



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**  
Sektion Energieforschung und Cleantech

Schlussbericht vom 31. August 2023

---

## KoDeWa Demonstrationsprojekt

Kompakte, dezentrale  
Warmwasserbereitstellung aus Fortluft und  
Solarstrom

---

Quelle: Swissframe AG





Berner  
Fachhochschule



OST  
Ostschweizer  
Fachhochschule



bathroom solutions

smart-me

**Datum:** 31 August 2023

**Ort:** Burgdorf

**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
Sektion Energieforschung und Cleantech  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Subventionsempfänger/innen:**

Berner Fachhochschule Technik und Informatik (BFH-TI)  
Jlicoweg 1  
3400 Burgdorf  
[www.bfh.ch](http://www.bfh.ch)

Swissframe AG  
Dammweg 39  
3053 Münchenbuchsee  
[www.swissframe.ch](http://www.swissframe.ch)

Ostschweizer Fachhochschule OST  
(ehemals NTB Interstaatliche Hochschule für Technik)  
Werdenbergstrasse 4  
9471 Buchs SG 1  
[www.ost.ch](http://www.ost.ch)

Institut für Solartechnik, SPF  
Oberseestrasse 10  
8640 Rapperswil SG  
[www.ost.ch](http://www.ost.ch)

smart-me AG  
Lettenstrasse 9  
6343 Rotkreuz  
[www.smart-me.com](http://www.smart-me.com)

**Autor/in:**

Duglas Urena Hunziker, Labor für Photovoltaiksysteme BFH-TI, duglas.urena@bfh.ch  
Christof Bucher, Labor für Photovoltaiksysteme, christof.bucher@bfh.ch  
Urs Muntwyler, Labor für Photovoltaiksysteme, urs.muntwyler@bfh.ch  
Bärtschi Joël, Institut für Intelligente Industrielle Systeme BFH-TI, joel.baertschi@bfh.ch  
Stefan Lüthi, Institut für Intelligente Industrielle Systeme BFH-TI, stefan.luethi@bfh.ch  
Roger Weber, Institut für Intelligente Industrielle Systeme BFH-TI, roger.weber@bfh.ch  
Elias Büchel, Institut für Energiesysteme NTB, elias.buechel@ntb.ch  
Andreas Peter, Institut für Energiesysteme OST, andreas.peter1@ost.ch  
Stefan Bertsch, Institut für Energiesysteme OST, stefan.bertsch@ost.ch  
Ruesch Florian, Institut für Solartechnik SPF, florian.ruesch@ost.ch  
Michel Haller, Institut für Solartechnik SPF, michel.haller@ost.ch  
Balz Hegg, Swissframe AG, balz.hegg@swissframe.ch  
Thomas Hegg, Swissframe AG, thomas.hegg@swissframe.ch  
Stefan Fischer, smart-me AG, stefan.fischer@smart-me.com

**BFE-Projektbegleitung:**

Nadège Vetterli, nadege.vetterli@anex.ch  
Men Wirz, Men.Wirz@bfe.admin.ch

**BFE-Vertragsnummer:** SI/501431-01

**Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.**



## Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt wurde in Zusammenarbeit zwischen den Fachhochschulen BFH-TI (PV-Lab, I3S) und OST (IES, SPF) sowie den Industriepartnern Swissframe und smart-me durchgeführt. Das Hauptziel dieses Projektes war es, das im KTI-Projekt Nr. 17357.1 PFEN-IW entwickelte THERMOS-System zur dezentralen Warmwasserbereitung in einer Gebäudesanierung in Bern zu installieren und umfassend auf seine energetischen und wirtschaftlichen Eigenschaften zu testen. Die Motivation für dieses Projekt lag in der Notwendigkeit, umweltfreundliche und effiziente Lösungen für die Warmwassererzeugung in städtischen Mehrfamilienhäusern zu finden. Derzeit werden noch häufig dezentrale Warmwassersysteme mit Gas- oder Elektroboiler eingesetzt. Ihr Ersatz durch erneuerbare Energiequellen ist schwierig und erfordert im Allgemeinen zentrale Warmwassersysteme mit einem Zirkulationssystem, das Komfort und Hygiene auf Kosten erhöhter Wärmeverluste gewährleistet.

Das dezentrale THERMOS-System ermöglicht eine effiziente Warmwasserversorgung durch die Kombination einer Kleinleistungswärmepumpe und einem Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung. Die Besonderheit des Systems liegt in der Warmwasserproduktion direkt im Badezimmer, wobei die Fortluft des Lüftungsgeräts durch eine integrierte Wärmepumpe genutzt wird. Die Integration aller notwendigen Sanitärkomponenten in einer patentierten Vorwandeinheit ermöglicht eine platzsparende Installation.

Ein wesentliches Ziel des Projekts war die detaillierte messtechnische Überprüfung von fünf THERMOS-Systemen über einen Zeitraum von einem Jahr. Hierfür wurden zusätzliche Sensoren integriert und ein Fernzugriff zur Datenüberwachung eingerichtet. Der Fokus der Analyse lag auf der Effizienzermittlung, dem Vergleich mit herkömmlichen Systemen und der Bestimmung von Speicherverlusten.

Die Ergebnisse zeigen, dass das THERMOS-System einen Systemnutzungsgrad (SNG<sub>2</sub>) von bis zu 1.6 aufweist. Typische Werte für den SNG bei herkömmlichen Wärmepumpen-Warmwasser Erzeugungssystemen betragen gemäss Wärmepumpenfeldmessung 0.25-2.4 (1). Keine Anlage der Feldmesskampagne mit Zirkulation erreicht einen SNG von > 1.6. Die gemessenen Speicherverluste betragen durchschnittlich 0.8 kWh/d und liegen somit deutlich unter den Vorgaben der SIA 385/1. Der Feldtest bestätigte die Effizienz und Zuverlässigkeit des THERMOS-Systems in der Praxis.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Projekt wichtige Erkenntnisse zum Betrieb der THERMOS-Einheiten in einem realen Umfeld geliefert hat. Es hat gezeigt, dass das THERMOS-System eine effiziente und nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Warmwasserbereitungssystemen darstellt. Besonders hervorzuheben ist die Eignung des Systems für Strangsanierungen oder Strangbauten in Mehrfamilienhäusern. Die gewonnenen Erkenntnisse trugen massgeblich zur Verbesserung von Herstellungs- und Testverfahren bei und sind von grosser Bedeutung für die Weiterentwicklung und Optimierung des Systems in zukünftigen Projekten.

## Résumé

Le présent projet a été réalisé en collaboration entre les Hautes Écoles spécialisées BFH-TI (PV-Lab, I3S) et OST (IES, SPF) ainsi qu'avec les partenaires industriels Swissframe et smart-me. L'objectif principal de ce projet était d'installer le système THERMOS développé dans le projet CTI n° 17357.1 PFEN-IW pour la production décentralisée d'eau chaude lors de la rénovation d'un bâtiment à Berne et de le tester de manière exhaustive sur ses propriétés énergétiques et économiques. La motivation de ce projet découlait de la nécessité de trouver des solutions écologiques et efficaces pour la production d'eau chaude dans les immeubles multifamiliaux urbains. Actuellement, les systèmes de production d'eau chaude décentralisés utilisant des chaudières à gaz ou électriques sont encore couramment utilisés. Leur remplacement par des sources d'énergie renouvelable est difficile et



nécessite généralement des systèmes de production d'eau chaude centraux avec un système de circulation, garantissant le confort et l'hygiène au détriment des pertes de chaleur accrues.

Le système décentralisé THERMOS permet un approvisionnement efficace en eau chaude en combinant une petite pompe à chaleur avec une unité de ventilation à récupération de chaleur. L'originalité du système réside dans la production d'eau chaude directement dans la salle de bains, en utilisant l'air extrait de l'unité de ventilation grâce à une pompe à chaleur intégrée. L'intégration de tous les composants sanitaires nécessaires dans une unité murale brevetée permet une installation peu encombrante.

Un objectif majeur du projet était l'évaluation détaillée par des mesures de cinq systèmes THERMOS sur une période d'un an. Pour ce faire, des capteurs supplémentaires ont été intégrés et un accès à distance pour la surveillance des données a été établi. L'analyse s'est concentrée sur la détermination de l'efficacité, la comparaison avec les systèmes conventionnels et la détermination des pertes de stockage.

Les résultats montrent que le système THERMOS atteint un facteur d'utilisation du système ( $SNG_2$ ) allant jusqu'à 1.6. Les valeurs typiques pour le  $SNG$  dans les systèmes conventionnels de production d'eau chaude par pompe à chaleur vont de 0.25 à 2.4, selon les mesures sur le terrain des pompes à chaleur (1). Aucun des systèmes de la campagne de mesure sur le terrain avec circulation n'a atteint un  $SNG > 1.6$ . Les pertes de stockage mesurées s'élèvent en moyenne à environ 0.8 kWh/jour, nettement en dessous des exigences de la SIA 385/1. Le test sur le terrain a confirmé l'efficacité et la fiabilité du système THERMOS en pratique.

En résumé, le projet a fourni des informations précieuses sur le fonctionnement des unités THERMOS dans un environnement réel, mettant en évidence l'efficacité et la durabilité du système en tant qu'alternative aux systèmes conventionnels de production d'eau chaude. Il convient de souligner particulièrement sa pertinence pour les rénovations ou les nouvelles constructions dans les immeubles multifamiliaux. Les connaissances acquises ont contribué de manière significative à l'amélioration des procédures de fabrication et de test, et sont d'une grande importance pour le développement et l'optimisation futurs du système dans les projets à venir.

## Summary

The present project was conducted in collaboration between the Universities of Applied Sciences BFH-TI (PV-Lab, I3S) and OST (IES, SPF) and the industrial partners Swissframe and smart-me. The main objective of this project was to install and comprehensively test the THERMOS system developed in CTI project no. 17357.1 PFEN-IW for decentralized hot water production in a building renovation project in Bern, focusing on its energy and economic properties. The motivation for this project stemmed from the necessity to find environmentally friendly and efficient solutions for hot water generation in urban multi-family buildings. Currently, decentralized hot water systems using gas or electric boilers are still widely used. Their replacement with renewable energy sources is challenging and generally requires central hot water systems with a circulation system, ensuring comfort and hygiene at the expense of increased heat losses.

The decentralized THERMOS system enables efficient hot water supply by combining a low-capacity heat pump with a ventilation unit with heat recovery. The system's uniqueness lies in the direct production of hot water in the bathroom, utilizing the exhaust air from the ventilation unit through an integrated heat pump. The integration of all necessary sanitary components in a patented pre-wall installation unit allows for space-saving installation.

A key objective of the project was the detailed measurement-based assessment of five THERMOS systems over the course of one year. Additional sensors were integrated, and remote access for data monitoring was established. The focus of the analysis was on efficiency determination, comparison with conventional systems, and determination of storage losses.



The results demonstrate that the THERMOS system achieves an efficiency with a system utilization factor (SNG<sub>2</sub>) of up to 1.6. Typical values for SNG in conventional heat pump hot water generation systems range from 0.25 to 2.4, according to heat pump field measurements (1). None of the systems in the field measurement campaign with circulation achieved an SNG of > 1.6. The measured storage losses average around 0.8 kWh/day, significantly below the requirements of SIA 385/1. The field test confirmed the efficiency and reliability of the THERMOS system in practice.

In summary, the project provided valuable insights into the operation of THERMOS units in a real-world environment, highlighting the system's efficiency and sustainability as an alternative to conventional hot water generation systems. Particularly noteworthy is its suitability for renovations or new constructions in multi-family buildings. The knowledge gained significantly contributed to the improvement of manufacturing and testing procedures and is of great importance for the future development and optimization of the system in upcoming projects.

## Take-home messages

- Funktionalität: Das THERMOS-System hat sich im Betrieb als zuverlässig und effektiv erwiesen. Die Regelung und die Auslegung der Wärmepumpe sind gut.
- Effizienz Vergleich mit herkömmlichen Systemen: Die THERMOS-Einheit erreichte bei der Feldmessung einen Systemnutzungsgrad (SNG) von bis zu 1.6. Typische Werte für den SNG bei herkömmlichen Wärmepumpen-Warmwasser Erzeugungssystemen betragen gemäss Wärmepumpenfeldmessung 0.25-2.4 (1). Keine Anlage der Feldmesskampagne mit Zirkulation erreicht einen SNG von > 1.6. Das Thermos System bietet somit eine zukunftsfähige Lösung, um die Sanierung in Mehrfamilienhäusern oder Neubauten zu realisieren.
- Speicherverluste: Der flache, drucklose vakuumisierte Speicher hat sich im praktischen Einsatz bewährt. Er zeigte auch nach fünf Jahren keinerlei Anzeichen von Beschädigungen. Die gemessenen Speicherverluste betragen durchschnittlich 0.8 kWh/d und liegen somit deutlich unter den Vorgaben der SIA 385/1.
- Anwendungspotential: Das THERMOS-System eignet sich besonders für Strangsanierungen oder Strangbauten in Mehrfamilienhäusern und trägt somit wesentlich zur Förderung umweltfreundlicher Energiekonzepte in der Schweiz bei.



# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Zusammenfassung</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>Résumé</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>Summary</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>Take-home messages</b> .....  | <b>6</b>  |
| <b>Inhaltsverzeichnis</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>1 Einleitung</b> .....  | <b>12</b> |
| 1.1 Ausgangslage und Hintergrund .....   | 12        |
| 1.1.1 Swissframe AG Unternehmensprofil und Kernkompetenzen.....                                  | 12        |
| 1.1.2 Interdisziplinäres KTI-Projekt.....  | 12        |
| 1.2 Motivation des Projektes .....   | 13        |
| 1.2.1 Hintergrund und Herausforderungen.....   | 13        |
| 1.2.2 Gesetzliche Anforderungen und Lösungsansatz.....   | 13        |
| 1.2.3 Stand der Technik .....  | 13        |
| 1.3 Projektziele .....   | 15        |
| 1.3.1 Technologiereife und Anwendung in einem realen Einsatzszenario.....                        | 15        |
| 1.3.2 Entwicklungsprozess und Qualitätssicherung bei der Swissframe AG .....                     | 15        |
| 1.3.3 Zentrale Projektziele.....   | 15        |
| <b>2 Anlagenbeschrieb</b> .....  | <b>16</b> |
| 2.1 THERMOS-System .....   | 16        |
| 2.1.1 Aufbau und Integration der Systemkomponenten.....  | 16        |
| 2.1.2 Installationsmerkmale und Raumanforderungen.....   | 17        |
| 2.1.3 Komfortlüftungsgerät .....   | 18        |
| 2.1.4 Kleinleistungswärmepumpe und Hochleistungsspeicher .....                                   | 20        |
| 2.1.5 Elektrischer Durchlauferhitzer .....   | 22        |
| 2.2 Umbau und Erweiterung an der Stauffacherstrasse 60, Bern.....                                | 23        |
| 2.3 Planungsleistungen der Fachingenieur*innen.....  | 26        |
| 2.3.1 Elektro- und Kommunikationstechnik .....   | 26        |
| 2.3.2 Elektroplanung und Dimensionierung unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktors.... | 27        |
| 2.3.3 Planung des WLAN-Netzwerks für die Datenerfassung .....                                    | 28        |
| 2.3.4 Planung des Heizungssystems .....  | 30        |
| <b>3 Vorgehen/Methode und Ergebnisse</b> .....   | <b>32</b> |
| 3.1 Bericht BFH-TI: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse.....                          | 32        |
| 3.1.1 Lasten- und Pflichtenheft.....   | 32        |
| 3.1.2 Sensoren Detailmessung .....   | 33        |
| 3.1.3 Assemblierung und Integration von Sensoren .....   | 35        |



|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.1.4  | Inbetriebnahme und Funktionstests .....                           | 37 |
| 3.1.5  | Fernzugriff und Datenmanagement.....                              | 38 |
| 3.1.6  | Wetterstation.....  | 39 |
| 3.1.7  | Fehlerbehebung von smart-me Messgeräten .....                     | 40 |
| 3.1.8  | Beurteilung der Nutzerzufriedenheit.....                          | 43 |
| 3.2    | Bericht BFH-TI: Bewertung und Ausblick .....                      | 47 |
| 3.2.1  | Termine und Verzögerungen.....                                    | 47 |
| 3.2.2  | Datenqualität.....  | 47 |
| 3.2.3  | Nutzerzufriedenheit .....   | 48 |
| 3.3    | Bericht IES: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse ..... | 48 |
| 3.3.1  | Evaluation der Sensoren .....                                     | 48 |
| 3.3.2  | Messungen Definieren.....   | 49 |
| 3.3.3  | Aufgetretene Probleme in der Produktion der Vorwandeinheit.....   | 49 |
| 3.3.4  | Problemanalyse an der NTB .....                                   | 49 |
| 3.3.5  | Neue Probleme mit Kondensat.....                                  | 50 |
| 3.3.6  | Serienreife der Vorwandeinheit .....                              | 50 |
| 3.4    | Bericht IES: Zwischenfazit 2018, vor der Inbetriebnahme .....     | 50 |
| 3.4.1  | Fertigungssicherheit steigern .....                               | 50 |
| 3.4.2  | Messungen und Analyse in der Klimakammer .....                    | 50 |
| 3.4.3  | Auswertung automatisieren .....                                   | 51 |
| 3.5    | Bericht IES: Ergebnisse Feldmessung Stand 2023 .....              | 51 |
| 3.5.1  | Datenaufbereitung .....   | 51 |
| 3.5.2  | Datenauswertung .....   | 53 |
| 3.5.3  | Druckverhältnisse .....   | 54 |
| 3.5.4  | Pinch Temperaturen .....  | 54 |
| 3.5.5  | Luftmenge Lüftungsgerät.....                                      | 55 |
| 3.5.6  | Wärmerückgewinnung Verdampfer .....                               | 56 |
| 3.5.7  | Heizenergie.....  | 57 |
| 3.5.8  | SNG .....   | 57 |
| 3.5.9  | SNG Trinkwarmwasser 4 ohne Cooker .....                           | 59 |
| 3.5.10 | Wärmemenge Warmwasser .....                                       | 62 |
| 3.5.11 | Wasser Menge.....   | 62 |
| 3.5.12 | Heissgastemperatur im Jahresverlauf.....                          | 62 |
| 3.5.13 | Verdichter Starts .....   | 63 |
| 3.5.14 | Gleichzeitigkeit Durchlauferhitzer .....                          | 63 |
| 3.5.15 | Vereisung und Abtauung .....                                      | 64 |
| 3.6    | Bericht IES: Bewertung und Ausblick.....                          | 64 |
| 3.6.1  | Schlussfolgerung .....  | 64 |
| 3.6.2  | Ausblick: .....   | 65 |
| 3.7    | Bericht SPF: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse ..... | 65 |



|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.7.1    | Vorarbeiten .....   | 65        |
| 3.7.2    | Kalibration.....  | 66        |
| 3.7.3    | Speicherverluste.....   | 67        |
| 3.7.4    | Verunreinigung des Trinkwassers .....                                   | 70        |
| 3.8      | Bericht SPF: Bewertung und Ausblick.....                                | 71        |
| 3.9      | Bericht Swissframe: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse..... | 71        |
| 3.9.1    | Ingenieurmodell .....   | 71        |
| 3.9.2    | Betriebsabläufe im Assemblierungs- und Testprozess .....                | 72        |
| 3.10     | Bericht Swissframe: Zwischenfazit 2018, vor der Inbetriebnahme .....    | 78        |
| 3.11     | Bericht Swissframe: Ergebnisse Stand 2023 .....                         | 80        |
| 3.11.1   | Serienfertigung .....   | 80        |
| 3.11.2   | Kalkulation .....   | 81        |
| 3.11.3   | Minergie P .....  | 81        |
| 3.11.4   | Netzbelastung Auswertung Grossaffoltern.....                            | 83        |
| 3.11.5   | SVGW-Zertifizierung.....  | 84        |
| 3.11.6   | Anleitung Montage.....  | 85        |
| 3.11.7   | Montage Stauffacherstrasse.....   | 86        |
| 3.11.8   | Datenauswertung .....   | 86        |
| 3.12     | Bericht Swissframe: Bewertung und Ausblick .....                        | 87        |
| 3.12.1   | Zukunft Lüftungsgerät (THERMOS II) .....                                | 87        |
| 3.12.2   | Zukunft Steuerung (THERMOS II).....                                     | 87        |
| 3.12.3   | Anstoss zu Innosuisse-Projekt THERMOS .....                             | 88        |
| 3.12.4   | Erste Ergebnisse Digitalisierung (Innosuisse-Projekt) .....             | 89        |
| 3.12.5   | Fazit Swissframe AG .....   | 89        |
| 3.13     | Bericht smart-me: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse .....  | 90        |
| 3.13.1   | Planung der Messinfrastruktur.....                                      | 90        |
| <b>4</b> | <b>Schlussfolgerungen und Fazit .....</b>                               | <b>91</b> |
| 4.1      | Messsystem und Datenqualität .....                                      | 91        |
| 4.2      | Optimierungspotenzial des THERMOS-Systems.....                          | 91        |
| 4.3      | Effizienzvergleich und Speicherverluste.....                            | 91        |
| 4.4      | Wirtschaftlichkeit und Kosteneffizienz .....                            | 91        |
| 4.5      | Abschliessende Bemerkungen.....   | 92        |
| <b>5</b> | <b>Ausblick und zukünftige Umsetzung .....</b>                          | <b>93</b> |
| <b>6</b> | <b>Publikationen .....</b>  | <b>94</b> |
| <b>7</b> | <b>Literaturverzeichnis .....</b>                                       | <b>94</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis .....</b>                                       | <b>94</b> |
| <b>8</b> | <b>Anhang .....</b>   | <b>95</b> |
| 8.1      | Messgeräteverzeichnis.....  | 95        |



|     |                           |    |
|-----|---------------------------|----|
| 8.2 | Tabellenverzeichnis ..... | 97 |
|-----|---------------------------|----|



## Abkürzungsverzeichnis

|            |  |
|------------|--|
| <b>COP</b> | Coefficient of Performance (Leistungszahl)                     |
| <b>DLE</b> | Durchlauferhitzer  |
| <b>HLS</b> | Heizung, Lüftung, Sanitär                                      |
| <b>JAZ</b> | Jahresarbeitszahl  |
| <b>MFH</b> | Mehrfamilienhäuser   |
| <b>RMA</b> | Return Material Authorization (Nummer für Warenrücksendung)    |
| <b>SPS</b> | Speicherprogrammierbare Steuerung                              |
| <b>SNG</b> | Systemnutzungsgrad   |
| <b>UG</b>  | Untergeschoss  |
| <b>VIP</b> | Vakuum-Isolations-Panel Wärmedämmung                           |
| <b>VOC</b> | Volatile Organic Compounds (flüchtige organische Verbindungen) |
| <b>WP</b>  | Wärmepumpe   |



# 1 Einleitung

Der vorliegende Schlussbericht des Demonstrationsprojekts «KoDeWa» fasst die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Einbau und dem Betrieb des «THERMOS-System» (Benennung des Produktes) bei einer Gebäudesanierung in Bern zusammen. Das Hauptziel dieses Projektes war es, die Lösung für die dezentrale Warmwasserbereitung in Wohngebäuden in einem realen Umfeld zu installieren und umfassend auf ihre energetischen und wirtschaftlichen Eigenschaften zu testen.

Die Energie- und Klimaziele fordern, Energie effizienter zu nutzen und die CO2- Emissionen zu reduzieren. Dies hat zu einem wachsenden Interesse an innovativen Technologien und Lösungen geführt, die nicht nur umweltfreundlich, sondern auch wirtschaftlich und praktikabel sind. Das THERMOS-System, entwickelt von Swissframe AG in Zusammenarbeit mit verschiedenen Forschungspartnern, ist ein solches innovatives Produkt.

Dieser Bericht gibt einen Überblick über die verschiedenen Phasen des Projekts, von der Entwicklung und Funktionsweise des THERMOS-Systems, über die Durchführung und Analysen des Feldtests, bis hin zu den gewonnenen Erkenntnissen und Empfehlungen für zukünftige Umsetzungen und Projekte.

Wir hoffen, dass dieser Bericht einen klaren und umfassenden Überblick über die Arbeit, die im Rahmen dieses Projekts geleistet wurde, sowie über die Potenziale und Möglichkeiten des THERMOS-Systems für die effiziente Warmwasserversorgung in der Schweiz bietet.

## 1.1 Ausgangslage und Hintergrund

### 1.1.1 Swissframe AG Unternehmensprofil und Kernkompetenzen

Die Firma Swissframe AG mit Sitz in Münchenbuchsee (BE) ist ein Familienunternehmen und wurde 2008 gegründet. Die KMU ist ein Spin-off von Hegg Sanitär AG (gegründet 1875 / 30 Mitarbeiter). Die Swissframe AG beschäftigt rund zehn Mitarbeiter (Stand 2023).

Das Unternehmen bietet ihren Kunden Komplettlösungen im Bereich der Badezimmersanierungen, die häufig bei der Renovation von Mehrfamilienhäusern zum Einsatz kommen. Im Pilot- und Demonstrationsprojekt «Reno-HP» bei Morges wurde das (Zu- und Abfluss, Abluft) Badezimmervorwand-Konzept der Swissframe AG erstmals erfolgreich im Feld getestet (2). Es handelt sich dabei um vorkonfektionierte Badezimmervorwandeinheiten, die bereits mit allen notwendigen Haustechnikkomponenten ausgestattet sind, wenn sie beim Kunden eintreffen. Die Sanierung eines Badezimmers ist somit für den Kunden deutlich kürzer und kann von zwei Sanitäristallateuren allein bewältigt werden.

Die Vorwandeinheiten der Swissframe AG eignen sich besonders gut für Strangsanierungen oder Strangbauten in Mehrfamilienhäusern. Mit über 4.000 Installationen in 150 Objekten haben sich diese Systeme als zuverlässig und bewährt erwiesen.

### 1.1.2 Interdisziplinäres KTI-Projekt

Im KTI-Projekt «KoDeWa» (Nr. 17357.1 PFEN-IW) wurde die Produktpalette der Swissframe AG mit den Ideen von Hegg Balz und Muntwyler Urs um ein System zur dezentralen Warmwasserbereitung im Badezimmer mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energie erweitert.

Dieses kompakte THERMOS-System wurde in Zusammenarbeit mit den Partnerhochschulen NTB (Interstaatliche Hochschule für Technik, Institut für Energiesysteme IES), HSR (Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Solartechnik SPF) und der BFH (Berner Fachhochschule, Labor für Photovoltaiksysteme und Institut für Intelligente Industrielle Systeme) entwickelt (3). Entsprechend ihren jeweiligen Disziplinen entwickelten die Forschungspartner die Einzelkomponenten der neuen THERMOS-Einheit. Die Idee wurde innerhalb eines Jahres in einem Prototyp umgesetzt.



Nach der intensiven Forschungs- und Entwicklungszeit konnte das THERMOS-System am 15.12.2017 patentiert werden (Nr.01789/13). Darüber hinaus wurde das Projekt «Kompakte, dezentrale Warmwasserbereitstellung aus Fortluft und Solarstrom» im Geschäftsbericht 2017 von der KTI – Innosuisse als Erfolgsgeschichte vorgestellt (4).

Detaillierte Informationen zur Funktionsweise und den eingesetzten Komponenten sind im Abschnitt 2.1 des Berichts dargelegt.

## 1.2 Motivation des Projektes

### 1.2.1 Hintergrund und Herausforderungen

Vor allem in städtischen Mehrfamilienhäusern sind dezentrale Warmwasserbereitungssysteme mit Gas- oder Elektrokesseln immer noch weit verbreitet. Der Übergang zu Systemen, die auf erneuerbaren Energien basieren, stellt eine Herausforderung dar. Dieser Wechsel erfordert den Einsatz von zentralen Warmwasseranlagen, die Komfort und Hygiene sicherstellen, jedoch auf Kosten erhöhter Wärmeverluste. Oftmals fehlt der Platz für Erdwärmesonden, Holzheizungen verursachen Emissionen und die Dachterrasse soll nicht für eine Solaranlage geopfert werden. Auch die Ausseneinheiten von Luftwärmepumpen brauchen Platz und verursachen Lärm. Daher greifen viele weiterhin auf fossile Brennstoffe wie Gas oder Öl zur Warmwassererzeugung zurück.

### 1.2.2 Gesetzliche Anforderungen und Lösungsansatz

Seit Einführung der MuKE 2008 dürfen in Neubauten nur Wassererwärmer installiert werden, die neben Elektrizität auch andere Energiequellen nutzen. Mit der MuKE 2014 müssen bestehende, rein elektrisch betriebene Wassererwärmer innerhalb von 15 Jahren ersetzt oder angepasst werden. Daher ist mittel- bis langfristig mit einer Sanierung vieler dieser Systeme zu rechnen. Das innovative THERMOS-System stellt hierbei eine zukunftsfähige Lösung dar, insbesondere für den Einsatz in Mehrfamilienhäusern.

### 1.2.3 Stand der Technik

#### Zentrale Warmwasserversorgung

Bei neueren Schweizer Mehrfamilienhäusern ist eine Variante, dass das Warmwasser zentral aufbereitet wird und über ein Verteilnetz in die Wohnungen gelangt. In den letzten Jahrzehnten wurde die Energie zur Erwärmung hauptsächlich durch die Verbrennung von Öl oder Gas oder durch zentrale Wärmepumpenlösungen, bzw. Solaranlagen bereitgestellt. Aus hygienischen und gesundheitlichen Gründen müssen die zentralen Warmwasseraufbereitungsanlagen mit einer Vorlauftemperatur von mindestens 60 °C betrieben werden (Legionellenschutz SIA 385/1). Dies führt zu hohen Wärme- und Energieverlusten, die oft mehr als die Hälfte des Warmwasserverbrauchs ausmachen (5) (6) (7). Je grösser das Gebäude, desto umfangreicher sind das Wärmenetz und die zugehörigen Warmhaltesysteme, wodurch noch mehr Energie passiv verloren geht. Dies beeinträchtigt die Effizienz des gesamten Warmwassersystems erheblich.

#### Dezentrale Warmwasserversorgung

In einer zweiten Variante heizt bei dezentralen Heizsystemen ein Elektroboiler das Warmwasser in jeder Wohnung auf. Laut dem Schlussbericht des BFE zur elektrischen Wassererwärmung in der Schweiz (8) sind in der Schweiz 552.000 dezentrale Elektroboiler in insgesamt 157.400 Mehrfamilienhäusern installiert. Diese energieintensiven Geräte müssen mittel- bis langfristig ersetzt werden. Bei der Umstellung auf eine zentrale Anlage entstehen die genannten Verluste. Zudem ist der nachträgliche Einbau von Warmwasser-Verteilsystemen sehr teuer.

#### Vorteile des THERMOS-Systems

Das THERMOS-System bietet hier eine innovative Lösung für die dezentrale Warmwasserbereitung. Zur Bereitstellung des Brauchwarmwassers benötigt das THERMOS-System lediglich eine



Kaltwasserleitung und einen Stromanschluss<sup>1</sup>. Im Gegensatz zur zentralen Warmwasserbereitung im Keller muss das Warmwasser nicht über das Rohrsystem zu den einzelnen Wohnungen geleitet werden. Allein durch die dezentrale Bereitstellung kann ein Grossteil der Zirkulationsverluste eingespart werden. Ausserdem entfällt die graue Energie für die Zirkulationsleitung des Warmwasserversorgungssystems (Chromstahlleitungen) oder die elektrischen Rohrbegleitheizungen.

Bei der dezentralen Warmwassererzeugung ohne Trinkwasserspeicherung ist eine Erwärmung des Wassers auf 60°C aus hygienischen Gründen nicht erforderlich. Dadurch können die Wärmepumpen in günstigeren Betriebspunkten arbeiten und es entstehen weniger Bereitschaftsverluste. Zudem ist die Wahrscheinlichkeit von Verkalkungsproblemen geringer.

Dank der industriellen Vorfertigung werden sowohl Kosten als auch Installationszeit erheblich reduziert, insbesondere bei der Sanierung von Gebäuden mit dezentralen Elektroboilern. Ein weiterer Vorteil der dezentralen Warmwasserbereitung besteht darin, dass jede Wohnung „autark“ ist. Fällt in einer zentralen Anlage die Wärmequelle aus, sind alle angeschlossenen Parteien betroffen. Bei der dezentralen Warmwasserbereitung entfällt dieses Problem.

Darüber hinaus ermöglicht die separate Versorgung der Wohneinheiten in einem Mehrfamilienhaus eine verursachergerechte Abrechnung der Warmwasserkosten über die jeweiligen Strom- und Wasserrechnungen.

### **Sanitärtechnik**

Bei einer konventionellen Badsanierung baut der Sanitärintallateur zuerst eine Vorwand aus Stahlprofilen. In dieser Vorwandstruktur sind alle Sanitäranlagen, elektrischen Leitungen und ggf. die Badezimmerlüftung integriert. Der Bau dieser Vorwand erfordert die Koordination verschiedener Handwerker, darunter Lüftungs-, Elektro- und Sanitärintallateure. Nachdem die Vorwand aufgebaut ist, wird sie entweder verputzt und gestrichen oder mit Fliesen versehen. Erst nach diesen Arbeiten können Toilette, Spiegelschrank etc. fertig montiert werden. Eine solche Sanierung ist nicht nur zeitaufwändig, sondern erfordert auch eine sorgfältige Abstimmung der Handwerker, wobei oft ein Schritt erst nach Abschluss des vorherigen beginnen kann (Einzelteile).

### **Vorteile des THERMOS-Systems**

Im Gegensatz dazu bietet das modulare THERMOS-System erhebliche Vorteile. Es wird industriell vorgefertigt und kommt somit einbaufertig auf die Baustelle. Dies minimiert nicht nur die Fehlerquote, sondern erleichtert auch die Integration weiterer Gebäudetechnikkomponenten. Ein entscheidender Vorteil ist die deutlich reduzierte Umbauzeit. Bei Sanierungen in bewohnten Gebäuden sind die Mietendenentsprechend weniger tangiert.

