

## Dezentrale Warmwasserbereitstellung aus Fortluft im Badezimmer ein BFE Demonstrationsprojekt

Duglas Urena Hunziker, Joël Bärtschi, Urs Muntwyler,  
Bernere Fachhochschule (BFH)

[duglas.urena@bfh.ch](mailto:duglas.urena@bfh.ch)  
<http://www.bfh.ch>

Florian Ruesch  
Hochschule für Technik Rapperswil (HSR)

[Florian.Ruesch@spf.ch](mailto:Florian.Ruesch@spf.ch)  
<http://www.spf.ch/>

Elias Büchel  
Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs (NTB)

[elias.buechel@ntb.ch](mailto:elias.buechel@ntb.ch)  
<http://www.ntb.ch/ies>



Abbildung 1 Renoviertes Badezimmer mit Vorwandeinheit-THERMOS. © Swissframe AG 2018

### Zusammenfassung

Die Energie-, bzw. Wärmeverluste sanierungsbedürftiger Mehrfamilienhäuser (MFH) erreichen in Zukunft dank der neuen Gebäudetechnikgeneration den Zielkorridor der Energiestrategie des Bundes. Bei der Sanierung eines MFH in Bern soll diese Optimierung des Warmwassernetzes demonstriert werden. Mittels dezentraler Bereitstellung wird die bisher übliche Zirkulationsleitung und deren Energieverluste von über 50% eliminiert. Im Projekt «KoDeWa» wird die vorgefertigte Badezimmer Vorwandeinheit der Swissframe AG, welche die Verrohrung für das ganze Badezimmer und ein Komfortlüftungsgerät für die gesamte Wohneinheit beinhaltet, wurde um eine Kleinleistungswärmepumpe und einem dezentralen Warmwasserspeicher mit einer Hochleistungsisolierung ergänzt. Die neue Badezimmervorwand-THERMOS soll im Rahmen dieses Projekts bei einer Gebäudesanierung in Bern installiert, umfassend auf ihre energetischen und wirtschaftlichen Eigenschaften getestet sowie mit konventionellen Systemen verglichen werden.

# 1. Ausgangslage

## 1.1 Interdisziplinäres KTI-Projekt mit Forschungspartnern

Im KTI-Projekt «KoDeWa» (Nr. 17357.1 PFEN-IW) hat die Firma Swissframe AG gemeinsam mit den drei Partner-Fachhochschulen NTB (Interstaatliche Hochschule für Technik, Institut für Energiesysteme IES), HSR (Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Solartechnik SPF) und unter der Leitung der BFH (Bernere Fachhochschule, Labor für Photovoltaiksysteme) ein dezentrales System zur Produktion von Warmwasser im Badezimmer entwickelt (siehe Publikation über das KTI-Projekt 19. Status-Seminar: Kompakte, dezentrale Warmwasserbereitstellung aus Fortluft und Solarstrom / KoDeWa September 2016). Die Vorwandeinheiten der Swissframe AG eignen sich besonders gut für Strangsarnierungen oder Strangbauten in Mehrfamilienhäusern. Die Vorwandeinheit-THERMOS verfügt wie alle bisherigen Vorwandsysteme der Swissframe AG über ein Komfortlüftungsgerät für das Badezimmer und alternativ für die gesamte Wohnung bei grösseren Sarnierungsarbeiten. Zusätzlich enthält die THERMOS-Einheit neu eine Kleinleistungswärmepumpe mit einem Hochleistungsspeicher, welche das benötigte Brauchwarmwasser für das Badezimmer direkt vor Ort aus der Fortluft der Lüftung erzeugt. Da das THERMOS-System lediglich einen Kaltwasseranschluss und Strom (PV-Anlage) benötigt, um warmes Brauchwarmwasser zu erzeugen, ist das System auch für Inselanlagen geeignet. Das entwickelte System bietet die Möglichkeit, zentrale Warmwassersysteme (Strom/ Gas) durch mehrere kleine dezentrale Systeme zu ersetzen und bei der Renovierung des Badezimmers eine moderne Lüftung in bestehenden Wohnungen zu integrieren. Die flache Konstruktion (max. 30 cm Tiefe) passt hinter eine Badezimmervorwand und ist daher für den Besitzer unsichtbar und benötigt keinen zusätzlichen Platz. Das benötigte Warmwasser wird mit einer im Projekt neu entwickelten Kleinleistungswärmepumpe bereitgestellt (Kältemittel R134a). Die Wärmepumpe nutzt die verbleibende Restenergie in der Fortluft aus dem Komfortlüftungsgerät für die Aufbereitung des Warmwassers. Dieses vorgewärmte Warmwasser wird in einem drucklosen, kubischen mit Vakuum-Isolations-Paneel Wärmedämmung (VIP) isolierten 83-Liter-Speicher bereitgehalten. Die erwähnte Lüftung besitzt einen Kreuzgegenstrom-Enthalpietauscher, der Wärme und Feuchtigkeit mit einem Wirkungsgrad von über 90 % zurückgewinnt [1]. Lediglich bei grossen und langen Warmwasserbezügen schaltet sich ein elektrisch geregelter Durchlauferhitzer zu, welcher den Komfort für den Benutzer sicherstellt. Die bisherigen Erprobungen zeigen, dass dieser Durchlauferhitzer wie geplant kaum zum Einsatz kommt. Die Wärmepumpe ist sehr klein dimensioniert und arbeitet praktisch durchgehend. Abhängig von den Temperaturbedingungen bewegt sich der COP zwischen 3 und 4. Das «THERMOS-System» konnte patentiert werden (Nr. 01789/13) und das Projekt "Kompakte, dezentrale Warmwasserbereitstellung aus Fortluft und Solarstrom" wurde von der KTI im Geschäftsbericht 2017 als Erfolgsgeschichte beschrieben [2].

