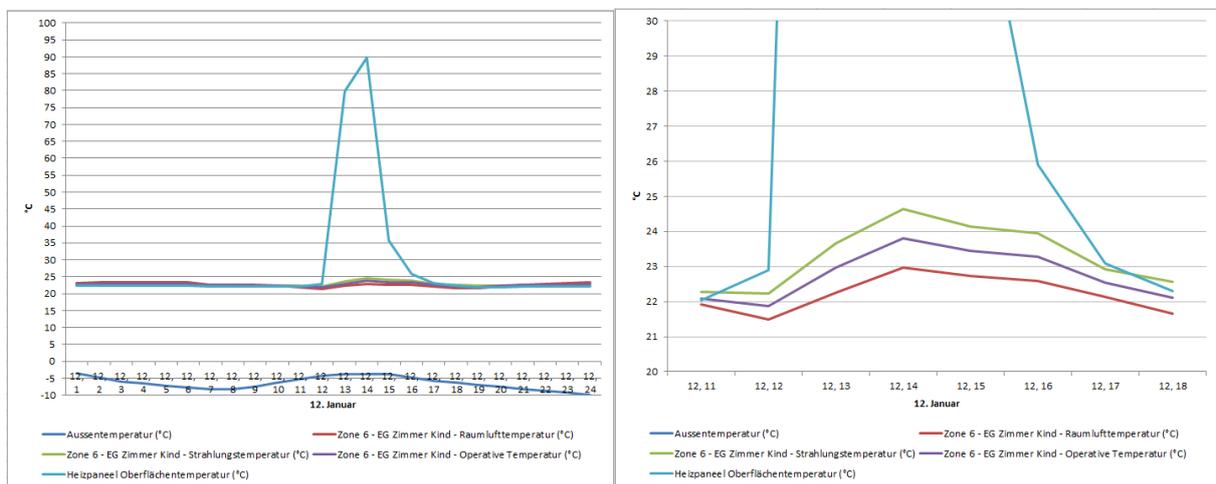
Durch den Strahlungsanteil ergäbe sich bei kurzfristiger Anforderung rasch ein „Wohlfühlklima“ ohne durch höheren Energieaufwand die gesamte Raumluft erwärmen zu müssen. Wunschgrößenordnung wären hier 2-3°C.

Die Erhöhung der empfundenen Temperatur bleibt jedoch unter einem Grad Celsius und ist **damit geringer als erhofft** (Abb. 3.7 und Abb. 3.8).

Das bedeutet, die Frischluftheizung muss um 1-2°C höher eingestellt werden, um den Effekt zu kompensieren.



**Abb. 3.7 Modell zur Thermische Simulation – Zone 6 - EG Kinderzimmer  
(teamgmi Ingenieurbüro Liechtenstein AG)**



**Abb. 3.8 Strahlungswärme durch Infrarot-Panel Gesamtansicht und vergrößert  
(Planungsteam E-Plus GmbH)**

Ausgehend von den bis jetzt erarbeiteten Ergebnissen wurde an dieser Stelle ein **Pflichtenheft für die Regelung** (s. Anhang) entworfen, und die **initiale Regelstrategie** (Korrelation der Infrarot-Paneele mit Zuluftheizung zur optimalen Leistungsabgabe) **implementiert**.

Mit den Verifikationsaufbauten in den Testbaukörpern, **Regelungshardware**, Messfühler, Einzelraumsteuerungsgeräte, Verkabelung, Hard- und Software zur **Datenerfassung** konnten die **Meilensteine dieser Phase erfolgreich abgeschlossen** werden.

### 3.3 Arbeitspaket 3 – Verifikation

Ursprünglich bis 01/14 vorgesehen, wurde die **Verifikationsphase** aufgrund des (in unserer Region untypisch) milden Winters auf 02/14 **verlängert**, um trotzdem eine breite, **aussagekräftige Datenbasis** zu erhalten. Dies bedingte einen geringen **Mehraufwand** in den Personalstunden für die **Datenerfassung, sowie eine kleine zeitliche Verschiebung der Auswertung.**

#### 3.3.1 Ziele und Inhalte

Verifikation der erwarteten Effizienzsteigerung. Zur Beurteilung der erreichbaren Effizienzsteigerung, wurde ein angepasstes **Monitoring** mittels Verifikationsaufbauten im realen Baukörper durchgeführt. Um Ausreißer erkennen zu können, erfolgt die parallele Beurteilung von **drei äquivalenten Einheiten.**

**Aufzeichnung und Überwachung** relevanter Eingangs- und Ausgangsgrößen im Zeitverlauf:

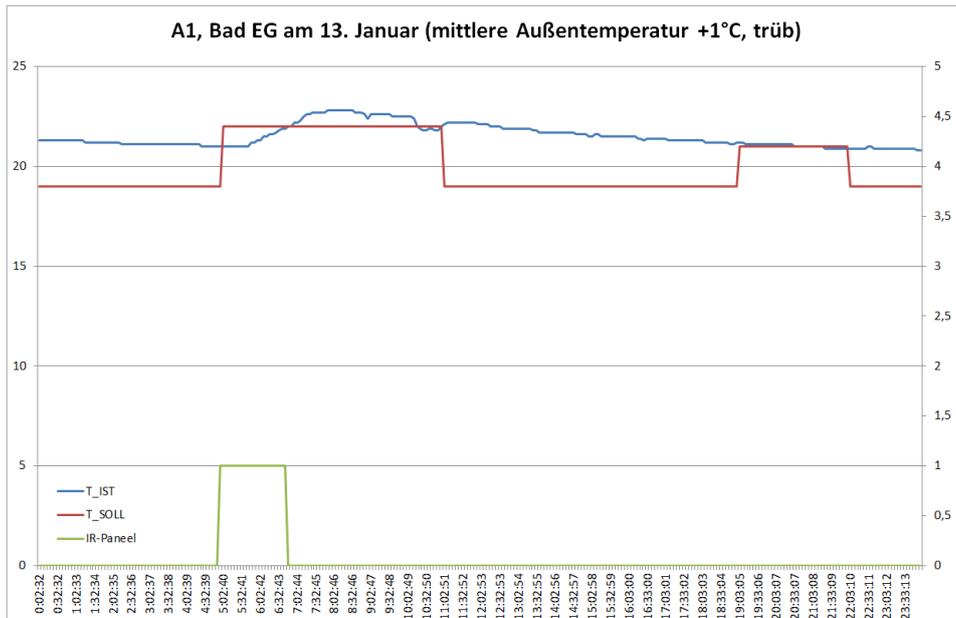
- **Energiekonsum** gesamt und pro Raum
- Aufzeichnung der Außentemperaturen und Raumtemperaturen (alle Räume)
- Innenraum CO<sub>2</sub>

Damit können die Einhaltung der Vorgaben bzgl. Regelverhalten, Stabilität und Reaktionszeiten, sowie **Energieeffizienz** ausgewertet werden. Sodann kann die Rückführung der Erkenntnisse in Konzept und Regelstrategie erfolgen.