### **Lüftungstechnik**

Bei den allermeisten Sanierungsprojekten kommt keine kontrollierte Lüftung zum Einsatz. Die Abluft respektive ihre thermische Energie strömt ohne Wärmerückgewinnung ins Freie.

### **Vorteile des THERMOS-Systems**

Mit dem THERMOS-System wird in jeder Wohnung eine Minergie-P-Lüftung installiert. Das THERMOS-System kann daher nur dort eingebaut werden, wo dies auch tatsächlich gewünscht ist. Mit dem THERMOS können Wohnungseigentümer, eine moderne Lüftung installieren lassen, ohne dass alle Miteigentümer mitmachen müssen.

---

<sup>1</sup> Das THERMOS-System eignet sich daher hervorragend für Inselanlagen (zum Beispiel mit Photovoltaik).



## 1.3 Projektziele

### 1.3.1 Technologiereife und Anwendung in einem realen Einsatzszenario

Im Rahmen dieses Projekts wird die Technologiereife des im KTI-Projekt KoDeWa entwickelten Prototyps in einer relevanten Umgebung demonstriert. Als Testumgebung dient ein Mehrfamilienhaus an der Stauffacherstrasse 60 in Bern mit Wohnungsbelegungen von 1 bis 2 Personen. Hier wurden insgesamt 31 THERMOS-Systeme installiert, von denen fünf durch die Partnerhochschulen detailliert messtechnisch überprüft werden. Ziel ist es, die Energieeffizienz und das Verhalten der Vorwandeinheiten unter realen Bedingungen zu analysieren. Die Daten werden über einen Zeitraum von mindestens einem Jahr erfasst. Basierend auf diesen Daten können jährliche Kennzahlen, wie der Systemnutzungsgrad, ermittelt und mit konventionellen Systemen verglichen werden.

### 1.3.2 Entwicklungsprozess und Qualitätssicherung bei der Swissframe AG

Beim THERMOS-System integrierte die Swissframe AG erstmals eine Wärmepumpe in einem ihrer Produkte. Der Übergang von einem Prototyp zur Serienproduktion stellte eine grosse Herausforderung dar. Hierbei leisteten die Partnerhochschulen wertvolle Unterstützung, insbesondere bei der Optimierung des Produkts sowie des Herstellungs- und Testverfahrens. Dies gewährleistet, dass trotz Skalierung und Serienproduktion die Qualität der Wärmepumpen konstant hoch bleibt.

### 1.3.3 Zentrale Projektziele

- i. Experimenteller Nachweis der Effizienz der Vorwandeinheit-THERMOS durch separates erfassen des Energieverbrauches der relevanten Teilsysteme (Wärmepumpe, Durchlauferhitzer, Raumheizung, Lüftung, etc.) und vergleich mit Referenz-Systemen.
- ii. Abschätzen der Wirtschaftlichkeit bzw. der Erfolgswahrscheinlichkeit anhand der potenziellen Stückkostenreduktion durch die Optimierung von Betriebsabläufen im Assemblierungs- und Testprozess (Rationalisierung, Lernkurve).
- iii. Erfassen von relevanten Randbedingungen und Mieterinformationen (Wetter, Belegung, Bezüge, Nutzerzufriedenheit).
- iv. Mögliche Verunreinigungsrisiken des Trinkwassers durch den Wasserspeicher mittels Massnahmen wie thermischer Desinfektion vorbeugen.
- v. Im Rahmen des Projekts soll der Systemnutzungsgrad (SNG) des THERMOS-Systems ermittelt werden und mit herkömmlichen Wärmepumpensystemen zur Warmwasserbereitstellung verglichen werden.



## 2 Anlagenbeschrieb

### 2.1 THERMOS-System

Das System ermöglicht eine effiziente Warmwasserversorgung durch die Kombination einer Kleinleistungswärmepumpe und einem Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung. Die Besonderheit des Systems liegt in der Warmwasserproduktion direkt im Badezimmer, wobei die Fortluft des Lüftungsgeräts durch eine integrierte Wärmepumpe genutzt wird. Um den Nutzerkomfort auch bei häufigen und langen Warmwasserbezügen sicherzustellen, ist das System zusätzlich mit einem elektrischen Durchlauferhitzer ausgestattet.

#### 2.1.1 Aufbau und Integration der Systemkomponenten

Das THERMOS-System von Swissframe besteht aus einer selbsttragenden Metallkonstruktion. Darin sind die Komponenten zur dezentralen Warmwasserbereitung sowie alle notwendigen sanitären Leitungen und Armaturen für Badezimmerinstallationen integriert. Kernkomponenten des Systems sind das Lüftungsgerät, die Wärmepumpe, der Hochleistungsspeicher sowie der Durchlauferhitzer und die Steuerungseinheit.

Sanitärkomponenten im Detail:

- Vorwandverkleidung aus Mineralwerkstoffplatte, verfügbar in diversen Farbtönen.
- Fallstrang aus Grauguss.
- Steigleitungen aus INSTAFLEX von GF Piping Systems
- Armaturen und Verteilleitungen von JRG Sanipex von GF Piping Systems
- Geberit Sigma Unterputz-Spülkästen mit Geruchsabsaugung
- Thermomischer für Dusch- oder Badewasser, z.B. GROHE Grohtherm 800.
- Glasabschluss im Duschbereich aus 8 mm Einscheibensicherheitsglas.
- Spiegelschrank aus Aluminium mit LED-Beleuchtung.
- Duschwanne aus pflegeleichtem Mineralwerkstoff.
- Lüftungsgerät und Warmwasserbereitungskomponenten



Abbildung 1 Vorwandeinheit-THERMOS - Badezimmertechnik inklusive Wärmepumpe und Speicher.

### 2.1.2 Installationsmerkmale und Raumanforderungen

Das THERMOS-System bietet eine umfassende Lösung für die Warmwasserbereitstellung, Belüftung, Abwasser- und Sanitärinstallation in Wohnungen. Durch seine modulare, zweiteilige Konstruktion wird



die Lieferung und Installation auf der Baustelle erheblich vereinfacht. Befestigungselemente aus Naturkautschuk an Boden und Wand gewährleisten eine effektive Schalldämmung. Zusätzlich wird das Abwassersystem mit Schwerdämmfolie und Schalldämmmatte ummantelt, um Vibrationen im Rohrsystem zu verhindern. Durch die Schnittstelle zum Fallstrang und den verwendeten Materialien erfüllt das System hohe Brandschutzanforderungen. Die Wartungs- und Reparaturarbeiten werden durch die abnehmbaren Mineralwerkstoffplatten und die gut zugängliche Anordnung aller Komponenten vereinfacht.

#### Raumanforderungen:

- Mindest-Raumhöhe 2350 mm
- Mindest-Breite 1600 mm (ohne Wanne)
- Bautiefe von 320 mm

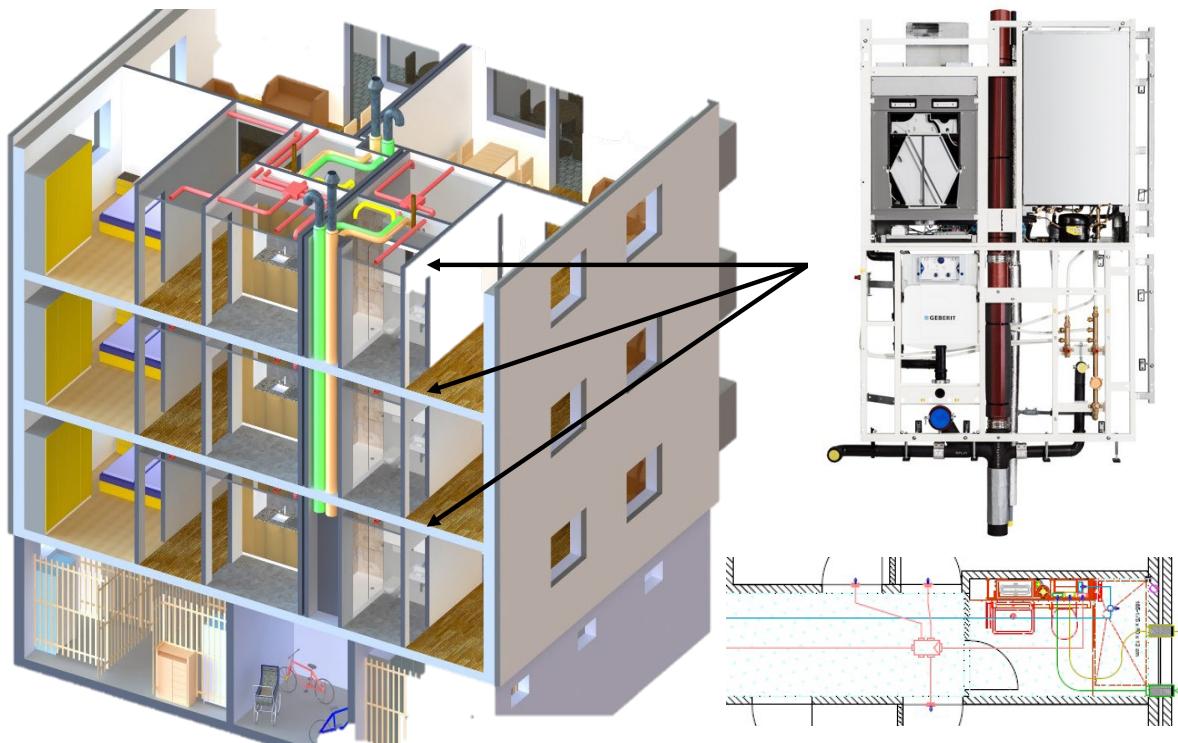


Abbildung 2 Einsatz bei Strangsanierungen in Mehrfamilienhäusern.

#### 2.1.3 Komfortlüftungsgerät

Die THERMOS-Einheit von der Swissframe AG besitzt, ähnlich wie ihr Vorgängermodell VARIOS, ein Komfortlüftungsgerät. Dieses ist sowohl für Badezimmer geeignet als auch für die Belüftung der gesamten Wohnung bei umfangreichen Sanierungen. Das Lüftungsgerät ist mit einem Kreuz-Gegenstrom-Enthalpietauscher ausgestattet, der Wärme und Feuchtigkeit mit einem hohen Wirkungsgrad zurückgewinn.

Die Luftmenge der (dezentralen) Komfortlüftung lässt sich über einen Funktaster regulieren, wobei eine maximale Kapazität von 180 m<sup>3</sup>/h erreicht wird. Frische, gefilterte und vorgewärmte Zuluft wird den Wohn- und Schlafzimmern zugeführt, während in Badezimmern (und meistens auch in Küchen) die feuchte und verbrauchte Abluft getrennt über die Komfortlüftung abgeleitet wird. Zusätzlich sorgt ein interner Vorwärmer in der Frischluftzufuhr an kalten Tagen für Komfort.

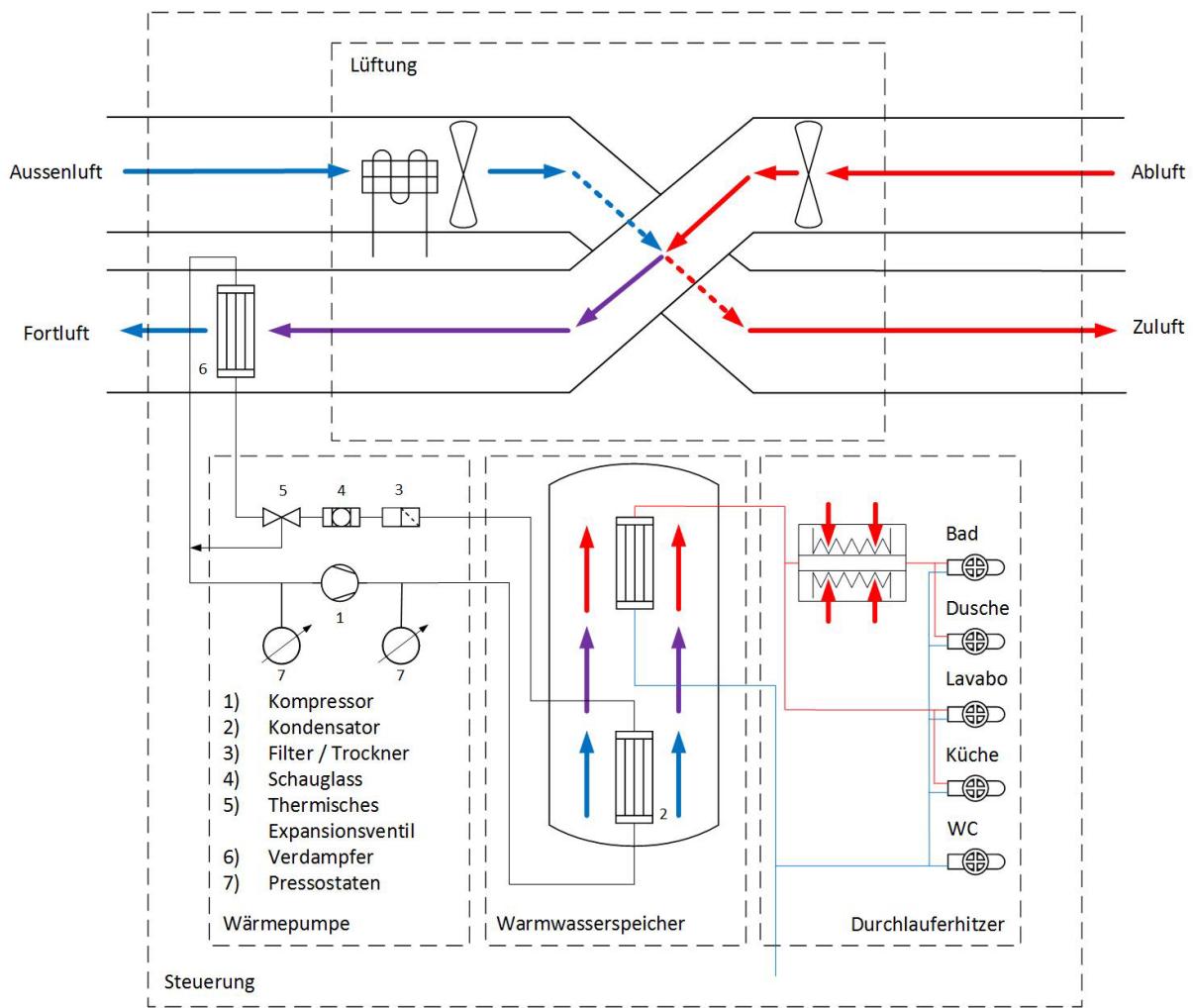


Abbildung 3 Übersichtsschema Vorwandeinheit-THERMOS (KTI-Projekt KoDeWa).

Tabelle 1 Technische Spezifikationen des Komfortlüftungsgeräts

| Spezifikation       | Details                                       |
|---------------------|---|
| Typ                 | Zehnder ComfoAir 180                          |
| Wärmetauscher       | Kunststoff                                    |
| Ventilatoren        | EC-Gleichstromventilatoren                    |
| Filter Abluft       | G4 / ISO Coarse $\geq 65\%$ (Grobstaubfilter) |
| Filter Außenluft    | F7 / ISO ePM1 $\geq 55\%$ (Pollenfilter)      |
| Kondensatanschluss  | 20 mm   |
| Luftkanalanschlüsse | 4-eckig, Adapter auf DN 125                   |
| Elektroanschluss    | 230 V, 50 Hz                                  |
| Einsatzgrenzen      | 0 °C bis 40 °C; 0 – 90 % relative Feuchte     |
| Volumenstrom        | Max. 180 m³/h, Min. 30 m³/h                   |



|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| Wärmerückgewinnung | > 90 %                         |
| Schutzklasse       | IP 40                          |
| Leistung           | Variabel bis max. 750 W, 8.3 A |

#### 2.1.4 Kleinleistungswärmepumpe und Hochleistungsspeicher

Die THERMOS-Einheit enthält neu eine Kleinleistungswärmepumpe mit einem Hochleistungsspeicher. Das Institut für Energiesysteme IES hat die Wärmepumpe (Kältemittel 400g R134a) konzipiert und gebaut. Die Wärmepumpe ist sehr klein dimensioniert und arbeitet praktisch durchgehend, dafür mit kleiner Leistung. Abhängig von den Temperaturbedingungen bewegt sich der COP zwischen 3 und 4. Als Wärmequelle dient die Fortluft des Komfortlüftungsgeräts. Dadurch wird die Fortluft unterkühlt und die darin enthaltene Restwärme und Feuchtigkeit entzogen. Die Wärmepumpe leitet die thermisch aufgewertete Energie über einen im Speicher integrierten Kondensator an das Speichermedium ab. Der eingebaute Hochleistungsspeicher, der das vorgewärmte Warmwasser bereithält, ist eine Entwicklung des Instituts für Solartechnik SPF. Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse in der THERMOS-Einheit wurde der Speicher drucklos, rechteckig und mit Vakuum-Isolations-Panneelen (VIP) isoliert konzipiert. Das anfallende Kondenswasser wird über ein Spülrohr in die WC-Schüssel geleitet.

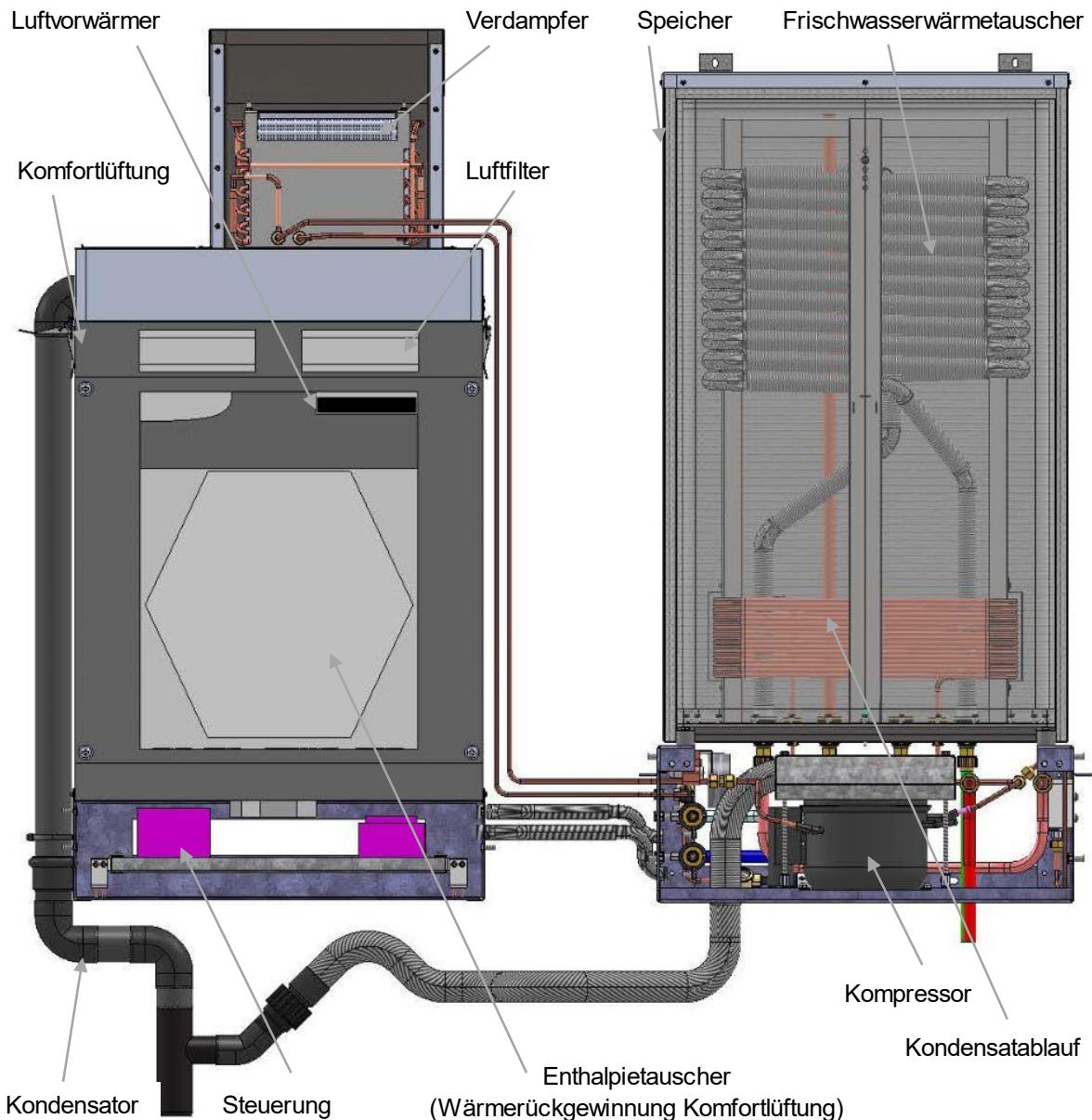


Abbildung 4 Neue Komponenten in der Vorwandeinheit-THERMOS (Oberes Modul Swissframe AG).

Tabelle 2 Technische Spezifikationen der Kleinleistungswärmepumpe

| Spezifikation / Komponente | Details   |
|----------------------------|---|
| Typ                        | Kolben Kompressor   |
| Verdichter                 | Danfoss TL 4GHX   |
| Verdampfer                 | Luvata-Spezial für Swissframe, im Lüftungsgerät eingebaut |
| Leistungszahl (COP)        | 3.2   |
| Wärmequelle                | Fortluft von Lüftungsgerät                                |
| Schmiermittel              | Polyolester   |
| Leistungsaufnahme          | 120-230 W   |



|                 |                                 |
|-----------------|---------------------------------|
| Leistungsabgabe | 140-430 W                       |
| Spannung        | 1~/N/PE 230 V AC / 50 Hz        |
| Schutzklasse    | IP21                            |
| Kältemittel     | R134a Tetrafluorethan, ca. 400g |
| Schallpegel     | 35-45 dB                        |

Tabelle 3 Technische Spezifikationen des Hochleistungsspeichers

| Spezifikation                       | Details                               |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Typ                                 | Swissframe KoDeWa T100HE              |
| Bauart                              | Drucklos                              |
| Speicherinhalt                      | 83 L                                  |
| Zapfvolumen                         | ca. 150                               |
| Zertifikat                          | SVGW Zertifikat Nr.: 2205-7114        |
| Temperatur                          | 60 °C                                 |
| Anschluss                           | ¾ Zoll                                |
| Boiler-Sicherheitsgruppe            | BFK 12/6, 6 bar                       |
| Wärmeverluste <sup>2</sup>          | 35.1 W                                |
| Energieeffizienzklasse <sup>2</sup> | A                                     |
| Isolation                           | VIP, 5-20 mm, Wärmeverlust 0.005 W/mK |
| Speichergefäß                       | Rotationsgeformt aus PP, schwarz      |
| Wärmetauscher                       | Wellrohr DN20 1.4404, Länge 12 m      |
| Kondensator                         | Kupferrohrwicklung, 6mm, Länge 16.5 m |

#### 2.1.5 Elektrischer Durchlauferhitzer

Um die Warmwasserversorgung auch bei ausserordentlichen Spitzenbezügen sicherzustellen, dient ein elektrischer Durchlauferhitzer als bivalente Wärmequelle. Eine Steuerung sorgt für den energetisch optimalen Betrieb des Systems. In Kombination mit einer Photovoltaikanlage kann sowohl der Anteil erneuerbarer Energien als auch der Eigenverbrauch von Solarstrom erhöht werden.

<sup>2</sup> Ermittelt nach CDR (EU) Nr. 812/2013

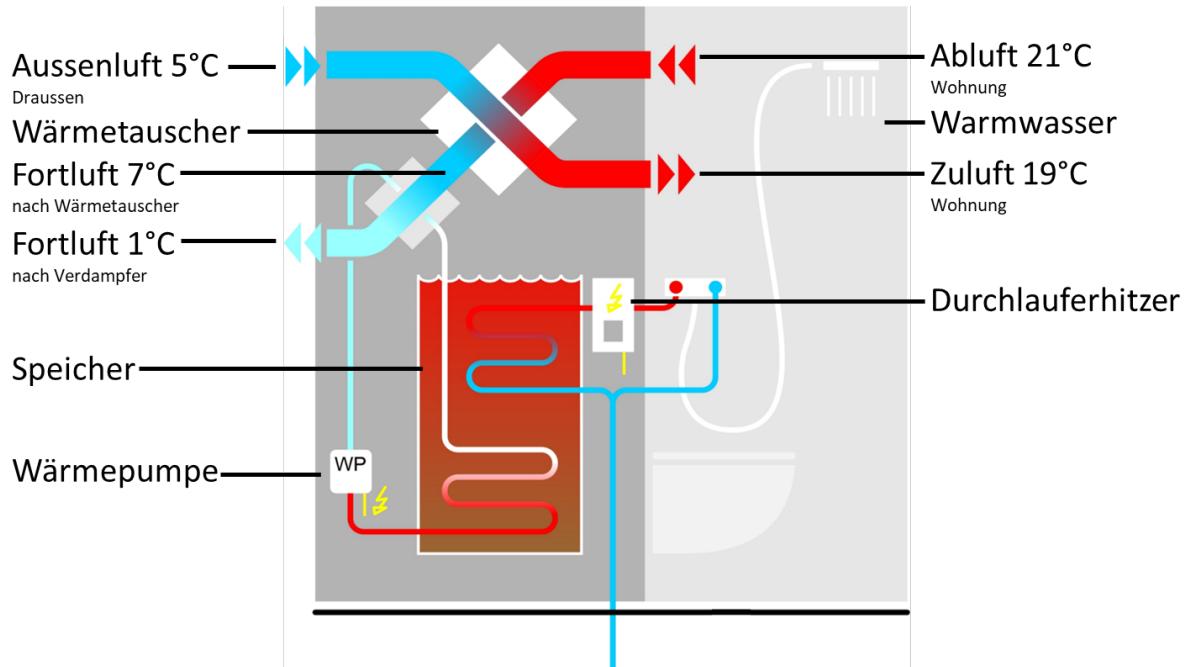


Abbildung 5 Funktionsprinzip des THERMOS-Systems zur dezentralen Warmwasserbereitung.

Tabelle 4 Technische Spezifikationen des elektrischen Durchlauferhitzers

| Spezifikation                                      | Details   |
|--|---|
| Typ  | Clage DBX18, elektronisch geregelt                    |
| Spezifischer Wasserwiderstand bei 15 °C            | $\geq 1300 \Omega\text{cm}$                           |
| Zulässiger Betriebsüberdruck                       | 1 MPa (10 bar)  |
| Warmwasserleistung bei $\Delta t = 28 \text{ K}^3$ | 9.2 l/min (bis zu 13.8 l/min mit DBX27)               |
| Leistungsaufnahme                                  | Max. 18 kW  |
| Externe Absicherung                                | 25 A «C», Separater Elektroanschluss 6mm <sup>2</sup> |
| Spannung   | 3~/PE 400 V AC / 50 Hz                                |
| Schutzart  | IP 25   |
| Temperaturwahlbereich [°C] <sup>4</sup>            | werkseitig 50, (verstellbar zwischen 30 und 60)       |
| Nenninhalt   | 0.4 l   |
| Durchflussmenge                                    | Max. 13.8 l/min                                       |
| Energieeffizienzklasse                             | A   |

## 2.2 Umbau und Erweiterung an der Stauffacherstrasse 60, Bern

Im Auftrag der Wankdorf City Real Estate AG führte die Totalunternehmerin Swissrenova AG den Umbau und die Sanierung des Gebäudes an der Stauffacherstrasse 60 in Bern durch. Auf einer Gesamtfläche von 8'460 m<sup>2</sup> entstanden 30 Service Apartments, verschiedene Gewerberäume und eine Photovoltaik-Anlage. Für diese umfassende Sanierung produzierte die Swissframe AG eine Kleinserie von 31 THERMOS-Systemen, die im Gebäude installiert wurden.

<sup>3</sup> Temperaturerhöhung von z. B. 12 °C auf 40 °C; Mischwasser

<sup>4</sup> Basiskonfiguration Swissframe AG ist 38 °C-42 °C



Die Swissrenova beauftragte Fachingenieur\*innen für Elektro- und HLS-Planung und koordinierte die Arbeiten der Handwerker. Sie überwachte zudem die Termine, Qualität und die Baukosten. In Zusammenarbeit mit ausgewählten Subunternehmern wurden die Sanierungsarbeiten durchgeführt. Diese stellten die notwendige Infrastruktur (Strom, Wasser, IT) für die Installation der THERMOS-Einheiten bereit.

Das Gebäude setzt sich aus einem Turm und einem Längsbau zusammen. Der siebenstöckige Turm beinhaltet die 30 Service Apartments (siehe Abbildung 6). Im Längsbau sind hauptsächlich Lagerflächen, Gewerberäume und Parkflächen untergebracht.



Abbildung 6 Blick von Norden auf die Stauffacherstrasse 60.

Jede der fünf Etagen im Turm bietet Platz für sechs Service Apartments (siehe Abbildung 7), wobei das sechste Obergeschoss eine Attikawohnung enthält. Jedes Apartment verfügt über eine Wohnfläche von ca. 23 m<sup>2</sup>. Die detaillierte Begleitmessung konzentriert sich auf fünf Apartments (Wohnungen eines Fallstranges im Turm Richtung Nordwesten). Dies sind die Apartments T110, T210, T310, T410 und T510. Die Attika Wohnung und die restlichen 25 THERMOS-Einheiten sind nicht mit Messtechnik ausgestattet. Sie werden mit der Standardsoftware von Swissframe betrieben und es werden lediglich Basisdaten erfasst. Es ist zu beachten, dass diese Einheiten nicht Teil des „KoDeWa-Strangs“ sind und somit keinen direkten Zusammenhang zu den Projektzielen haben.

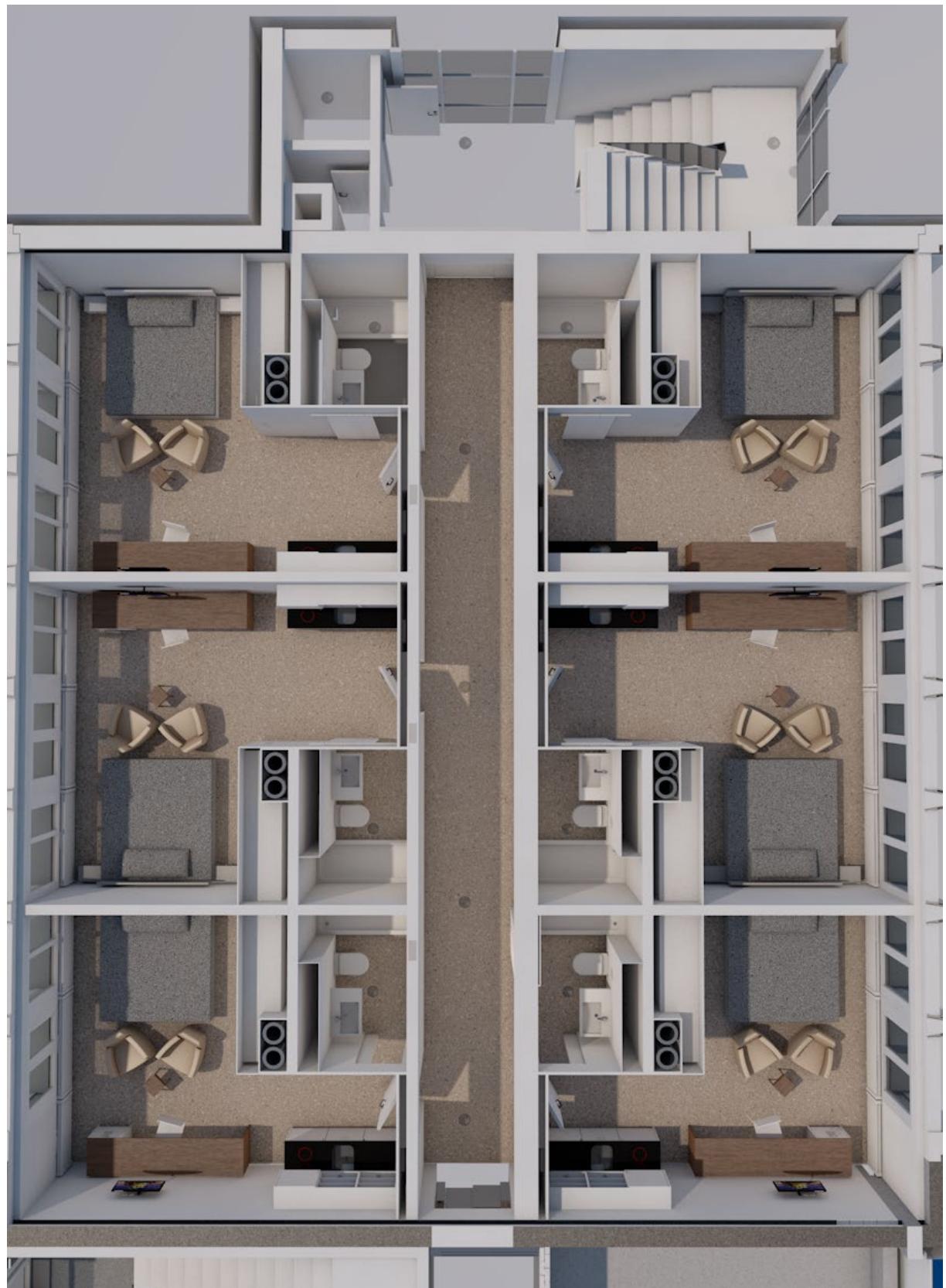


Abbildung 7 Grundriss der Etagen im Turm mit sechs Service Apartments – Fallstrang mit Begleitmessung oben links.



## 2.3 Planungsleistungen der Fachingenieur\*innen

### 2.3.1 Elektro- und Kommunikationstechnik

Die AFE Project AG war für der Planung und Ausführung verschiedener elektrischer und kommunikationstechnischer Arbeiten im Projekt an der Stauffacherstrasse 60 verantwortlich. Das Unternehmen E-Tec führte die praktische Umsetzung der Elektroinstallationen durch. Dies umfasste unter anderem die Erstellung von Elektroschemas, die Installation von Wohnungsunterverteilungen und die Verrohrung zu den THERMOS-Einheiten. Dabei wurden von der BFH spezifische Anforderungen an die Kabel für die Messtechnik (Verdrillung, Schirmung/Erdung) festgelegt. Für die Konfiguration der Netzwerkgeräte im Serverraum wurde ein Spezialist von Intranet Solutions IRBIS Corp hinzugezogen.