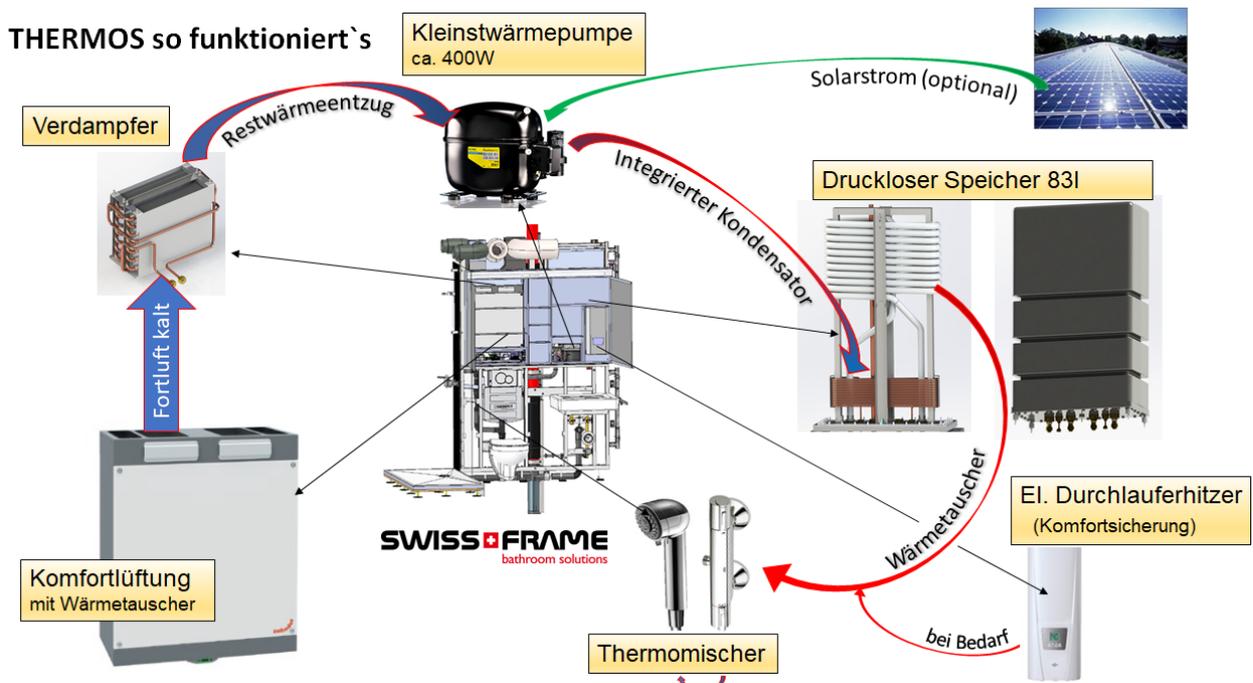


Abbildung 2 Funktionsprinzip des Swissframe THERMOS-Systems zur dezentralen Warmwasserbereitstellung

## 1.2 Stand der Technik

### Wasserversorgung

In neueren, schweizer Mehrfamilienhäusern ist eine Variante, dass das Warmwasser zentral aufbereitet wird und über ein Verteilnetz in die Wohnungen gelangt. Die Energie zur Erwärmung wurde in den letzten Jahrzehnten vorwiegend durch Verbrennung von Öl oder Gas oder zentrale Wärmepumpenlösungen, bzw. Solaranlagen bereitgestellt. Aus hygienischen und gesundheitlichen Gründen müssen die zentralen Warmwasseraufbereitungssysteme bei mindestens 60 °C Vorlauftemperatur betrieben werden, zwecks Legionellenschutz (SIA). Das führt zu hohen Wärme- und Energieverlusten, die oft mehr als die Hälfte des Warmwasserverbrauchs betragen [3, 4, 5]. Je grösser das Gebäude, umso länger wird das Wärmenetz und die damit einhergehenden Warmhaltesysteme und desto mehr Energie geht passiv über diese Netze verloren, was sich in einer schlechten Effizienz des Warmwassersystems bemerkbar macht.

In einer zweiten Variante heizt bei dezentralen Heizsystemen ein Elektroboiler das Warmwasser in jeder Wohnung auf. Der Schlussbericht des Bundesamtes für Energie (BFE) zur Elektrische Wassererwärmung in der Schweiz [6] hält fest, dass in der Schweiz 552'000 dezentrale Elektroboiler mit Widerstandsheizung in insgesamt 157'400 MFH installiert sind. Mittel- bis langfristig müssen diese Stromfresser ersetzt werden. Die Umstellung auf eine zentrale Anlage hat die erwähnten Verluste zur Folge, der nachträgliche Einbau von Warmwasser-Verteilssystemen ist zudem sehr teuer. Durch die dezentrale Warmwasserbereitstellung mit dem THERMOS-System der Swissframe AG kann auf ein verzweigtes WW-Zirkulationssystem verzichtet werden. Für die Bereitstellung des Brauchwarmwassers benötigt das THERMOS-System lediglich eine Kaltwasserleitung und einen Stromanschluss. Elektrische Rohrbegleitheizungen entfallen somit auch. Dies spart Kosten und Installationszeit, speziell bei der Sanierung von Objekten mit dezentralen Elektroboilern.

Ein weiterer Vorteil der dezentralen Warmwasserbereitstellung besteht darin, dass jede Wohnung «autark» ist. Sprich wenn bei zentralen System die Heizquelle ausfällt, sind alle angeschlossenen Parteien davon betroffen. Durch die Dezentralisierung entfällt dieses Problem.

Die Wärmepumpe der Vorwandeinheit-THERMOS wurde so ausgelegt, dass diese praktisch den ganzen Tag durcharbeitet, um das benötigte Warmwasser zu erzeugen. Durch die geringen Startvorgänge tritt im Kompressor weniger verschleiss auf, was sich positiv auf die Lebenszeit der Wärmepumpe auswirkt.

## **Sanitärtechnik**

Bei einer konventionellen Badezimmerrenovierung baut der Sanitärmonteur zunächst eine Vorwand aus Stahlprofilen auf. In dieser Vorwand werden alle Sanitäranlagen sowie die elektrischen Leitungen und gegebenenfalls die Lüftung für das Badezimmer untergebracht. Um diese Vorwand aufzubauen, werden verschiedene Handwerker wie, Lüftungs-, Elektro- und Sanitärmonteur, benötigt. Im weiteren Verlauf der Renovation muss die aufgebaute Vorwand mit Gipsplatten verkleidet werden. Darauffolgend wird sie entweder verputzt und bemalt oder mit Fliesen versehen. Erst im Anschluss an diese Arbeiten können die Toilette, Spiegelschrank, etc. fertig montiert werden. Eine solche Renovation ist sehr zeitaufwändig, da die Arbeiten der Handwerker aufeinander abgestimmt sein müssen und meist erst mit dem nächsten Arbeitsschritt begonnen werden kann, wenn gewisse Arbeiten zuvor abgeschlossen worden sind (Einzelteile). Das modular aufgebaute THERMOS-System der Swissframe AG ist bereits komplett industriell vorkonfektioniert und kommt einbaufertig auf die Baustelle. Dies reduziert die Fehlerquote und erlaubt die Integration weiterer Haustechnikkomponenten. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die reduzierte Beeinträchtigung des Nutzers bei der Erneuerung der Warmwasserversorgung durch kürzere Umbauzeiten. Bei bewohnten Sanierungen werden die Mieter entsprechend weniger tangiert.

## **Raumlufttechnik**

Eine kontrollierte Lüftung ist bei den allermeisten Sanierungsobjekten nicht vorhanden. Mit dem THERMOS-System wird eine moderne Minergie-P Lüftung in jeder Wohnung installiert. Die Vorwandeinheit-THERMOS kann also nur da eingebaut werden, wo dass auch gewollt ist. Somit kann die Lüftung individuell eingestellt werden und es besteht die Möglichkeit, dass sich Eigentumswohnungsbesitzer eine moderne Lüftung installieren lassen, ohne dass alle Miteigentümer mitmachen müssen.

Beim neu entwickelten THERMOS-System wird ein Grossteil des Warmwassers mit einer kleinen Luft/Wasser Wärmepumpe bereitgestellt, welche die Fortluft der in der Vorwand integrierten (dezentralen) Komfortlüftung nutzt (max. Kapazität von 190 m<sup>3</sup> / h). Die frische, gefilterte und vorgewärmte Zuluft wird dem Wohn- und Schlafzimmer zugeführt. In jedem Bad (und i. d. R. jeder Küche) wird die feuchte und verbrauchte Abluft separat über die Komfortlüftung weggeführt.