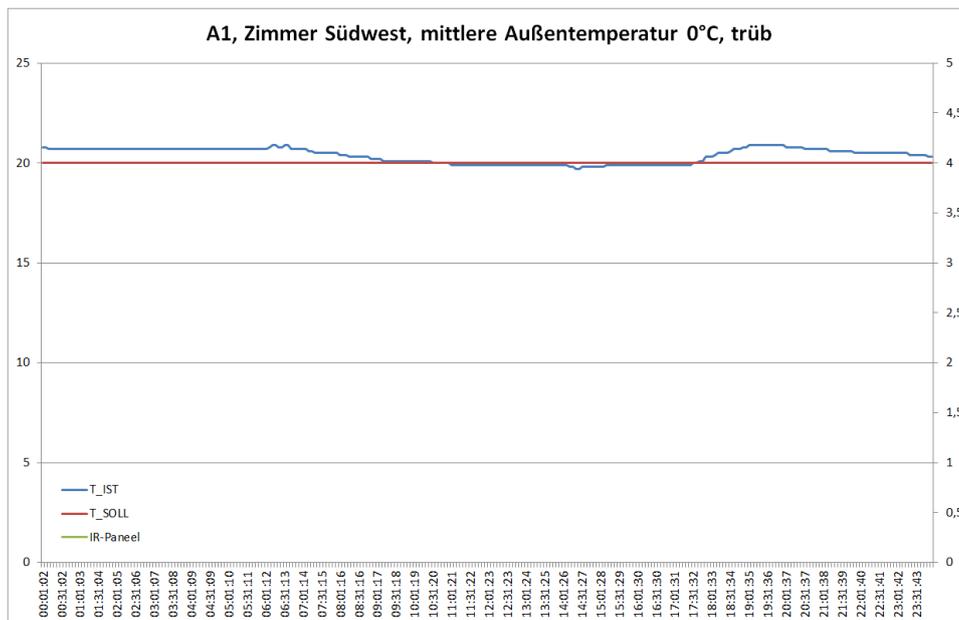
Methode zur Kalkulation des Heizwärmebedarfs sind **umfassende PHPP-Analysen** der drei Wohneinheiten.

#### Auswertung der Messreihen

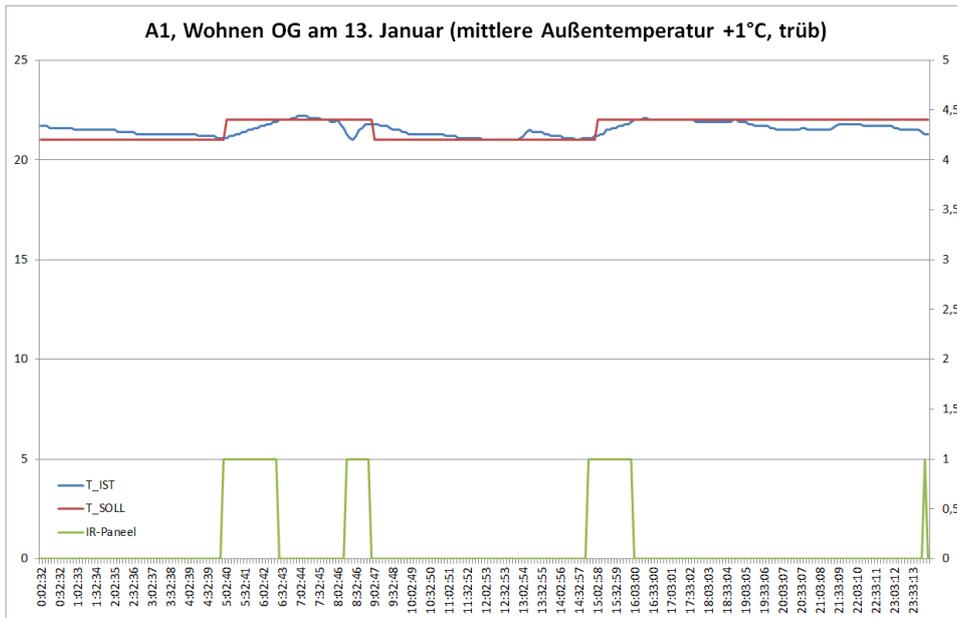
Anhand der folgenden Diagramme werden die **interessanten Ergebnisse auszugsweise** dargestellt, wobei die **jeweilige Zone**, sowie die **erste Interpretation** in der zugehörigen Unterschrift zu finden ist. Die Baukörper werden hier mit **A1, A2, und A3** bezeichnet. **Eingebrachte Heizenergie** aus Volumenströmen, Temperaturdifferenzen und Wärmekapazität der Frischluft, additiv die elektrische Leistung mit Einschaltdauer der Strahlungspaneel, daraus die mittlere Leistung. Genauere Interpretation wieder in Kap. 4.