Kernaspekte der Installationen:

- Die Erschliessung der Service Apartments wurde so konzipiert, dass bestehende Steigzonen und Korridore bestmögliche genutzt werden. Die Energieverteilung erfolgt sternförmig über Trassen ab einer Hauptverteilung im Untergeschoss (UG).
- Die IT-Infrastruktur basiert auf einer ICT CAT 6 Verkabelung. Alle Kommunikationskabel sind sternförmig zu Patch-Panels in einem Rack im ehemaligen Heizraum im UG geführt.
- Für die Messung von Verbrauchsdaten, einschliesslich Wasser und Strom, wurden smart-me Komponenten verwendet. Alle Wohnungen wurden mit Zählern für Strom und Frischwasser ausgestattet, um eine getrennte Abrechnung zu ermöglichen.
- Pro Etage wurden vier Wireless Accesspoints (AP) installiert, um eine lückenlose Abdeckung zu gewährleisten.
- Jedes Service Apartment und die Attika Wohnung wurden mit einem TV-Anschluss ausgestattet.
- Für die Telefonie wurde auf jeder Etage ein DECT-Sender installiert, der sowohl den Flur als auch die angrenzenden Räume abdeckt.
- Für die Hausautomation, wird ein System von Eco-Coach eingesetzt (Lichtsteuerung, etc.).
- Die THERMOS-Einheiten in den fünf ausgewählten Apartments sind mit zusätzlichen Messfunktionen und einer speziellen SPS ausgestattet. Da jede SPS ein eigenes Subnetz benötigt, wurde für jede Wohnung ein separates Ethernet-Kabel verlegt. Eine zentrale Workstation im Keller dient der Wartung dieser Einheiten und verfügt über einen eigenen Router. Für das Monitoring hat die BFH spezielle Verteilerkästen mit der notwendigen Verkabelung gefertigt (3.1.3). Diese Kästen sind direkt in die Elektroverteilung jeder Wohnung integriert (Abbildung 8).
- Im 6. OG wurde neben der Steigzone eine Loggerbox installiert, die Daten von der Wetterstation auf dem Dach sammelt und über Ethernet mit dem zentralen Rack im UG verbunden ist (Modbus-Protokoll).
- Die Kochnischen der Service-Apartments sind mit einem Grohe-Cooker/Boiler (Grohe Red) mit einem Fassungsvermögen von 4 Litern ausgestattet (230 V, 2.1 kW). Die Grohe-Cooker stellen auf Knopfdruck kochend heißes Wasser bereit, das beispielsweise für Tee verwendet wird. Das normale Warmwasser in der Küche wird über THERMOS-Einheiten bereitgestellt.

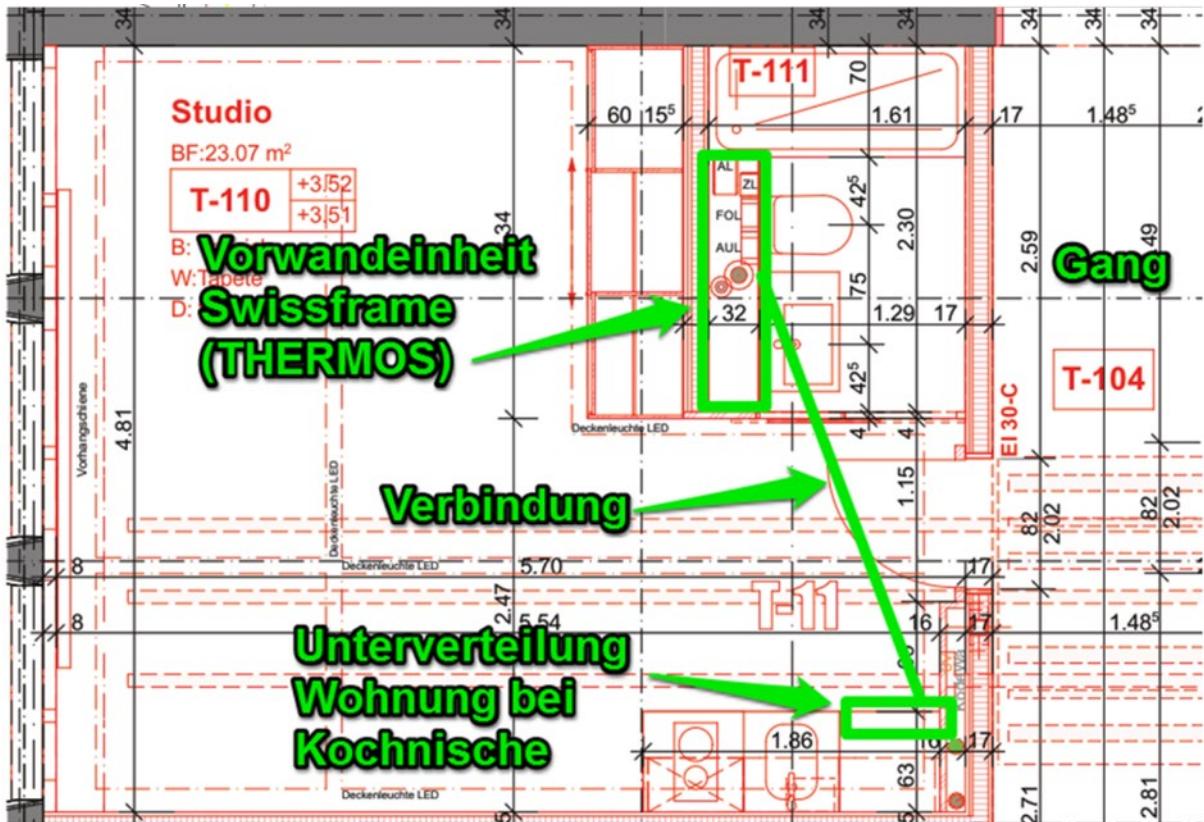


Abbildung 8 Integration der Messdatenerfassung in die Wohnungsunterverteilung.

### 2.3.2 Elektroplanung und Dimensionierung unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktors

Bei der Elektroplanung des Projekts stellte die korrekte Dimensionierung von Kabeln und Sicherungen einen kritischen Aspekt dar. In Abstimmung mit Energie Wasser Bern (EWB) wurde die Grösse des Hausanschlusses unter Berücksichtigung potenzieller zukünftiger Nutzungen wie Gastronomie oder Gewerbe festgelegt.

Um eine sichere und effiziente Installation zu gewährleisten, wurde eine umfassende Leistungszusammenstellung (Abbildung 9) erstellt. Dieses Dokument diente als Grundlage für die Auswahl der passenden Kabelquerschnitte und Sicherungen. Ein zentraler Punkt in dieser Berechnung war der Gleichzeitigkeitsfaktor, der die simultane Nutzung mehrerer elektrischer Geräte abbildet.

Erfolgt die Warmwasserbereitung ausschliesslich durch Durchlauferhitzer können Anschlussprobleme auftreten, wenn mehrere Geräte gleichzeitig aktiv sind. Das THERMOS-System erlaubt jedoch eine differenzierte Betrachtung des Gleichzeitigkeitsfaktors im Vergleich zu herkömmlichen Durchlauferhitzern. Der eingesetzte Durchlauferhitzer von der CLAGE GmbH passt seine Leistung beim Auskühlen des Speichers stufenlos an, sobald die voreingestellte Warmwassertemperatur unterschritten wird. Dies ermöglicht eine präzise Anpassung an den Warmwasserbedarf, wobei hohe Ströme lediglich bei Spitzenbezügen auftreten. Dank dieser elektronischen Leistungsregelung und der Integration der Wärmepumpe konnte in der Leistungszusammenstellung ein reduzierter Gleichzeitigkeitsfaktor für den Durchlauferhitzer berücksichtigt werden.

Für das Projekt wurde eine maximale Anschlussleistung von 25 A pro Wohnung festgelegt. Daher entschied sich Swissframe einen Durchlauferhitzer mit variabler Leistungseinstellung einzusetzen, der zwischen 11 kW und 13.5 kW umgeschaltet werden kann. Dies führte zu einer Reduzierung der



ursprünglichen Leistung von 18 kW auf 11 kW. Jedes Service Apartment wurde mit einem 5x6mm<sup>2</sup> Kabel direkt von der Hauptverteilung erschlossen.

|  | Anz. | Anschlussleistung | Total Anschlussleistung | GF  | Leistung         | Sich. Gruppen | Grösse            |
|--|------|-------------------|-------------------------|-----|------------------|---------------|-------------------|
| Deckenbel. Bad                                     | 1 x  | 15 W =            | 15 W                    | 0.9 | 13.5 W           | 1             | 1 LN FI-LS C 13 A |
| Steckd. Schalter                                   | x    | W =               | 0 W                     | 0.2 | 0 W              | 1             |                   |
| * Spiegelschrankbel.                               | 1 x  | 15 W =            | 15 W                    | 0.8 | 12 W             | 1             |                   |
| * Steckd. Spiegelschrank                           | 1 x  | 2000 W =          | 2000 W                  | 0.2 | 400 W            | 1             |                   |
| * Wärmepumpe                                       | 1 x  | 180 W =           | 180 W                   | 0.3 | 54 W             | 1             |                   |
| * Venitlator DL                                    | 1 x  | 150 W =           | 150 W                   | 0.3 | 45 W             | 1             |                   |
| Steckdosen Studio                                  | 4 x  | 350 W =           | 1400 W                  | 0.2 | 280 W            | 2             | 1 LN FI-LS C 13 A |
| LED Deckenbel. Studio                              | 3 x  | 20 W =            | 60 W                    | 0.9 | 54 W             | 2             |                   |
| Untersichtsbel. Küche                              | 3 x  | 15 W =            | 45 W                    | 0.9 | 40.5 W           | 2             |                   |
| Rüststeckdose (W-Kocher)                           | 1 x  | 2000 W =          | 2000 W                  | 0.3 | 600 W            | 2             |                   |
| Kühlschrank Küche                                  | 1 x  | 150 W =           | 150 W                   | 0.8 | 120 W            | 2             |                   |
| Dampfabzug Küche                                   | 1 x  | 150 W =           | 150 W                   | 0.2 | 30 W             | 2             |                   |
| Quooker (Durchlauferh.)<br>(4 Liter, 15 W Standby) | 1 x  | 2100 W =          | 2100 W                  | 0.3 | 630 W            | 3             | 1 LN FI-LS C 13 A |
| 2 Platten Rechaud                                  | 1 x  | 3000 W =          | 3000 W                  | 0.3 | 900 W            | 4             | 3 LN FI-LS C 13 A |
| Durchlauferhitzer Dusche                           | 1 x  | 18000 W =         | 18000 W                 | 0.3 | 5400 W           | 5             | 3 LN FI-LS B 20 A |
| <b>Total Zimmer</b>                                |      | <b>29265 W</b>    |                         |     | <b>8579 W</b>    |               |                   |
| Sichungsgruppe 1                                   |      |                   | 2360 W                  |     | 524.5 W          | 1             | 1 LN FI-LS C 13 A |
| Sichungsgruppe 2                                   |      |                   | 3805 W                  |     | 1'124.5 W        | 2             | 1 LN FI-LS C 13 A |
| Sichungsgruppe 3                                   |      |                   | 2100 W                  |     | 630.0 W          | 3             | 1 LN FI-LS C 13 A |
| Sichungsgruppe 4                                   |      |                   | 3000 W                  |     | 900.0 W          | 4             | 3 LN FI-LS C 13 A |
| Sichungsgruppe 5                                   |      |                   | 18000 W                 |     | 5'400.0 W        | 5             | 1 LN FI-LS C 13 A |
| <b>Total</b>                                       |      | <b>29265 W</b>    |                         |     | <b>8'579.0 W</b> |               |                   |

\* via Zuleitung von Swissframe

Abbildung 9 Leistungsübersicht der AFE Project AG für ein Service-Apartment - Die Leistung des Durchlauferhitzers beträgt 11kW.

### 2.3.3 Planung des WLAN-Netzwerks für die Datenerfassung

Für die Begleitmessung in den fünf Apartments wurde ein Grossteil der Messdaten mit smart-me Geräten erfasst, darunter Strom-, Wasser- und Ultraschallwärmezähler (nähere Informationen im Abschnitt 3.1). Diese Geräte wurden über WLAN in die Cloud eingebunden. Daher war die Planung eines stabilen und redundanten WLAN-Netzwerks entscheidend, um eine zuverlässige Datenerfassung und -speicherung zu gewährleisten. Das WLAN-Netzdesign wurde von der DRAHTEX AG in Zusammenarbeit mit der AFE Project AG und Professor Rolf Lanz von der BFH erstellt.

Ein WiFi Site Survey wurde durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Anforderungen der Detailmessung (wie Anzahl Endpunkte und Ausleseintervall) erfüllt werden konnten und es nicht zu Verbindungsausfällen kommt. Durch Messungen und Simulationen wurde die optimale Positionierung



der Access Points festgelegt, damit eine durchgängige Abdeckung im Gebäude gewährleistet ist (Abbildung 10).

Ein herausfordernder Aspekt war die steigende Netzwerkauslastung mit zunehmender Benutzerzahl. Es wurde erwartet, dass neben den Messgeräten bis zu sechs Hotelgäste pro Etage das WLAN nutzen oder eigene Hotspots einrichten. Um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten, wurden pro Etage vier Wireless Accesspoints installiert (Abbildung 10). Diese Architektur ermöglicht die Konfiguration separater SSIDs für Gäste und Messdaten. Der Mieterschaft wird der 5-GHz-Bereich zu Verfügung gestellt, während die smart-me Zähler die Kanäle 1 -13 (1, 5, 9, 13) im 2.4-GHz-Band nutzen. Die Messungen zeigten, dass jeder Sensor Daten mit drei bis fünf benachbarten APs austauschen kann.

Es ist zu beachten, dass zum Zeitpunkt der Messungen im Dezember 2017 die Service Apartments noch nicht eingerichtet waren. Die Messungen haben daher unter idealisierten Bedingungen stattgefunden, da die Inneneinrichtung noch fehlte und das Gebäude noch nicht genutzt wurde.

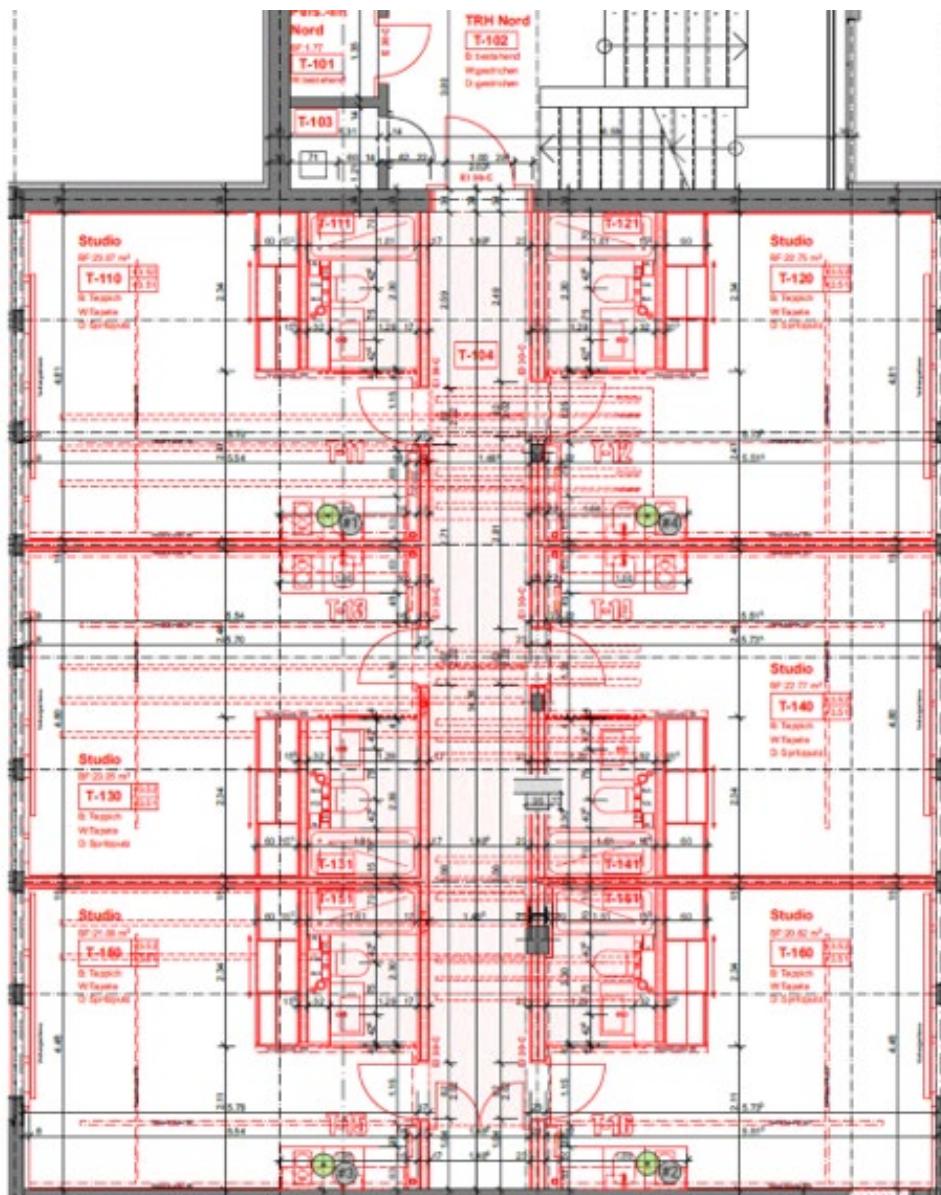


Abbildung 10 Positionierung der vier Access Points (grün) für Detailmessung mit smart-me Geräten.



### 2.3.4 Planung des Heizungssystems

Das Heizungskonzept für das Gebäude an der Stauffacherstrasse wurde von sib engineering entwickelt. Hierbei wurden sämtliche Grundrisspläne, Prinzipschemas und Kostenschätzungen für die gesamte Heizungsanlage erstellt. Die Wärme für das ganze Gebäude wird durch eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe erzeugt. Die Erschliessung des Gebäudes erfolgt über eine Fernleitung von EWB, wobei die Vorlauftemperatur zwischen 24 und 30 Grad variiert. Als primäre Energiequelle dient die Abwärme des Swisscom Rechenzentrums.

Die Wärmeverteilung im gesamten Gebäude erfolgt über ein konventionelles Zweirohrsystem. Dabei sind die unterschiedlichen Nutzungsbereiche in separate Heizgruppen unterteilt. Ein Mischkreis wurde für die Versorgung durch die WP erstellt. In den Hotelzimmern wird die Wärme über Radiatoren abgegeben. Für die Begleitmessung in den fünf Apartments wird der Energieverbrauch pro Zimmer erfasst, wie in Abbildung 7 dargestellt.

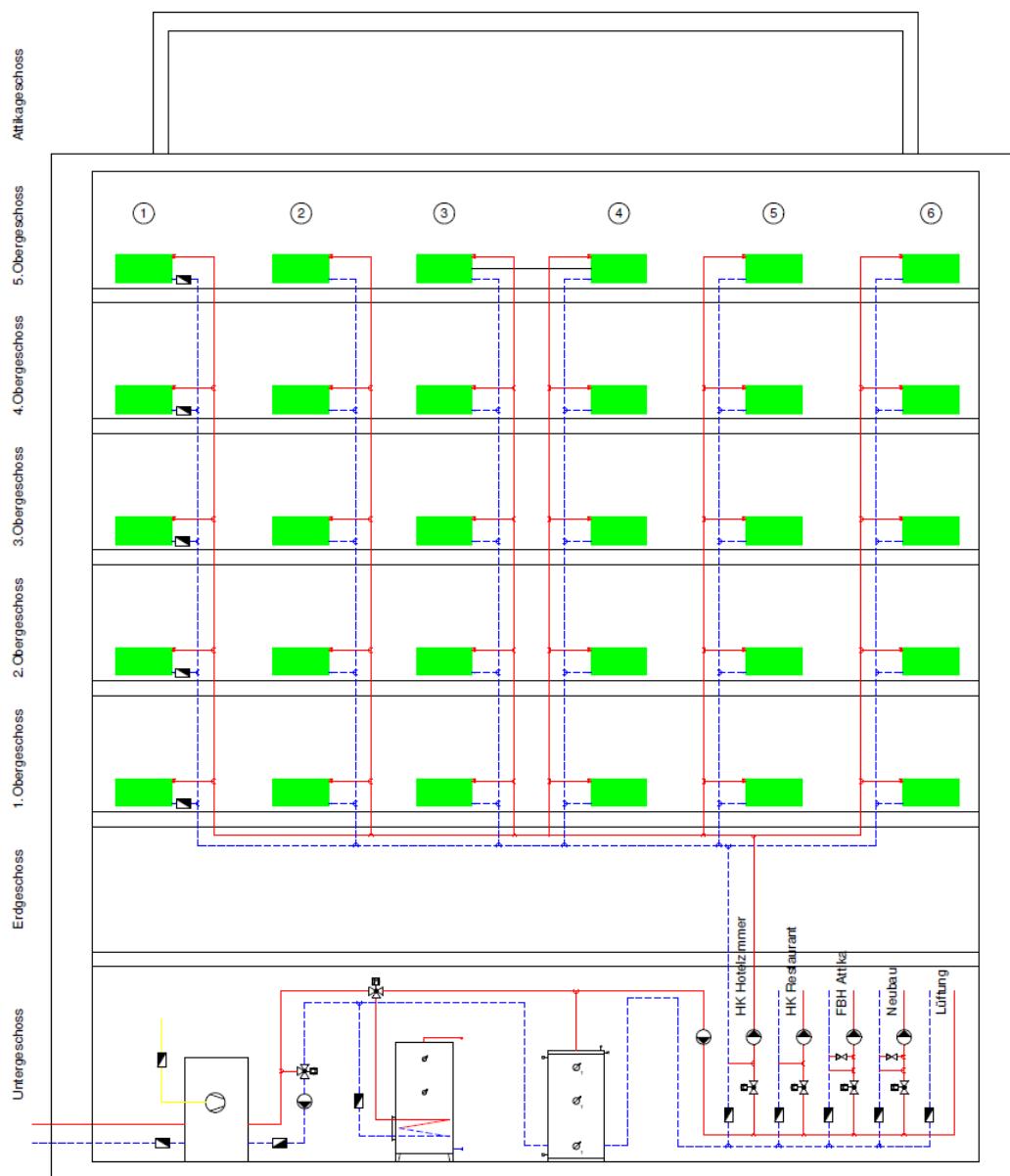


Abbildung 11 Strangschema der Wärmeverteilung und Messkonzept für die Radiatoren.



Die Plusenergietechnik GmbH war für die praktische Umsetzung der Heizungsinstallation verantwortlich. Dazu gehörten insbesondere die Ausführungsplanung, das Erstellen von Kernbohrungen und die Installation der Steigleitungen bis zur Zentrale.

Zum Stichtag 30.09.2023 steht die Installation der Wärmepumpe noch aus. Während der Heizperiode wurde daher ein provisorischer mobiler Wärmeerzeuger eingesetzt. Weitere zukünftige Arbeiten betreffen vor allem die Gewerberäume und den Längstrakt des Gebäudes.



### 3 Vorgehen/Methode und Ergebnisse

In der Umsetzungsphase des Projekts waren fünf Teams unter der Leitung des Labors für Photovoltaiksysteme der BFH-TI beteiligt. Dieser Bericht wurde daher als Zusammenstellung der Beiträge der nachstehenden Gruppen verfasst (Tabelle 5). In den folgenden Unterkapiteln nehmen die Projektleiter der jeweiligen Gruppen Stellung zu folgenden Aspekten:

- I. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse
- II. Bewertung und Ausblick

Es steht den Projektleitern frei, zusätzliche Informationen zu ihren Projektaktivitäten hinzuzufügen.

Tabelle 5 Übersicht über die Projektgruppen und deren Leiter

| Projektpartner    | Kurzform (intern)                                    | Bericht | Gruppen-PL                    | Bemerkungen        |
|-------------------|--|---------|-------------------------------|--------------------|
| <b>BFH-TI</b>     | PV-Labor (Labor für Photovoltaik)                    | 3.1     | Duglas Urena                  | Stv. Joël Bärtschi |
|                   | I3S (Institut für Intelligente Industrielle Systeme) |         |                               |                    |
| <b>NTB / OST</b>  | IES (Institut für Energiesysteme)                    | 3.3     | Elias Büchel<br>Andreas Peter |                    |
| <b>HSR / OST</b>  | SPF (Institut für Solartechnik)                      | 3.7     | Ruesch<br>Florian             |                    |
| <b>Swissframe</b> | SFR (Swissframe Vertriebs AG)                        | 3.9     | Balz Hegg                     | Stv. Thomas Hegg   |
| <b>smart-me</b>   | SME (smart-me - Energy Monitoring AG)                | 3.13    | Stefan Fischer                |                    |

Zu Beginn jedes Gruppenberichts sind in einer Übersichtstabelle die Teammitglieder der jeweiligen Gruppe genannt.

#### 3.1 Bericht BFH-TI: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

|                 |  |   |
|-----------------|--|---|
| Teammitglieder: | Duglas Urena (Stv. PL, Autor)<br>Thomas Schott (Wiss Ass)<br>Matthias Burri (Wiss Ass)<br>Cicchini Adrian (Spez)<br>Urs Muntwyler (Prof, Haupt PL)<br>Christof Bucher (Prof, Haupt PL) | Joël Bärtschi (Wiss Ass, Co-Autor)<br>Stefan Lüthi (Wiss Ass)<br>Saegesser Nikolaj (Wiss Ass)<br>Roger Weber (Prof)<br>Wandel Jasmin (Prof)<br>Rolf Lanz (Prof) |
|-----------------|--|---|

##### 3.1.1 Lasten- und Pflichtenheft

Zu Projektstart im dritten Quartal 2016 wurden im Lasten- und Pflichtenheft Anforderungen und Zuständigkeiten festgelegt. Spezifische Anforderungen an Hardware, Software und Tests wurden definiert. Ausserdem wurde festgelegt, welcher Forschungspartner welche Auswertungen durchführt.

##### Projekt-Schnittstellen:

- **Assemblierung:** Integration der Sensoren und Komponenten für die Effizienzmessungen von smart-me sowie Detailmessungen der BFH in die THERMOS-Einheiten.



- **Planungsunterlagen und Installation:** Swissrenova koordinierte die Erstellung von Strom- und Wasseranschlüssen sowie die Netzwerkplanung. Swissframe war für Herstellung, Transport und Einbau der THERMOS-Einheiten verantwortlich. Die BFH und smart-me stellten die Messdatenerfassung sicher.
- **Datenanalyse:** Die BFH aggregierte Daten von Sensoren (BFH, IES, SPF), smart-me und der Wetterstation in einer Datenbank.
- **Funktionstests:** Die BFH koordinierte die Tests nach der Assemblierung im Werk und bei der Inbetriebnahme auf der Baustelle.
- **Terminkoordination:** Die BFH führte die Abstimmung zum Projektzeitplan durch, einschliesslich der Termine für Reporting, Wohnungseinzug, Messungen und Wartung.

Die BFH war für das Reporting an das BFE verantwortlich. Alle Projektpartner lieferten entsprechende Inhalte gemäss Pflichtenheft.

### 3.1.2 Sensoren Detailmessung

Die BFH-TI war nebst der Gesamtprojektleitung auch für die technische Planung der Begleitmessung verantwortlich. In Zusammenarbeit mit den Partnerhochschulen und smart-me wurden die Sensoren für die geplanten Messungen evaluiert und beschafft. Um die Materialkosten auf ein Minimum zu reduzieren, wurden verschiedene Offerten eingeholt.

Die fünf ausgewählten THERMOS-Einheiten wurden mit zusätzlichen Sensoren und einer speziellen SPS ausgestattet. Abbildung 12 zeigt die Platzierung der verwendeten Sensoren von smart-me, BFH, IES und SPF. Tabelle 16 gibt einen Überblick über die Messfunktionen der Sensoren.

Es ist zu beachten, dass das Frischwasser für die Grohe-Cooker aus dem Badezimmer abgeleitet und der Energieverbrauch separat erfasst wurde, um einen Vergleich mit konventionellen Anlagen zu ermöglichen (siehe Abschnitt 3.5.9).



Plazierung der Sensoren der Detailmessung,  
Projekt BFE Cleantech, Berner Fachhochschule,  
joel.baertschi@bfh.ch, Version **V1.2**, 28.11.2017  
Der Volumenstromsensor V1 kommt nur in 3 von  
5 Einheiten zum Einsatz.

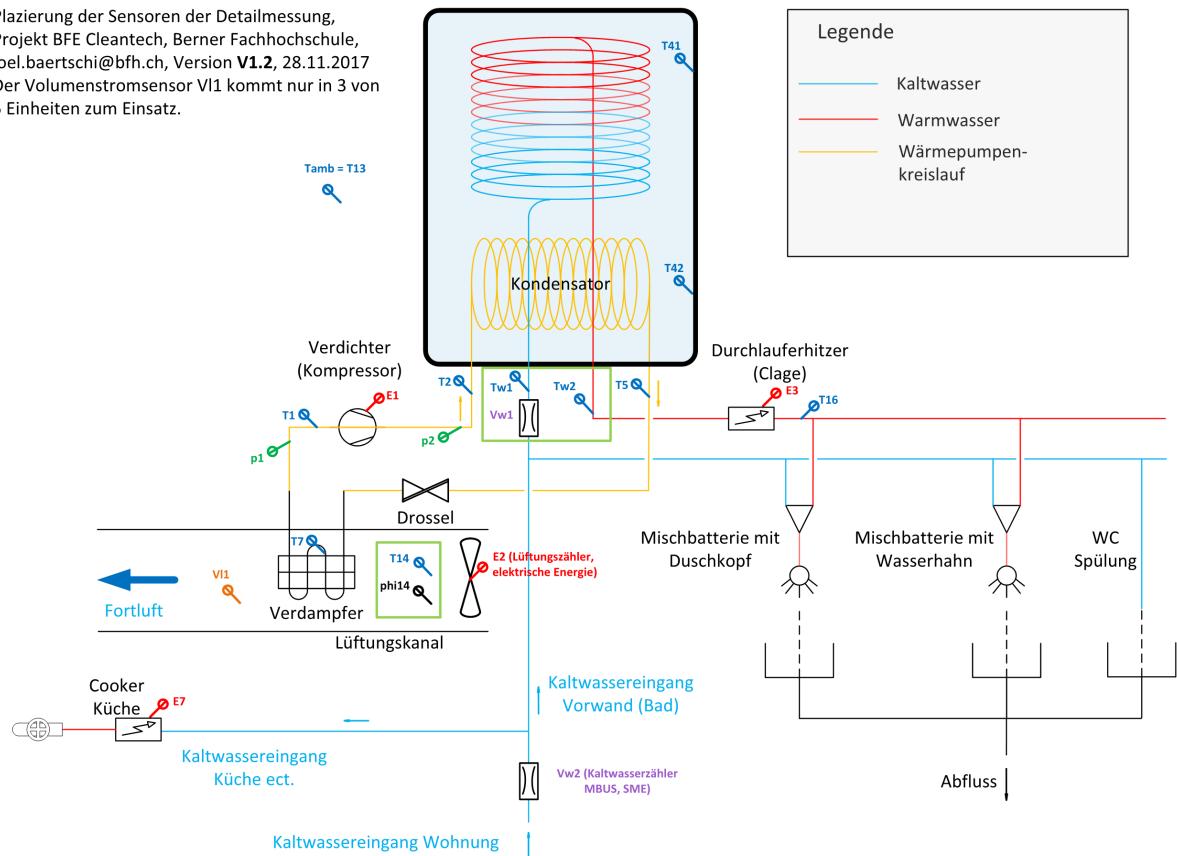


Abbildung 12 Platzierung der Sensoren in fünf THERMOS-Einheiten<sup>5</sup>.

Tabelle 6 Sensoren der Detailmessung

| Beschreibung   | Abkürzung | Einheit | Abtastrate |
|--|-----------|---------|------------|
| Sauggas  | T1        | °C      | 1min       |
| Heissgas   | T2        | °C      | 1min       |
| Wärmesenke oben                                      | T41       | °C      | 1min       |
| Wärmesenke unten                                     | T42       | °C      | 1min       |
| Nach Kondensator                                     | T5        | °C      | 1min       |
| Wärmequelle (an Verdampferlamellen)                  | T7        | °C      | 1min       |
| Temp. hinter der Vorwand (Für Wärmeverlust Speicher) | T13       | °C      | 1min       |
| Temp. nach Durchlauferhitzer (Komfortüberwachung)    | T16       | °C      | 1min       |
| Niederdruck  | p1        | bar     | 1min       |
| Hochdruck  | p2        | bar     | 1min       |
| Wärmemenge Speicher (Wärmezähler)                    | Vw1       | kWh     | 10s        |

<sup>5</sup> Zusätzlich wird der Energieverbrauch der Raumheizung erfasst - nicht dargestellt



|   |                  |                       |      |
|---|------------------|-----------------------|------|
| Vorlauftemperatur Speicher (Wärmezähler)                    | Tw1              | Kelvin                | 10s  |
| Rücklauftemperatur Speicher (Wärmezähler)                   | Tw2              | Kelvin                | 10s  |
| Volumenstrom Frischwasser zwecks Wohnungsabrechnung         | Vw2              | $\text{m}^3/\text{h}$ | 10s  |
| Luftstrom, Flügelradsensor zwecks Vereisung <sup>6</sup>    | VI1              | m/s                   | 1min |
| Temperatur Luft am Eintritt Verdampfer (Enthalpie1)         | T14              | °C                    | 1min |
| relative Feuchte Luft am Eintritt Verdampfer (Enthalpie2)   | phi14            | %rF                   | 1min |
| El. Energie kumulierend Kompressor, 1-phasig                | E1               | kWh                   | 10s  |
| El. Energie kumulierend Lüftung, 1-phasig                   | E2               | kWh                   | 10s  |
| El. Energie kumulierend Durchlauferhitzer, 3-phasig         | E3               | kWh                   | 10s  |
| El. Energie kumulierend Grohe Küche (Warmwasser), 1-phasig  | E7               | kWh                   | 10s  |
| El. Energie kumulierend zwecks Wohnungsabrechnung, 3-phasig | E8               | kWh                   | 10s  |
| Temperatur nach Verdampfer <sup>8</sup>                     | T23              | °C                    | 1min |
| Wärmemenge Raumheizung                                      | Q <sub>Hzg</sub> | kWh                   | 10s  |

### 3.1.3 Assemblierung und Integration von Sensoren

Die Messmittel wurden von Swissframe während der Assemblierung in die THERMOS-Einheiten integriert. Für die Messkampagne wurde die Steuerungssoftware erweitert, um zusätzliche Sensoren zu integrieren und Messdaten an den BFH-Server zu senden. Gemeinsam mit den Hochschulpartnern fanden im Werk Testmessungen statt, um die Funktionsweise der Software sowie der Sensorik zu überprüfen (siehe Abschnitt 3.7.2). Parallel dazu erfolgten erste Inbetriebnahmetests der smart-me Geräte inklusive WLAN-Verbindung und App-Funktionalität. Dabei wurden Messdaten über mehrere Tage erfasst und die Datenübertragung bis zum BFH-Server getestet.