## **2. Vorgehen**

### **2.1 Umbau + Erweiterung Stauffacherstrasse 60 Bern**

Die Stauffacherstrasse 60 in Bern wird derzeit von der Swissrenova AG umgebaut und saniert (inkl. PV-Anlage). Bis Dezember 2018 entstehen im fünfgeschossigen Gebäude ein Restaurant sowie 30 Service-Apartments zur Vermietung (Einzimmerwohnungen mit Belegungen von 1 bis 2 Personen). Die Swissframe AG erstellt und liefert bei dieser Sanierung die Vorwandeinheiten (VWE) für die Badezimmer. Um die Optimierung des Warmwassernetzes durch die neue Gebäudetechnik mit Messdaten zu dokumentieren, unterstützt das Bundesamt für Energie den Einbau umfangreicher Messtechnik in fünf der 30 Badezimmer (Wohnungen eines Fallstranges). Der Feldtest läuft im Anschluss an die Renovation über mehrere Jahre (2018 – 2020) und hat zum Ziel eine umfassende technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Beurteilung der neu entwickelten Vorwandeinheiten zu erlangen. Insbesondere interessiert die Energiebilanz des Systems im Vergleich zu konventionellen Anlagen.



Abbildung 3 Ansicht Westfassade - Umbau und Sanierung Wohn- und Geschäftshaus Stauffacherstrasse 60

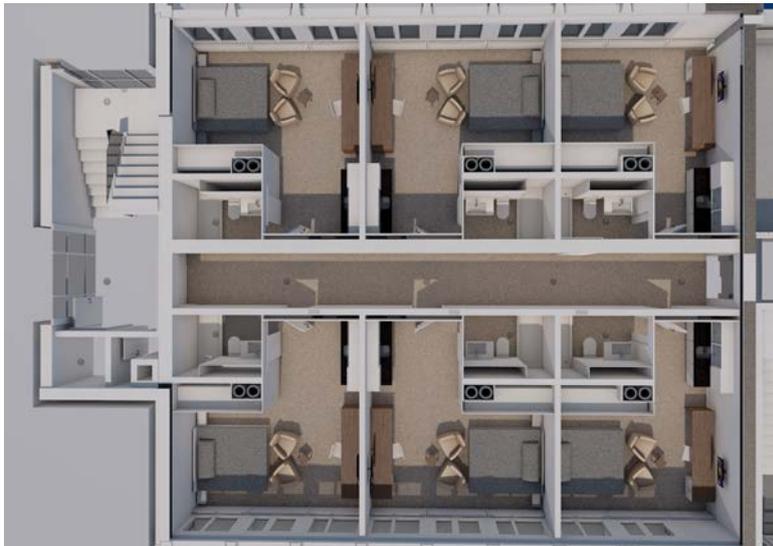


Abbildung 4 Etage mit 6 der 30 Service-Apartments – detailliertes Messsystem im Fallstrang links unten

Die BFH-TI ist nebst der Gesamtprojektleitung für die technische Planung und die Datenanalyse der Begleitmessung verantwortlich. Die Sensoren für die geplanten Messungen wurden zusammen mit den Partnerhochschulen, HSR, NTB sowie der Projektpartnerin smart-me AG evaluiert. Die detaillierte Messung beschränkt sich auf fünf Systeme (Wohnungen eines Fallstranges über fünf Stockwerke im Turm Richtung Nordwesten), wobei bei den verbleibenden 25 Badezimmer Vorwandeinheiten die serienmässigen Betriebsdaten erfasst werden. Die Partnerhochschulen planen und begleiten die detaillierte Messung und optimieren nach Möglichkeit die Betriebsführung.

## 2.2 Methodik der Erfolgskontrolle

### Fernzugriff

Die THERMOS-Einheiten werden für das Daten Logging und Wartungszwecke an einen Server der BFH-TI angebunden (siehe Abbildung 5). Dabei werden die Steuerungen aller 30 Vorwandsysteme mittels Ethernet auf eine Workstation im Keller geführt. Von dort aus gehen die Daten an einen Server der BFH. Vom Institut für Intelligente Industrielle Systeme wurden verschiedene Varianten zur Anbindung des IT-Systems geprüft. Die Machbarkeit einer direkten und somit gebührenfreien Verbindung via Wifi-Richtfunkantenne ins BFH-Netz zum gegenüberliegenden Gebäude (BFH-Wankdorffeldstrasse) wurde durch Verbindungstests bestätigt.

Die smart-me Messgeräte und/oder M-BUS Gateways verbinden sich über eine integrierte WiFi-Schnittstelle mit einer Cloud im Internet. Über einen User Account und eine REST API hat die BFH Zugang zu dieser Cloud und deren Messdaten. Mittels Wireless-Site-Survey wurde die WLAN-Infrastruktur designet. Die Messinfrastruktur nutzt das 2.4-GHz Band. Für die Hotelgäste ist das 5-GHz Band reserviert. Über die Platzierung der Wifi-Access-Points sowie der geeigneten Kanalzuordnung, werden störende Interferenzen verhindert und Redundanz im Fall von ausfällen erreicht.

Die Software auf der Steuerung der Vorwandeinheit sorgte bis anhin für einen sicheren Betrieb der Warmwasseraufbereitung mittels Wärmepumpe im Swissframe System. Nun wurde diese Software erweitert, sodass die Steuerung zusätzliche Sensoren einlesen und deren Messdaten an den Server der BFH senden kann. Die Software überwacht die Verbindung zum Server und kann bei deren Ausfall die Messdaten für einige Stunden bis Tage zwischenspeichern.

Die Applikation auf dem erwähnten BFH-Server wurde implementiert und ist in der Lage sowohl Messdaten der Swissframe Steuerung als auch der smart-me Zähler zu verarbeiten und in eine Datenbank zu speichern. Die Serverapplikation überwacht die Integrität und die Kontinuität der Messdaten und schlägt bei Unregelmässigkeiten mittels automatischen E-Mails Alarm. Der BFH-Server ist Teil eines grossen IT-Rechenzentrums der BFH in Bern. Er wird daher rund um die Uhr überwacht und seine Daten werden regelmässigen Backups unterzogen.