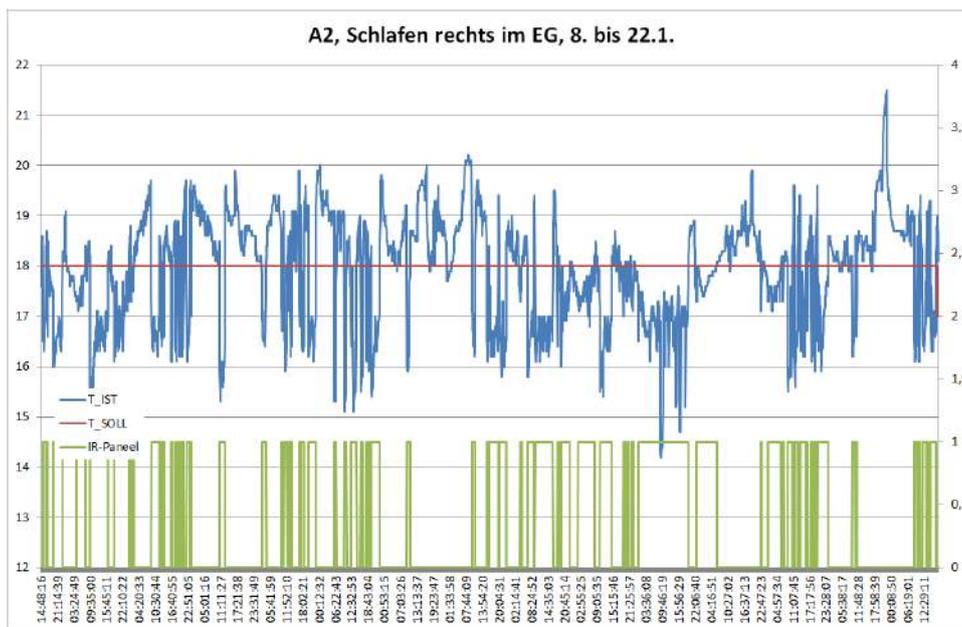
**Abb. 3.9 Einheit A1, Regelzone 4:** Die Aufheizung am Morgen dauert 110 min entsprechend 1,6 kWh und reicht dann für den ganzen Tag. Mittlere Leistung von 7 W/m<sup>2</sup>, genau erwartungsgemäß.



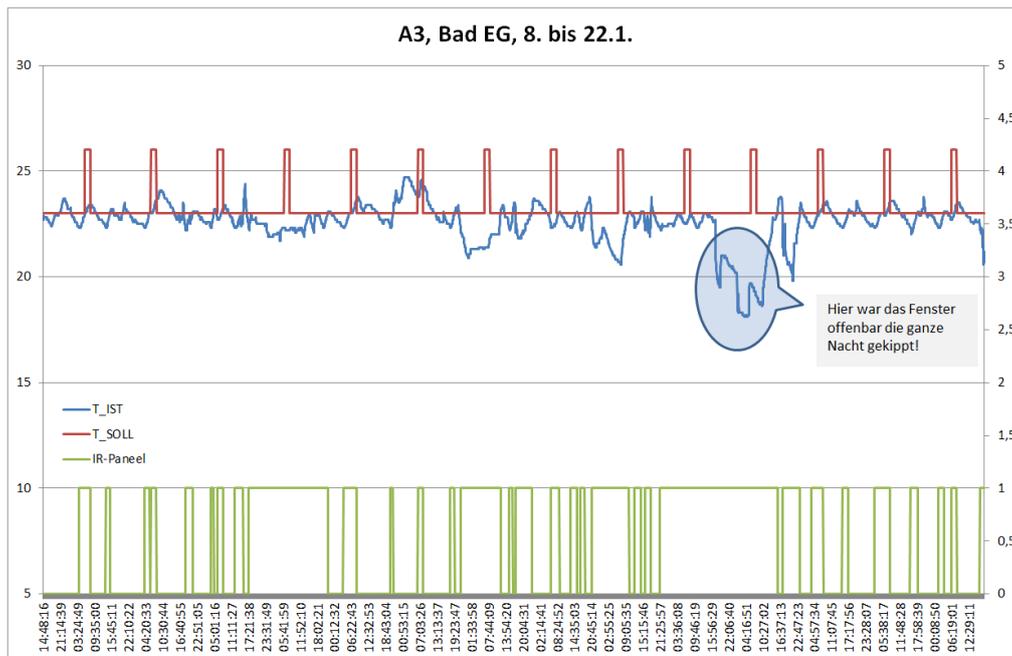
**Abb. 3.10 Einheit A1, Regelzone 5:** Gantags keine Zusatzheizung erforderlich, Frischluftheizung plus interne Gewinne genügen, erwartungsgemäß ca. 7 W/m<sup>2</sup>



**Abb. 3.11 Einheit A1, Regelzone 7:** Zuluft und Paneele leisten zusammen ca. 6 W/m<sup>2</sup>



**Abb. 3.12 Einheit A2, Regelzone 7:** Gekippte Fenster: Obwohl die Mitteltemperatur bei nur 18°C liegt, liefert das Heizpaneel permanent 15 W/m<sup>2</sup>. Das entspräche einem Energieeinsatz von 400 bis 600 kWh im Jahr, alleine für dieses "unbeheizte" Schlafzimmer. Dieses Beispiel liefert wichtige Erkenntnisse.



**Abb. 3.13 Einheit A3, Regelzone 5:** Laufzeit der Paneele 51% ergibt mehr als 50 W/m<sup>2</sup>! Entweder ist das Fenster immer wieder gekippt, oder die Bad Türe zum Gang steht weit offen! Genaue Interpretation ergibt sich zusammen mit der Nutzerbefragung, Abschnitt 4.2.

## PHPP Analysen

Zur Beurteilung des flächenspezifischen **jährlichen Heizwärmebedarfs** (kWh/m<sup>2</sup>/a) wurden für alle Wohneinheiten umfassende PHPP Analysen angestellt.

Hier flossen bauliche Gegebenheiten, **Materialkennzahlen, Region und Lage**, Beurteilung von inneren und **äußeren Grenzflächen**, gewünschte **Innenraumtemperaturen** bis hin zur Beschattung in komplexe Rechenmodelle ein. Die damit berechneten Kennzahlen waren fundiert.

Mit der Wohnnutzfläche ergab sich der theoretische jährliche Heizwärmebedarf, welcher dann in Grundlast (Wärmepumpe) und Spitzenlast (elektrisch) aufgeteilt werden kann. Über die Leistungszahl der Wärmepumpe ließ sich dann auch für die Grundlast der elektrische Anteil angeben. Damit ergab sich der theoretische elektrische Gesamtverbrauch pro Jahr, der den Messwerten gegenübergestellt werden konnte.

Für einen sinnvollen Vergleich mussten in die PHPP Berechnungen die **tatsächlichen Konditionen** eingehen, z.B. Innenraumtemperaturen von 24°C in Top 2 und 3.