<sup>6</sup> VI1 und T23 kommt nur in den Wohnungen T-110, T310, T510 zum Einsatz.



Abbildung 13 Testmessungen bei der Swissframe.

Für die Unterbringung der Messtechnik entwickelte die BFH Verteilerkästen, die direkt in die Elektroverteilung jeder Wohnung integriert wurden (siehe Abbildung 8). Innerhalb dieser Verteilerkästen sind sowohl die Siemens Steuerung als auch die Messhardware für die smart-me Energiemessung (Stromzähler und M-Bus-Gateways für Heizungs- und Wasserzähler) untergebracht.

Zusätzlich verfügen sie über einen Drehschalter, der es ermöglicht, den Kompressor für Wartungszwecke manuell einzuschalten. Neben den Sicherungselementen beinhalten die Unterverteilungen auch Systeme für die Hausautomation (Beckhoff, EnOcean).



Abbildung 14 Einer von fünf Verteilerkästen zur Unterbringung der Messhardware.

### 3.1.4 Inbetriebnahme und Funktionstests

Die für 2017 geplante Inbetriebnahme verzögerte sich mehrfach. Nachdem die Elektroinstallationen in einer Musterwohnung abgeschlossen waren, wurde diese im Juni 2018 getestet. Der Konkurs der Swissrenova AG führte jedoch dazu, dass die Inbetriebnahme der verbleibenden vier Wohnungen bis Juni 2022 aufgeschoben wurde (Details in Abschnitt 3.2.1).

Im Mai 2022 hat die smart-me die Stromzähler in Betrieb genommen und konfiguriert. Die Zähler wurden mit dem WLAN verbunden, in der smart-me Cloud nach Apartments geordnet und entsprechend den angeschlossenen Verbrauchern benannt. Das Auslesen dieser Messdaten auf den BFH-Server wurde bereits im Vorfeld erfolgreich getestet. (siehe Abschnitt 3.1.5).

Die vier verbleibenden SPSen wurden im Juni 2022 in Betrieb genommen und die Software aktualisiert. Für den Fernzugriff wurden die IP-Adressen der SPSen entsprechend dem erstellten Netzwerkplan konfiguriert. Während der Inbetriebnahme wurden die SPS-Verbindungen zwischen den Wohnungen und dem BFH-Rack im Keller getestet. Es wurde festgestellt, dass mehrere LAN-Kabel zu den Apartments defekt waren. Dies betraf auch die Verbindung der THERMOS-Einheiten in Wohnung T-210, die mit einem detaillierten Messsystem ausgestattet war. Die Erneuerung dieser Kabel konnte erst gegen Ende 2022 abgeschlossen werden. Infolgedessen war die SPS der Wohnung T-210 erst ab Mitte Dezember 2022 online.



### 3.1.5 Fernzugriff und Datenmanagement

#### Anbindung der THERMOS-Einheiten

Die THERMOS-Einheiten wurden an einen Server der BFH-TI angebunden. Dazu wurden alle 30 SPSen auf einer zentralen Workstation im Keller geführt (siehe Abbildung 15). Von hier wurden die Daten an einen BFH-Server übermittelt. Bei Verbindungsunterbrechungen speicherte die SPS-Software die Daten temporär. Die fünf detailliert gemessenen Service Apartments und die Wetterstation übermittelten Datenmengen von etwa 1 kB/min zur Auswertung an die BFH-TI.

Zusätzlich wurde ein Fernzugriff für die Swissframe eingerichtet (VPN). Dadurch konnte sie die THERMOS-Einheiten in Echtzeit überwachen. Bei Bedarf konnte Swissframe direkt eine Fehleranalyse durchführen. Dieser Fernzugriff ermöglichte auch Anpassungen an der Software der Siemens-Steuerung vorzunehmen.

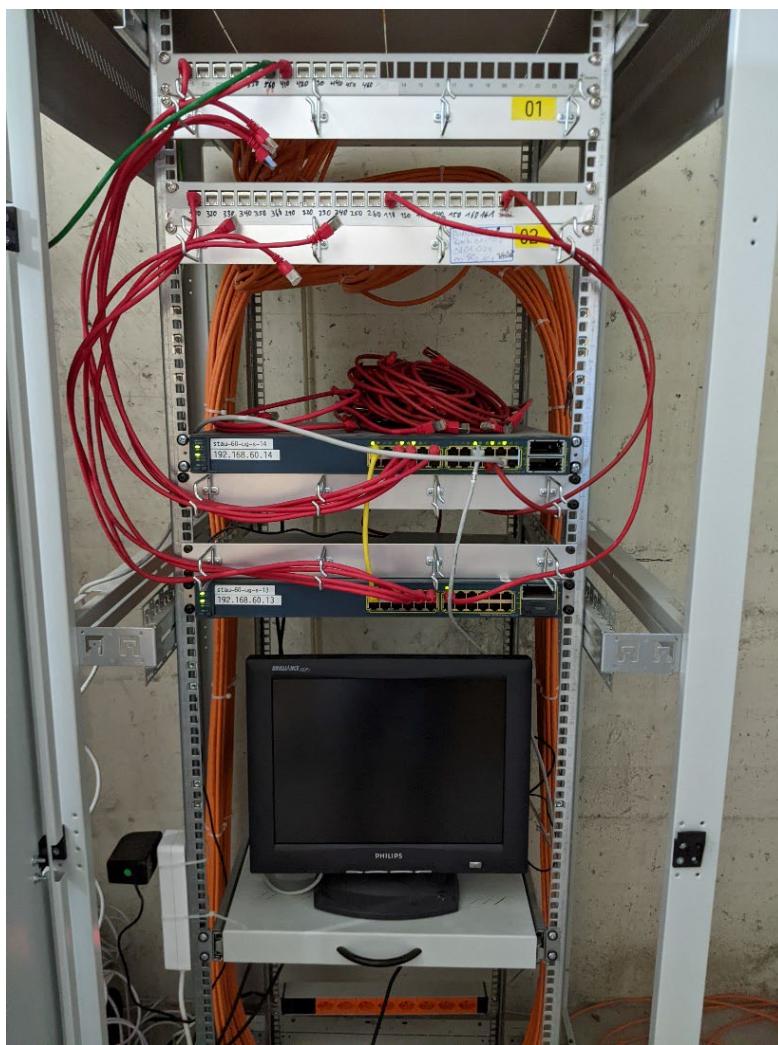


Abbildung 15 Rack mit Patchpanel, Switch und Workstation zur Programmierung und Konfiguration der SPS.

#### Integration von smart-me Messgeräten

Die smart-me Messgeräte und M-BUS Gateways verbinden sich über eine integrierte WiFi-Schnittstelle mit einer Cloud. Durch einen User Account und eine REST API hatte die BFH Zugriff auf diese Cloud und die darin gespeicherten Messdaten. Anlässlich eines Türöffner-Events des „Energyclusters Bern“ im Mai 2018 wurde die WiFi-Verbindung in Betrieb genommen und die smart-me Zähler einer Wohnung konnten erfolgreich mit dem Internet verbunden werden.



## Datenmanagement auf dem BFH-Server

Eine Applikation wurde auf dem BFH-Server implementiert, um Messdaten sowohl von den SPSen als auch von den Smart-me Zählern zu verarbeiten und in einer Datenbank zu speichern. Diese Serverapplikation überwacht die Kontinuität der Messdaten und sendet bei Unregelmässigkeiten Alarne mittels automatischen E-Mails. Der BFH-Server ist Teil des grossen IT-Rechenzentrums der BFH in Bern. Er wird rund um die Uhr überwacht und regelmässigen Backups unterzogen. Nach Wartungsarbeiten (IT-Services) starteten die Skripts automatisch neu.

Die Datenflüsse, die zwischen den smart-me Sensoren, der Wetterstation und den SPSen in den fünf Apartments und dem BFH-Server stattfanden, sind in Abbildung 13 visualisiert. Zur Sicherstellung der korrekten Funktionsweise der Datenübermittlung wurden umfangreiche Tests durchgeführt. Dies stellte sicher, dass die Daten aller Messgeräte aus dem Messgeräteverzeichnis korrekt erfasst und gespeichert wurden. Das Messgeräteverzeichnis ist in Tabelle 25 im Anhang aufgelistet.

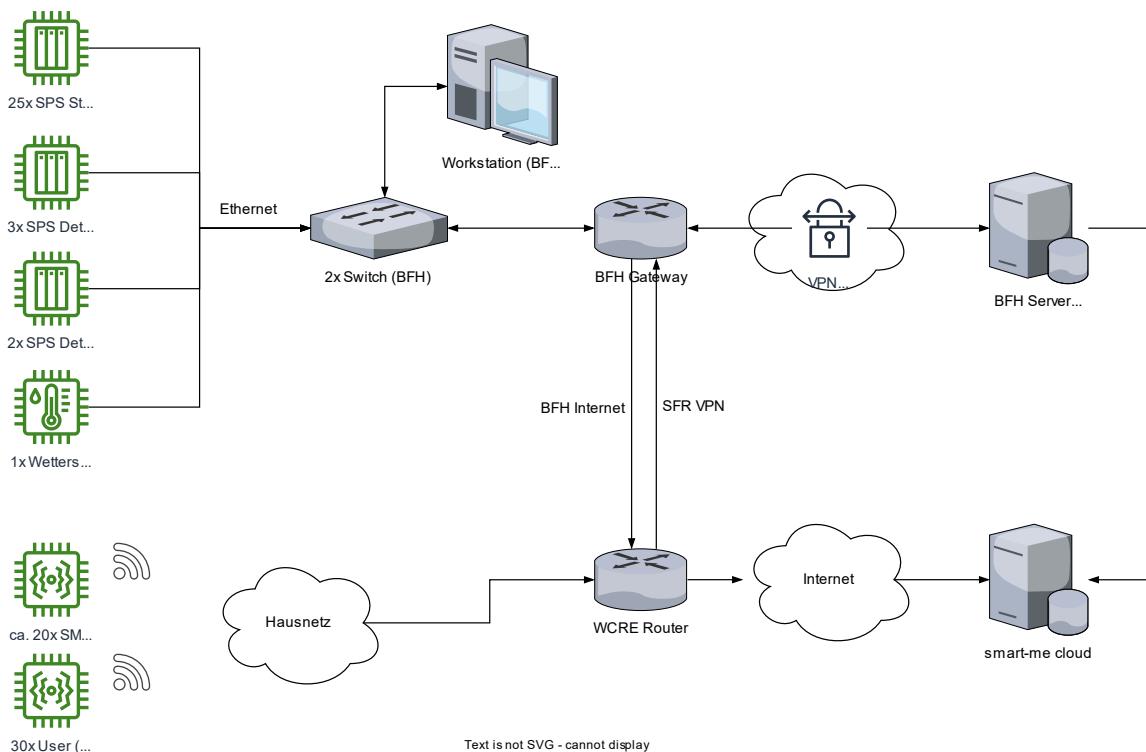


Abbildung 16 Architekturüberblick der Fernwartung - Datenflüsse zum BFH-Server, einschliesslich SPSen und Smart-Me Sensoren.

Für den effizienten Datenaustausch mit den Projektpartnern wurde der Filehosting-Dienst BFH Nextcloud genutzt. Die neuesten Messdaten wurden monatlich vom I3S hochgeladen. Diese Daten wurden regelmässig von den Projektpartnern validiert, die sie für ihre Auswertungen benötigten. Zusätzlich bot die BFH Nextcloud die Möglichkeit, relevante Dokumente zentral zu speichern.

### 3.1.6 Wetterstation

Gemäss Projektziel iii war die Erfassung von Meteodataen mittels einer Wetterstation auf dem Dach des Gebäudes vorgesehen. Die BFH war für die Evaluation und Planung der Wetterstation einschliesslich der Auswahl des Datenloggers verantwortlich. Dieser Datenlogger wurde im Technikraum im sechsten Obergeschoss platziert.

Aufgrund eines defekten LAN-Kabels, das zur Anbindung der Wetterstation vorgesehen war (vgl. 3.1.4), wurde die Entscheidung getroffen, ein Mobilfunkmodem zu installieren. Dieses Modem ermöglichte die Verbindung zwischen der Wetterstation und dem BFH-Server (InfluxDB PV-LAB). Die



Installation des Mobilfunkmodems sowie die Inbetriebnahme der Wetterstation fanden Anfang September 2022 statt.

Die in Tabelle 7 aufgeführten Meteodaten, wurden in einer Höhe von etwa zwei Metern über dem Dach gemessen.

Tabelle 7 Messfunktionen der Wetterstation

| Beschreibung             | Abkürzung | Ziel-Einheit | Abtastrate |
|--------------------------|-----------|--------------|------------|
| Umgebungstemperatur      | T100      | °C           | 5min       |
| Relative Luftfeuchte     | phi101    | %rF          | 5min       |
| Barometrischer Luftdruck | p102      | hPa          | 5min       |

### 3.1.7 Fehlerbehebung von smart-me Messgeräten

Bei der Auswertung der Rohdaten durch das IES wurden verschiedene unplausible Messwerte der smart-me Sensoren identifiziert. Um dies genauer zu verstehen, wurde eine detaillierte Analyse durchgeführt.

#### Datenabgleich und Analyse

Zunächst wurde überprüft, ob die Werte in der BFH-Datenbank mit den Werten der smart-me Cloud übereinstimmen. Die Angaben des IES konnten durch Überprüfung der Daten aus der smart-me Cloud bestätigt werden. Es wurde festgestellt, dass die fehlerhaften Daten bereits in der smart-me Cloud vorlagen.

#### Sprünge in den Energiedaten

Besonders auffällig waren die Energiewerte von Lüftungen und Wärmepumpen, die extrem hohe Werte aufwiesen. Bei genauerer Analyse der Daten zeigten sich nicht nachvollziehbare Sprünge. Abbildung 17 veranschaulicht dies am Beispiel der Wohnung T-110.

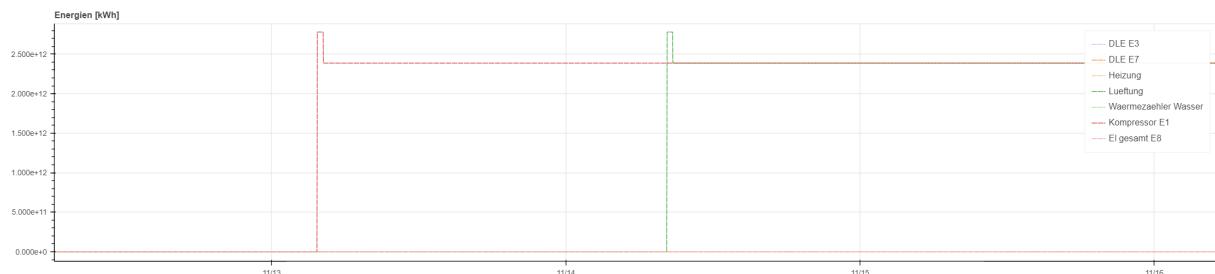


Abbildung 17 Rohdaten der Energiemessungen für die Wohnung T-110, E1 und E2 springen auf 2,3e12 kWh.

#### Überprüfung der Daten auf smart-me Webseite

Am 15. Und 16. Dezember wurden die Daten auf der Webseite von smart-me analysiert, um die Angaben vom IES zu verifizieren. Hier konnten sowohl aktuelle Sensorwerte visualisiert als auch Reports für definierte Zeiträume erstellt werden.

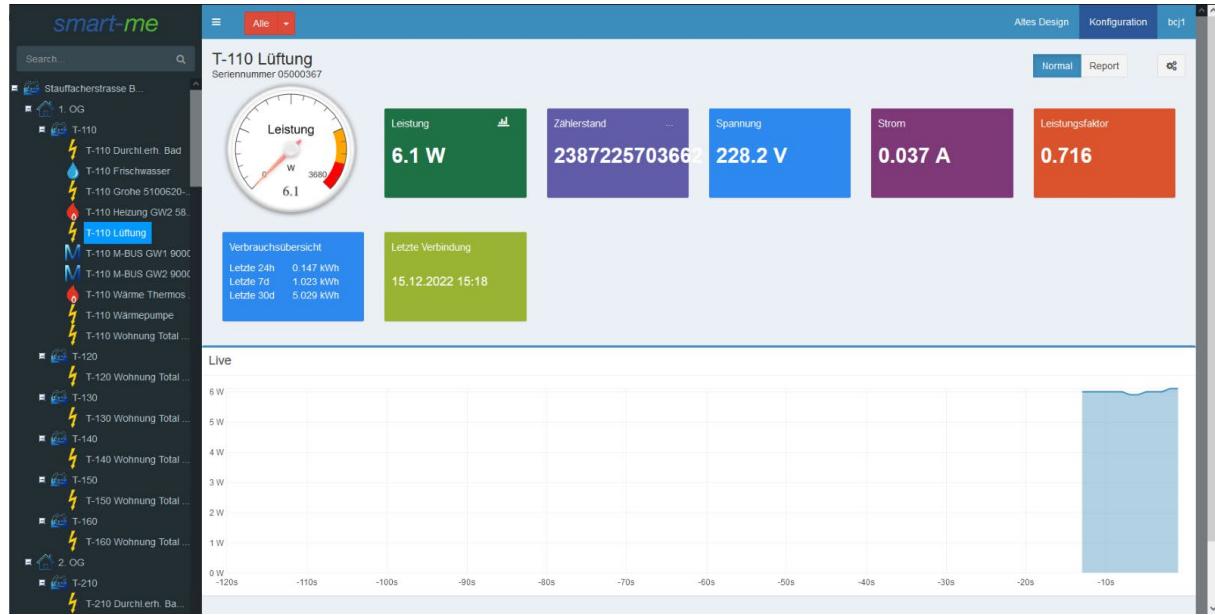


Abbildung 18 Screenshot von der smart-me Website ID 5, T110 Lüftung.

Abbildung 19 zeigt einen Report zur Lüftung in Wohnung T110 (ID 5) für den Monat November. Mit den Reports konnte nachgewiesen werden, ab welchem Zeitraum fehlerhafte Energiewerte aufgetreten sind.

## Übersicht

| Name                         | Verbrauch            |
|------------------------------|----------------------|
| Total Elektrizität Bezug     | -114.5 kWh           |
| Total Elektrizität Lieferung | -2387225703656.5 kWh |

## Elektrizität

| Name                           | Zeitspanne                          | Stand alt   | Stand neu             | Verbrauch            |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|
| Elektrizität Bezug Tarif 1     | 11.11.2022 00:00 - 01.12.2022 00:00 | 117.244 kWh | 2.716 kWh             | -114.5 kWh           |
| Elektrizität Lieferung Tarif 1 | 11.11.2022 00:00 - 01.12.2022 00:00 | 0 kWh       | 0 kWh                 | 0 kWh                |
| Elektrizität Bezug Tarif 2     | 11.11.2022 00:00 - 01.12.2022 00:00 | 0 kWh       | 0 kWh                 | 0 kWh                |
| Elektrizität Lieferung Tarif 2 | 11.11.2022 00:00 - 01.12.2022 00:00 | 0 kWh       | -2387225703656.53 kWh | -2387225703656.5 kWh |
| Elektrizität Bezug Total       | 11.11.2022 00:00 - 01.12.2022 00:00 | 117.244 kWh | 2.716 kWh             | -114.5 kWh           |
| Elektrizität Lieferung Total   | 11.11.2022 00:00 - 01.12.2022 00:00 | 0 kWh       | -2387225703656.53 kWh | -2387225703656.5 kWh |

Abbildung 19 Report 11. bis 30. November von der smart-me Website ID 5, T110 Lüftung.

Von den 19 installierten Einphasenzählern zeigten sieben solche Sprünge in den Energiedaten. Eine detaillierte Übersicht dieser Zähler ist in Tabelle 8) dargestellt. Im Zuge der Fehlerkorrektur versuchte smart-me, die Zählerstände Cloud-seitig auf Fehlübermittlung zu korrigieren. Da die betroffenen Zähler jedoch den fehlerhaften Zählerstand lokal gespeichert hatten, senden sie diesen immer wieder in die Cloud und überschreiben somit die korrigierten Werte.



Tabelle 8 Übersicht der Einphasenzähler mit Sprüngen in den Energiedaten

| ID | Name             | Abkürzung | Sender | Fehler                  |
|----|------------------|-----------|--------|-------------------------|
| 5  | T-110 Lüftung    | E2        | WIFI   | 2.3e12 kWh (14.11.2022) |
| 7  | T-110 Wärmepumpe | E1        | WIFI   | 2.3e12 kWh (13.11.2022) |
| 11 | T-210 Grohe      | E7        | WIFI   | 2.3e12 kWh              |
| 13 | T-210 Lüftung    | E2        | WIFI   | 2.3e12 kWh              |
| 15 | T-210 Wärmepumpe | E1        | WIFI   | 2.3e12 kWh (16.12.2022) |
| 21 | T-310 Lüftung    | E2        | WIFI   | 2.3e12 kWh (29.07.2022) |
| 23 | T-310 Wärmepumpe | E1        | WIFI   | 2.3e12 kWh (30.07.2022) |
| 29 | T-410 Lüftung    | E2        | WIFI   | 2.3e12 kWh (08.12.2022) |
| 31 | T-410 Wärmepumpe | E1        | WIFI   | 2.3e12 kWh (09.12.2022) |

Nach einer eingehenden Analyse wurde festgestellt, dass nur die Energiedaten betroffen waren, während die Leistungsmessungen plausibel erschienen. Dadurch konnten die Leistungsmessung integriert werden (vgl. 3.5.1).

#### **Messgeräte mit 0kWh**

Das IES stellte zudem fest, dass vier der fünf Einphasenzähler für die Grohe-Cooker keinen Energiebezug aufwiesen. Daraus liess sich schlussfolgern, dass entweder kein Bezug stattfand oder ein Fehler bei den Sensoren vorlag.

Tabelle 9 Messdaten Grohe-Cooker

| ID | Name        | Abkürzung | Sender | Fehler |
|----|-------------|-----------|--------|--------|
| 3  | T-110 Grohe | E7        | WIFI   | 0 kW   |
| 19 | T-310 Grohe | E7        | WIFI   | 0 kW   |
| 27 | T-410 Grohe | E7        | WIFI   | 0 kW   |
| 35 | T-510 Grohe | E7        | WIFI   | 0 kW   |

#### **Messgeräte mit Verbindungsunterbrechungen**

Einige smart-me Messgeräte, die über M-BUS Gateways verbunden waren, zeigten Verbindungsprobleme (Tabelle 10). Der Frischwasserzähler als auch der Wärmezähler ID2 und ID4 waren auf das gleiche M-Bus Gateway verdrahtet und hatten beide am 8. Januar 2023 ihre letzte Verbindung zur Cloud. Das gleiche Problem trat am 28. Februar 2023 in der Wohnung T-210 auf. Zusätzlich wurde festgestellt, dass bei ID38 keine Daten vorhanden waren. Durch erneute Suche nach Geräten auf der smart-me-Website konnte dies korrigiert werden und der Zähler war wieder online.

Tabelle 10 Sensoren, die über M-BUS Gateways verbunden und keine Daten mehr sendeten.

| ID | Name               | Abkürzung | Sender       | Last seen  |
|----|--------------------|-----------|--------------|------------|
| 2  | T-110 Frischwasser | Vw2       | WIFI Gateway | 08.01.2023 |
| 4  | T-110 Heizung      | QHzg      | WIFI Gateway | 08.01.2023 |



|    |                     |                  |              |              |
|----|---------------------|------------------|--------------|--------------|
| 10 | T-210 Frischwasser  | Vw2              | WIFI Gateway | 28.02.2023   |
| 12 | T-210 Heizung       | Q <sub>Hzg</sub> | WIFI Gateway | 28.02.2023   |
| 38 | T-510 Wärme Thermos | Vw1, Tw1, Tw2    | WIFI Gateway | 6. Juni 2022 |

### Vor-Ort-Überprüfung und Fehlerbehebung

Am 20.03.2023 fand eine Überprüfung vor Ort statt, um die Funktionalität der Anlagen sicherzustellen. In Zusammenarbeit mit Evi's Home Hotel & Apartments wurde der Zugang zu den betroffenen Wohnungen organisiert. Die Bestellung der defekten Zähler wurde im Vorfeld über das RMA-Antragsformular mit smart-me koordiniert. Zusätzlich wurde im Auftrag der Swissframe die Elektroinstallationsfirma Eltrona GmbH engagiert, um die nötigen Verdrahtungsarbeiten durchzuführen.

Während der Fehlerbehebung wurden vier Einphasenzähler (ID3, ID7, ID21, ID27) und zwei M-Bus Gateways ausgetauscht. Da es möglich war, die Bezüge aus den Leistungsdaten hochzurechnen, wurde im Hinblick auf die Kosten für den Elektroinstallateur entschieden, nicht alle Zähler auszutauschen. Bei der Überprüfung der Grohe-Cooker stellte sich heraus, dass die vier, die keinen Energiebezug aufwiesen, nicht korrekt an die Zähler angeschlossen waren. Nach der Korrektur der Verkabelung war ein Austausch nicht in allen Fällen notwendig.

Für die Funktionsprüfung der Messgeräte führte die Swissframe vor Ort Warmwasser-Zapfungen von je 100 Litern durch (Abbildung 20). Diese Messgeräte konnten bei den Tests in Echtzeit anhand der Verbrauchsdaten von smart-me und der Sensorwerten der SPS überprüft werden. Abschliessend wurden das Messgeräteverzeichnis und der Export aus der smart-me Cloud aktualisiert.

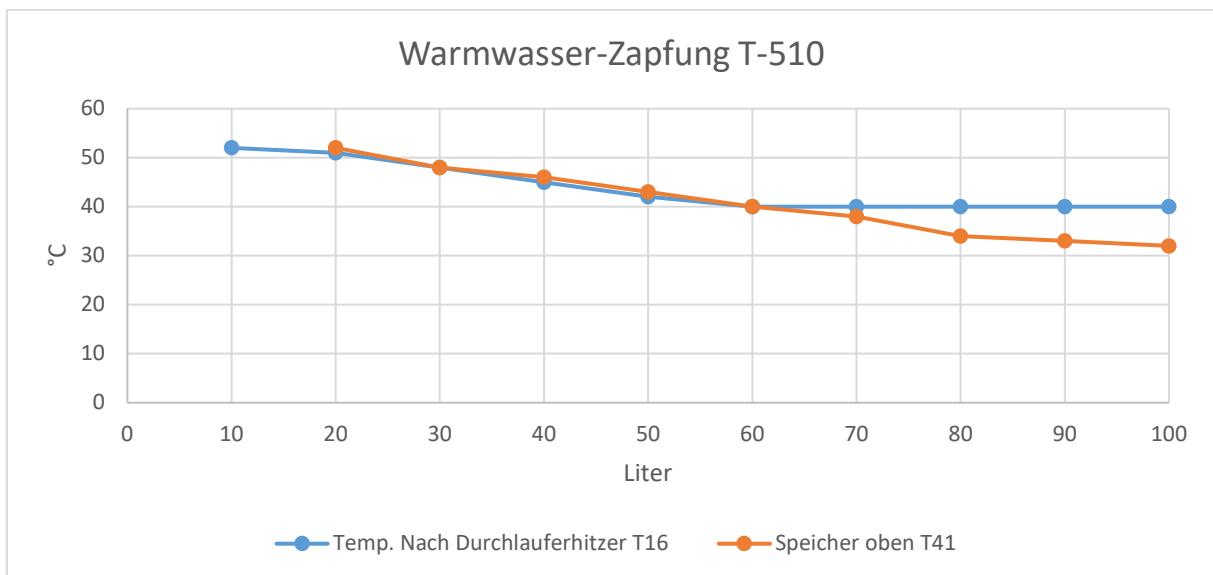


Abbildung 20 Zapfung THERMOS-Einheit, Durchlauferhitzer auf 38° eingestellt, Start 14:49 Uhr. Ende 15:03 Uhr.

### 3.1.8 Beurteilung der Nutzerzufriedenheit

Ursprünglich war im Projektgesuch vorgesehen, die Betriebsführung der THERMOS-Einheiten zu optimieren. Ein zentraler Punkt war die Verbesserung des Abtauens des luftbeaufschlagten Verdampfers. Geplant war, diesen Prozess durch regelmässige Befragungen der Nutzer bezüglich ihres Verhaltens und der Akzeptanz des Systems zu begleiten.

Das Institut für Optimierung und Datenanalyse (IODA) unterstützte das PV-Labor bei der Beurteilung der Nutzerzufriedenheit. Gemeinsam wurde ein zweisprachiger Fragebogen (Deutsch und Englisch)



entwickelt (siehe Abbildung 21). Dieser beinhaltete Informationen über das P&D-Projekt, die Vorwandeinheit-THERMOS und Fragen an die Bewohnenden/Mieterschaft. Der Fragebogen umfasste Fragen zur Behaglichkeit (Wasser, Luftzug, Lärmbelastung) und zur Demographie.

Aufgrund von Verzögerungen mit dem Einzug der Bewohnenden wurden im Jahr 2019 in einer Siedlung in Burgdorf Fragebögen verteilt. Von 15 befragten Parteien haben acht ihre ausgefüllten Fragebögen retourniert.

Nachdem die Bewohnenden Mitte 2022 in die Service-Apartments eingezogen waren, war geplant, ein Online-Formular (z.B. Microsoft Forms) für die Datenerhebung zu verwenden. Da die geplante Optimierung aus Kostengründen nicht durchgeführt wurde, wurde jedoch beschlossen auf weitere Mieterumfragen zu verzichten. Stattdessen wurden Hotelbewertungen von Evi's Home Hotel & Apartments auf Booking.com herangezogen. Es ist anzumerken, dass die Apartments T-210, T-310 und T-410 während der Messperiode fest vermietet waren, während die Apartments T-110 und T-510 laut Angaben von Evi's zu 90 % ausgelastet waren.



## **THERMOS: Fragebogen zur Kundenzufriedenheit**

Sehr geehrte Damen und Herren.

In Ihrer Wohnung ist das neu entwickelte THERMOS System der Swissframe AG zur kompakten dezentralen Warmwasserbereitstellung im Einsatz. Helfen Sie uns mit ihren Antworten das System zu verbessern.

### **Fragen zu Ihnen:**

#### **Wie alt sind Sie?**

<20    20-29    30-39    40-49    50-59    60+

#### **Wie viele Personen leben insgesamt in Ihrer Wohnung?**

Anzahl der Personen (Sie einbezogen) .....

**Nationalität:** ..... **Beruf:** .....

#### **Höchster Schulabschluss:**

- kein Schulabschluss
- obligatorische Schule
- Sekundarstufe II (Berufsschule, Maturität)
- Tertiärstufe (Fachhochschule, Universität)

### **Fragen zum System:**

#### **Ich hatte immer genügend Warmwasser:**

- stimme zu
- stimme eher zu
- stimme eher nicht zu
- stimme nicht zu
- keine Antwort

#### **Ich fühle mich durch den vom Thermos verursachten Lärm gestört:**

- Ja
- Nein

Falls ja, welche?

#### **Ich habe in meiner Wohnung einen störenden Luftzug verspürt:**

- stimme zu
- stimme eher zu
- stimme eher nicht zu
- stimme nicht zu
- keine Antwort

#### **Ich bin im Allgemeinen mit den sanitären Anlagen in meiner Wohnung zufrieden:**

- stimme zu
- stimme eher zu
- stimme eher nicht zu
- stimme nicht zu
- keine Antwort

Bemerkungen:

→ Vielen Dank für das Retournieren per E-Mail an [info@pvtest.ch](mailto:info@pvtest.ch).



## Bewertungen und Feedback

Evi's Home Hotel & Apartments wird auf der Plattform Booking.com von den bisherigen Gästen sehr gut bewertet. Basierend auf 532 Gästebewertungen (Stand 25.07.23) erreicht Evi's Home Hotel & Apartments den Wert 8.8 (von maximal 10.0), was dem Prädikat «Fabelhaft» entspricht. Insbesondere ist hervorzuheben, dass die Kategorie «Komfort» sogar den sehr guten Wert 9.2 erreicht (siehe Abbildung 22). Wurde etwas am Komfort bemängelt, war dies meistens eine fehlende Klimaanlage, wodurch die Zimmer im Sommer sehr heiß werden. Einzig in den Wintermonaten störten sich ein paar einzelne Gäste an der tiefen Temperatur des Duschwassers (siehe Abbildung 23 und Abbildung 24).



Abbildung 22 Gästebewertungen Evi's Home Hotel & Apartments auf Booking.com



Abbildung 23 Gästebewertung Evi's Home Hotel & Apartments auf Booking.com



Abbildung 24 Gästebewertung Evi's Home Hotel & Apartments auf Booking.com.