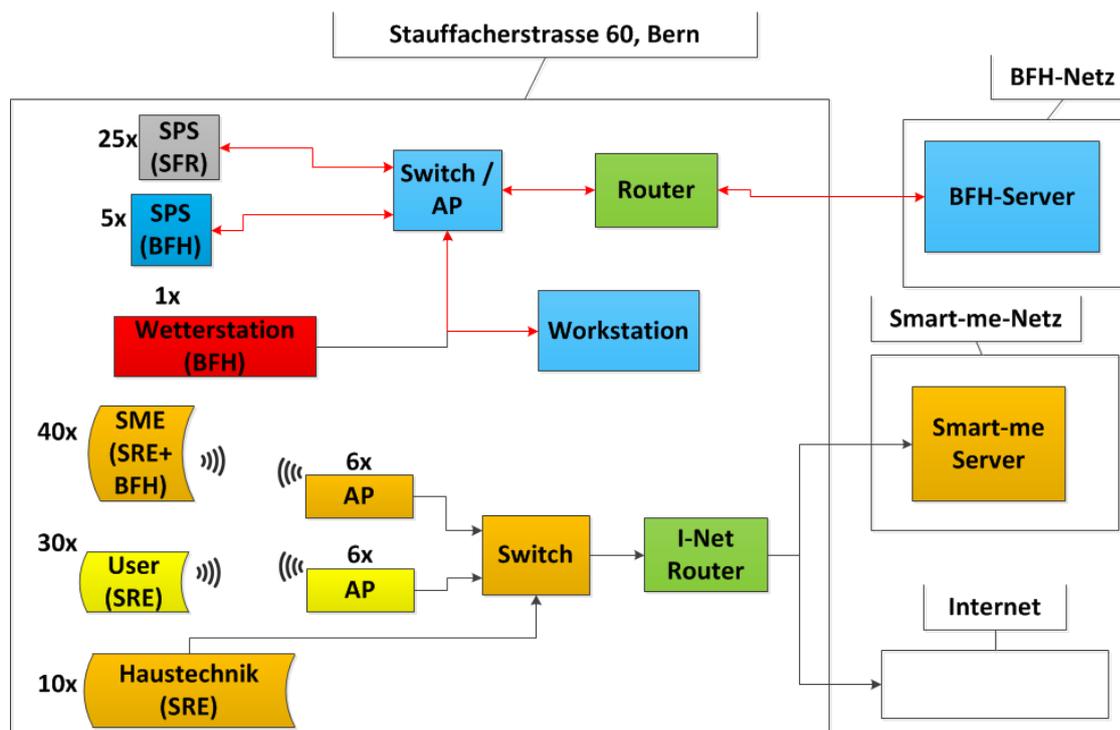


Abbildung 5 Architektur der BFH Fernwartung für das Messkonzept

## Messtechnik

Im Rahmen des Demonstrationsprojekts erfolgt ein experimenteller Nachweis der Effizienz der Vorwandeinheit-THERMOS. Dafür wird der Energieverbrauch der relevanten Teilsysteme (Wärmepumpe, Durchlauferhitzer, Raumheizung, Lüftung, etc.) einzeln erfasst und mit konventionellen Referenzsystemen verglichen. Neben der Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems und dem COP (=Effizienz) der Wärmepumpe interessieren insbesondere die Speicherverluste und die auftretenden Leistungsspitzen. Für die Analyse des Systems wurden folgende Sensoren eingesetzt (siehe Abbildung 6):

### Quantifizieren der Wärmequelle:

- a) Volumenstromsensor in der Fortluft der Lüftung
- b) Temperatursensor im Fortluftstrom vor dem Verdampfer
- c) Feuchtesensor im Fortluftstrom
- d) Temperatursensor im Fortluftstrom nach dem Verdampfer

### Quantifizieren der Wärmesenke:

- a) Temperatursensor im unteren Bereich des Boilers
- b) Temperatursensor im oberen Bereich des Boilers
- c) Temperatursensor hinter der Vorwand (Wärmeverlust Speicher)

### Quantifizieren der Wärmepumpe:

- a) Drucksensor für Niederdruck (Verdampfung)
- b) Drucksensor für Hochdruck (Kondensation)
- c) Stromzähler für Kompressorleistung (elektrischer Aufwand)
- d) Temperatursensor vor Kompressor (Sauggas)
- e) Temperatursensor nach Kompressor (Heissgas)
- f) Temperatursensor nach Kondensator (Unterkühlung)
- g) Temperatursensor an den Verdampferlamellen (Regelung der Wärmepumpe)

### Quantifizieren der Gesamtsystemeffizienz, Gleichzeitigkeit und übrige Sensoren:

- a) Stromzähler für Kompressorleistung
- b) Stromzähler Lüftung
- c) Stromzähler Durchlauferhitzer
- d) Stromzähler Grohe-Cooker/Boiler Küche<sup>1</sup>
- e) Stromzähler Wohnung (Gleichzeitigkeit, Abrechnung)
- f) Produktionszähler PV-Anlage (Eigenverbrauch)
- g) Wärmemengenzähler (Warmwasserverbrauch)
- h) Frischwasserzähler (Verbrauch, Abrechnung)
- i) Wärmemengenzähler für Raumheizung (Zähler auf jeder Heizgruppe und dem Wärmeerzeuger pro Zimmer)
- j) Wetterstation (Umweltdaten / Temperatur, relative Feuchte, Druck)
- k) Temperatursensor nach Durchlauferhitzer (Komfortüberwachung)

---

<sup>1</sup> Weil die Swissrenova AG die Nutzung als Service Apartment mit privater Kochgelegenheit vorgesehen hat, werden diese mit einem Grohe-Cooker/Boiler (Grohe Red, 230 V, 2.1 kW, 4 Liter) ausgestattet. Das Küchenwasser wird vom Bad genommen und der Energieverbrauch wird separat mit einem Einphasenstromzähler (smart-me) erfasst. Erst damit ist ein Vergleich zu einer konventionellen Warmwasseraufbereitungsanlage möglich.

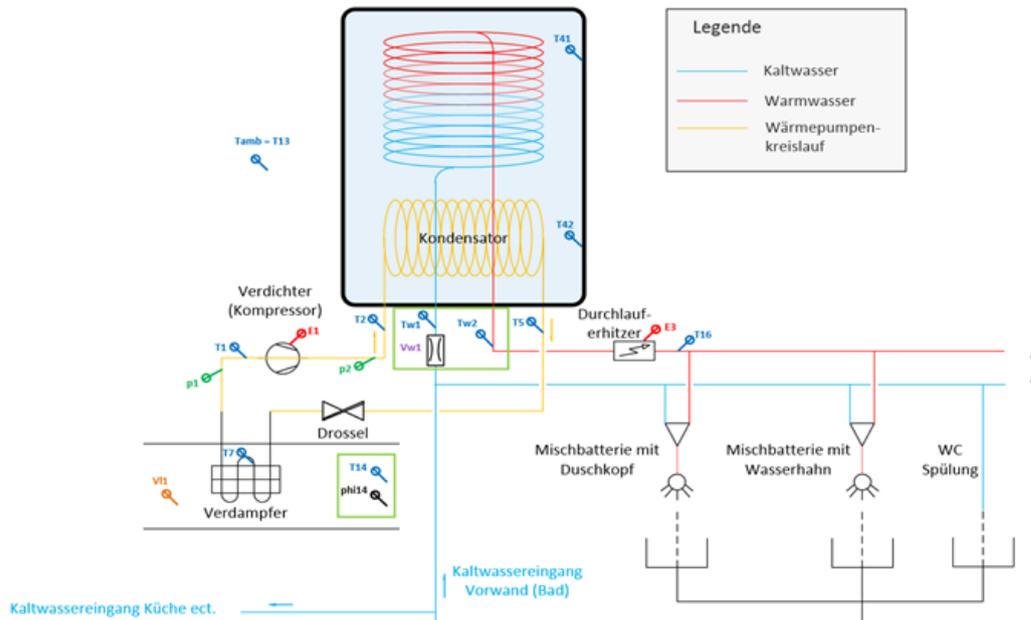


Abbildung 6 Platzierung der Sensoren für die Erfolgskontrolle in 5 Vorwandeinheiten

### Effizienzsteigerung der Wärmepumpe

Seitens des IES erfolgen im P&D-Projekt drei unterschiedliche Messungen hinsichtlich der energetischen Analyse der Wärmepumpe:

#### Quantifizieren der Energierückgewinnung durch die Wärmepumpe

Mit dieser Messung soll ermittelt werden, wie viel Energie durch die Kleinleistungswärmepumpe aus der Fortluft der Lüftung noch zurückgewonnen werden kann. Dazu wird die Wärmequelle vor und nach dem Verdampfer genau bestimmt und es wird ermittelt wie viel Energie der Verdampfer aus dieser abziehen kann. Die Messung kann Optimierungspotentiale des Verdampfers der Kleinleistungswärmepumpe aufzeigen.