Abb. 3.14, Abb. 3.15 und Abb. 3.16 fassen die Ergebnisse soweit wie möglich zusammen. Im Anschluss werden die **Gesamtverbräuche** diskutiert!

|                  |                                |                              |                      |                                      |  |
|------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--|
| Baujahr:         | 2013                           | Innentemperatur Winter:      | 22,0 °C              | Umbautes Vol. $V_e$ m <sup>3</sup> : |  |
| Zahl WE:         | 1                              | Innentemperatur Sommer:      | 25,0 °C              | Mechanische Kühlung:                 |  |
| Personenzahl:    | 4,0                            | Interne Wärmequellen Winter: | 2,1 W/m <sup>2</sup> |                                      |  |
| spez. Kapazität: | 60 Wh/K pro m <sup>2</sup> WFL | dito Sommer:                 | 2,4 W/m <sup>2</sup> |                                      |  |

| Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr |  |                           |                            |           |  |
|---|--|---------------------------|----------------------------|-----------|--|
|   | Energiebezugsfläche  | 143,0 m <sup>2</sup>      | Anforderungen              | Erfüllt?* |  |
| <b>Heizen</b>   | Heizwärmebedarf  | 21 kWh/(m <sup>2</sup> a) | 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)  | nein      |  |
|   | Heizlast   | 12 W/m <sup>2</sup>       | 10 W/m <sup>2</sup>        | nein      |  |
| <b>Kühlen</b>   | Kühlbedarf gesamt  | kWh/(m <sup>2</sup> a)    | -                          | -         |  |
|   | Kühllast   | W/m <sup>2</sup>          | -                          | -         |  |
|   | Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C)                                 | 3,3 %                     | -                          | -         |  |
| <b>Primärenergie</b>  | Heizen, Kühlen, Entfeuchten, WW, Hilfsstrom, Licht, elektr. Geräte | kWh/(m <sup>2</sup> a)    | 120 kWh/(m <sup>2</sup> a) |           |  |
|   | WW, Heizung und Hilfsstrom   | kWh/(m <sup>2</sup> a)    | -                          | -         |  |
|   | PE-Einsparung durch solar erzeugten Strom                          | kWh/(m <sup>2</sup> a)    | -                          | -         |  |
| <b>Luftdichtheit</b>  | Drucktest-Luftwechsel n <sub>50</sub>                              | 0,5 1/h                   | 0,6 1/h                    | ja        |  |

\* leeres Feld: Daten fehlen; '-': keine Anforderung

Abb. 3.14 Zusammenfassung PHPP Top 1. Tatsächliche Innenraumtemperatur 22°C

|                  |                                |                              |                      |                                      |  |
|------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--|
| Baujahr:         | 2013                           | Innentemperatur Winter:      | 24,0 °C              | Umbautes Vol. $V_e$ m <sup>3</sup> : |  |
| Zahl WE:         | 1                              | Innentemperatur Sommer:      | 25,0 °C              | Mechanische Kühlung:                 |  |
| Personenzahl:    | 4,0                            | Interne Wärmequellen Winter: | 2,1 W/m <sup>2</sup> |                                      |  |
| spez. Kapazität: | 60 Wh/K pro m <sup>2</sup> WFL | dito Sommer:                 | 2,4 W/m <sup>2</sup> |                                      |  |

| Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr |  |                           |                            |           |  |
|---|--|---------------------------|----------------------------|-----------|--|
|   | Energiebezugsfläche  | 142,0 m <sup>2</sup>      | Anforderungen              | Erfüllt?* |  |
| <b>Heizen</b>   | Heizwärmebedarf  | 20 kWh/(m <sup>2</sup> a) | 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)  | nein      |  |
|   | Heizlast   | 11 W/m <sup>2</sup>       | 10 W/m <sup>2</sup>        | nein      |  |
| <b>Kühlen</b>   | Kühlbedarf gesamt  | kWh/(m <sup>2</sup> a)    | -                          | -         |  |
|   | Kühllast   | W/m <sup>2</sup>          | -                          | -         |  |
|   | Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C)                                 | 13,2 %                    | -                          | -         |  |
| <b>Primärenergie</b>  | Heizen, Kühlen, Entfeuchten, WW, Hilfsstrom, Licht, elektr. Geräte | kWh/(m <sup>2</sup> a)    | 120 kWh/(m <sup>2</sup> a) |           |  |
|   | WW, Heizung und Hilfsstrom   | kWh/(m <sup>2</sup> a)    | -                          | -         |  |
|   | PE-Einsparung durch solar erzeugten Strom                          | kWh/(m <sup>2</sup> a)    | -                          | -         |  |
| <b>Luftdichtheit</b>  | Drucktest-Luftwechsel n <sub>50</sub>                              | 0,5 1/h                   | 0,6 1/h                    | ja        |  |

\* leeres Feld: Daten fehlen; '-': keine Anforderung

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Passivhaus? | <input type="checkbox"/> |
|-------------|--------------------------|

Abb. 3.15 Zusammenfassung PHPP Top 2. Tatsächliche Innenraumtemperatur 24°C

|                  |      |                              |              |                  |                                      |  |
|------------------|------|------------------------------|--------------|------------------|--------------------------------------|--|
| Baujahr:         | 2013 | Innentemperatur Winter:      | 24,0         | °C               | Umbautes Vol. $V_e$ m <sup>3</sup> : |  |
| Zahl WE:         | 1    | Innentemperatur Sommer:      | 25,0         | °C               | Mechanische Kühlung:                 |  |
| Personenzahl:    | 4,0  | Interne Wärmequellen Winter: | 2,1          | W/m <sup>2</sup> |                                      |  |
| spez. Kapazität: | 60   | Wh/K pro m <sup>2</sup> WFL  | dito Sommer: | 2,4              | W/m <sup>2</sup>                     |  |

| Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr |  |       |                        |                            |           |  |
|---|--|-------|------------------------|----------------------------|-----------|--|
|   |  |       |                        | Anforderungen              | Erfüllt?* |  |
|   | Energiebezugsfläche  | 143,0 | m <sup>2</sup>         |                            |           |  |
| <b>Heizen</b>   | Heizwärmebedarf  | 32    | kWh/(m <sup>2</sup> a) | 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)  | nein      |  |
|   | Heizlast   | 15    | W/m <sup>2</sup>       | 10 W/m <sup>2</sup>        | nein      |  |
| <b>Kühlen</b>   | Kühlbedarf gesamt  |       | kWh/(m <sup>2</sup> a) | -                          | -         |  |
|   | Kühllast   |       | W/m <sup>2</sup>       | -                          | -         |  |
|   | Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C)                                 | 1,5   | %                      | -                          | -         |  |
| <b>Primärenergie</b>  | Heizen, Kühlen, Entfeuchten, WW, Hilfsstrom, Licht, elektr. Geräte |       | kWh/(m <sup>2</sup> a) | 120 kWh/(m <sup>2</sup> a) |           |  |
|   | WW, Heizung und Hilfsstrom   |       | kWh/(m <sup>2</sup> a) | -                          | -         |  |
|   | PE-Einsparung durch solar erzeugten Strom                          |       | kWh/(m <sup>2</sup> a) | -                          | -         |  |
| <b>Luftdichtheit</b>  | Drucktest-Luftwechsel $n_{50}$                                     | 0,5   | 1/h                    | 0,6 1/h                    | ja        |  |