Bei den Mieterumfragen in Burgdorf sieht die Situation etwas anders aus. Hier beklagten 4 von 8 Mietenden ein zu kaltes Badezimmer. Lediglich eine Mietende (3-Personenhaushalt) beklagte sich über zu wenig warmes Wasser.

## 3.2 Bericht BFH-TI: Bewertung und Ausblick

### 3.2.1 Termine und Verzögerungen

Gemäss dem ursprünglichen Projektplan sollten der Transport und die Montage der Vorwandeinheiten an der Stauffacherstrasse 60 sowie die Inbetriebnahme und Konfiguration im zweiten Projektjahr (Q3, Q4 2017 und Q1, Q2 2018) erfolgen. Allerdings führten bauliche Verzögerungen dazu, dass die fünf detailliert gemessenen THERMOS-Einheiten erst im März 2018 installiert werden konnten. Nach Fertigstellung einer Musterwohnung im Juni 2018 konnten die ersten Tests erfolgreich durchgeführt werden.

Im September 2019 begannen die Arbeiten für den Fernzugriff, die Installation der Unterverteilungen und den Anschluss der Zähler und der Wetterstation sowie der Workstation im Keller. Bei den verbleibenden vier Wohnungen fehlten jedoch wesentliche Elemente, wie die Eingangsfronten, wodurch eine Vermietung nicht möglich war. Das Ziel der Swissrenova, den KoDeWa-Strang bereits zu vermieten, während sich die anderen 25 Service-Apartments noch im Rohbau befanden, wurde nicht erreicht. Dies verhinderte den Start der Versuchsphase.

Ende 2019 wurde das Projekt aufgrund von grösseren Verzögerungen zur Schonung des Budgets in den «Schlafmodus» versetzt. Weitere Verzögerungen ergaben sich aus der COVID-19 Pandemie, welche eine schwierige Geschäftssituation für auf Firmenkunden ausgerichtete Hotelwohnungen brachte. Die Swissrenova AG musste Konkurs anmelden und schied 2021 aus dem Projekt aus.

Die Wankdorf City Real Estate AG setzte den Umbau fort. Die Projektbeteiligten beantragten eine administrative, kostenneutrale Verlängerung des Projekts bis Ende Juni 2023 und unterzeichneten einen Vertragszusatz. Bestandteil dieses Zusatzes war ein Arbeitsplan der die Anpassungen des Projektplans, Verantwortlichkeiten, Kosten und Termine dokumentierte. Da die Verzögerungen die budgetierten Honorarkosten der Forschungspartner belasteten, wurden einige geplante Aktivitäten, wie die Optimierung der Betriebsführung, aus Kostengründen gestrichen. Hinzukommend wurde der Messzeitraum auf ein Jahr verkürzt.

Trotz der ursprünglichen Installation der Wetterstation zur Optimierung der Betriebsführung, erwiesen sich die gesammelten Meteodata als wertvoll für die Validierung der Projektergebnisse, insbesondere in Bezug auf Aspekte wie Heizgradtage und die Behaglichkeit der Bewohnenden.

Die restlichen 25 THERMOS-Einheiten wurden im Mai 2022 installiert. Evi's Home Hotel & Apartment übernahm die Verwaltung der Service-Apartments, und die Nutzung der Wohneinheiten begann im Juni 2022. Nach der Inbetriebnahme im selben Monat wurde das Ende der Datenerhebungsphase auf den 30.06.2023 festgelegt. Trotz wiederholter Aufforderungen durch die BFH-TI wurden die Probleme mit den defekten Leitungen erst gegen Ende 2022 behoben. Wie bereits in Abschnitt 3.1.4 erwähnt, war die SPS der Wohnung T-210 erst ab Mitte Dezember 2022 online.

Die baulichen Verzögerungen waren eine besondere Herausforderung. Die Forschungspartner hatten Aufwendungen, die nur der Verlängerung des Projekts dienten. Es gab diverse Stellenwechsel und Nachfolger in das Projekt eingearbeitet werden.

### 3.2.2 Datenqualität

Nachdem das IES Unstimmigkeiten in den Energiedaten feststellte, wurden die Werte in der BFH-Datenbank mit den Werten aus der smart-me Cloud abgeglichen. Dabei bestätigte sich, dass die fehlerhaften Daten bereits in der smart-me Cloud vorlagen. Die Sprünge in den Energiedaten sowie die Verbindungsabbrüche der M-BUS Gateways werfen Zweifel an der Zuverlässigkeit der Sensoren



auf. Dies erfordert eine gründliche Untersuchung der Ursachen dieser Diskrepanzen. Laut smart-me könnten elektromagnetische Störungen (EMV-Störungen) die Ursache für die fehlerhaften Zählerstände sein. Aufgrund der kompakten Bauweise der Einphasenzähler ist der Platz für EMV-Entstörmaßnahmen begrenzt. Andererseits ist der Umstand, dass die Zähler der Grohe-Cooker keinen Energieverbrauch zeigten, auf unkoordinierte Planung, Ausführung und mangelnde Sorgfalt bei der Datavalidierung zurückzuführen. Die Probleme mit dem Messsystem verursachten zusätzlichen Aufwand zur Fehlersuche und Datenaufbereitung. Vor allem konnte dadurch die erste Kältewelle der Heizperiode 2022/2023 nicht erfasst werden, was angesichts des einjährigen Messzeitraums des Projekts bedauerlich ist.

Aufgrund der beeinträchtigten Datenqualität in einzelnen Monaten konzentrieren sich die Auswertungen hauptsächlich auf den Messzeitraum von Dezember 2022 bis Ende Juni 2023. Zum Projektende verblieb die Messtechnik installiert. Die I3S übergab Swissframe die Python-Skripte und die dazugehörige Dokumentation. Swissframe plant, den Server für zukünftige Auswertungen ausserhalb des Projekts zu migrieren.

### 3.2.3 Nutzerzufriedenheit

Evi's Home Hotel & Apartment wurde auf Booking.com mit dem Prädikat «Fabelhaft» bewertet. Es gab jedoch vereinzelte Rückmeldungen von Gästen, die in den Wintermonaten die Temperatur des Duschwassers als zu niedrig empfanden. Es ist zu beachten, dass die Durchlauferhitzer an der Stauffacherstrasse standardmäßig auf 38 °C eingestellt waren, um Leistungsspitzen zu begrenzen. Bei abgesunkener Speichertemperatur empfanden einige Benutzer das Wasser gegen Ende des Duschvorgangs als zu kalt.

In den Mieterumfragen in Burgdorf wurde insbesondere die Temperatur in den Badezimmern als zu kalt empfunden. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass über die die Komfortlüftung zu grosse Luftmengen abgeleitet wurden.

Die Entscheidung, auf Mieterbefragungen zu verzichten und stattdessen Hotelbewertungen zur Erfolgskontrolle zu nutzen, führte dazu, dass kein umfassendes Verständnis der der Nutzerzufriedenheit gewonnen werden konnte. Das daraus gewonnene Feedback bietet daher nur eingeschränkte Anhaltspunkte für mögliche Optimierungen der Betriebsführung nach Projektabschluss.

## 3.3 Bericht IES: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

|                 |                                     |                           |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Teammitglieder: | Elias Büchel, Andreas Peter (Autor) | Stefan Bertsch (PL, Prof) |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------------|

### 3.3.1 Evaluation der Sensoren

Gemeinsam mit den Kollegen der HSR (SPF) und der BFH (I3S) wurden die Sensoren für die zu messenden Vorwändeinheiten-THERMOS ausgewählt, um die Zielvorgaben des BFE erfüllen zu können. Folgende Sensoren wurden evaluiert:

#### Quantifizieren der Wärmequelle:

- a) Volumenstromsensor in der Fortluft der Lüftung
- b) Temperatursensor im Fortluftstrom
- c) Feuchtesensor im Fortluftstrom

#### Quantifizieren der Wärmesenke:

- a) Temperatursensor im unteren Bereich des Boilers



- b) Temperatursensor im oberen Bereich des Boilers

#### **Quantifizieren der Wärmepumpe:**

- a) Drucksensor für Niederdruck (Verdampfung)
- b) Drucksensor für Hochdruck (Kondensation)
- c) Wattmeter 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)

#### 3.3.2 Messungen Definieren

Um die Ziele des P&D-Projekts des BFE erreichen zu können, waren von Seiten des IES drei unterschiedliche Messungen geplant:

#### **Quantifizieren der Energierückgewinnung durch die Kleinleistungswärmepumpe**

##### **(BFE-Ziel: Energietische Analyse der Teilsysteme)**

Mit dieser Messung sollte ermittelt werden, wie viel Energie durch die Kleinleistungswärmepumpe aus der Fortluft der Lüftung noch zurückgewonnen werden kann. Dazu wurde die Wärmequelle genau bestimmt und es wurde ermittelt wie viel Energie der Verdampfer aus dieser abziehen kann.

Die Messung sollte Optimierungspotentiale des Verdampfers der Kleinleistungs-Wärmepumpe aufzeigen können.

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

##### **(BFE-Ziel: Energietische Analyse der Teilsysteme)**

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

#### **Vereisung des Verdampfers:**

##### **(BFE-Ziel: Energietische Analyse der Teilsysteme)**

Ziel dieser Messung war 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).

#### 3.3.3 Aufgetretene Probleme in der Produktion der Vorwandeinheit

Bei der Produktion und der ersten Inbetriebnahme der Vorwandeinheiten für das P&D-Projekt ist Swissframe aufgefallen, dass sich die Wärmepumpen der fünf Vorwandeinheiten des Feldtests nicht so verhalten wie angedacht. Der Hochdruck des Systems stieg innerhalb kürzester Zeit massiv an und auch die geforderten Speichertemperaturen konnten nicht erreicht werden.

Zusammen mit dem NTB wurde bei Swissframe vor Ort versucht die Ursachen dieser Probleme zu ermitteln. Da an den Vorwandeinheiten bereits Einstellungen vorgenommen wurden, welche nicht mehr exakt rekonstruiert werden konnten, konnte nicht ermittelt werden, ob die Probleme wegen den vorgenommenen Einstellungen verursacht wurden oder generell bestehen.

#### 3.3.4 Problemanalyse an der NTB



Es wurde gemeinsam beschlossen (NTB und Swissframe) ein neues Gerät aufzubauen, dieses in der Werkseinstellung zu belassen, an der NTB in den Klimakammern auszumessen und den Problemen auf den Grund zu gehen.

Durch Messungen in der Klimakammer konnte ermittelt werden, dass die Füllmenge an R134a (Kältemittel) angepasst, bzw. reduziert werden musste. Zudem musste die Werkseinstellung des thermischen Expansionsventils angepasst werden (Verringerung der Überhitzung des Kältemittels). Ausserdem wurde der Druckbereich des Pressostaten (=Schutzorgan der Wärmepumpe) exakt eingestellt.

Nach Abschluss dieser Anpassungen konnten die Probleme behoben werden.

### 3.3.5 Neue Probleme mit Kondensat

Bei den Messungen mit simulierten, extremen Winterverhältnissen (TFrischluft = -10°C) wurde festgestellt, dass sich innerhalb der Lüftung 1L Kondensat innert 24 Stunden bildete.

Abklärungen haben ergeben, dass der Lüftungshersteller einen falschen Wärmetauscher geliefert hatte. Nach dem Austausch des Wärmetauschers und einer erneuten Überprüfung mit Messungen konnte kein Kondensat mehr festgestellt werden.

Auch dieses Problem wurde behoben.

### 3.3.6 Serienreife der Vorwandeinheit

Mit den Messungen an der NTB konnten die Kinderkrankheiten der Vorwandeinheit in Bezug auf Lüftung und Wärmepumpe erkannt und behoben werden. Es werden keine weiteren Probleme mit diesen Baugruppen im Feldtest erwartet.

## 3.4 Bericht IES: Zwischenfazit 2018, vor der Inbetriebnahme

### 3.4.1 Fertigungssicherheit steigern

Das IES begleitet Swissframe bei der Produktion der ersten THERMOS-Einheiten. Da Swissframe zum ersten Mal eine Wärmepumpe in einem Produkt einsetzt, berät das IES Swissframe, auf welche Punkte bei der Produktion der Wärmepumpe besonders zu achten sind, welche Schwierigkeiten auftreten können und wie diese angegangen, bzw. gelöst werden können. Zurzeit sind alle anstehenden Arbeiten seitens NTB abgeschlossen. Die Sensoren sind in den Vorwandeinheiten eingebaut und alle bekannten Probleme behoben. Bis zur Inbetriebnahme der Vorwandeinheiten steht die NTB dem Team beratend zur Verfügung

### 3.4.2 Messungen und Analyse in der Klimakammer

Durch das seriöse Arbeiten seitens Swissframe, konnten die Probleme mit der Wärmepumpe bereits bei der Produktion und nicht erst in den fertigen Hotelzimmern festgestellt werden. Dadurch bleiben dem gesamten Projektteam und dem Hotelinhaber viele Unannehmlichkeiten und Verzögerungen erspart.

Die Entscheidung ein Gerät an der NTB in den Klimakammern intensiv zu testen und auszumessen, löste nicht nur die bestehenden Probleme, sondern deckte auch neue, bisher unbekannte Problemstellen auf. Auch diese konnten behoben werden. Eine abschliessende Messung hat gezeigt, dass die Vorwandeinheit (im speziellen die Lüftung und die Wärmepumpe) mit den nun vorgenommenen Einstellungen problemlos funktioniert.

Die Abklärungen und die Messungen haben zusätzliche Stunden im Projekt beansprucht (ca. 150 Stunden), welche in der Planung nicht vorgesehen waren. Für den Projektverlauf bedeutet die frühe Erkennung der Probleme jedoch eine signifikante Entlastung. Der Umfang der Arbeiten und die



daraus resultierenden Kosten wären grösser gewesen, wären die Vorwandeinheiten bereits im Hotel eingebaut gewesen.

### 3.4.3 Auswertung automatisieren

Gemeinsam mit den Kollegen der HSR (SPF) und der BFH (I3S) wurde ein Programm entwickelt, welches die Auswertung der Messdaten automatisiert. Dieses Programm wurde so ausgelegt, dass jeder Projektpartner die wichtigsten Informationen zu den einzelnen Bestandteilen der Vorwandeinheit-THERMOS auf einen Blick zur Verfügung hat.

Die hier erwähnten Punkte wurden umgesetzt und haben dazu geführt, dass das System keine grösseren Probleme im Betrieb gezeigt haben (Stand 08-2023)

## 3.5 Bericht IES: Ergebnisse Feldmessung Stand 2023

Basierend auf der installierten Messdatenerfassung wurden zu Projektende Auswertungen im Hinblick auf Effizienz und Funktion der Anlagen gemacht. Ausgewertet werden daten über ca. 6 Monate. Da es bei der Datenerfassung zu Funktionsausfällen und Unterbrüchen kam, konnten nicht alle geplanten Auswertungen durchgeführt werden. Die Funktion der Anlage konnte jedoch bestätigt werden und einige Effizienzzahlen erfasst werden. Kapitel 1.6 gibt einen Überblick über die gemessenen Grössen und zum Abschluss einen Vergleich zu Feldmessungen herkömmlicher Wärmepumpen.

### 3.5.1 Datenaufbereitung

Zur Auswertung der Rohdaten wurden Python Skripte verwendet. Sämtliche csv-Dateien wurden eingelesen. Da die Abtastrate nicht bei allen Sensoren übereingestimmt hat, wurde ein Zeitstempel vorgegeben, und anschliessend für jeden Sensor der zeitlich nächstgelegene Wert zugewiesen. Dadurch konnte ein Dataframe mit allen vorhandenen Daten erstellt werden, bei denen die Zeitstempel übereinstimmen. Direkt nach dem Einlesen wurden die Rohdaten gemäss Tabelle 11 umgerechnet. Das Dataframe wurde mit der pickle-Bibliothek gespeichert und diente damit als Ausgangslage für Berechnungen und Plots.

Anschliessend wurde das Dataframe in ein weiteres Skript eingelesen, womit die Rohdaten sämtlicher Sensoren auf der Zeitachse geplottet wurden. Damit konnte eine gute Übersicht über die Datenqualität gewonnen werden. Ebenso konnte ein grober Überblick gewonnen werden, ob die Sensoren plausible Daten liefern. Abbildung 25 zeigt diese Plots der Kältemitteltemperaturen für Wohnung 110.

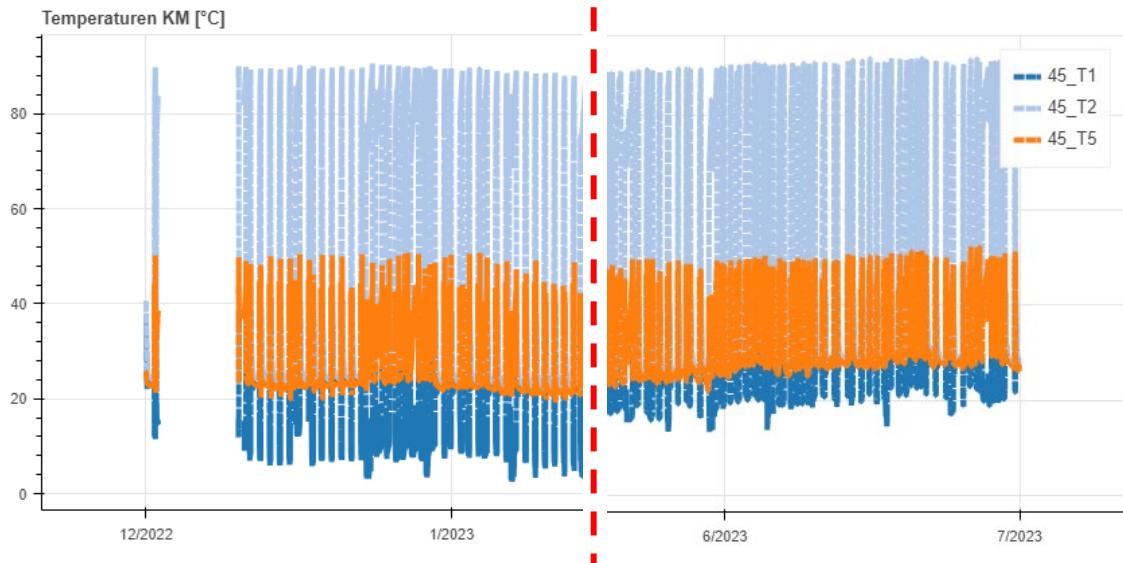


Abbildung 25 Plot der Rohdaten der Kältemitteltemperaturen (auf Grund der Darstellbarkeit wurde der Zeitraum Feb-Mai in der Grafik beschnitten).

Am Ende der Aufzeichnungsphase wurde ein weiteres Skript erstellt, welches aus diesen agglomerierten Messdaten die relevanten Kennzahlen berechnet. Die genauen Berechnungen können dem jeweiligen Abschnitt entnommen werden. Einige Smart-Me Sensoren, welche Leistung und Energie aufzeichneten, wiesen in Bezug auf die Energien erhebliche Probleme (Sprünge, Lücken, fehlerhafte Werte...) auf. Daher wurden die Energien durch Integration der Leistungen ermittelt (Formel 1).

$$E = \sum P \cdot \Delta t \quad 1)$$



Tabelle 11 Bezeichnung und Umrechnung der Sensor Rohdaten

|  |       |                       |                                       |
|--|-------|-----------------------|---------------------------------------|
| Sauggas  | T1    | °C                    | $T = n \cdot 0.1$                     |
| Heißgas  | T2    | °C                    | $T = n \cdot 0.1$                     |
| Wärmesenke oben  | T41   | °C                    | $T = n \cdot 0.1$                     |
| Wärmesenke unten   | T42   | °C                    | $T = n \cdot 0.1$                     |
| Nach Kondensator   | T5    | °C                    | $T = n \cdot 0.1$                     |
| Wärmequelle (an Verdampferlamellen)                                    | T7    | °C                    | $T = n \cdot 0.1$                     |
| Temp. Hinter der Vorwand<br>(Für Wärmeverlust Speicher)                | T13   | °C                    | $T = n \cdot 0.1$                     |
| Temp. Nach Durchlauferhitzer<br>(Komfortüberwachung)                   | T16   | °C                    | $T = n \cdot 0.1$                     |
| Niederdruck  | p1    | bar                   | $p = n \cdot 1.266^{-3}$              |
| Hochdruck  | p2    | bar                   | $p = n \cdot 1.266^{-3}$              |
| Wärmemenge Speicher (Wärmezähler)                                      | Vw1   | kWh                   |                                       |
| Vorlauftemperatur Speicher (Wärmezähler)                               | Tw1   | Kelvin                | $T = n - 273 \text{ } ^\circ\text{C}$ |
| Rücklauftemperatur Speicher (Wärmezähler)                              | Tw2   | Kelvin                | $T = n - 273 \text{ } ^\circ\text{C}$ |
| Volumenstrom Frischwasser zwecks<br>Wohnungsabrechnung                 | Vw2   | $\text{m}^3/\text{h}$ |                                       |
| Luftstrom, Flügelradsensor zwecks Vereisung                            | VI1   | m/s                   | $v_{Luft} = n \cdot 904.2^{-6} - 5$   |
| Temperatur Luft am Eintritt Verdampfer<br>(Enthalpie1)                 | T14   | °C                    | $T = n \cdot 3.617^{-3} - 40$         |
| relative Feuchte Luft am Eintritt Verdampfer<br>(Enthalpie2)           | phi14 | %rF                   | $\varphi_{rel} = n \cdot 3.617^{-3}$  |
| Elektrische Energie kumulierend Kompressor,<br>1-phasig                | E1    | kWh                   |                                       |
| Elektrische Energie kumulierend Lüftung,<br>1-phasig                   | E2    | kWh                   |                                       |
| Elektrische Energie kumulierend Durchlauferhitzer,<br>3-phasig         | E3    | kWh                   |                                       |
| Elektrische Energie kumulierend Grohe Küche<br>(Warmwasser), 1-phasig  | E7    | kWh                   |                                       |
| Elektrische Energie kumulierend zwecks<br>Wohnungsabrechnung, 3-phasig | E8    | kWh                   |                                       |

### 3.5.2 Datenauswertung

Die Daten wurden zwischen 01.12.2022 und 30.06.2023 ausgewertet. Geplant wäre eine Messaufzeichnung von mindestens einem Jahr gewesen, sodass Kennzahlen wie SNG bestimmt könnten. Das Projekt erlitt jedoch erhebliche bauseitige Verzögerungen in der Umsetzungsphase, weshalb auf eine weitere Verlängerung des Projekts verzichtet wurde. Auch sind nach mehreren Nachbesserungen immer noch signifikante Probleme bei der Datenerfassung zu verzeichnen. Einige Kennzahlen, welche normalerweise über ein Jahr bestimmt werden, wurden trotzdem berechnet, sind jedoch mit Vorsicht zu vergleichen heranzuziehen. Diese werden im entsprechenden Abschnitt markiert.

Einige Kennwerte wurden nur für den Monat Januar und den Monat Juni ausgewertet. Dies, um einen Vergleich zwischen dem Verhalten in Sommer und Wintermonaten machen zu können.

Im Folgenden werden zuerst die Einzelergebnisse präsentiert, die Auswertung und Schlüsse sind im Anschluss daran zusammengefasst.



### 3.5.3 Druckverhältnisse

Die Druckverhältnisse wurden für jene Zeiträume, in denen die Wärmepumpe läuft, mit Formel 2 berechnet. Die Ergebnisse wurden in Tabelle 12 zusammengefasst. Dabei ist zu sehen, dass das Druckverhältnis im Winter tendenziell etwas höher liegt. Dies liegt zum einen an der tieferen Lufteintrittstemperatur am Verdampfer, zum anderen am grösseren Temperaturabstand zwischen Luft und Kältemittel des Verdampfers (trockenere Luft) im Winter. Die Unterschiede zwischen den Wohnungen kommt durch unterschiedliche Durchflüsse der Luft, sowie unterschiedliches Nutzerverhalten zustande.

$$pr = \frac{p_2}{p_1} \quad 2)$$

Tabelle 12 Ergebnisse Druckverhältnisse

|             | Januar [-] | Juni [-] |
|-------------|------------|----------|
| Wohnung 110 | 5.23       | 3.86     |
| Wohnung 210 | 5.27       | 4.08     |
| Wohnung 310 | 6.13       | 4.33     |
| Wohnung 410 | 5.51       | 4.52     |
| Wohnung 510 | 5          | 4.97     |

### 3.5.4 Pinch Temperaturen

Die Pinch Temperaturen konnten nur für den Verdampfer bei den Wohnungen 110 und 310 bestimmt werden (luftseitig: Ein- und Austritt, kältemittelseitig Verdampfungstemperatur aus Druck berechnet, sowie die Sauggasttemperatur). Der Sensor T1 (Sauggasttemperatur) in Wohnung 510 weist zu hohe Werte auf (über der Lufttemperatur), was darauf zurückzuführen ist, dass der Sensor zu nahe am Verdichter angebracht wurde. Durch die Abwärme des Verdichters wird eine zu hohe Temperatur aufgezeichnet. Deshalb wurde diese Wohnung nicht ausgewertet. Wohnung 210 und 410 waren nicht für diese Auswertung vorgesehen.

Zur Berechnung wurden nur die Daten verwendet, wenn die Wärmepumpe gelaufen ist. Die Pinch Temperatur im Verdampfer wurde berechnet, indem das Minimum von Formel 3 und 4 für jeden Messpunkt bestimmt wurde. Anschliessend wurde der Durchschnitt jeder Wohnung für Winter und Sommer gebildet.

$$\Delta T_{ein} = T_{14} - T_1 \quad 3)$$

$$\Delta T_{aus} = T_{23} - T_{evap} \quad 4)$$

Die Ergebnisse wurden in der Tabelle 13 zusammengefasst. Es wird ersichtlich, dass die Pinch Temperaturen im Winter höher sind als im Sommer. Da die Luftfeuchtigkeit im Sommer höher ist und die Luft dadurch mehr Wärme abgeben kann, erscheint dieses Ergebnis als plausibel.



Tabelle 13 Pinch Temperaturen im Verdampfer

|             | Januar [K] | Juni [K] |
|-------------|------------|----------|
| Wohnung 110 | 6.49       | 3.29     |
| Wohnung 310 | 6.89       | 4.80     |

Insgesamt sind die Pinch-Temperaturen recht niedrig, was darauf hinweist, dass die Wärmetauscher korrekt ausgelegt wurden.

Im Boiler besteht eine Schichtung der Temperatur. Die Wassertemperatur wird räumlich höher gemessen als der Ausgang des Kondensators. Dadurch kann die Pinch Temperatur am Kondensator nicht ausgewertet werden.

### 3.5.5 Luftmenge Lüftungsgerät

Zur Bestimmung der Luftvolumenströme, welche die Lüftung transportiert, wurde die Windgeschwindigkeit im Kanal für die drei Wohnungen 110, 310 und 510 aufgezeichnet. Da die Geschwindigkeiten tief sind, wurde zur Rechnung auf den Volumenstrom die Formel 5 verwendet, wobei das Strömungsprofil als linear betrachtet wurde.

$$\dot{V} = v \cdot A \quad 5)$$

Die Ergebnisse wurden in Tabelle 14 zusammengefasst. Im Sommer wurde tendenziell mehr Luft transportiert. Wie in Abbildung 26 ersichtlich, erfährt die Windgeschwindigkeit erhebliche Schwankungen. Diese Schwankungen werden von der Steuerung ausgelöst. Die Spalte «Total» zeigt den Volumenstrom Durchschnitt über die gesamte Messperiode, auch wenn die Wärmepumpe nicht läuft.

Die Norm SIA 2024 sieht einen Aussenluft-Volumenstrom für MFH von  $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  vor. Bei einer Fläche von  $23.07 \text{ m}^2$  entspricht dies einem minimalen Luftvolumenstrom von  $18.5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dadurch wird ersichtlich, dass die Volumenströme der Wohnungen im üblichen Rahmen liegen. Dass die Volumenströme im Sommer höher sind als im Winter ist steuerungsbedingt. Es erklärt jedoch auch, weshalb die Pinch-Temperaturen im Winter viel höher sind.

Es ist klar zu sehen, dass das Lüftungsgerät im Winter auf einer tieferen Stufe läuft. Die Befürchtung, dass zur Abtauung im Winter immer ein hoher Volumenstrom nötig ist, ist nicht eingetroffen.

Tabelle 14 Volumenströme Lüftungsgerät

|             | Januar [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] | Juni [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] | 1.12. – 30.6. [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] |
|-------------|----------------------------------|--------------------------------|---|
| Wohnung 110 | 36.1                             | 54.9                           | 41.1                                    |
| Wohnung 310 | 31.8                             | 61.2                           | 47.6                                    |
| Wohnung 510 | 35.1                             | 40.9                           | 45.6                                    |

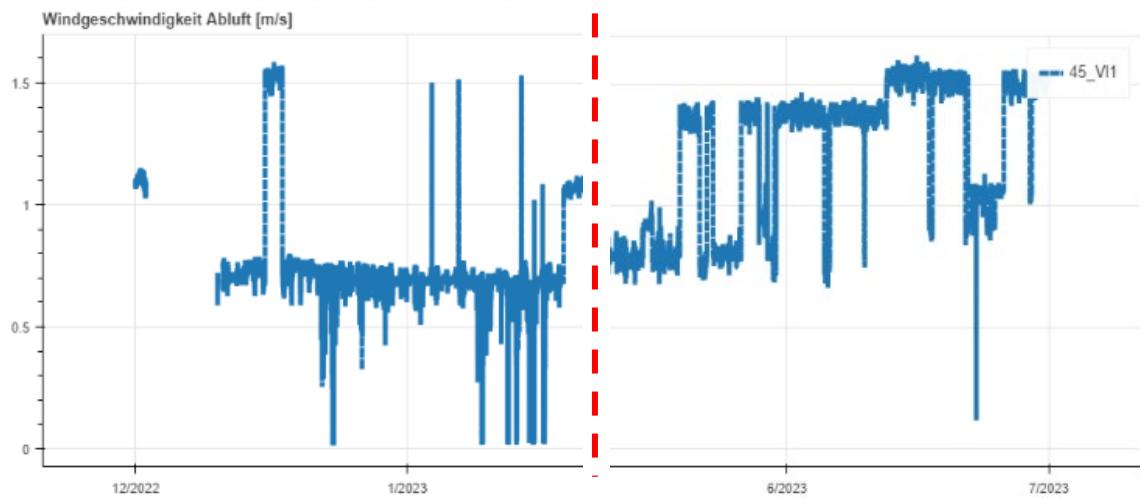


Abbildung 26 Windgeschwindigkeit Wohnung 1

### 3.5.6 Wärmerückgewinnung Verdampfer

Zur Berechnung der Energierückgewinnung über den Verdampfer wurde anhand der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und dem Luftdruck die Enthalpie vor und nach dem Verdampfer bestimmt. Da die Feuchtigkeit nur am Lufteintritt gemessen wurde, musste für den Luftaustritt eine Feuchtigkeit angenommen werden. Die Luft wird über den Verdampfer stark abgekühlt, wodurch die Luftfeuchte steigt. Es wurde daher mit einem Austritts-Luftfeuchtewert von 95% gerechnet (typisch bei kondensierender Luft in einem Wärmetauscher). Der Massenstrom konnte mit der Luftpumpe und dem Volumenstrom berechnet werden. Dadurch konnte die zurückgewonnene Leistung für jeden Messpunkt berechnet werden und daraus durch Integration die zurück gewonnene Energie für den Winter- sowie den Sommermonat. Formel 6 zeigt die Berechnung der Leistung, Formel 7 die für die Integration verwendete Formel. Tabelle 15 zeigt die durchschnittliche zurückgewonnene Leistung, Tabelle 16 die daraus resultierte Energie.

$$\dot{Q} = \dot{m} (h_{12} - h_{23}) \quad 6)$$

$$Q = \sum \dot{Q} \cdot \Delta t \quad 7)$$

Tabelle 15 Durchschnittliche Leistung Wärmerückgewinnung

|             | Januar [W] | Juni [W] |
|-------------|------------|----------|
| Wohnung 110 | 156        | 240      |
| Wohnung 310 | 120        | 203      |
| Wohnung 510 | 113        | 99       |

Tabelle 16: Total zurück gewonnene Energie

|             | Januar [kWh] | Juni [kWh] |
|-------------|--------------|------------|
| Wohnung 110 | 30           | 52         |



|             |    |    |
|-------------|----|----|
| Wohnung 310 | 45 | 40 |
| Wohnung 510 | 43 | 30 |

Durch die geringen Volumenströme im Winter (siehe vorheriger Absatz) kann weniger Energie aus der Abluft zurückgewonnen werden, die Wärmeverluste durch Lüftung sind aber ebenfalls geringer

### 3.5.7 Heizenergie

Zur Betrachtung der Heizenergie wurde ein Wärmezähler an der Heizung installiert. Zum einen wurde die gesamte Heizenergie betrachtet (Tabelle 17), zum anderen die Energie pro Wohnfläche. Dazu wurde die Wärme des entsprechenden Auswertezeitraums durch die Wohnfläche dividiert. In Tabelle 18 wurden die Ergebnisse zusammengefasst. Wohnung 110 und 510 sind aufgrund mangelnder Datenqualität nicht auswertbar.

Tabelle 17 Heizenergie

|             | Januar [kWh] | Juni [kWh] | 1.12. – 30.6. [kWh] |
|-------------|--------------|------------|---------------------|
| Wohnung 210 | 136          | -          | -                   |
| Wohnung 310 | 131          | 0          | 387                 |
| Wohnung 410 | 282          | 0          | 877                 |

Tabelle 18 Heizenergie pro Quadratmeter

|             | Januar [kWh/m <sup>2</sup> ] | Juni [kWh/m <sup>2</sup> ] | 1.12.22 – 30.6.23 [kWh/m <sup>2</sup> ] | Jahr <sup>*)</sup> [kWh/(m <sup>2</sup> *a)] |
|-------------|------------------------------|----------------------------|---|--|
| Wohnung 210 | 5.9                          | -                          | -                                       | -  |
| Wohnung 310 | 5.7                          | 0                          | 16.8                                    | 28.8   |
| Wohnung 410 | 12.3                         | 0                          | 38.1                                    | 65.3   |

<sup>\*)</sup> Hochrechnung – Vergleich mit Jahreswerten ist mit Vorsicht zu führen

Zum Vergleich mit Minergie, Minergie P und der SIA 2024 Norm, wurde die Heizenergie pro Quadratmeter auf ein Jahr hochgerechnet. Dabei ist zu beachten, dass die gemessenen Monate eher heizintensive Monate waren.