#### Stationäres Verhalten der Wärmepumpe und Effizienz der Wärmepumpe

Diese Messung soll das Verhalten der Wärmepumpe unter realen Bedingungen aufzeigen. Dabei ist besonders das stationäre Verhalten der Wärmepumpe von Interesse. Zudem soll untersucht werden, wie sich ändernde Bedingungen der Wärmequelle (langsame Veränderungen = Jahreszeit) und Wärmesenke (schnelle Veränderungen = Warmwasserverbrauch und Tageszeit) auf das Verhalten der Wärmepumpe auswirken.

#### Vereisung des Verdampfers:

Ziel dieser Messung ist es, praktische Erfahrung in Bezug auf die Vereisung des Verdampfers, besonders im Winter zu erhalten. Mit diesen Informationen soll die Regelung der Vorwandeinheit-THERMOS so angepasst werden, dass die Wärmepumpe möglichst lange in Betrieb bleibt (= Steigerung der Lebenszeit).

Mit Messungen und Analysen in der Klimakammer wurden die Serieereinstellungen der Lüftung und der Wärmepumpe vor dem Einbau in die Hotelzimmer getestet. Das Gerät wurde dazu mit sämtlichen Sensoren für den Feldtest ausgestattet und die verschiedenen Parameter in der Werkseinstellung belassen. Die aufgenommenen Messreihen können mit dem Feldtest verglichen werden.

#### Bereitschaftsverluste

Die Aufgabe des SPF liegt in der Bewertung des Speichers/Speicherkonzeptes und in der Auswertung der Messdaten bezüglich des Speichers. Die Effizienz des Speichers, d.h. die Wärmeverluste, können mit zwei Methoden berechnet werden. Zum einen können die Verluste über eine Bilanz der Energieflüsse berechnet werden. Da die Wärmeverlustleistungen im Vergleich zu den Bezugsleistungen sehr gering sind, wird bei dieser Methode mit einer erhöhten

Unsicherheit gerechnet. Zwei Temperaturfühler im Speicher und ein Lufttemperaturfühler in der Vorwand ermöglichen das Berechnen der Wärmeverluste während längerer Stillstandzeiten mit einer zweiten Methode. Somit können die Messungen plausibilisiert und Wärmeverluste genauer ausgewiesen werden

### Umfragen über Komfort und Akzeptanz

Im Rahmen der Erfolgskontrolle werden Umfragen durchgeführt. Dabei wird zwischen Fragen an die Bewohner und Fragen an das Hotel unterschieden. Die Bewohner/Mieter erhalten beim Einzug einen Flyer mit Informationen über das P&D-Projekt und die Vorwandeinheit-THERMOS sowie den überschaubaren Fragebogen (zweisprachig jeweils eine A4-Doppelseite in Deutsch und Englisch). Dieser erhält Fragen zu Behaglichkeit (Wasser, Luftzug, Lärmbelastung) und Demographie (Alter, Geschlecht, Nationalität, Beruf, Höchster Schulabschluss). Quartalsweise oder nach grösseren Optimierungen werden an einem Stichtag 30 Fragebögen verteilt und nach einer Woche von den Bewohnern via Feedbackumschlag wieder an die Rezeption retourniert. Um eine aussagekräftige Rücklaufquote zu erhalten, werden Anreize geschaffen (Restaurantgutschein o. Ä.) und/oder die Gäste via Rezeption erinnert. Zur Untersuchung der Zufriedenheit des Hotels sind etwas verzögert, mündliche Befragungen vorgesehen (Reklamationen, Wartungen Schäden, Service etc.).

## 3. Resultate

### 3.1 Planungsleistungen

Die Verkabelung der Detailmessung wurde in den besagten fünf Service Apartments jeweils in die Unterverteilung der Wohnung integriert (siehe Abbildung 7). Gemeinsam mit dem Elektroplaner (AFE Project AG) wurden Planungsunterlagen zur Leistungsbilanz (Gleichzeitigkeitsfaktor, siehe Abbildung 11), der Verkabelung der Energieverteilung und zur Erschliessung der Messtechnik erstellt (siehe Abbildung 8). Um eine separate Abrechnung zu ermöglichen, wurden alle Wohnungen mit Strom- und Frischwasserzählern der smart-me AG ausgestattet. Die Wärmemengenzähler (GWF) für den Warmwasserverbrauch und die Raumheizung sowie die restlichen Stromzähler, wurden ebenfalls durch die smart-me AG bereitgestellt (M-Bus-Gateway oder integrierte Wi-Fi Schnittstelle). Zusätzlich wurde die modulare Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) der Vorwandeinheit-THERMOS (Siemens) entsprechend den in Kapitel 2.2 aufgeführten Sensoren erweitert.



Abbildung 7 Einer von 5 Verteilerkästen zur Unterbringung der Messhardware

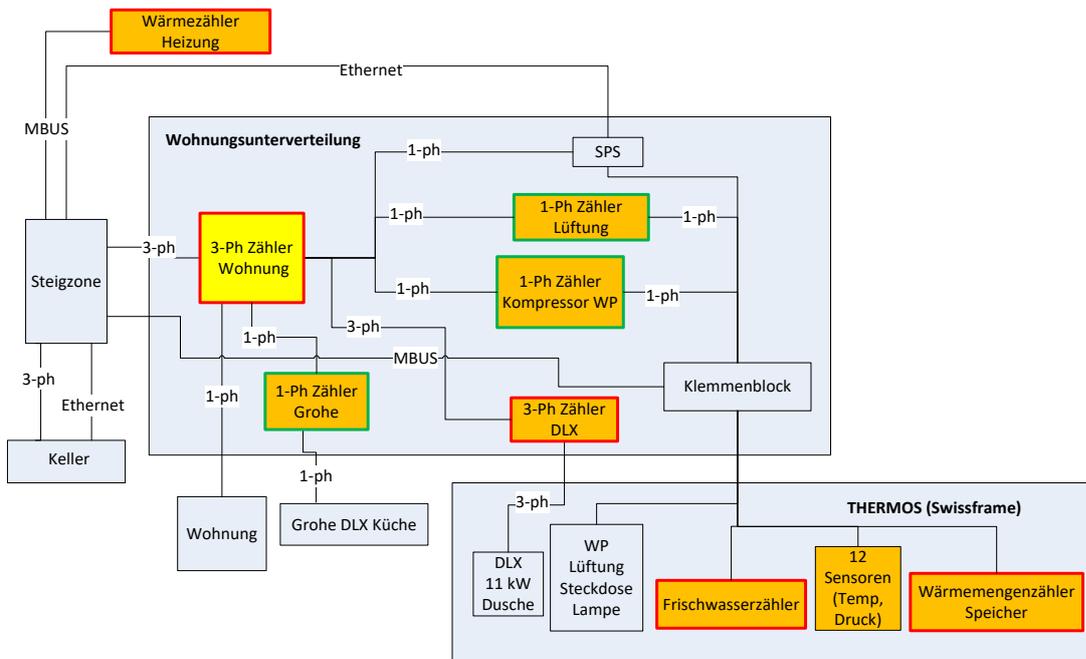


Abbildung 8 Das Prinzipschema der Detailmessung zeigt die elektrische Verdrahtung für eines der 5 Service Apartments. Unten rechts ist die Vorwandeinheit angedeutet.