\* leeres Feld: Daten fehlen; -: keine Anforderung

Abb. 3.16 Zusammenfassung PHPP Top 3. Tatsächliche Innenraumtemperatur 24°C

### Gesamtverbrauch Top 1

Der tatsächliche Heizwärmeverbrauch betrug 32 statt 21 kWh/m<sup>2</sup>/a (22°C). Die Differenz war hier Großteils auf die Verschattung (ca. 50%) zurückzuführen (Mehrverbrauch 8 kWh/m<sup>2</sup>/a), sowie auf zusätzliche Verluste durch Fensterlüften (ca. 3 kWh/m<sup>2</sup>/a, entsprechend einem mittleren Luftwechsel von 17 m<sup>3</sup>/h).

- Heizwärmebedarf nach PHPP 20°C: 16 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Heizwärmebedarf nach PHPP 22°C: 20 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Heizwärmebedarf gemessen (ca. 22°C): 32 kWh/m<sup>2</sup>/a
  - Beschattung meist auf „horizontal“ eingestellt – rechnerisch 8 kWh/m<sup>2</sup>/a
  - Fensterlüftung vernachlässigbar – rechnerisch 3 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Stromverbrauch (Heizung, Warmwasser, Lüftung): 3800 kWh/a
- anteiliger PV-Ertrag: 4000 kWh/a

### Gesamtverbrauch Top 2

Der tatsächliche Heizwärmeverbrauch betrug 41 statt 20 kWh/m<sup>2</sup>/a (24°C). Die Differenz war hier auf das hohe Maß an Fensterlüftung zurückzuführen, der Mehrverbrauch betrug 21 kWh/m<sup>2</sup>/a. Vgl. dazu auch die Auswertung des Lüftverhaltens Abb. 4.2 (der Mehrverbrauch entsprach einem mittleren Luftwechsel von ca. 100 m<sup>3</sup>/h).

- Heizwärmebedarf nach PHPP 20°C: 12 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Heizwärmebedarf nach PHPP 24°C: 20 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Heizwärmebedarf gemessen (ca. 24°C): 41 kWh/m<sup>2</sup>/a
  - Fensterlüftung **100 m<sup>3</sup>/h!** – rechnerisch 20 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Stromverbrauch (Heizung, Warmwasser, Lüftung): 10700 kWh/a
- anteiliger PV-Ertrag: 4000 kWh/a

### Gesamtverbrauch Top 3

Der tatsächliche Heizwärmeverbrauch betrug 53 statt 33 kWh/m<sup>2</sup>a (24°C).

Die Differenz war auch hier auf das hohe Maß an Fensterlüftung zurückzuführen, vgl. Top 2.

- Heizwärmebedarf nach PHPP 20°C: 20 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Heizwärmebedarf nach PHPP 24°C: 33 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Heizwärmebedarf gemessen (ca. 24°C): 53 kWh/m<sup>2</sup>/a
  - Fensterlüftung **100 m<sup>3</sup>/h!** – rechnerisch **20 kWh/m<sup>2</sup>/a**
- Stromverbrauch (Heizung, Warmwasser, Lüftung): 8700 kWh/a
- anteiliger PV-Ertrag: 4000 kWh/a

**Zur abschließenden Beurteilung wurden die Verbräuche in Abb. 4.1 für alle Einheiten aufgeschlüsselt und gegenübergestellt.**

## 4 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

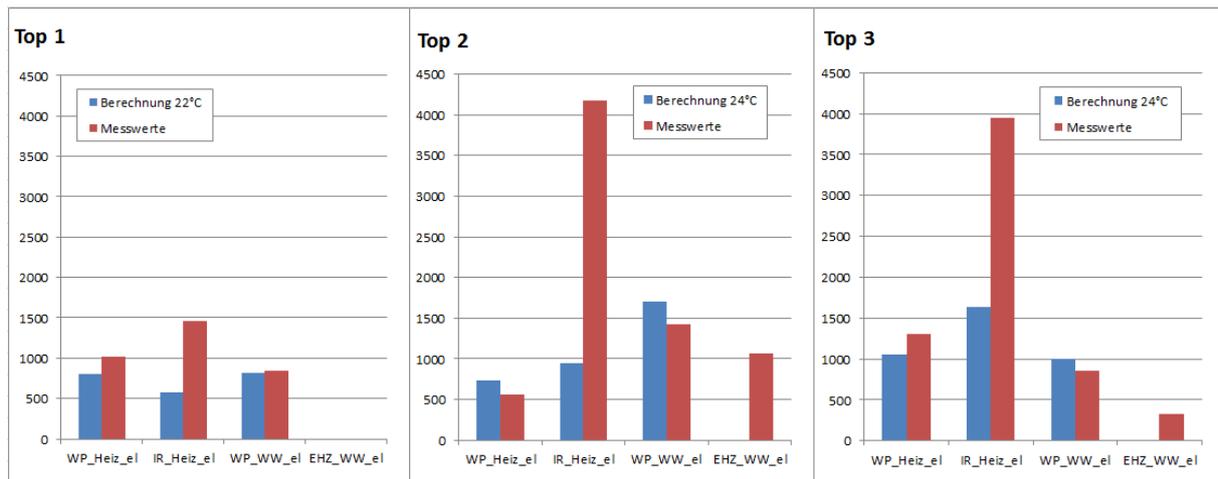
Der hauptsächliche Ansatz den **Grundbedarf an Heizwärme mittels bewährter Passivhaustechnik zentral**, sowie Spitzenbedarfe über eine **schnell reagierende Zusatzeinrichtung dezentral** abzudecken, führt zu einigen interessanten Schlussfolgerungen.