Minergie legt einen Wert von 50 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr fest, Minergie P einen Wert von 15 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr. Die SIA 2024 sieht einen Wert von 14.2 kWh/m<sup>2</sup>. Die Heizenergie der Wohnung 310 ist mit diesen Werten vergleichbar. Wohnung 410 hat einen höheren Energiebedarf. Dies ist auf das Nutzerverhalten respektive die Raumtemperatur zurückzuführen. Die Werte sind für eine Sanierung aber insgesamt gut.

### 3.5.8 SNG

Der Systemnutzungsgrad wurde für die Wohnungen 110 bis 410 ausgewertet. Wohnung 510 konnte nicht ausgewertet werden, da keine Daten des Wärmezählers aufgezeichnet wurden. Da sich das hier beschriebene System stark von herkömmlichen Warmwasser Erzeugungssystemen unterscheidet, mussten die Systemgrenzen neu definiert werden. Daher wurden verschiedene SNG ausgewertet, um alle Fälle zu betrachten. In Tabelle 19 sind alle in der Berechnung verwendeten Energien zusammengefasst.



Tabelle 19 Beschreibung der Energien

|           |   |
|-----------|---|
| $Q_{Vw1}$ | Wärmemenge Wasser [kWh]                           |
| $E_1$     | Elektrische Energie Wärmepumpe (Verdichter) [kWh] |
| $E_2$     | Elektrische Energie Ventilator Abluft [kWh]       |
| $E_3$     | Elektrische Energie Durchlauferhitzer Bad [kWh]   |
| $E_7$     | Elektrische Energie Durchlauferhitzer Küche [kWh] |

Die Systemnutzungsgrade können nicht mit herkömmlichen Systemen verglichen werden, da die Daten nicht über ein ganzes Jahr aufgezeichnet wurden.

### SNG Trinkwarmwasser 1

Der Systemnutzungsgrad 1 betrachtet nur die von der Wärmepumpe aufgenommene Energie und die durch Warmwasser bezogene Wärmeenergie. Sämtliche weiteren Verbraucher wurden ausser Acht gelassen.

$$SNG_{TWW,1} = \frac{Q_{Vw1}}{E_1} \quad 8)$$

Tabelle 20 Systemnutzungsgrad Trinkwarmwasser 1

|             | SNG <sub>TWW,1</sub> |
|-------------|----------------------|
| Wohnung 110 | 1.8                  |
| Wohnung 210 | 1.6                  |
| Wohnung 310 | 1.3                  |
| Wohnung 410 | 1.2                  |

### SNG Trinkwarmwasser 2

Der Systemnutzungsgrad 2 betrachtet im Vergleich zum SNG 1 zusätzlich die von der Lüftung aufgenommene Energie. Die Lüftung transportiert die Abluft zum Verdampfer und ist daher systemrelevant. Jedoch dient sie nicht nur der Wärmepumpe, sondern auch der Lüftung des Raumes. Im Vergleich zum SNG 1 sind die Werte des SNG etwas tiefer. Dies daher, da nur zusätzliche Verbraucher berücksichtigt werden.

$$SNG_{TWW,2} = \frac{Q_{Vw1}}{E_1 + E_2} \quad 9)$$

Tabelle 21 Systemnutzungsgrad Trinkwarmwasser 2

|             | SNG <sub>TWW,2</sub> |
|-------------|----------------------|
| Wohnung 110 | 1.6                  |
| Wohnung 210 | 1.3                  |



|             |     |
|-------------|-----|
| Wohnung 310 | 1.1 |
| Wohnung 410 | 1   |

### SNG Trinkwarmwasser 3

Der Systemnutzungsgrad 3 betrachtet auf der Nutzen Seite die bezogene Wärmemenge sowie die Energien der Durchlauferhitzer (DLE). Auf der Aufwand Seite wird der Kompressor der Wärmepumpe, sowie die beiden DLE betrachtet. Hierbei wird ein Wirkungsgrad von 100% für die DLE angenommen. Der SNG 3 ist für Wohnung 110 nicht auswertbar, da der Energiezähler nicht die ganze Zeit aufgezeichnet hat.

$$SNG_{TWW,3} = \frac{Q_{VW1} + E_3 + E_7}{E_1 + E_3 + E_7} \quad 10)$$

Tabelle 22 Systemnutzungsgrad Trinkwarmwasser 3

|             | SNG <sub>TWW,3</sub> |
|-------------|----------------------|
| Wohnung 210 | 1.5                  |
| Wohnung 310 | 1.3                  |
| Wohnung 410 | 1.2                  |

### SNG Trinkwarmwasser 4

Im Vergleich zum SNG 3 betrachtet der SNG zusätzlich die Lüftung der Wärmepumpe. Wohnung 110 ist hier ebenfalls nicht auswertbar aufgrund mangelnder Daten.

$$SNG_{TWW,4} = \frac{Q_{VW1} + E_3 + E_7}{E_1 + E_2 + E_3 + E_7} \quad 11)$$

Tabelle 23 Systemnutzungsgrad Trinkwarmwasser 4

|             | SNG <sub>TWW,4</sub> |
|-------------|----------------------|
| Wohnung 210 | 1.2                  |
| Wohnung 310 | 1.1                  |
| Wohnung 410 | 1                    |

#### 3.5.9 SNG Trinkwarmwasser 4 ohne Cooker

Der SNG 4 ohne Cooker betrachtet alle Verbraucher und Nutzen der Vorwandeinheit, ohne den Cooker in der Küche.

$$SNG_{TWW,4,oc} = \frac{Q_{VW1} + E_3}{E_1 + E_2 + E_3} \quad 12)$$



Tabelle 24 Systemnutzungsgrad Trinkwarmwasser 4, ohne Cooker

|             | $SNG_{TWW,4,0C}$ |
|-------------|------------------|
| Wohnung 110 | 1.5              |
| Wohnung 210 | 1.3              |
| Wohnung 310 | 1.1              |
| Wohnung 410 | 1                |

### SNG im Jahresverlauf

Der Verlauf des  $SNG_{TWW,2}$  wurde für die Wohnung 110 über die Messperiode betrachtet und in Abbildung 27 dargestellt. Der entsprechende Temperaturverlauf des Wetters, sowie die Sonnenscheindauer können der Abbildung 28 entnommen werden. Es wurde ersichtlich, dass der SNG mit der Außentemperatur korreliert. Der Februar fällt aussergewöhnlich hoch aus, dies aufgrund extrem hoher Sonnenscheindauer und den damit verbunden hohen Temperaturen.

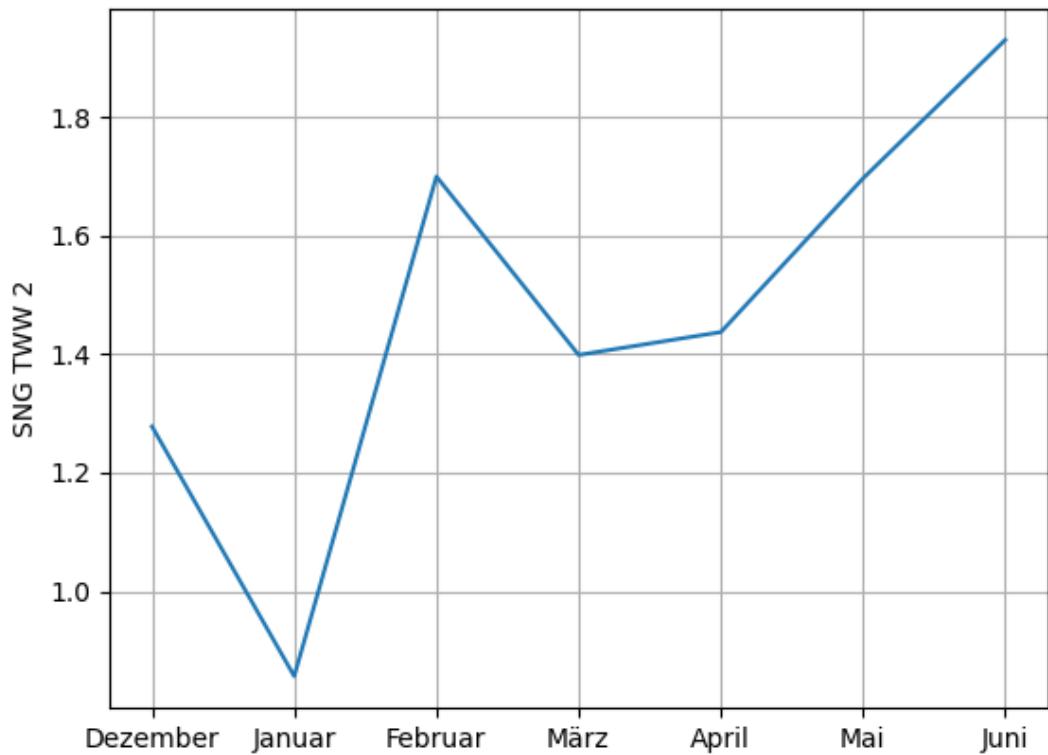


Abbildung 27 Zeitlicher Verlauf  $SNG_{TWW,2}$ .



## Bern / Zollikofen

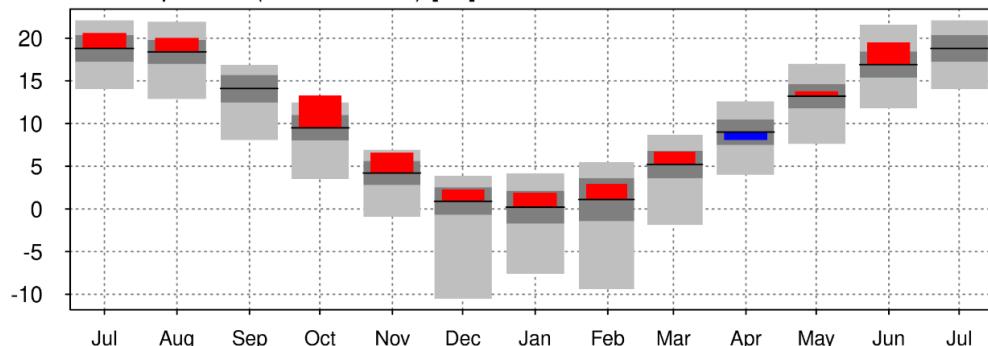
Juli 2022 - Juni 2023

553 m

46.99 N, 7.46 E

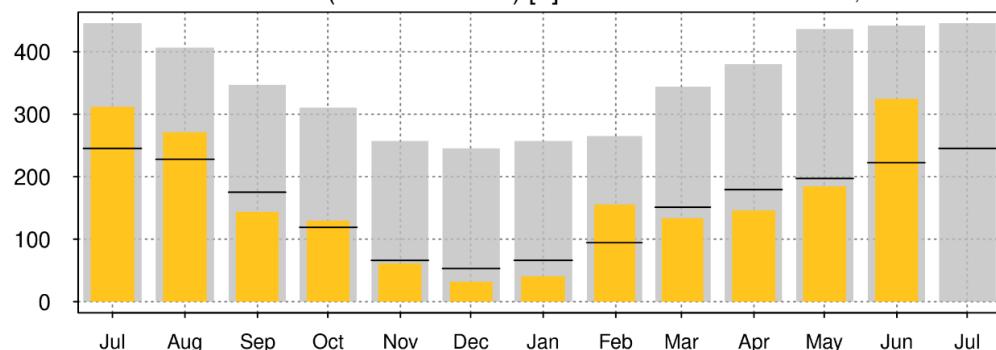
### Lufttemperatur (Monatsmittel) [°C]

Mittel: 10.8, Norm: 9.3



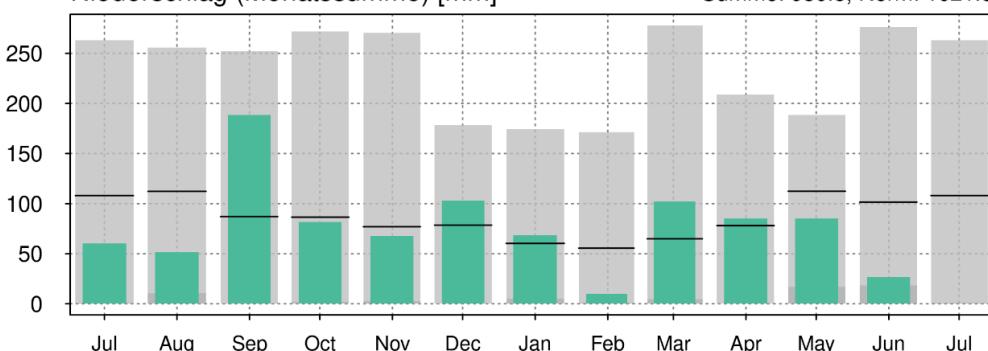
### Sonnenscheindauer (Monatssumme) [h]

Summe: 1934.8, Norm: 1797.1



### Niederschlag (Monatssumme) [mm]

Summe: 930.5, Norm: 1021.8



#### Lufttemperatur (Monatsmittel)

- Norm (Referenzperiode 1991 - 2020)\*
- Standardabweichung der Norm (Referenzperiode 1991 - 2020)\*
- Bandbreite zwischen Maximum und Minimum (Zeitraum 01.1864 - 06.2022)\*

#### Sonnenscheindauer (Monatssumme)

- Norm (Referenzperiode 1991 - 2020)\*
- Maximal mögliche Sonnenscheindauer

#### Niederschlag (Monatssumme)

- Norm (Referenzperiode 1991 - 2020)\*
- Maximum (Zeitraum 01.1864 - 06.2022)\*
- Minimum (Zeitraum 01.1864 - 06.2022)\*

\* Datengrundlage: homogenisierte Beobachtungen im angegebenen Zeitraum

© MeteoSchweiz

dailyevol2 0.3.25 / 12.07.2023 07:30 UTC

Abbildung 28 Meteodaten über Jahr in Bern.



### 3.5.10 Wärmemenge Warmwasser

Die Wärmemenge, welche als Warmwassers bezogen wurde, ist mit einem Wärmezähler aufgezeichnet worden. Tabelle 25 zeigt die bezogenen Energiemengen für jede Wohnung im Auswertezeitraum, sowie die bezogene Energiemenge pro Fläche hochgerechnet auf ein Jahr. Für Wohnung 510 wurde keine Auswertung gemacht, da keine verlässlichen Daten vorhanden waren.

Tabelle 25 Wärmemenge Warmwasser

|             | $Q_{Vw1}$ [kWh] | $Q_{A,Vw1}$ [kWh/m <sup>2</sup> *a] |
|-------------|-----------------|-------------------------------------|
| Wohnung 110 | 546             | 40.5                                |
| Wohnung 210 | 503             | 37.4                                |
| Wohnung 310 | 424             | 31.5                                |
| Wohnung 410 | 275             | 20.4                                |

Der jährliche Wärmebedarf für Warmwasser gemäss Norm SIA 2024 beträgt 16.9 kWh/m<sup>2</sup>. Verglichen zu dieser Norm ist der Energiebedarf für Warmwasser bei diesen Wohnungen etwas höher.

### 3.5.11 Wasser Menge

Die gesamthaft benötigte Wassermenge wurde ebenfalls aufgezeichnet. Tabelle 26 fasst die Ergebnisse zusammen. Für Wohnung 110 und 210 wurden keine Auswertungen gemacht, da die Datenqualität mangelhaft war. Die SIA 2024 sieht einen Wasserverbrauch von 140l/d und Person vor. Wird von einer Belegung der Wohnung von 1 Person ausgegangen, entspricht das einem Verbrauch in 7 Monaten von ungefähr 30 m<sup>3</sup>. Daraus lässt sich schliessen, dass die Wohnungen, vor allem Wohnung 410 nicht dauerhaft belegt sind.

Tabelle 26 Wasserbezüge gesamt (Kalt- und Warmwasser)

|             | $V$ [m <sup>3</sup> ] |
|-------------|-----------------------|
| Wohnung 310 | 27.8                  |
| Wohnung 410 | 19.3                  |
| Wohnung 510 | 25.4                  |

### 3.5.12 Heissgastemperatur im Jahresverlauf

Zur Analyse des Verhaltens der Wärmepumpe wurden die Saug- und Heissgastemperaturen aufgezeichnet. Abbildung 29 zeigt die Temperaturen für den Januar und den Juni der Wohnung 110. Es wurde ersichtlich, dass die Sauggasttemperatur deutlich von der Aussentemperatur beeinflusst wird, während die Heissgasttemperatur über die ganze Messperiode mehrheitlich konstant ist. Die Sauggasttemperatur hängt von der Ablufttemperatur ab, was den Zusammenhang mit der Aussentemperatur erklärt.

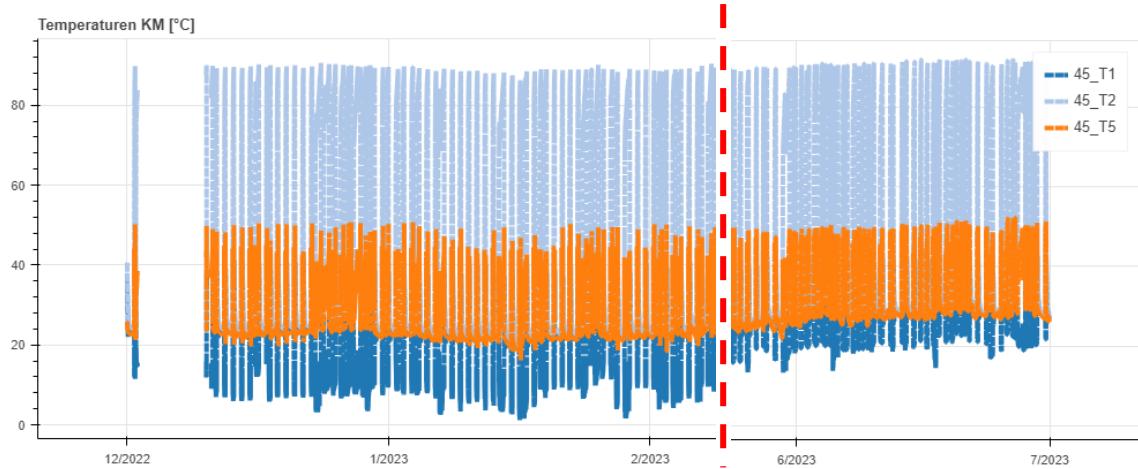


Abbildung 29 Temperaturverlauf Kältemittel Wohnung 110.

### 3.5.13 Verdichter Starts

Zur Überprüfung der Wärmepumpenfunktion wurde die Anzahl Verdichter Starts aufgezeichnet. Daraus wurde auf die Anzahl Einschaltungen pro Jahr gerechnet. Dass die hier aufgezeichneten Monate starke Heizmonate waren, wurde nicht rechnerisch berücksichtigt. Daraus wird ersichtlich, dass die Anzahl Einschaltungen pro Tag zwischen 1 und 2 liegen. Dies entspricht einer optimalen Einschaltfrequenz für Warmwasser-Wärmepumpen. In der Praxis liegend die Werte meist höher.

Tabelle 27 Einschaltungen Wärmepumpen

|             | Einschaltungen 01.12.23-30.06.23 | Einschaltungen pro Jahr |
|-------------|----------------------------------|-------------------------|
| Wohnung 110 | 287                              | 492                     |
| Wohnung 310 | 329                              | 564                     |
| Wohnung 410 | 283                              | 485                     |
| Wohnung 510 | 227                              | 389                     |

### 3.5.14 Gleichzeitigkeit Durchlauferhitzer

Zur Überprüfung des Durchlauferhitzer Betriebs, wurde betrachtet, wie oft mehrere DLE gleichzeitig aktiv sind. Tabelle 28 fasst die Ergebnisse zusammen. Da die Datenaufzeichnung der Energien sehr lückenhaft war, wurden die Leistungen zur Auswertung herangezogen. Die Daten werden nur alle 2 Minuten aufgezeichnet, was dazu führen kann, dass ganz kurze DLE Einsätze nicht aufgezeichnet werden.

Die Betrachtung war nur für die Sommerperiode möglich

Tabelle 28 Gleichzeitigkeit Durchlauferhitzer

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Einschaltungen einzeln       | 5371 |
| Einschaltungen zwei parallel | 105  |
| Einschaltungen drei parallel | 1    |
| Einschaltungen vier parallel | 0    |



### 3.5.15 Vereisung und Abtauung

Im Rahmen der Feldmessungen wurde auch die Abtauung der Anlage untersucht. Diese erfolgt passiv, die Abluft entzieht den Verdampfer, während der Kompressor abgeschaltet ist. Die Messungen zeigen, dass es zu keiner Zeit zu einer störenden Vereisung der Anlage gekommen ist. Auch gab es keine Probleme mit der Drainage des Kondensats. Somit sind in diesem Bereich keine weiteren Optimierungen nötig.

## 3.6 Bericht IES: Bewertung und Ausblick

### 3.6.1 Schlussfolgerung

Die Datenauswertung hat erhebliche Probleme bereitet, aufgrund lückenhafter Datenaufzeichnung. Mehrere Energiezähler haben keine sinnvollen Werte aufgezeichnet. Dies hat dazu geführt, dass für jede Wohnung und jeden Parameter eine Detailanalyse gemacht werden musste, um die Qualität der Auswertung sicher zu stellen. Des Weiteren werden Energieauswertungen üblicherweise über ein Jahr gemacht. Da die Aufzeichnung in diesem Fall nur über 7 Monate erfolgte, mussten einige Hochrechnungen angestellt werden. Andere Kennzahlen sind teilweise gar nicht vergleichbar, da der Auswertezeitraum zu kurz war.

Der Betrieb der Vorwandeinheit THERMOS hat sich funktionstechnisch bewährt, die Regelung funktioniert, und die Wärmepumpe ist gut ausgelegt. Nachfolgend einige Punkte die noch optimiert werden könnten.

- Temperatur des Durchlauferhitzers: Der Durchlauferhitzer soll erst bei Bezugstemperaturen unter 45°C zuschalten. Wird der Durchlauferhitzer auf 60°C eingestellt (vom Kunden einstellbar), läuft dieser bei jedem Bezug und verschlechtert die Effizienz damit deutlich
- Abluft-Volumenstrom: Der Volumenstrom der Abluft könnte insbesondere im Winter, wenn die Wärmepumpe läuft, etwas erhöht werden. Damit könnte die Temperaturdifferenz im Verdampfer verkleinert werden, was zu einer besseren Effizienz der WP führen würde. Ob die höhere Luftmenge auch seitens Belüftung benötigt wird, muss geklärt werden.
- Warmwasser Bezugsmenge: Durch höhere Belegung der Wohnung und den damit verbundenen höheren Wärmebedarf steigert sich die Effizienz.

Typische Werte für den SNG bei herkömmlichen Warmwasser Erzeugungssystemen betragen gemäss Wärmepumpenfeldmessung 0.25-2.4. Keine Anlage mit Zirkulation erreicht einen SNG von > 1.6.



Tabelle 29 SNG Werte der Wärmepumpen Feldmessung<sup>7</sup>

| Typ  | Anlage Eigenschaften | JAZ           | WNG  | SNG <sub>TWW</sub> | Vol. [m <sup>3</sup> ] | Temp [°C] | Heizstab |
|------|----------------------|---------------|------|--------------------|------------------------|-----------|----------|
| SWWP | D S, d, Zirk         | 4.38          | 4.06 | 0.25               | 4.59                   | 37.54     | 0.05     |
|      | I S, d               | 3.39          | 2.84 | 1.78               | 26.22                  | 47.63     | 0.22     |
|      | F S, fix             | 3.24          | 2.63 | 1.58               | 39.43                  | 55.26     | 0.25     |
|      | B N, d, Zirk         | 3.07          | 2.90 | 1.59               | 62.30                  | 45.97     | 0.02     |
| LWWP | K S, d, FWS          | 3.43          | 3.32 | 2.17               | 39.23                  | 39.54     | 0.00     |
|      | C S, d               | 2.99          | 2.93 | 2.32               | 78.95                  | 55.05     | 0.00     |
|      | E N, fix             | 2.82          | 2.70 | 2.13               | 65.53                  | 49.28     | 0.16     |
|      | A N, fix             | 2.81          | 2.77 | 2.42               | 94.23                  | 48.81     | 0.00     |
|      | M S, d               | 2.68          | 2.00 | 1.33               | 27.36                  | 48.79     | 0.48     |
|      | L S, d               | 2.67          | 2.52 | 1.36               | 54.40                  | 49.22     | 0.08     |
|      | H S, fix             | 2.52          | 2.22 | 1.53               | 45.19                  | 50.08     | 0.19     |
| BWWP | J S, Aussenluft      | nicht messbar |      | 1.25               | 50                     | 56        | 74%      |
|      | G S, Keller          | nicht messbar |      | 2.28               | 44                     | 51        | 0%       |

Bei den vorliegenden Auswertungen für den THERMOS liegt der SNG3 zwischen 1.3 und 1.5. Somit sind die SNG-Werte unter Berücksichtigung der Auswerteperiode absolut vergleichbar mit heutigen WP-Systemen und somit klar sinnvoll. Die Anlagen sind in etwa doppelt so energieeffizient wie eine elektrische Warmwasseraufbereitung.

Die Kommunikation dieser Werte in der Praxis wird jedoch eher schwierig bleiben, da sich die meisten Personen auf die wesentlich höhere JAZ beziehen und den SNG nicht kennen.

### 3.6.2 Ausblick:

Es wird empfohlen die Software der Anlage so zu verbessern, dass ein Hochstellen der Temperatur am elektrischen Durchlauferhitzer automatisch wieder rückgängig gemacht wird. Zudem könnte eine integrierte Datenerfassung in der Vorwandeinheit dazu führen, dass Fehler frühzeitig erkannt werden. Dies würde auch helfen, die hier erhobenen Daten in einer längeren Messkampagne zu verifizieren. Eine weitere Überlegung ist, ob das System auch für Raumheizung oder Klimatisierung erweitert werden soll und kann, dies würde Nutzen und Effizienz voraussichtlich weiter erhöhen.

Ein Hauptproblem am Markt ist, dass es keine Effizienzstandards für solche Anlagen gibt und deshalb keine standardisierten Effizienzzahlen erhoben werden können. Dies stelle eine signifikante Hürde dar. Lösungsansätze sind schwierig, aber Feldmessungen und Vergleiche mit herkömmlichen Systemen können in einem gewissen Mass Abhilfe schaffen. Es ist sicher zielführend auch nächste Generationen dieses Produkts im Feld messtechnisch zu begleiten.

## 3.7 Bericht SPF: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

|                 |   |                    |
|-----------------|---|--------------------|
| Teammitglieder: | Ruesch Florian (Autor)<br>Persdorf Patrick (Wiss Ass) | Michel Haller (PL) |
|-----------------|---|--------------------|

### 3.7.1 Vorarbeiten

<sup>7</sup> Adaptiert aus: M. Berthold, M Prinzing, M. Eschmann und St. Bertsch, 2021, Trinkwarmwassererwärmung mit Wärmepumpen, Planer + Installateur, 01/2021.



Das SPF war für die Überprüfung und die Auswertung der Funktionsweise der Speicher verantwortlich. Die Erfolgskontrolle wurde in fünf Vorwandeinheiten mit einem detaillierten Mess- und Monitoring System durch die BFH durchgeführt (siehe auch 3.1.2). Das Messkonzept wurde dabei von den drei Forschungspartnern gemeinsam erarbeitet, so dass eine Beurteilung des Gesamtsystems, aber auch der einzelnen Komponenten möglich war. Aufgrund der beschränkten Anzahl Verbindungen für Messfühler mussten gemeinsam Kompromisse bei der Auswahl der Messtellen gefunden werden. Im Gegensatz zum KODEWA Entwicklungsprojekt konnten daher nur zwei und nicht mehr vier Temperaturfühler im Speicher platziert werden.

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. Die Wärmeverluste des Speichers hängen hauptsächlich von der Qualität des Vakuums in den VIP Elementen ab. Vom Hersteller va-q-vip wird in jedem Element ein Mikrosensor mit RFID verbaut. Nach einem Transportschaden wurde diese Messtechnik bereit eingesetzt. Diese erste Erfahrung hat aber gezeigt, dass eine Messung des Restdruckes in der Praxis nur schwierig durchzuführen ist, da das Lesegerät direkt auf den Chip gehalten werden muss. Dies ist im Verbauten Zustand so nicht möglich (Einbau mit Schutzblechen und hinter Vorwand). Daher ist vorgesehen eine Messung des Restdruckes nur durchzuführen, wenn sich die Speicherverluste unerwartet erhöhen. In diesem Falle könnten die VIP ausgebaut und vermessen werden. Bei anhaltend kleinen Wärmeverlusten muss keine Messung des Restdruckes durchgeführt werden.

### 3.7.2 Kalibration

Wegen Erfahrungen mit trügen Temperaturfühlern und dementsprechend erhöhten Messfehlern bei der Messung von kurzen Zapfungen mit Wärmemengenzählern wurden diese zusätzlich überprüft. Dazu wurden temporär zusätzliche Fühler mit verjüngter Messspitze eingebaut und kalibriert. Damit wurden Sequenzen von kurzen Zapfungen 2x6x20s mit einem manuellen Zapfhahn durchgeführt. Das gezapfte Wasser wurde aufgefangen und gewogen. Somit konnte der Massenstrom mit hoher Messunsicherheiten ( $\pm 0.01$  kg) ermittelt/überprüft werden. Aus der Messgenauigkeit der Waage, der manuellen Zeitmessung und der Ungenauigkeit der Temperaturfühler wurde eine Ungenauigkeit von ca. 3% für diese Prozedur und die gesamte Messvorrichtung ermittelt.

Ein Vergleich mit der standartmässig eingebauten Wärmemengenzählung (GWF Integral MK Ultra MaXX) hat im ersten Versuch 7% Abweichung und im zweiten Versuch 0% Abweichung ergeben. Bei zwei zusätzlichen Versuchen mit kontinuierlicher Zapfung wurde eine Abweichung von 3% und 1% berechnet. Wobei die Abweichungen tendenziell grösser sind, wenn im Speicher eine hohe Temperatur herrscht.

Die Resultate sind nicht ganz konsistent, liegen aber innerhalb der Fehlertoleranz der beiden Messungen (5% und 3%). Ein grosser Messfehler bei der Messung des Energieverbrauchs für Warmwasser kann auch bei vielen kleinen Zapfungen ausgeschlossen werden.

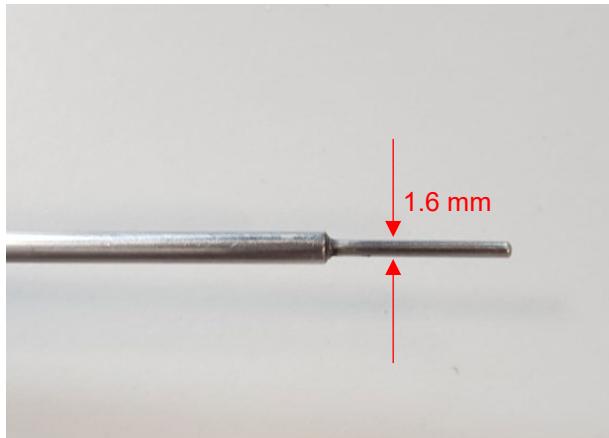


Abbildung 30 Verjüngte Messspitze zur raschen Messung von Temperaturänderungen.



Abbildung 31 Temperaturkalibrator Typ Fluke 9171.

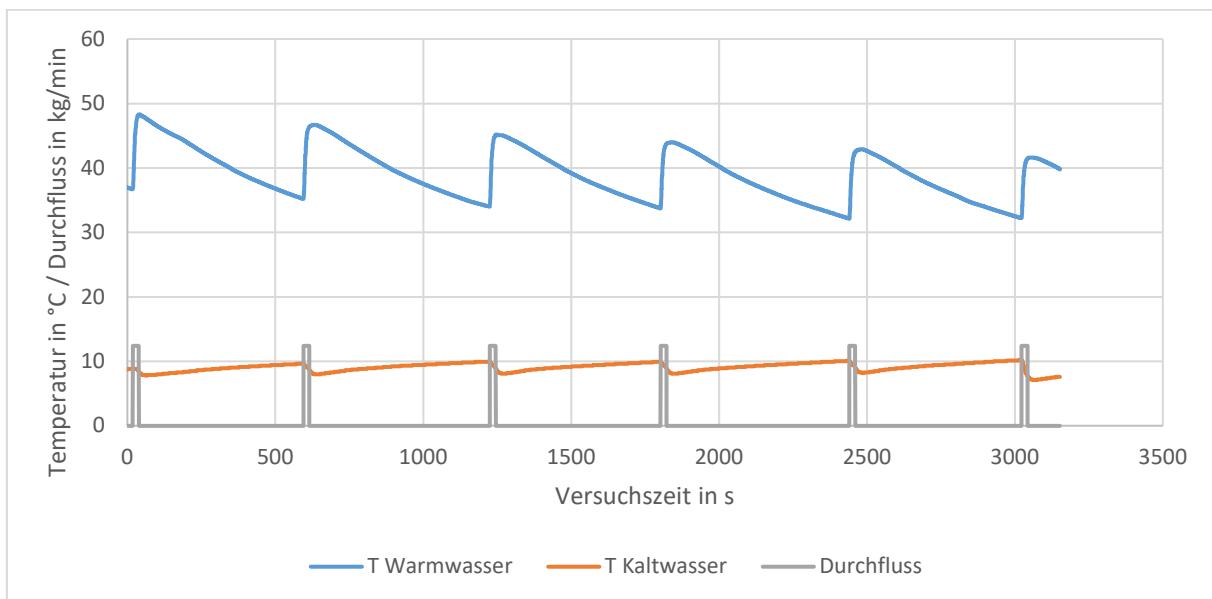


Abbildung 32 Testsequenz mit sechs Zapfungen von 20 s.