Das Konzept für die Wärmeerzeugung und die Wärmeverteilung wurde von der sib engineering GmbH erstellt. Die Wärme für das ganze Gebäude wird über eine Wasser/ Wasser Wärmepumpe bereitgestellt. Diese nutzt als primäre Energiequelle die Abwärme des Swisscom Rechencenters.

Die Erschliessung des Gebäudes mit Abwärme erfolgte über eine Fernleitung von Energie Wasser Bern (Contractinganbieter). Die Wärmeverteilung erfolgt im ganzen Gebäude über ein konventionelles Zweirohrsystem, wobei die Nutzungen in verschiedene Heizgruppen aufgeteilt sind. Die Wärmeabgabe in den Hotelzimmern erfolgt mit Heizkörpern. Der Energieverbrauch für die Raumheizung wird pro Zimmer gemessen. Dazu befindet sich ein Zähler auf jeder Heizgruppe und dem Wärmeerzeuger.

### 3.2 Messungen und Analyse in der Klimakammer

Die Vorwandeinheit-THERMOS wurde am IES intensiv getestet und ausgemessen. Abbildung 9 zeigt die Messergebnisse der Speicherladung im simulierten Winter ( $-4^{\circ}\text{C}$  = Frischlufttemperatur;  $20^{\circ}\text{C}$  Raumtemperatur). Die Klimakammer stellte dabei kalte Luft mit entsprechender Feuchtigkeit für die Komfortlüftung zur Verfügung. Der abfallende Verlauf der Kondensationsleistung ist darin begründet, dass zu Beginn bei kaltem Speicher mehr Energie vom Kältekreislauf an das Speichermedium abgegeben werden kann als beim warmen Speicher (= Unterschiedliche Kondensationskurven im  $\log(p)h$ -Diagramm). Der elektrische Aufwand des Kompressors bleibt über den gesamten Temperaturbereich ( $20^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}$ ) des Speichers nahezu konstant. Die durchschnittlich erzielbare Wärmeleistung der Wärmepumpe im Winter beträgt 405 W. Die Erwärmung des Speichers erfolgte im Mittel mit 1.5 K/h (Wintersituation). Der COP bewegt sich dabei zwischen 4 bei kaltem und 3 bei warmen Speicher. Die Wärmepumpe muss periodisch ausgeschaltet werden, um den Verdampfer vom Eis zu befreien. Durch die kalten Temperaturen am Verdampfer kondensiert die Luftfeuchtigkeit an diesem aus und friert fest. Eis wirkt wie ein Isolator und verschlechtert den Wärmeübergang zwischen Quelle und Kältemittel und damit auch die Effizienz der Wärmepumpe.

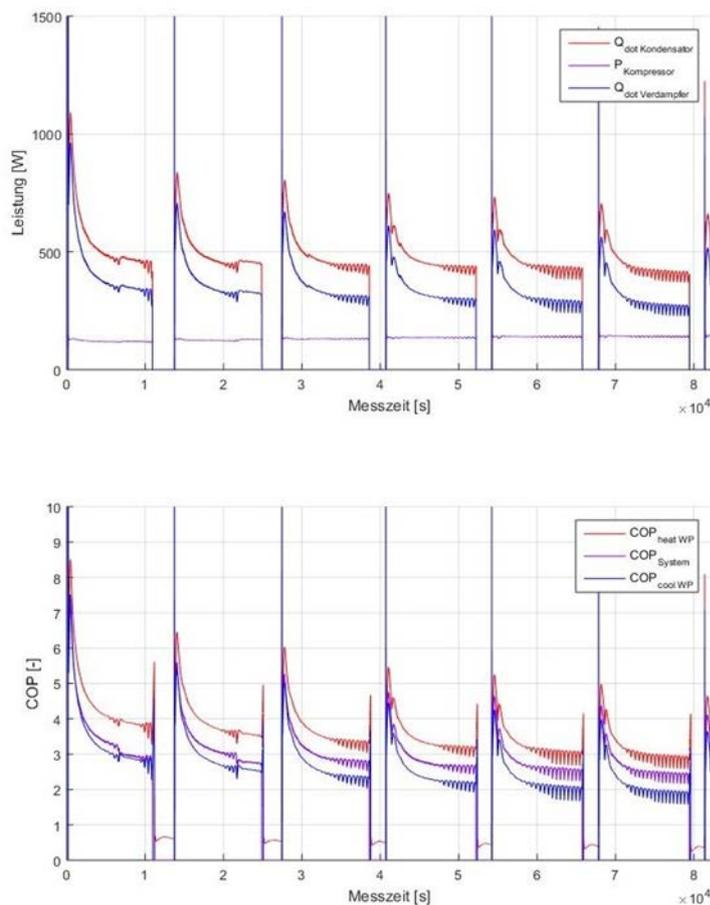


Abbildung 9 Messergebnisse THERMOS im Winter (-4°C)

Im Sommer kann aufgrund der höheren möglichen Verdampfungstemperatur mehr Energie aus der Luft zurückgewonnen werden. Die Wärmepumpe hat infolge dessen im Sommer eine höhere Effizienz, einen grösseren COP. Die Heizleistung der Wärmepumpe im Sommer beträgt im Durchschnitt 615 W. Der Speicher kann im Mittel mit 3.5 K/h erwärmt werden. Die Wärmepumpe braucht abhängig von der aktuellen Jahreszeit zwischen 9 – 20 Stunden um den Speicher um 30K zu erwärmen (30 °C -> 60 °C).

Die Messergebnisse aus Abbildung 10 zeigen das passive Abtauen des Verdampfers der Wärmepumpe. Die gemessenen Leistungen zeigen, dass für die Abtaustrategie des Verdampfers der Wärmepumpe kein zusätzlicher elektrischer Energieaufwand (grüne Kurve) nötig ist. Die warme Fortluft aus der Wohnung reicht aus, um bei ausgeschalteter Wärmepumpe den Verdampfer auf über 0°C zu erwärmen.

Die Steuerung detektiert die Eisbildung im Verdampfer und schaltet die Wärmepumpe aus. Damit wird der Wärmeentzug aus der Fortluft durch die Wärmepumpe unterbunden. Die lauwarme Fortluft strömt weiterhin über den Verdampfer und taut diesen dadurch langsam ab. Dies zeigt auch wie viel Energie noch in der Luft steckt und durch das System zurückgewonnen wird.