### 4.1 Gegenüberstellung der Verbräuche

In Abb. 4.1 sind nun die **Verbräuche in kWh pro Jahr aufgeschlüsselt**. Es zeigten sich **große Differenzen**, die aus den theoretischen Werten zunächst nicht erklärbar sind. Erst im Zusammenhang mit der **Erhebung des Nutzerverhaltens**, die im Rahmen dieser Untersuchung ergänzend durchgeführt wurde, lassen sich die Daten schlüssig interpretieren.

Die offensichtlichen Unterschiede ergaben sich vor allem durch das Verhalten der NutzerInnen/BewohnerInnen und deren Zustandekommen ist **im Sinn der Untersuchung eigentlich als Glücksfall** zu werten.

Damit konnten vorteilhafte Erkenntnisse gewonnen werden, die **in dieser Deutlichkeit nicht erwartet wurden**.



**Abb. 4.1 Gegenüberstellung der Verbräuche (Rechen- bzw. Messwerte) in [kWh/a]**

## 4.2 Zusammenfassung der Bewohnerbefragung

Die jeweils eingestellten Sollwerte wurden aufgezeichnet (Verifikation, Abschnitt 3.3). Parallel wurden durch die BewohnerInnen der zu beurteilenden Einheiten Protokolle geführt, um Lüftverhalten (Fensterlüftung, Innentüren) und eingestellte Beschattung feststellen und zeitlich mit den Messdaten korrelieren zu können.

Bei dieser Gelegenheit wurden weiter Empfindungen zu Wohnkomfort und Akzeptanz der Strahlungswärme abgefragt. Relevante Aussagen zusammengefasst:

### TOP 1

Lüftverhalten: sehr gering; sporadische Fensteröffnung für wenige Minuten, Innentüren waren meist geschlossen (Haustier).

Türe zum Technik- und Waschaum (unbeheizt) immer geschlossen.

Beschattung: Jalousien waren immer waagrecht gestellt.

Sonstige Anmerkungen:

- Generell hoher Komfort
- Strahlungswärme im Bad (beheizter Spiegel) wurde als eher unangenehm empfunden, daher Aufheizung vor Benutzung in den frühen Morgenstunden.

### TOP 2

Lüftverhalten: Sehr hoher Anteil an Fensterlüftung (vgl. eigene Aufzeichnungen), Innentüren meist geschlossen (Haustier).

Türe zum Technik- und Waschaum (unbeheizt) öfters offen.

Sonstige Anmerkungen:

- Strahlungswärme im Bad (beheizter Spiegel) wurde als eher unangenehm empfunden; ebenso der kalte Fußboden – Fußbodenheizung würde bevorzugt werden!
- Die Zusatzheizung im Warmwasserspeicher (elektrische Nachheizung) wurde aufgrund des sehr hohen Warmwasser-Bedarfs fast täglich benutzt

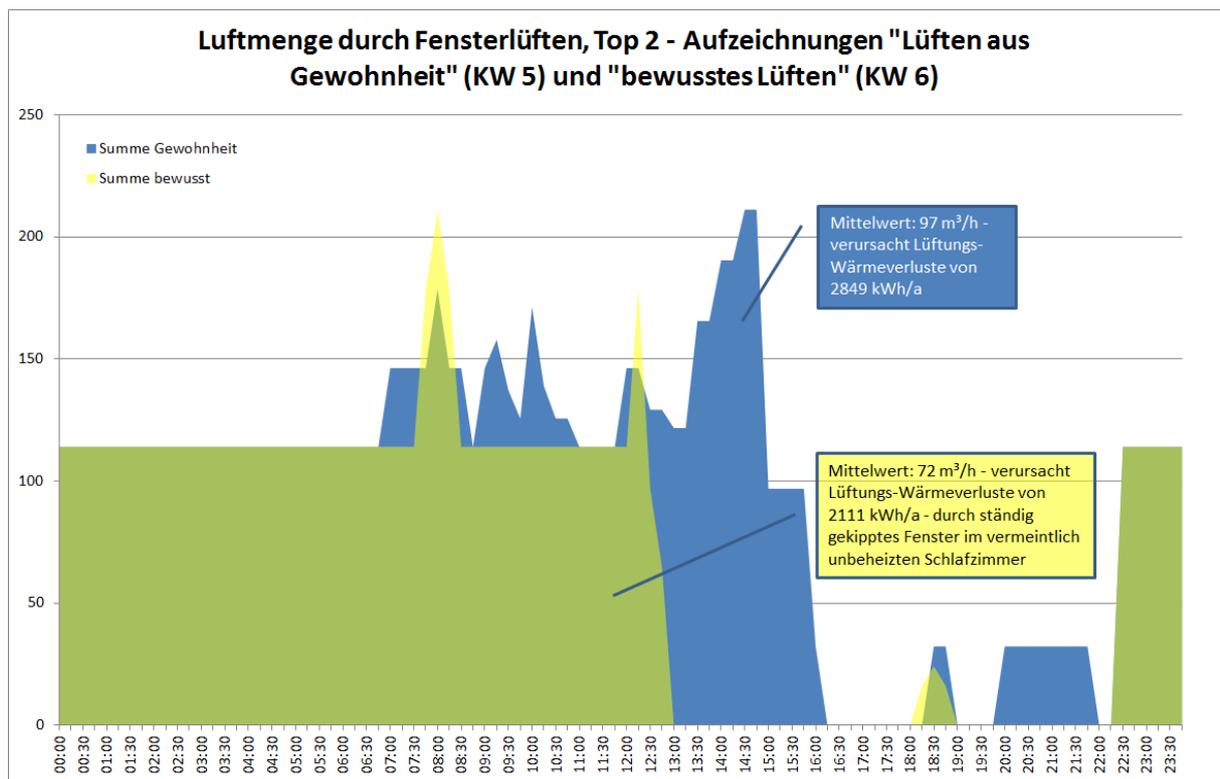
### TOP 3

Lüftverhalten: Relativ hoher Anteil an Fensterlüftung, Innentüren waren meist geschlossen, eventuell standen die Badtüren hin und wieder länger offen.

Türe zum Technik- und Waschraum (unbeheizt) immer geschlossen.