### 3.7.3 Speicherverluste

Während der Entwicklung des Speichers wurden unterschiedliche Aufbauten konstruiert, erstellt und deren Verluste im Labor vermessen. Dabei hat sich gezeigt, dass die Verluste über den Temperaturabfall bestimmt werden können. Im Labor konnten diese Messungen mit kalibrierten Wärmemengenzählern überprüft werden. Bei den Messungen und Analysen des Entwicklungsprojektes wurde die thermische Masse des Speicheraufbaus bestimmt, welche für die Analysen der Feldanlagen übernommen werden kann.

#### **Vorgehen Bestimmung Speicherverluste**

Zur Bestimmung der Speicherverluste aus den Temperaturmessungen ist eine längere Periode nötig, während der der Speicher lediglich durch thermische Verluste auskühlt und weder Warmwasserbezug oder Beladung stattfindet. Durch das kleine Volumen des Speichers tritt ca. ein Mal täglich eine



Nachladung durch die Wärmepumpe ein. Somit können Perioden von ca. 18-20 h analysiert werden. Für alle im Detail vermessenen Wohnungen (110-510) wurden manuell Tage ohne Bezug ausgesucht und ausgewertet. Dabei wurde auf eine Verteilung über die Messperiode von Sept. 22 bis Mai 23 geachtet. In Abbildung 33 wird der Temperaturverlauf der beiden Speicherfühler und des Lufttemperaturfühlers hinter der Vorwand eines ausgewählten Tages gezeigt. Die Temperatur im Speicher sinkt dabei kontinuierlich von Mitternacht bis ca. 19.00 Uhr. Dann findet eine Nachladung durch die Wärmepumpe bis ca. 21.00 Uhr statt, wonach die Temperaturen wieder langsam absinken.

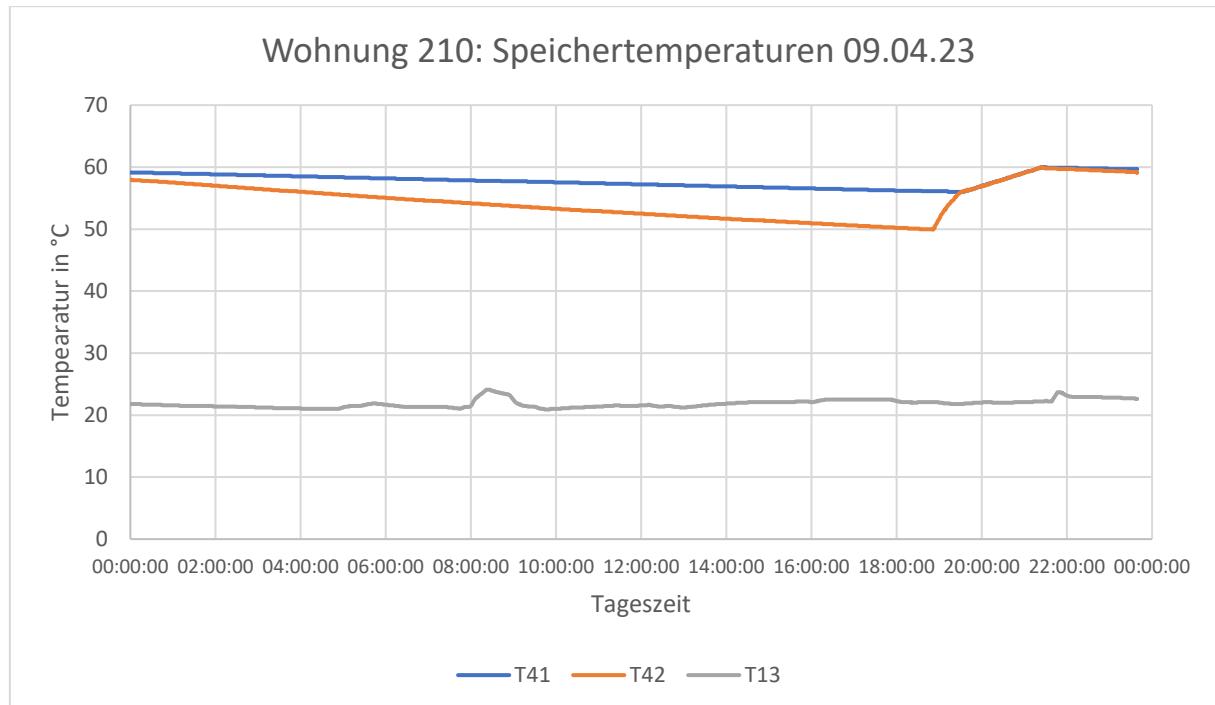


Abbildung 33 Temperaturverlauf an einem Tag ohne Bezug. Positionen der Temperaturfühler (siehe auch Abbildung 12) T41: Speicher oben; T42 Speicher unten; T13: hinter Vorwand.

### Resultate Speicherverluste

Abbildung 34 zeigt die gemessenen Wärmeverluste für die fünf vermessenen Wohnungen und die aufgetretenen Standardabweichungen. Es treten gewisse Unterschiede zwischen den Wohnungen auf, welche sich aber in der Größenordnung der Standardabweichungen bewegen und durch unterschiedliche Bedingungen (Temperaturen hinter der Vorwand, geringe Abweichungen beim Einbau des Speichers und der Temperaturfühler usw.) erklären lassen. Bei allen Wohnungen lagen die Wärmeverluste auch ca. fünf Jahre nach der Produktion und dem Einbau der Speicher noch deutlich unter dem Grenzwert der SIA 385/1, welcher für einen Speicher mit 91.2 Litern bei 1.05 kWh in 24 Stunden liegt.

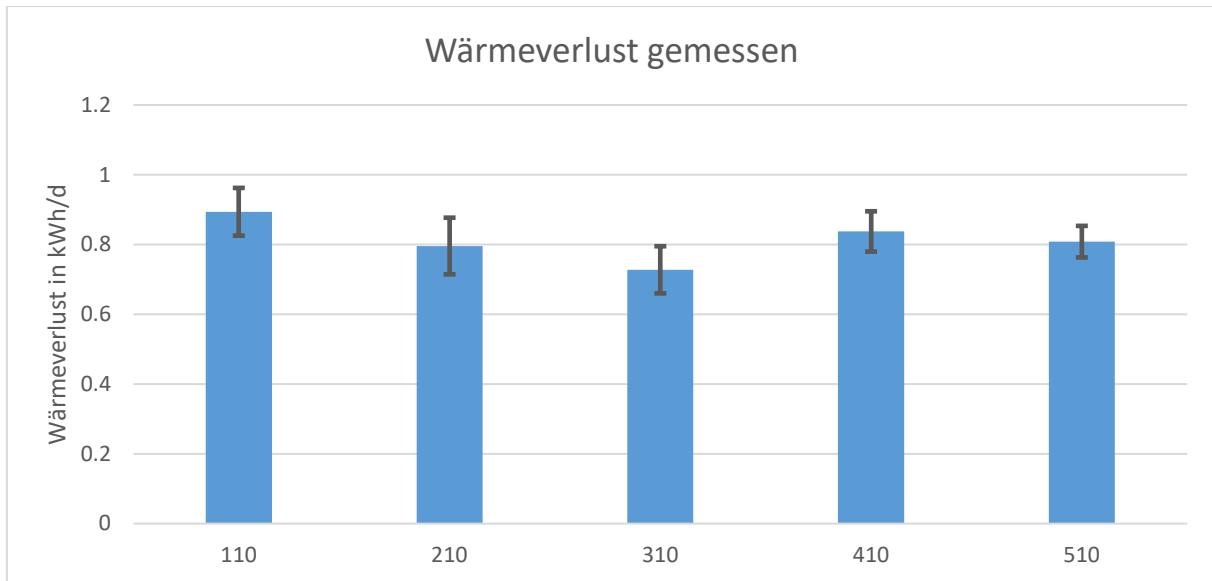


Abbildung 34 Wärmeverluste der Speicher in den fünf vermessenen Wohnungen.

Der durchschnittliche Wärmeverlust aller fünf Speicher wird in Abbildung 35 mit unterschiedlichen Aufbauten aus dem Entwicklungsprojekt verglichen. Beim schlussendlich in Serie produzierten Produkt handelt es sich um einen Grüter Speicher va-q-vip 15 mm Wärmedämmung. Dieser wurde nicht mehr im Detail im Labor vermessen. Die Wärmeverluste zwischen den Werten mit 10 mm und 20 mm va-q-vip entsprechen also den Erwartungen. Dass sie näher bei 10 mm liegen kann mehrere Gründe haben. Zum einen wurde der Grüter Speicher eingesetzt, welche aufgrund von Sikken und Rundungen tendenziell höhere Verluste als der Semadeni Prototyp aufweist. Zum anderen überraschen leicht höhere Verluste nach fünf Jahren im realen Einbau gegenüber einem neuen um im Labor getesteten Aufbau nicht.

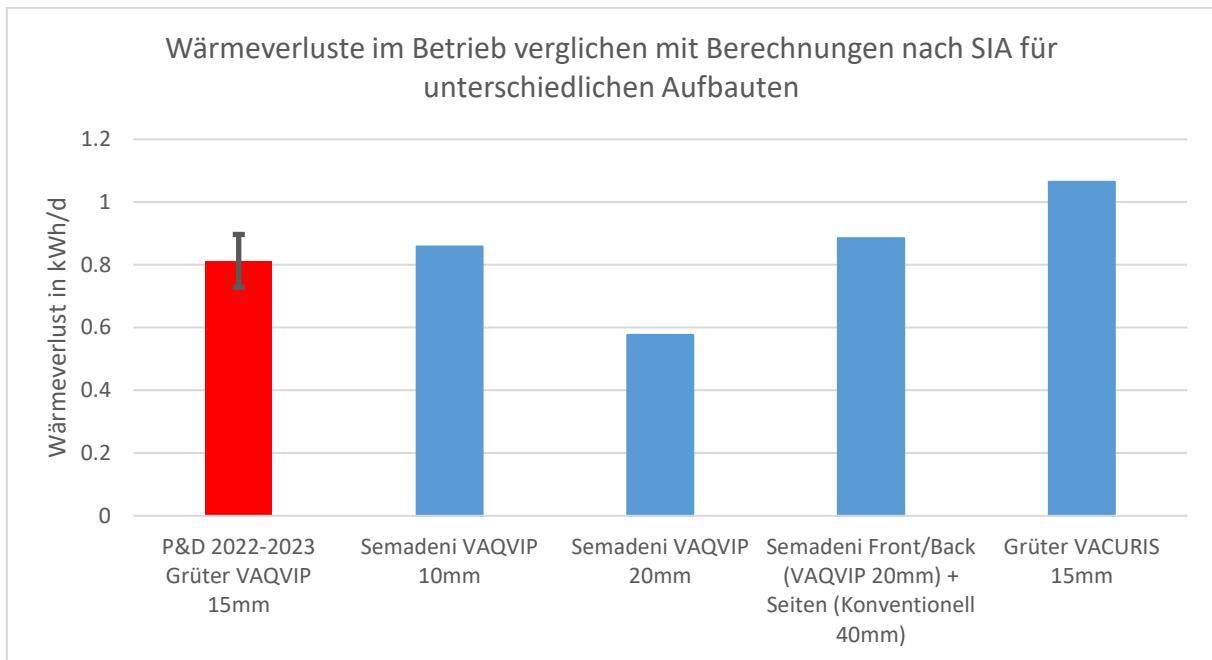


Abbildung 35 Vergleich der Wärmeverluste mit unterschiedlichen Aufbauten aus dem KTI-Projekt.



Die Wärmeverluste des Speichers hängen hauptsächlich von der Qualität des Vakuums in den VIP Elementen ab. Vom Hersteller va-q-vip wird in jedem Element ein Mikrosensor mit RFID verbaut. Nach einem Transportschaden wurde diese Messtechnik bereits eingesetzt. Diese erste Erfahrung hat aber gezeigt, dass eine Messung des Restdruckes in der Praxis nur schwierig durchzuführen ist, da das Lesegerät direkt auf den Chip gehalten werden muss. Dies ist im verbauten Zustand so nicht möglich (Einbau mit Schutzblechen und hinter Vorwand). Weil aufgrund der Temperaturverläufe keine Hinweise auf ein Leck der Vakuumisolation festgestellt werden konnten, wurde auf einen Ausbau der VIP Paneele und eine Messung des Restdruckes verzichtet.

### 3.7.4 Verunreinigung des Trinkwassers

Die Projektpartner haben sich verpflichtet, «mögliche Verunreinigungsrisiken des Trinkwassers durch den Wasserspeicher zu untersuchen»

Der eingesetzte Speicher unterscheidet sich vor allem in Bezug auf seine Form (flach und rechteckig statt zylindrische) und in Bezug auf seine Grösse lediglich 93 L statt 200-300 L von herkömmlichen Trinkwasserspeicher.

Auf Grund der rechteckigen Form kann kein bedrucktes Trinkwasser, sondern lediglich druckloses Pufferwasser gespeichert werden und das Trinkwasser wird im Durchlaufprinzip mit einem Wellrohrwärmetauscher erwärmt. Dieses Prinzip ist aus der Anwendung in Kombispeichern bekannt und weit verbreitet. Als Wärmetauscher werden vom SVGW für Trinkwasser zertifizierte Wellrohre eingesetzt und die Einbindung unterscheidet sich nicht vom bekannten Wellrohr-, Spiralrohr- oder Spiraboieler Prinzip. Gegenüber solchen Lösungen, welche z.T. mit Heizungswasser von 1-2 bar Druck gefüllt werden, ist der KODEWA Speicher vollkommen drucklos. Ein allfälliges Leck würde den Kunststoffspeicher zum Bersten bringen und könnte daher im Gegensatz zu klassischen zylindrischen Metall-Spiraboilern nicht unentdeckt bleiben. Es besteht also gegenüber herkömmlichen Spiraboilern tendenziell ein geringeres Risiko einer direkten Verunreinigung des Trinkwassers durch das Pufferwasser.

Bei Trinkwasserinstallationen muss speziell auf die Legionellsicherheit geachtet werden. Das Dezentrale System mit den dadurch sehr kurzen Leitungsführungen erfüllt viele Empfehlungen der SIA 385/1 besonders gut.

- Die Leitungen könne sehr kurz gehalten werden.
- Alle Anschlüsse sind unten am Speicher angebracht und sind somit inhärent siphoniert.
- Die Warmwasserleitung wird daher nicht warmgehalten und kühl nach einer Zapfung rasch auf <25 °C aus (siehe auch 1.2.3).

Zusätzlich macht die SIA 385/1 Vorgaben, welche sich vor allem auf die zu erreichenden Temperaturen beziehen. Der hier untersuchte Speicher fällt unter die Kategorie «0S» (- keine warmgehaltenen Trinkwasserleitungen vorhanden, - Speicher enthält, auch nur teilweise, Trinkwasser). Die Trinkwasserinstallation sollte somit «so geplant und installiert werden, dass die Temperatur von mindestens 55 °C am Austritt des Speichers eingehalten werden kann» (Paragraph 3.2.4.1). Diese Temperatur darf «kurzfristig während der Ladephase des Speichers und bei sehr grossen Warmwasserentnahmen unterschritten werden» (Paragraph 3.2.5.1).

In Abbildung 36 wird der Temperaturverlauf im Speicher der am meisten benutzen Wohnung (310) während der kältesten Tage der Messperiode (11.-21. Dezember 22) aufgezeigt. Diese wird wegen der tieferen Arbeitszahlen der Wärmepumpe und somit der längeren Aufheizzeiten als die kritischste erfasste Periode angesehen. Dabei zeigt sich, dass die geforderte Temperatur von 55 °C meist deutlich überschritten wird und die Temperatur nur selten, und nur nach grossen Zapfungen unter 55 °C fällt. Einzig zwischen dem 20. Und 21. Dez kann in der Nacht keine Erwärmung auf 60°C stattfinden, weil bereits am Tag und dann in der Nacht mehrere Duschbezüge stattgefunden haben. In der folgenden Nacht ohne Duschbezug (auf den 21.12.) findet wiederum eine Erwärmung auf 60°C



statt. Somit werden nicht nur die geforderten 55°C, sondern auch regelmässig Temperaturen von 60 °C erreicht. Was viele herkömmliche Wärmepumpensysteme nicht ohne Elektroheizstab erreichen. Im THERMOS-System findet also mit wenigen Ausnahme jede Nacht eine thermische Desinfektion des Speichers und des im Speicher platzierten Wärmetauschers statt. Dies ist deutlich häufiger als die im Merkblatt «Legionellen und Legionellose» des BAG für Vorwärmvolumen und andere kritische Speicherteile vorgeschlagene wöchentliche thermische Desinfektion.

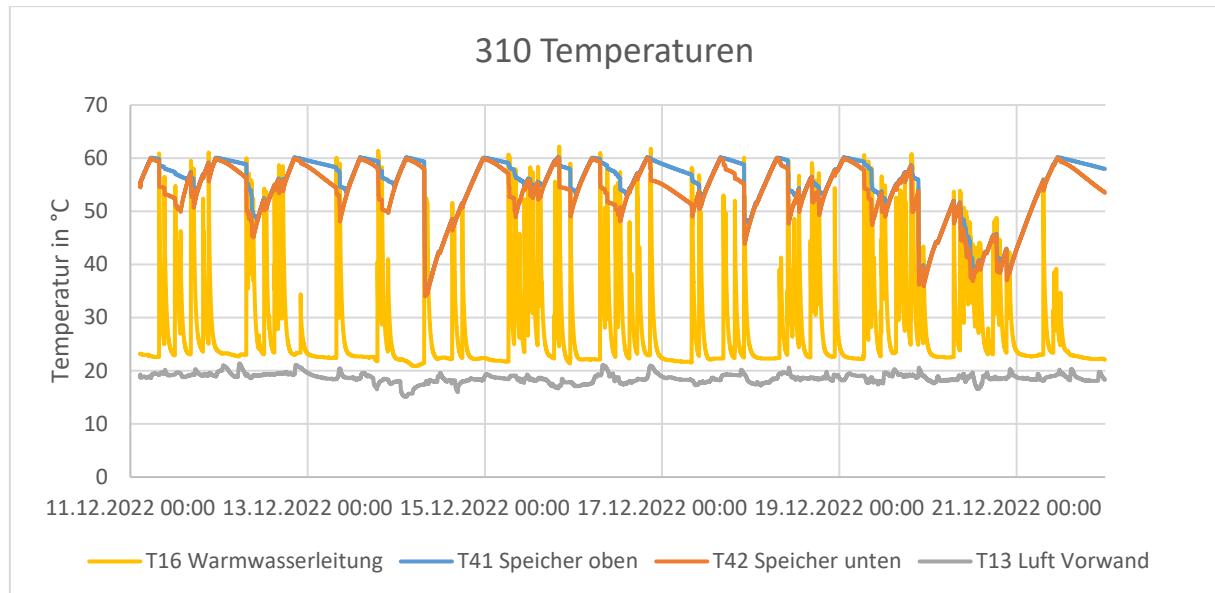


Abbildung 36 Temperaturverlauf im Speicher der Wohnung 310.

### 3.8 Bericht SPF: Bewertung und Ausblick

Es wurden durchschnittliche Speicherverluste von ca. 0.8 kWh/d gemessen, welche deutlich unter den Vorgaben der SIA 385/1 liegen. Bis Projektende, also ca. fünf Jahre nach dem Einbau und der Produktion der vakuumisierten Speicher konnten keine Anzeichen einer Beschädigung der Vakuumhülle und somit einer deutlichen Reduktion der Wärmedämmung festgestellt werden. Der flache, vakuumgedämmte Speicher funktioniert also auch im praktischen Einsatz.

Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass der Speicher auch bei sehr kalter Außentemperatur regelmässig auf 60 °C erwärmt wird und nur in Ausnahmefällen unter 55 °C sinkt. Daher kann das Konzept als legionellsicher betrachtet werden.

### 3.9 Bericht Swissframe: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

|                 |   |                     |
|-----------------|---|---------------------|
| Teammitglieder: | Thomas Hegg (Autor)<br>Ivan Lottaz<br>René Oberli | Balz Hegg (PL, CEO) |
|-----------------|---|---------------------|

#### 3.9.1 Ingenieurmodell

Als Zwischenschritt vom Funktionsmuster zum betriebsbereiten System wurde in der Swissframe-Ausstellung ein komplettes Badezimmer eingebaut. Diese ist Teil einer Kleinserie (4 Stück) zur Überprüfung/Tests auf mögliche Produktfehler. Das voll funktionsfähige Ingenieurmodell hat bewiesen, dass ein Einbau unter absolut realen Bedingungen möglich ist und Anschlüsse an die Lüftung, Wasser und Abwasser problemlos funktionieren. (Die gesamte Warmwasserproduktion des



Büro- und Werkstattgebäudes wird einzig über die Vorwandeinheit-THERMOS sichergestellt). Aus dieser Kleinserie entstand ebenso erfolgreich die Entwicklung der seitenverkehrten Version.

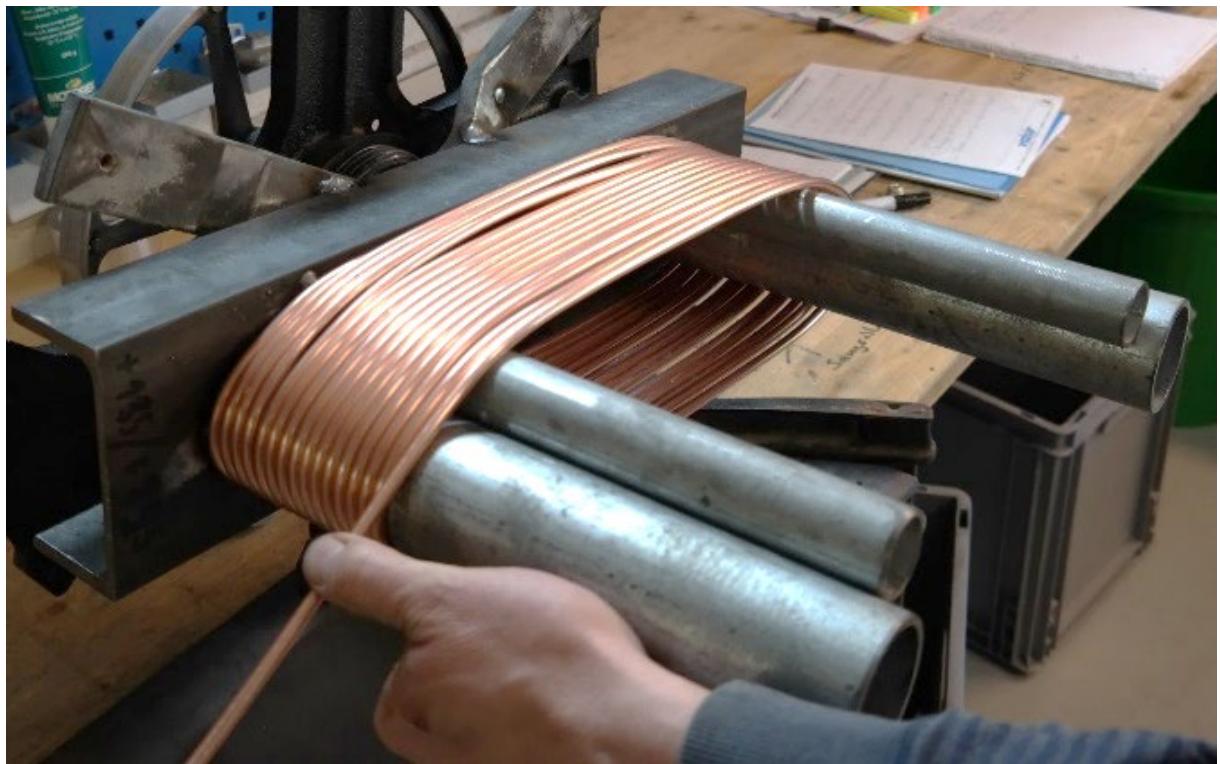


Abbildung 37 Drehwerkzeug für das Aufwickeln des Kondensators.

Neben der seitenverkehrten Version brachte die ingenieurtechnische Entwicklungarbeit wichtige Erkenntnisse für den Bau von Spezialwerkzeugen (Drehwerkzeug für das Aufwickeln des Kondensators) sowie den internen Transport und die Montage auf der Baustelle (Kauf eines Spezialwagens). Die Klärung von Details wie die Leitungslängen, die Position der Steuerung und die richtige Wahl der Löttechnik (ohne Flussmittel) bedeuten einen wichtigen Schritt hin zur Technologiereife.

### 3.9.2 Betriebsabläufe im Assemblierungs- und Testprozess

Für den Herstellungsprozess ist eine detaillierte Dokumentation mit einer «Schritt für Schritt» Anleitung des Zusammenbaus gebrauchsfertig erstellt worden (ca. 60 Seiten).



## SWISS FRAME bathroom solutions

### Kältemittel R134a einfüllen

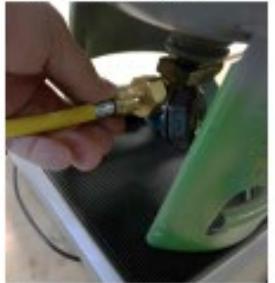
#### 7. Befüllen mit Kältemittel

Deckel bei  
Flaschen-Rückgabe  
behalten

Installation



Schlauch anschliessen



Schutzbrille und Handschuhe



Befüllen



400g



Ventil schliessen



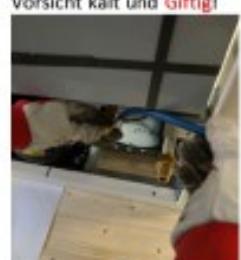
Vorsicht kalt und **Giftig!**



Deckel



Vorsicht kalt und **Giftig!**



Deckel





Die Definition von Testabläufen für die Assemblierung einer Kleinserie mit linken und rechten Elementen brachte Erkenntnisse für die detaillierte Bestelliste und die Logistik. Für die Dichtheit des Tanks und des Wärmekreislaufes wurde ein Testverfahren entwickelt und dokumentiert. Beim Prüfverfahren wurde festgestellt, dass die Verschraubungen oft als undichte Stellen auftraten. Folglich wurden alle Kältemittelübertragungsleitungen auf verlöte Verbindungen umgestellt, welche nur noch an Systemtrennstellen verschraubt werden.

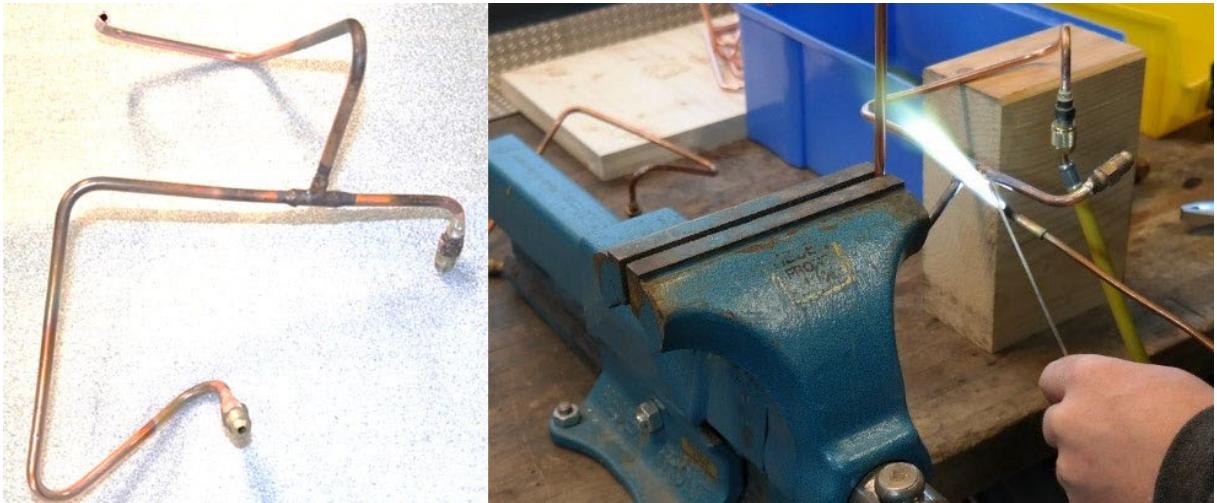


Abbildung 39 Vermeiden von undichten Verbindungen durch verlöten.

Die starre Rohr-Verbindung zum Durchlauferhitzer hat sich nicht bewährt und musste neu gelöst werden, eine flexible Verbindung mit einem Panzerschlauch brachte ein einfacheres Handling auf der Baustelle.

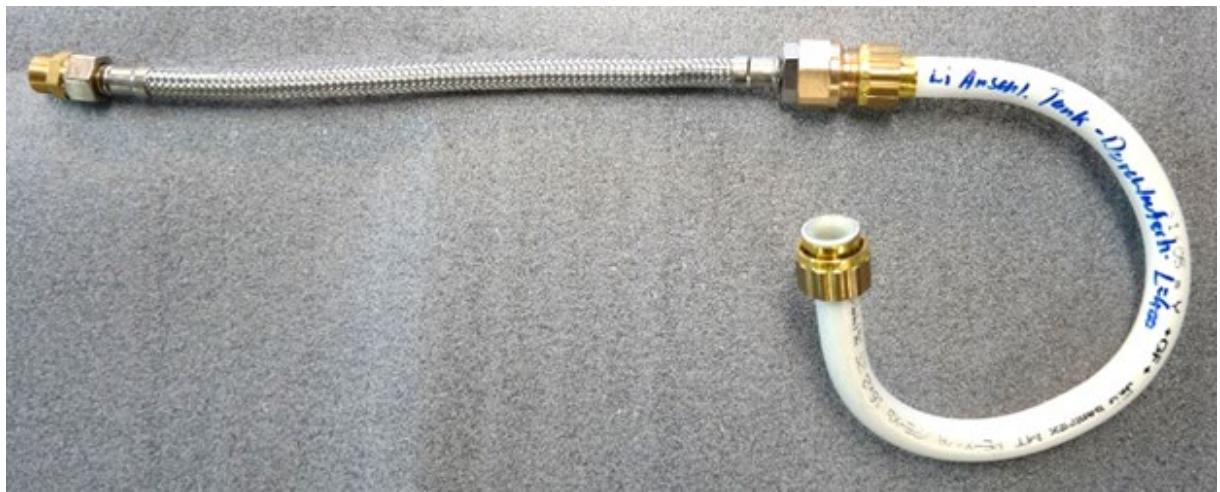


Abbildung 40 Verbessertes Handling beim anschliessen des Durchlauferhitzers mit flexiblem Panzerschlauch.

Die Dichtheitsprüfung des Speichertanks wurde umgestellt auf Druckluft damit kann schneller ein deutliches Resultat erzielt werden.



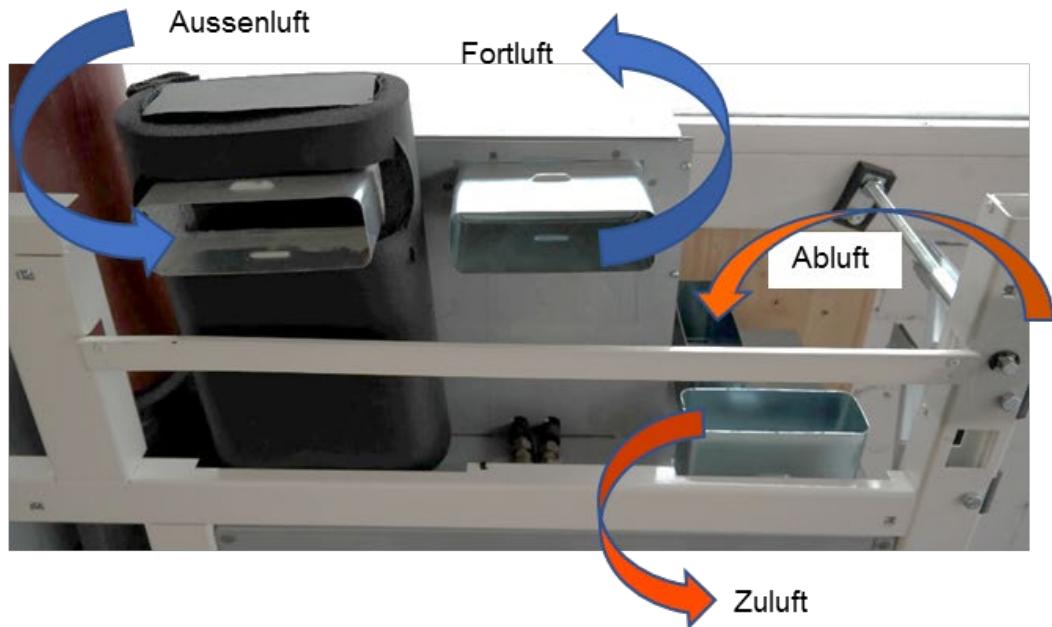
Abbildung 41 Dichtheitsprüfung des Speichertanks bei der Swissframe.

Anfragen von Lüftungsbauern und Elektrikern haben dazu geführt eine detaillierte Anweisung zu erstellen damit Rückfragen auf ein Minimum beschränkt werden können.

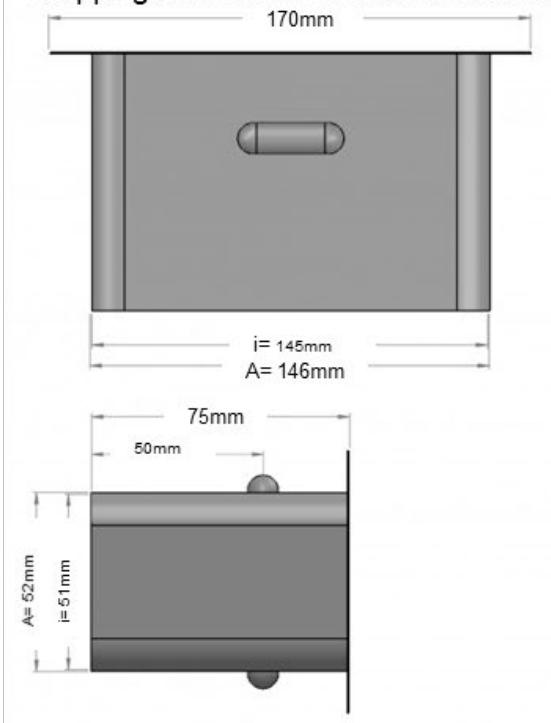


**SWISS FRAME**  
bathroom solutions

### Anschlüsse



Depping MBV140054 Muffe mit Bord verzinkt



Lüftungsgerät



Zehnder ComfoAir 180  
mit Enthalpie-Wärmetauscher  
Volumenstrom  
maximal 180 m<sup>3</sup>/h,  
minimal 30 m<sup>3</sup>/h  
Abluft: G4 Grobstaubfilter  
Aussenluft: F7 Pollenfilter

Abbildung 42 Auszug aus der Anleitung für die Lüftungsbauer.