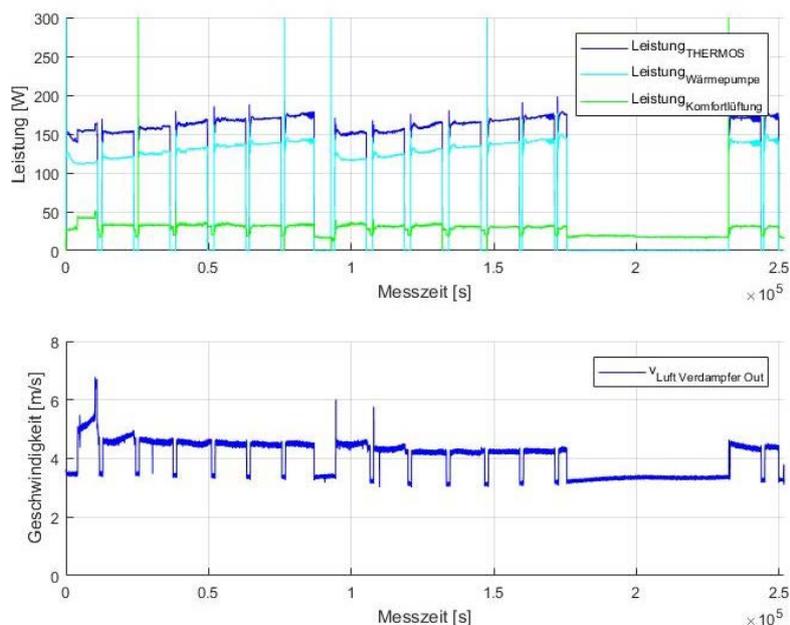


Abbildung 10 Darstellung der passiven Abtaustrategie der THERMOS-Vorwandinheit

### 3.3 Leistungsbilanz

Für den Elektroplaner ist es wichtig mit welcher Gleichzeitigkeit die Durchlauferhitzer arbeiten. Die Gleichzeitigkeit hat Einfluss auf die Dimensionierung von Sicherungen und Leiterquerschnitte. Der Hausanschlusskasten soll vor dem Hintergrund der Netzanschlusskosten nur so gross wie nötig ausfallen. Im Rahmen des P&D-Projektes wird an verbindlichen Tabellen für Elektriker gearbeitet (siehe Abbildung 11). Für die Abschätzung der Gleichzeitigkeit<sup>2</sup> wurden Agent-basierte Zapfprofilen nach «Pflugradt» [7] mit einer dynamischen Matlab-Simulation in Elektrizitätsprofile umgerechnet. Anhand einer Monte-Carlo Simulation wurden Haushaltsprofile zufällig zusammengestellt und für 10'000 Kombinationen die Gleichzeitigkeit berechnet. Die Gleichzeitigkeitsfaktoren der Firma CLAGE GmbH (Lieferant des Durchlauferhitzers) wurden mit den Resultaten dieser Simulationen korrigiert. Im Rahmen des P&D-Projektes sollen die Annahmen mit Messdaten der Stauffacherstrasse validiert werden.

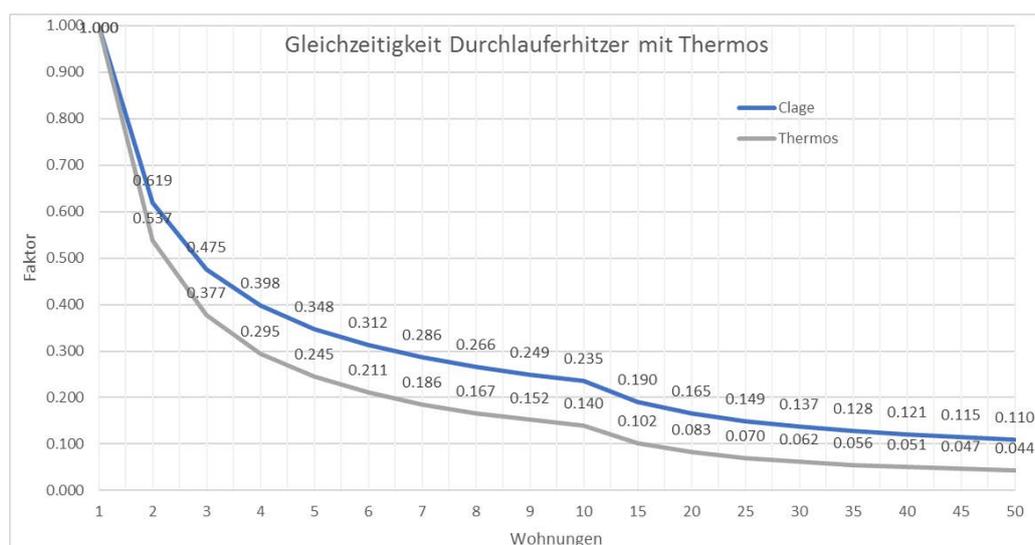


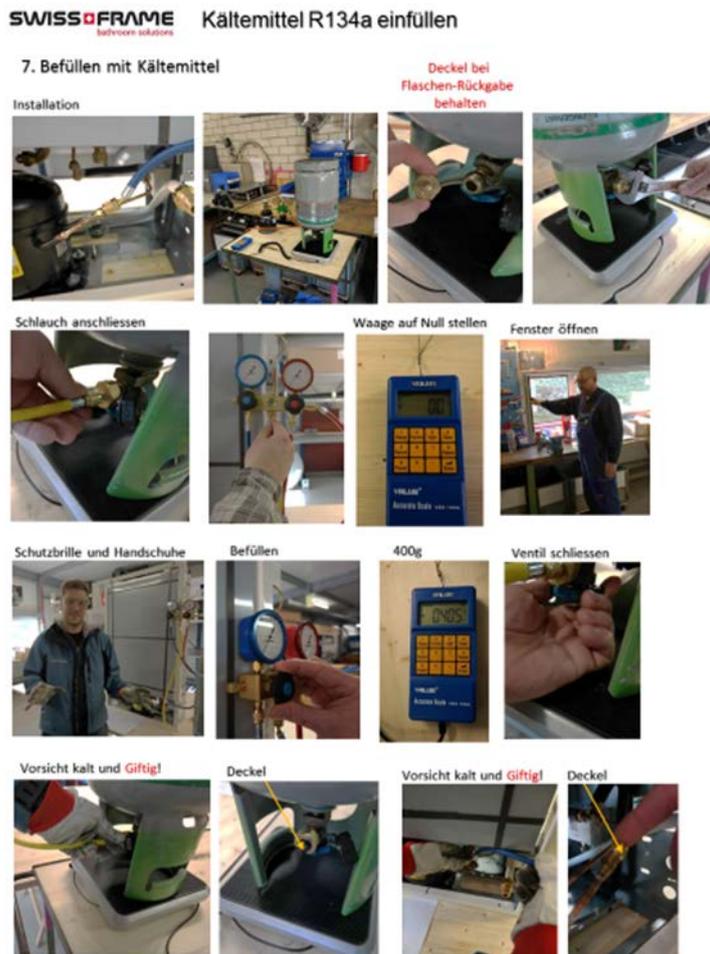
Abbildung 11 Vergleich der Gleichzeitigkeitsfaktoren mit Speicher (THERMOS) vers. ohne Speicher (Clage)

<sup>2</sup> Durchgeführt von Herrn Marco Meier (BKW) im Auftrag der Swissframe AG

### 3.4 Betriebsabläufe im Assemblierungs- und Testprozess

Die Vorwandeinheit-THERMOS ist fertig entwickelt und wird bereits parallel zum P&D-Projekt bestellt. Die Swissframe AG ist gegenwärtig dabei den Produktionsprozess für den Massenmarkt zu optimieren, unter anderem durch eine detaillierte Anleitung für den Zusammenbau. Als sehr hilfreich dabei erwiesen sich die Anfragen der bisherigen Anwender der Vorwandeinheit-THERMOS.