### Grafische Darstellung

Die Beeinflussung der Ergebnisse durch ein bestimmtes Nutzerverhalten, sei abschließend in der überlagerten Darstellung Abb. 4.2 verdeutlicht.



**Abb. 4.2 Auswertung des Lüftverhaltens durch Überlagerung zweier Kalenderwochen der Resultate aus Top 2**

### 4.3 Konklusionen

Die zugrundeliegende Idee des Zusammenwirkens **zentraler und dezentraler Heizsysteme** mit unterschiedlichen **Zeitkonstanten**, wurde eindeutig verifiziert.

**Wissen, das in den verschiedenen beteiligten Disziplinen** vorhanden ist, wurde zur Erweiterung seines Einsatzgebietes **zusammengeführt**. Konkret betroffen sind moderne **Baustandards** bzw. moderne **Bau- und Haustechnik**, Möglichkeiten zur **Wärmebereitstellung** und weiterentwickelte **Steuerungs- und Regelungsverfahren**.

Diese Zutaten **ermöglichen fortschrittliche Regelstrategien** und führen zu **gesteigerter Energieeffizienz**.

- Das System ist sehr kostengünstig und bietet hohen Komfort (Kalkulation liegt vor).
- **Vernachlässigbare** (mit PV), oder vertretbare (ohne PV) **Energiekosten** sind möglich, erfordern aber den **bewussten Umgang** mit dem System, hinsichtlich
  - Fensterlüftung,
  - Einstellung der Sollwerte und
  - geöffneter Türen (z.B. Sollwert Bad 26°C, aber offene Innentüre sollte vermieden werden).
- Nachlässiger Umgang führt zu höherem Mehrverbrauch als bei konventionellen Heizsystemen!
- Die Aussagen der BewohnerInnen **bestätigen die Resultate der Simulation** hinsichtlich der empfundenen Wärme (keine wesentliche Erhöhung des Strahlungsanteils).

Diszipliniertes Nutzerverhalten ist Voraussetzung für den geplant niedrigen Verbrauch!

Natürlich ist auch bei anderen Systemen der Verbrauch umso höher, je mehr fenster-gelüftet wird; allerdings sind die **Auswirkungen hier gravierender**, da die Zusatzheizung mit Direktstrom betrieben wird.

In der Einheit A1 war **der Energiebedarf durch die PV-Anlage komplett gedeckt (Nullenergiehaus realisiert)**. Ohne PV wurde der Passivhausstandard knapp verfehlt.

Der Energiebedarf der Einheiten A2 und A3 könnte unter Einhaltung einiger, weniger Verhaltensregeln ebenso in dieser Größenordnung liegen. Dies wäre ohne Komfortverlust für die BewohnerInnen möglich (vgl. auch Kap. 5).

## 4.4 Rückführung der Erkenntnisse

Die gewonnenen Erkenntnisse konnten durch folgende Maßnahmen in **Auslegung** und **Regelstrategie** zurückgeführt werden.

- Freigabe der Zusatzheizung durch **Anwesenheitssensorik**, anstelle eines Zeitprogramms. Damit Steuerung der Sollwertvorgabe zwischen höherem (z.B. 24°C im Bad), oder abgesenktem Wert (z.B. 21°C).
- Ersetzen des Infrarot-Paneels durch leistungsstarke Fußbodenheizung, insbesondere im Bad, da die Strahlungswärme dort teilweise als unangenehm empfunden wird.
- **Fensterkontakt** sperrt die Zusatzheizung. Energetisch sinnvoll, aber mit zusätzlichem Installationsaufwand verbunden.
- **Defensivere Regelstrategie** der Zusatzheizung, z.B. mit deutlicher Anlaufverzögerung, um nach kurzer Fensterlüftung nicht sofort zu heizen. Alternativ ist auch das Eingrenzen der Heizzeiten auf die Nachtstunden interessant (Nachtstrom ist je nach Region um 30% kostengünstiger). Wie man den Auswertungen entnehmen kann, wirkt das Gebäude selbst ausreichend als Speicher. Einfachster Ansatz: Leicht erhöhte Solltemperatur in den Nachtstunden; bei Unterschreitung des unteren Grenzwerts wird auch tagsüber geheizt, aber deutlich weniger (siehe auch Kap. 5)

## 5 Ausblick und Empfehlungen

Aus den Projektergebnissen ergeben sich einmal jene **Voraussetzungen** (beschrieben in Abschnitt 4.3), deren Erfüllung einen erfolgreichen Einsatz des Konzeptes gewährleistet, andererseits können **Empfehlungen** für die BewohnerInnen/ NutzerInnen abgeleitet werden.

Aus den Resultaten sind eine Art „**Verhaltensregeln**“ entstanden, die den BewohnerInnen den kosteneffizientesten Umgang mit der hier entwickelten Technik aufzeigen.

Diese sogenannten „**Tipps für niedrige Energiekosten**“ erklären den richtigen Umgang mit Fensterlüften, Innentüren, Beschattung und Einstellung der Anlage, denn alle Einheiten könnten – nur durch Umstellung von Gewohnheiten – genauso kosteneffizient betrieben werden, wie durch Top 1 nahegelegt.

Eine weitere Möglichkeit zur Kostenoptimierung wäre die gezielte Nutzung von billigem Nachtstrom. Wie aus den Messungen ersichtlich, genügt oft eine Aufheizung in den frühen Morgenstunden. Das Gebäude reagiert so langsam, dass einerseits wieder an die „Nachtspeicherheizung“ – nur ohne aktiven Speicher – gedacht werden darf; andererseits können die angestrebten Ist-Temperaturen (Nutzung/ Nicht-Nutzung) gar nicht erreicht werden. Insofern könnte eine leichte Anhebung des Sollwerts um 1°C dafür verwendet werden, in den frühen Morgenstunden aufzuheizen. Ansonsten bliebe der Sollwert konstant. Sollte es tagsüber zu einer Unterschreitung kommen, würde einfach nachgeheizt. Der Hauptanteil der Energie würde aber nachts eingebracht, was die Kosten um bis zu 30% reduzieren würde.

### Themen für weitergehende Untersuchungen:

- Zur Verhinderung von unverhältnismäßigen Verlusten durch Fensterlüftung, wäre geeignete Sensorik betreffend Anwesenheit und/oder Fensterkontakten zu untersuchen.
- Daraus abgeleitet kann die Regelstrategie weiter optimiert werden.
- Nach Möglichkeit Einhaltung der im Zuge der Untersuchung entwickelten Anwendungsregeln (ohne Komfortverlust möglich, da Missachtung meist nur reine Gewohnheit).

## 6 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis

### Literaturverzeichnis

- C.F. Müller, Thermische Gebäudesimulation. Kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze, Heidelberg 1994
- C.F. Müller, Das Niedrigenergiehaus 5. Auflage, Heidelberg 1998
- Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser, Verlag Das Beispiel, Darmstadt 2001
- Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Protokollbände 1-38. Darmstadt 1996-2008
- Passivhaus Projektierungspaket PHPP, Passivhaus Institut 1998-2007
- Tagungsbände der Internationalen Passivhaustagungen 1996-2010
- Deutsche Norm DIN 4701 Teil 1, Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Wohngebäuden, Grundlagen der Berechnung, März 1983
- Deutsche Norm DIN 4701 Teil 2, Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Wohngebäuden, Tabellen, Bilder, Algorithmen, März 1983

### Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1.1 Wärmerückgewinnung im Passivhaus nach Dr. Wolfgang Feist, Passive Haus Institut Darmstadt
- Abb. 1.2 Baukosten in Abhängigkeit vom spezifischen Heizwärmebedarf nach Dr. Wolfgang Feist, Passive Haus Institut Darmstadt (2006)
- Abb. 3.1 Energieausweis der Wohneinheit Nord im Testgebäude (stellvertretend)
- Abb. 3.2 Luftmengendimensionierung nach verschiedenen Normen und Luftmenge raumspezifisch aufgeteilt
- Abb. 3.3 Die drei für das Monitoring zur Verfügung gestellten Wohneinheiten
- Abb. 3.4 Infrarot-Paneele zur Spitzenabdeckung an Decke und Wand Installiert
- Abb. 3.5 Komfortlüftung mit Kleinstwärmepumpe zur Grundlastabdeckung
- Abb. 3.6 Variantenvergleich (V2..V7) Bedarf an elektrischer Energie in beliebiger Teilung
- Abb. 3.7 Modell zur Thermische Simulation – Zone 6 - EG Kinderzimmer (teamgmi Ingenieurbüro Liechtenstein AG)
- Abb. 3.8 Strahlungswärme durch Infrarot-Paneel Gesamtsicht und vergrößert (Planungsteam E-Plus GmbH)

Abb. 3.9 Einheit A1, Regelzone 4: Die Aufheizung am Morgen dauert 110 min entsprechend 1,6 kWh und reicht dann für den ganzen Tag. Mittlere Leistung von 7 W/m<sup>2</sup>, genau erwartungsgemäß.

Abb. 3.10 Einheit A1, Regelzone 5: Ganztags keine Zusatzheizung erforderlich, Frischluftheizung plus interne Gewinne genügen, erwartungsgemäß ca. 7 W/m<sup>2</sup>

Abb. 3.11 Einheit A1, Regelzone 7: Zuluft und Paneele leisten zusammen ca. 6 W/m<sup>2</sup>

Abb. 3.12 Einheit A2, Regelzone 7: Gekippte Fenster: Obwohl die Mitteltemperatur bei nur 18°C liegt, liefert das Heizpaneel permanent 15 W/m<sup>2</sup>. Das entspräche einem Energieeinsatz von 400 bis 600 kWh im Jahr, alleine für dieses "unbeheizte" Schlafzimmer. Dieses Beispiel liefert wichtige Erkenntnisse.

Abb. 3.13 Einheit A3, Regelzone 5: Laufzeit der Paneele 51% ergibt mehr als 50 W/m<sup>2</sup>! Entweder ist das Fenster immer wieder gekippt, oder die Bad Türe zum Gang steht weit offen! Genaue Interpretation ergibt sich zusammen mit der Nutzerbefragung, Abschnitt 4.2.

Abb. 3.14 Zusammenfassung PHPP Top 1. Tatsächliche Innenraumtemperatur 22°C

Abb. 3.15 Zusammenfassung PHPP Top 2. Tatsächliche Innenraumtemperatur 24°C

Abb. 3.16 Zusammenfassung PHPP Top 3. Tatsächliche Innenraumtemperatur 24°C

Abb. 4.1 Gegenüberstellung der Verbräuche (Rechen- bzw. Messwerte) in [kWh/a]

Abb. 4.2 Auswertung des Lüftverhaltens durch Überlagerung zweier Kalenderwochen der Resultate aus Top 2

## 7 Anhang

### Inhalt der Zonenregelung – Internes Dokument

Pflichtenheft: Zonenregelung 2013



|   |    |
|---|----|
| <b>Inhalt:</b>  |    |
| Einleitung.....   | 3  |
| Anwendungen / Einsatzmöglichkeiten / Nutzen .....             | 3  |
| Einzelraumregelung mit Heizkreis-Ventilen .....               | 3  |
| Einzelraumregelung mit E-Heizpaneelen oder PTC-Elementen..... | 3  |
| Flexibilität.....   | 4  |
| Systemintegration .....                                       | 4  |
| Hardware.....   | 4  |
| Standard Indibox 170.1000.....                                | 4  |
| Standard Indibox 170.1000 plus Subplatine .....               | 4  |
| Software .....  | 5  |
| Gerätetype "ZONENEREGELUNG" .....                             | 5  |
| Adressierung der Kreise (Zonenbildung).....                   | 5  |
| Konfiguration der Kreise .....                                | 5  |
| Betriebsarten der Kreise (Funktion des Relais).....           | 5  |
| Wirksinn der Relais.....                                      | 6  |
| Energie-Abnahmemenge pro Kreis .....                          | 6  |
| Zuordnung der Wärmepumpe zum Kreis/Zone .....                 | 7  |
| Anforderung der Wärmepumpe .....                              | 7  |
| Zuluftoption .....  | 8  |
| Zusätzliche Funktionen für die Systemintegration .....        | 8  |
| Datum / Uhrzeit.....  | 8  |
| Spezialfunktionen .....                                       | 9  |
| Pufferentladung .....   | 9  |
| Änderung Standard-Software:.....                              | 10 |
| RBG-TP .....  | 10 |
| LU / VB .....   | 10 |
| WP .....  | 10 |
| Heizungsregler generell (LU/WP/VB) und RBG-TP.....            | 11 |