Im KTI-Projekt wurde die Vorwandeinheit für links (Dusche befindet sich links von der VWE) entwickelt. Die Entwicklung einer seitenverkehrten Version erforderte die Umplatzierung des Druckreglers sowie das Anpassen der Rohrführung. Der Bau von Spezialwerkzeugen und die Klärung zahlreicher Details (Leitungslängen, Löttechnik) sowie der Transport und die Montage auf der Baustelle bedeuteten einen wichtigen Schritt hin zur Serienreife.



26.07.2017

20

Abbildung 12 Ausschnitt aus der Anleitung für den schrittweisen Zusammenbau

## 4. Diskussion

Anhand der hochauflösenden Langzeitanalyse des Energiebedarfs für Brauchwarmwasser unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude, kann ein experimenteller Nachweis der Effizienz der Vorwandeinheit-THERMOS erfolgen. Das Monitoring wurde so aufgesetzt, dass neben der Effizienz des Gesamtsystems auch der Energieverbrauch der relevanten Teilsysteme und die Speicherverluste analysiert werden können. Eine Erhebung von Messdaten, sowie deren Auswertung finden ab dem Erstbezug der Wohnungen voraussichtlich ab Dez. 2018 statt. Viele Arbeiten des P&D-Projektes wurden erfolgreich abgeschlossen. Die Swissframe AG erstellte und lieferte die THERMOS-Systeme und die Inbetriebnahme konnte erfolgreich vollzogen werden.

Die Assemblierung einer Kleinserie mit linken und rechten Elementen brachte Erkenntnisse für die detaillierte Bestellliste und die Logistik. Mit der detaillierten Dokumentation des Herstellungsprozesses wurde eine Rationalisierung der Betriebsabläufe im Assemblierungs- und Testprozess erreicht. Die optimierte Fertigungssicherheit reduziert die Stückkosten und steigert die Wirtschaftlichkeit.

Die Inbetriebnahme der Detailmessung in den Service Apartments ist erfolgt. Mit der Wetterstation und den Umfragen zur Nutzerzufriedenheit werden die relevanten Randbedingungen erfasst. Die Fernwartung der Geräte via WiFi Richtfunkantenne ist realisiert und getestet. Die Implementation der Datenverwaltungssoftware auf der Datenbank sowie ein Tool zur Datenauswertung und Plausibilitätsprüfung (Messfehler, Datenlücken) wurde programmiert und getestet. Eine Überprüfung der Wärmemengenzähler hat ergeben, dass diese auch für kurze Zapfungen brauchbare Resultate liefern.

In jeder Wohneinheit ist ein Strom- und Kaltwasserzähler installiert. Damit kann die Nebenkostenabrechnung nach dem neuen BFE-Modell der verbrauchsabhängigen Energie- und Wasserkostenabrechnung (Vewa) erfolgen. Dies erlaubt grundsätzlich jedem Mieter sein Verhalten zu optimieren und ermöglicht neue Abrechnungs- und Geschäftsmodelle.

Abschliessende Analysen der in der Kältekammer haben gezeigt, dass die Vorwandeinheit-THERMOS (im speziellen die Lüftung und die Wärmepumpe) mit den vorgenommenen Einstellungen problemlos funktioniert. Auch im Winter, bei kalten Aussenlufttemperaturen, kann die Wärmepumpe ausreichend Wärme bereitstellen, um den Speicher von 20°C, auf die von der SIA geforderten 60°C aufzuwärmen. Der passive Abtauvorgang benötigt keine zusätzliche elektrische Energie und die langen Betriebszeiten reduzieren den Verschleiss.

## 5. Ausblick

Die Vorwandeinheit «Swissframe THERMOS» ist fertig entwickelt und patentiert. Die Einführungsphase in den Markt sowie die Kommunikation der technischen Eigenschaften wird parallel zum P&D-Projekt intensiviert. Bei energieeffizienten Neubauten und speziell bei Sanierung von Objekten mit dezentralen Elektroboilern wird eine verstärkte Verbreitung und Steigerung des Bekanntheitsgrades des Produktes angestrebt. Für die Serienproduktion des THERMOS bezieht die Swissframe AG eine neue Produktionshalle in Münchenbuchsee.

Eine Messkampagne zur Validierung der Technologiereife im realen Umfeld wurde vorbereitet. Im Dezember 2018 erfolgt das Opening des fünfgeschossigen Gebäudes inkl. Restaurant sowie den 30 Service-Apartments zur Vermietung. Nach dem Einzug der Mieter ins Hotel startet die Versuchsdauer (2018 – 2020). Nach dem Erfassen einer ersten Messperiode beginnt die Auswertung und Analyse der Daten. Aus dem Vergleich der Messungen von der Stauffacherstrasse 60 und jenen aus der Klimakammer der NTB können Rückschlüsse über weitere Optimierungspotenziale an der Vorwandeinheit gezogen werden. Die energetischen Analysen werden mit konventionellen Referenzsystemen verglichen. Die ermittelten Gleichzeitigkeitsfaktoren müssen durch den Feldversuch untermauert werden. Mithilfe von Benutzerumfragen werden Fragen über Personenverhalten und die Akzeptanz des Systems erhoben.

## 6. Danksagung

Wir danken dem Bundesamt für Energie BFE für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des P&D-Programmes. Diese Forschungsarbeit ist Teil der Aktivitäten im Swiss Centre for Competence in Energy Research "SCCER-FURIES" (Future Swiss Electrical Infrastructure), finanziert von Innosuisse (Schweizerische Agentur für Innovationsförderung - SCCER Programm). Ebenfalls wird die finanzielle Unterstützung der Berner Fachhochschule BFH in Burgdorf (Schweiz) hier freundlich verdankt. Der Firma Swissframe AG danken wir herzlich für die fruchtbare Zusammenarbeit.

## Literatur/Referenzen

- [1] Zehnder ComfoAir 180 Komfortlüftungsgerät
- [2] KTI im Geschäftsbericht 2017; Link:  
<https://www.innosuisse.ch/inno/en/home/resultateundwirkung/taetigkeitsberichte-und-mehriahresplan.html>
- [3] A.Primas, P.Fotsch, N.Ruf, 2005, Solare Wassererwärmung in Mehrfamilienhäusern, Im Auftrag des Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- [4] A. Primas, P. Karlström, 2007, Warmwasserversorgung GBZ 7 Sanierung mit Umstellung auf ein dezentrales solares System, Im Auftrag des Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- [5] Vetsch B., Gschwend A., und Bertsch S., 2011, Warmwasserbereitstellung mittels Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern, Im Auftrag des Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- [6] Nipkow, "Elektrische Wassererwärmung in Der Schweiz."
- [7] Pflugradt, Noah Daniel: Modellierung von Wasser und Energieverbräuchen in Haushalten. Dissertation TU Chemnitz. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-20903>