## SWISS FRAME bathroom solutions

Schutzrohr Zuleitung Befestigung  
an Rahmen links oder rechts je  
nach Ausführung



Zugentlastung Zuleitung  
Wärmepumpe



Anschlusswerte Thermos

| Beschrieb                | Volt | Max  | Max   |
|--------------------------|------|------|-------|
| Wärmepumpe Danfoss TL4GH | 230V | 181W | 1.20A |
| ComfoAir 180             | 230V | 85W  | 0.75A |
| LED Lampe Spiegelschrank | 230V | 15W  | 0.10A |

### Anschluss Zuleitung Wärmepumpe an Klemmenblock

Kabel flexibel  
Leiter (L)  
Lichtschalter (LA) Bedienung durch externen Schalter  
Neutralleiter (N)  
Erdung (PE)

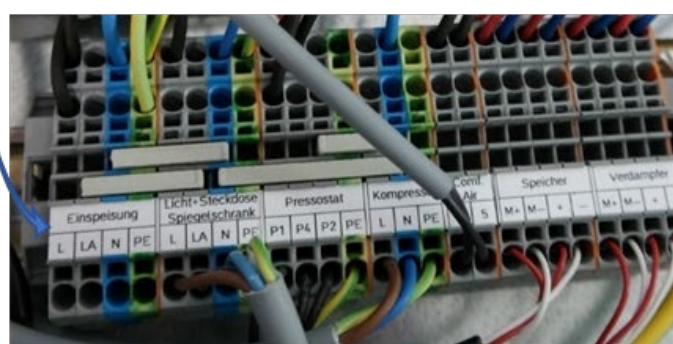


Abbildung 43 Auszug Anleitung für die Elektriker.



Die Abklärung bei Lieferanten für die Lieferbereitschaft und Lieferfristen der einzelnen, zum Teil besonderen, Bauteile (Wärmepumpe nur einzeln lieferbar, Tankherstellung hat zu lange Lieferfristen, Lüftungsgeräte in genügender Anzahl an Lager) erfordern bei den Zulieferern eine spezielle Lagerhaltung und Logistik. Die Offerten und Lösungen der Lieferpartner sind grösstenteils abgeschlossen.

Für das Demonstrationsprojekt an der Stauffacherstrasse 60 Bern, hat die Swissframe AG 5 Stück der Vorwandeinheiten hergestellt und eingebaut. Die Inbetriebnahme des ersten Gerätes erfolgte erfolgreich, jedoch provisorisch, da der Baufortschritt noch keine definitive Inbetriebnahme erlaubt. Beim Zusammenbau funktionierte zum Teil die Lüftungsanlage nicht mehr korrekt. Beim Öffnen des Gerätes wurde festgestellt, dass die Leitungsführung der Sensoren auf der Aussenseite verlief, somit konnten an dieser Stelle keine Befestigungen mehr angebracht werden.

Auszug  
Anweisung Zusammenbau



Abbildung 44 Gewonnene Erkenntnisse durch anbohren der Kabelführung eines Lüftungsgeräts.

### 3.10 Bericht Swissframe: Zwischenfazit 2018, vor der Inbetriebnahme

Die Swissframe AG hat eine offizielle Bestellung (Werkvertrag) der Bauherrschaft. Mit der Detailplanung für das Demonstrationsprojekt wurde deshalb begonnen.

Eine Vorwandeinheit THERMOS aus der Kleinserie wurde mit zusätzlichen Sensoren ausgerüstet und wurde durch die NTB in der Kältekammer getestet. Dabei wurden die Kältemittelmenge und die Ventilkörpereinstellung korrigiert (siehe Absatz 3.3.4).

Die Swissframe AG ist gegenwärtig beschäftigt mit dem Bezug einer neuen Produktionshalle für den THERMOS und mit der Verfeinerung des Serienproduktionsablaufes



Abbildung 45 Bezug einer neuen Produktionshalle für den THERMOS in Münchenbuchsee.

Beim Montageablauf wurde festgestellt, dass auf der Baustelle mit erheblichen Emissionen wie Staub, Wasser, Farbe, Gips usw. zu rechnen ist. Momentan wird eine Umstellung der Steuerungsschublade auf «steckbar» geprüft, damit die empfindlichen Steuerungs- und Elektrik-Bauteile erst bei der Inbetriebnahme eingebaut werden können.

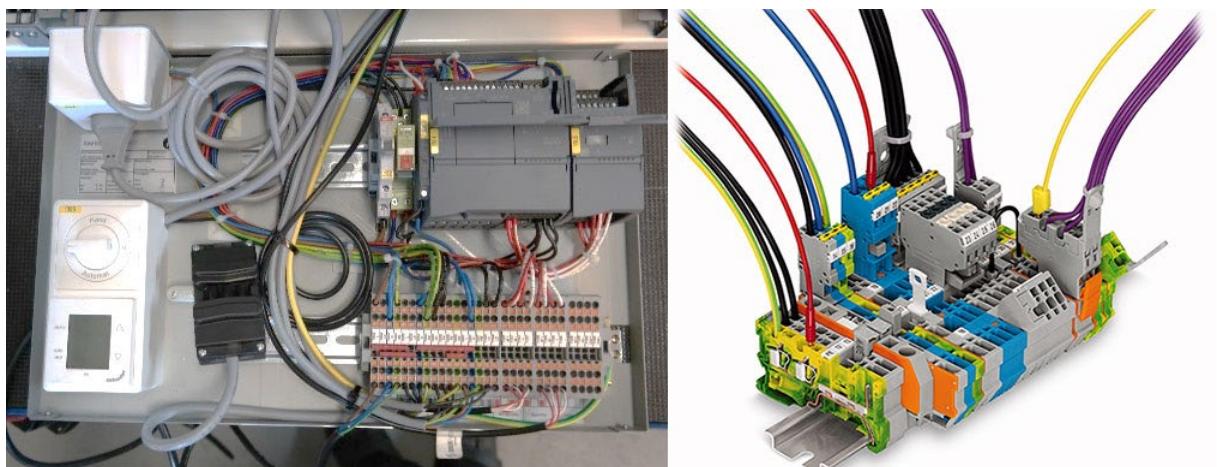


Abbildung 46 Anpassungen der Steuerungsschublade, um Schäden auf der Baustelle vorzubeugen.

Für den Elektriker ist es wichtig mit welcher Gleichzeitigkeit die Durchlauferhitzer arbeiten. Die Ermittlung der Gleichzeitigkeit wird zurzeit mit dem Lieferanten und einer Studie von Marco Meier zusammengestellt, muss aber durch die Feldversuche an der Stauffacherstrasse 60 untermauert werden.

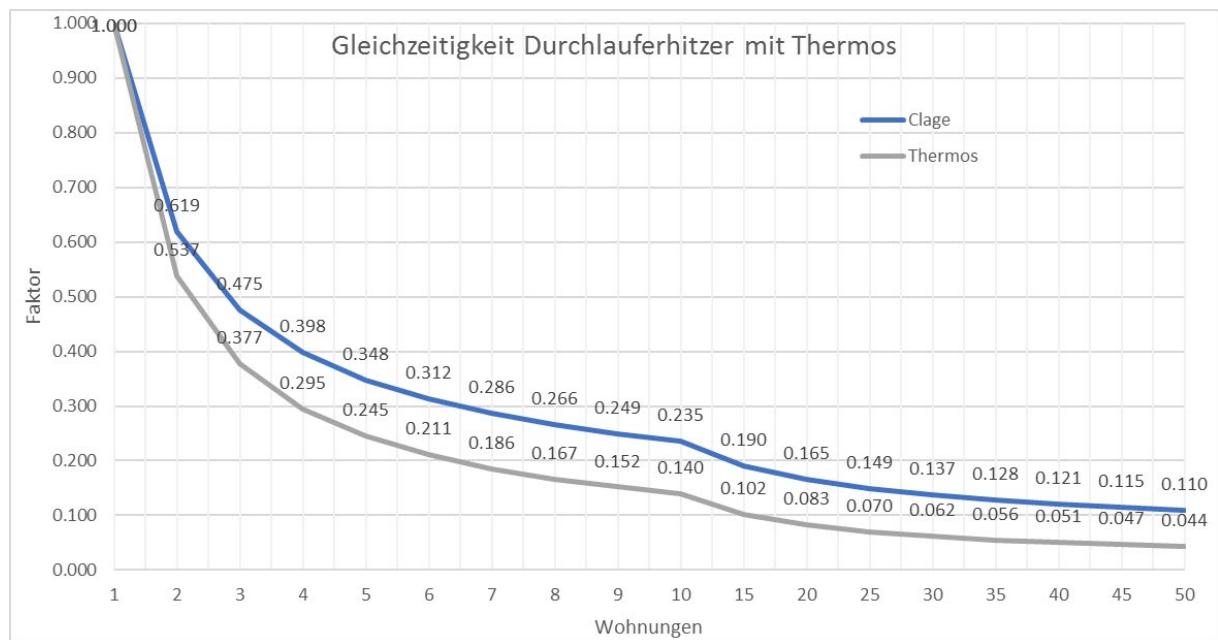


Abbildung 47 Vergleich der Gleichzeitigkeitsfaktoren mit Speicher (THERMOS) vers. ohne Speicher (Clage).

### 3.11 Bericht Swissframe: Ergebnisse Stand 2023

#### 3.11.1 Serienfertigung

Die Erstellung einer Fertigungsstrasse welche für mehrere, auch ungelernte Angestellte mit einbezog, brauchte einige Anläufe, bis ein geordneter Ablauf feststand und auch dementsprechend dokumentiert werden konnte. Die Abläufe werden dauernd weiterentwickelt und mit dem nötigen Mobiliar und den zugehörigen Werkzeugen ausgestattet. So wird es auch möglich parallel Speichertanks, Lüftungsgeräte und Wärmepumpen zu produzieren. Auch wurden die komplexen Bestellabläufe optimiert und ein Just-in-time System aufgebaut.



Abbildung 48 Fertigungsstrasse für THERMOS-Einheiten.

### 3.11.2 Kalkulation

Durch die Optimierung im Einkauf konnten wir den Preis für eine THERMOS-Einheit neu festlegen. Mit 15'000.- für eine komplette Anlage, je nach Stückzahl kann dies noch nach unten korrigiert werden.

### 3.11.3 Minergie P

Im Jahr 2019 konnten wir in Grossaffoltern in einer Neubausiedlung und in Belp in einem neuen Wohnblock, insgesamt 29 THERMOS-Einheiten installieren. Diese Einheiten wurden durch ein externes Monitoring-System überwacht, wodurch wir den durchschnittlichen Energieverbrauch unserer Anlagen kontinuierlich beobachten konnten.

Hierbei wurde festgestellt: Der THERMOS trägt wesentlich dazu bei, dass die Minergie-P Verbrauchswerte sogar inkl. Haushaltsstrom erfüllt sind.



## Reale Energieverbräuche MFH mit Thermos

### Datenauswertung von 29 Wohnungen 2021



Hier geht's zum Themos

Der Thermos wurde in fünf Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 29 Wohnungen auf einer Wohnfläche von 3408m<sup>2</sup> verbaut. Zusätzlich wurde eine PV Anlage installiert und eine zentrale Luft/Wasser Wärmepumpe eingebaut. Quelle von den Zählerdaten: Smart-me.ch

#### Verbrauch pro Wohnung

|  | KWh Strom*        | Wasser in L | KWh Strom*                                    | Wasser in L            |
|--|-------------------|-------------|---|------------------------|
| W1   | 1'858             | 62'000      | W16   | 2'909                  |
| W2   | 1'775             | 51'000      | W17   | 1'904                  |
| W3   | 4'780             | 122'000     | W18   | 2'188                  |
| W4   | 1'789             | 38'000      | W19   | 2'043                  |
| W5   | 1'888             | 25'000      | W20   | 2'019                  |
| W6   | 2'404             | 62'000      | W21   | 5'218                  |
| W7   | 1'790             | 47'000      | W22   | 2'833                  |
| W8   | 2'158             | 72'000      | W23   | 2'793                  |
| W9   | 1'385             | 33'000      | W24   | 4'728                  |
| W10  | 2'333             | 64'000      | W25   | 2'786                  |
| W11  | 2'174             | 24'000      | W26   | 3'036                  |
| W12  | 1'680             | 42'000      | W27   | 2'081                  |
| W13  | 1'882             | 42'000      | W28   | 1'993                  |
| W14  | 2'456             | 50'000      | W29   | 3'375                  |
| W15  | 3'429             | 144'000     |   | 97'000                 |
| <b>Total KWh Strom*</b><br>für alle 29 Whg.                | <b>74'687 KWh</b> |             | <b>Total Liter Wasser</b><br>für alle 29 Whg. | <b>2'163'000 Liter</b> |
| <b>0 Strom*</b> in KWh<br>pro Wohnung (117m <sup>2</sup> ) | <b>2'575 KWh</b>  |             | <b>0 Wasser in Liter</b><br>pro Wohnung       | <b>74'586 Liter</b>    |

\* Gesamter Strom für die Wohnung (Warmwasser, Kochen, Licht, Handy laden, Lüftung etc.) ohne Heizung.  
\*\* Gemessen an zentraler Heizung (Luft/Wasser Wärmepumpe)  
\*\*\* Gemessen an PV-Anlage pro Haus  
\*\*\*\* 74'000 KWh Haushalt/WW + 31'001 KWh Heizung = 105'688 KWh : 3408 m<sup>2</sup> = 31 KWh/m<sup>2</sup>/p.a.

#### Einkauf Strom pro Wohnung

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| Strom für Lüftung, Warmwasser und Haushalt* pro Wohnung | <b>2'575 KWh</b>                     |
| Strom für Heizung** (0) pro Wohnung                     | <b>1'069 KWh</b>                     |
| Total Stromverbrauch pro Wohnung                        | <b>3'644 KWh</b>                     |
| Abzug eigene PV Produktion*** pro Wohnung               | <b>-3'371 KWh</b>                    |
| <b>Einkauf Strom pro Whg. p. a</b>                      | <b>273 KWh / Ca. 28 Liter Heizöl</b> |

#### Energiekosten mit Thermos und PV

Gesamte Energiekosten inklusive Strom\* und Heizung  
Gerechnet mit 25 Rp./KWh (EW Gemeinde Belp)

#### Beispiel Energiekosten Fernwärme anstelle Thermos und PV

|  |                                |                              |
|--|--------------------------------|------------------------------|
| <b>Kosten mit Fernwärme</b> (nur Heizung und Warmwasser)<br>Gerechnet mit 19 Rp./KWh Fernwärmekärti Gemeinde Belp (inklusive Teuerung und jährlichen Gebühren)                           | <b>CHF 114.30</b><br>Pro Monat | <b>CHF 1'372</b><br>Pro Jahr |
| <b>Kosten für Strom</b> (Kochen, Licht, Handy laden, Lüftung etc.)<br>Gerechnet mit 25 Rp./KWh (gem. Zahlen Energie Schweiz durchschnittlicher Verbrauch Whg., 2100 KWh ohne Warmwasser) | <b>CHF 43.75</b><br>Pro Monat  | <b>CHF 525</b><br>Pro Jahr   |
| <b>Total Energiekosten mit Fernwärmemanschluss</b>   | <b>CHF 158.05</b><br>Pro Monat | <b>CHF 1'897</b><br>Pro Jahr |

#### Fazit

Der Thermos trägt wesentlich dazu bei, dass die Minergie-P Verbrauchswerte sogar inkl. Haushaltsstrom erfüllt sind.

Minergie-P Verbrauchswert = 30 KWh/m<sup>2</sup> /p.a  
Thermos-Whg. Verbrauchswert MIT Haushaltsstrom = 31 KWh\*\*\*\* (3 Liter Heizöl) /m<sup>2</sup>/p.a

**MINERGIE-P**

Abbildung 49 Energieverbräuche in einer Neubausiedlung Grossaffoltern.



Abbildung 50 Referenz, Grossaffoltern 4 Mehrfamilienhäuser.



Abbildung 51 Referenz, Grossaffoltern, Einsatz des THERMOS-Systems.

### 3.11.4 Netzbelastung Auswertung Grossaffoltern

Im Zusammenhang mit der Überbauung in Grossaffoltern mit 20 Wohneinheiten wurde die Netzbelastung vermessen. Da die Häuser auch mit je einer Solaranlage ausgestattet sind, fliessen auch negative Werte in die Messung ein.

Im Wintermonat Februar wurde nahezu keine Energie ins Netz zurück gespiesen. Man kann aber auch erkennen, dass trotz Durchlauferhitzer in den THERMOS-Einheiten die bezogene Energie von maximal 23.6kW die Netzzuleitung nicht wirklich an den Anschlag bringt

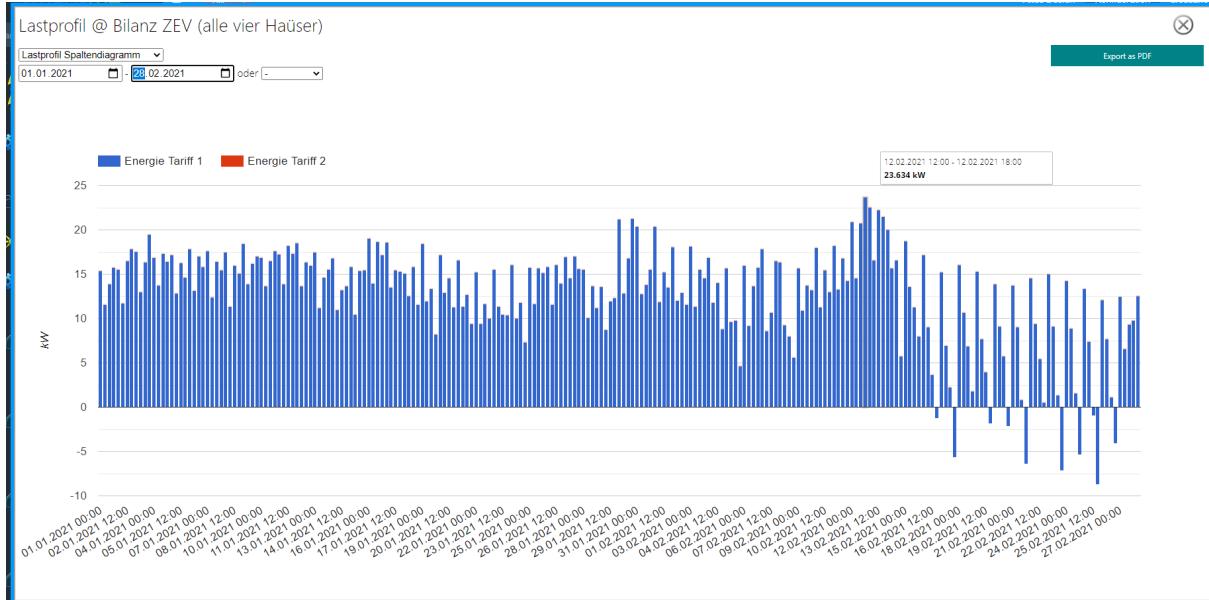


Abbildung 52 Lastprofil Neubausiedlung Grossaffoltern.

### 3.11.5 SVGW-Zertifizierung

Der SVGW zertifiziert Produkte im Gas- und Wasserbereich und gewährleistet damit, dass Geräte und Materialien bezüglich Qualität, Sicherheit, Hygiene und Gebrauchseigenschaften dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Die Nachfrage nach einer Zertifizierung durch diverse Sanitärplaner\*innen und Sanitärfirmen veranlasste die Firma Swissframe die notwendigen Dokumente zusammenzustellen für eine Zertifizierung nach SVGW welche problemlos erteilt wurde.

#### SVGW

Schweizerischer Verein  
des Gas- und Wasseraufschlusses  
Grütlistrasse 44  
CH- 8027 Zürich

#### Zertifizierungsstelle Wasser



**Zertifikat Nr.: 2205-7114**

**Zertifikatsinhaber:** Swissframe AG, Dammweg 39, CH-3053 Münchenbuchsee

Gestützt auf das Reglement ZW101 „Allgemeine Geschäftsbedingungen der SVGW Zertifizierungsstelle Wasser“ zertifiziert der SVGW die folgenden Serienprodukte:

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Rubrik:</b>      | Warmwasserbereiter, Speicher-Wassererwärmer und Warmwasserspeicher |
| <b>Bezeichnung:</b> | Warmwasserbereiter Thermos T100HE                                  |
| <b>Typen:</b>       | Kodewa   |

Abbildung 53 SVGW-Zertifikat.

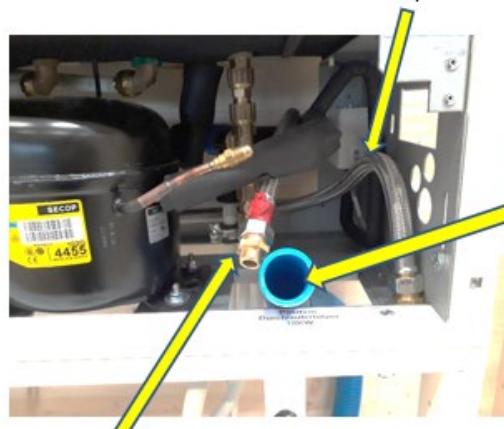


### 3.11.6 Anleitung Montage

Die Swissframe hat eine Montageanleitung erstellt für die Bereiche Sanitär, Elektriker, Lüftungsbauer, sowie Kernbohrer, Plattenleger, usw. damit die verschiedenen Gewerke den Montageablauf koordinieren können und die Zusammenhänge der komplexen Anlage verstehen.

## SWISS<sup>+</sup>FRAME bathroom solutions Einbau Durchlauferhitzer Elektriker

### Vorbereitung Zuleitungen



### Ansicht Ausf. links



### Ansicht Ausf. rechts



### Elektrorohr Max.140mm vorstehen lassen



### Kabelbinder an Rahmenbefestigung



### Anschlüsse für Steuerungsschublade über Spülkasten





### 3.11.7 Montage Stauffacherstrasse

Ab Mai 2022 wurden die 25 restlichen THERMOS-Einheiten an der Stauffacherstrasse installiert. Dies erfolgte etappenweise da die Zimmer stockwerkweise bezogen wurden.



Abbildung 55 Montage Stauffacherstrasse.

Die Umstellung der Steuerungsschubladen auf steckbare Verbindungen war sehr praktisch da wir die Steuerung separat lieferten, nach Abschluss aller Arbeiten von Maler, Fliesenleger, Bodenleger usw. damit die Elektronik keinen Schaden nehmen konnten.

Die Inbetriebnahme erfolgte leider etwas chaotisch da die Firma Zehnder keine Lüftermotoren zur rechten Zeit liefern konnte, wodurch wir bei einigen Anlagen mit nur einem Motor starten mussten. Die Hotelzimmer waren schon in Betrieb. Glücklicherweise konnten wir die fehlenden Motoren vor der Messperiode noch einbauen.

### 3.11.8 Datenauswertung

Jede Anlage wurde mit einem Datenkabel separat nur für den THERMOS ausgestattet, so dass per VPN bequem vom Büro aus, der Zustand der Anlagen kontrolliert werden kann.

**CONNECTED**

OpenVPN Profile  
evishome.hopto.org  
[thomas@Wankdorf]

---

**DISCONNECTED** ▼

---

**CONNECTION STATS**

116.2KB/s



0B/s

BYTES IN 0KB/S ▼

BYTES OUT 0KB/S ▲

DURATION 00:04:27

PACKET RECEIVED 8 sec ago +

---

**SIEMENS** S7-1200 station\_1 / 1: CPU\_PilotDetailErweitert\_V1\_0

Benutzername Anmelden

**Startseite**

Intro

SIMATIC S7-1200

RUN STOP ERROR MAN

CPU 124AC ACDC/RLY

Allgemein:

Projektname: KoDeWa\_Steuерungssoftware\_PilotDetailErweitert\_V1\_0

TIA Portal: V14 SP1

Stationsname: S7-1200 station\_1

Baugruppenname: 1:CPU\_PilotDetailErweitert\_V1\_0

BaugruppenTyp: CPU 124AC ACDC/RLY

Status:

Betriebszustand: **RUN**

Status: **OK**

Abbildung 56 VPN-Verbindung zu den THERMOS-Einheiten.



Dadurch erkannten wir zum Beispiel, dass eine Anlage zu wenig Kältemittel hatte oder eine durch einen Wassereinbruch eine Steuerung ausgefallen war. Ansonsten laufen alle Anlagen problemlos.

### 3.12 Bericht Swissframe: Bewertung und Ausblick

#### 3.12.1 Zukunft Lüftungsgerät (THERMOS II)

Aus den erworbenen Kenntnissen hat die Firma Swissframe den THERMOS weiterentwickelt. So wurde ein eigenes Lüftungsgerät aufgebaut, welches wir, mit einem neuen aus expandiertem Polypropylen Gehäuse, selber herstellen und damit die Abhängigkeit von nur einem Lüftungsgerätelieferanten eliminiert haben. Die Möglichkeit den Verdampfer schon im Gehäuse zu integrieren und die Lüftungsleitungen kompakter zu gestalten führte zu kleineren Abmessungen und einer vereinfachten Einbau Situation. Ebenso konnten die Kältemittelleitungen optimiert werden und die Zugänglichkeit für die Sensoren verbessert werden.

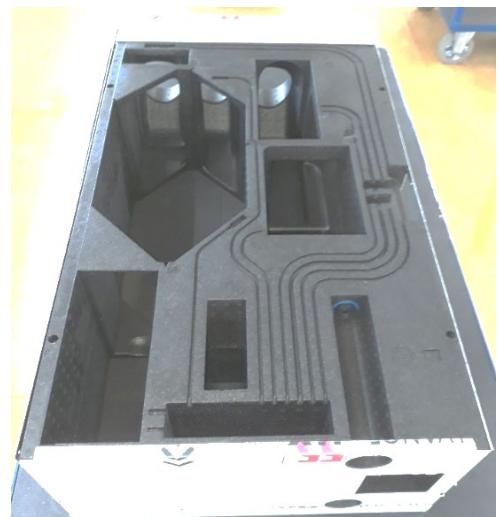
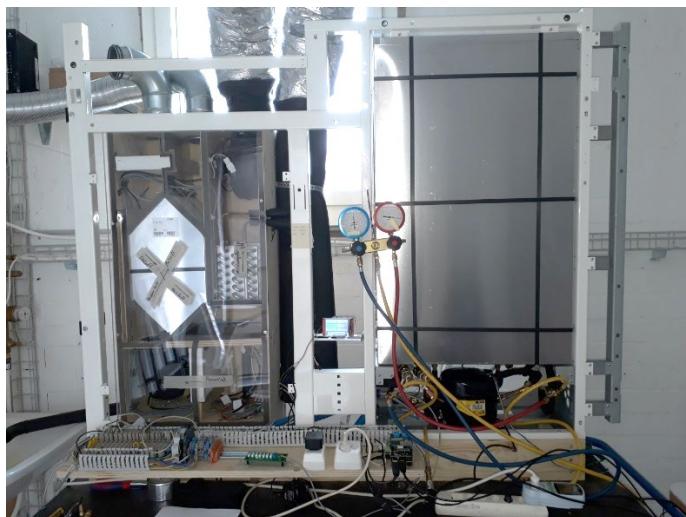


Abbildung 57 Neu entwickeltes Lüftungsgerät.

#### 3.12.2 Zukunft Steuerung (THERMOS II)

Die ursprüngliche Steuerung des THERMOS basierte auf einer Siemens CPU, die mit einem eigenen Programm für die Steuerung ausgestattet war, sowie einer unabhängigen Steuerung für das Lüftungsgerät. Mit dem Entscheid der Swissframe AG, ein neues Lüftungsgerät zu entwickeln, wurde auch beschlossen, eine Steuerung zu schaffen welche den Wärmekreislauf und die Lüftung aufeinander abgestimmt steuern kann.

Hierzu entwickelten wir eine neue eigene Steuerung inklusive Platine und dem zugehörigen Kabelbaum, welche mit einer eigenen Software läuft. Sie bietet zudem erweiterte Funktionen: Einstellbare Schwellenwerte für CO<sub>2</sub> und VOC bestimmen, wann das Gerät die Luftzufuhr erhöht oder abschaltet; ein Lecksensor erkennt Wasseraustritte hinter der Vorwand; Sensoren messen Wassertemperaturen im Speicher und am Kaltwassereintritt. Zusätzlich ermöglicht die Steuerung die Messung von Energie- und Wasserverbrauch für die Auswertung der Effizienz oder für die Abrechnung der Verwaltung, usw.

Wir haben eine Datenerfassung für das Minergie Monitoring und Produkteoptimierung in einer externer Cloud Lösung aufgebaut. Zudem ist ein Remote-Zugriff für Fernwartungen und Konfiguration möglich.

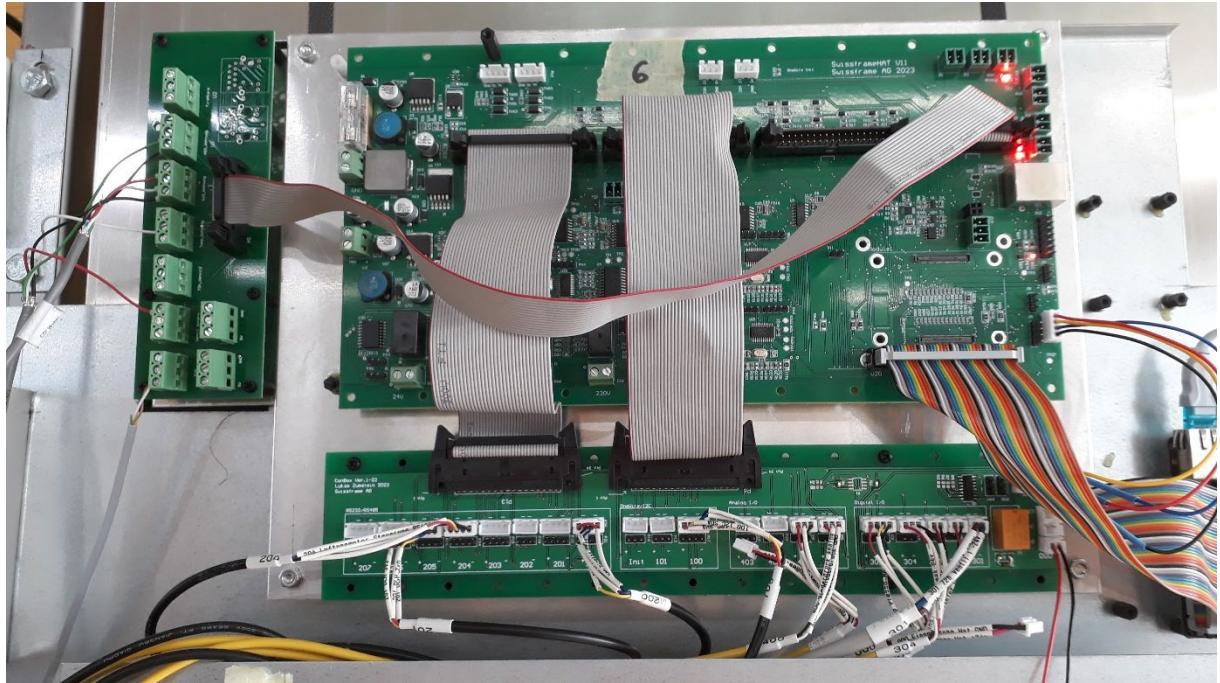


Abbildung 58 Neu entwickelte Steuerplatine.

### 3.12.3 Anstoss zu Innosuisse-Projekt THERMOS

Die im Projekt gewonnenen Erfahrungen trugen massgeblich zum Start eines neuen Innosuisse-Projekts bei. Dieses hat das Ziel, den THERMOS weiterzuentwickeln, die Lüftung und Warmwasserproduktion zu optimieren und die THERMOS-Plattform zu digitalisieren.

## Start zum Entwicklungsprojekt Thermos III

**SWISS FRAME**  
bathroom solutions

### Ausblick ins 2022 :

- Der Forschungs- und Entwicklungsantrag der Swissframe AG wurde von InnoSuisse im November 2021 gutgeheissen

#### Ziel:

- Warmwasseraufbereitung optimieren
- Neue Generation Wärmepumpe entwickeln
- Wärmepumpe basierte Kühlfunktion für die Wohnung entwickeln

Projektdauer : 2022-2023  
Projektleitung : Swissframe AG

20.09.2023



Abbildung 59 Innosuisse-Projekt THERMOS.



### 3.12.4 Erste Ergebnisse Digitalisierung (Innosuisse-Projekt)

Die Digitalisierung umfasst verschiedene Phasen: von der Produktfertigung über die automatisierte Produktprüfung in der Montagelinie im Werk bis hin zur Installationsprüfung im Bauobjekt und dem Langzeitbetrieb der Anlagen bei den Kunden.

Weiter liefert die Instrumentierung (über 20 Messwerte aus jeder einzelnen Installation pro Wohneinheit) Informationen über das Betriebsverhalten der Anlage. Dies ist für die Optimierung in der ersten Betriebsphase (Einregulierung, Konfigurationsmanagement) und später für den Support (Dashboard und Langzeit Reporting) von Nutzen.

Dies Daten stehen für die berechtigten User zentral in der Swissframe Cloud Plattform ortsunabhängig zur Verfügung.

Weiter verfügt die Anlage über Optimierungsinformationen, die zukünftig zur bedarfsgerechten Lüftungssteuerung (Luftqualität, Geruch + Co2) eingesetzt werden.

## Digitalisierung in der Fertigung + Betrieb

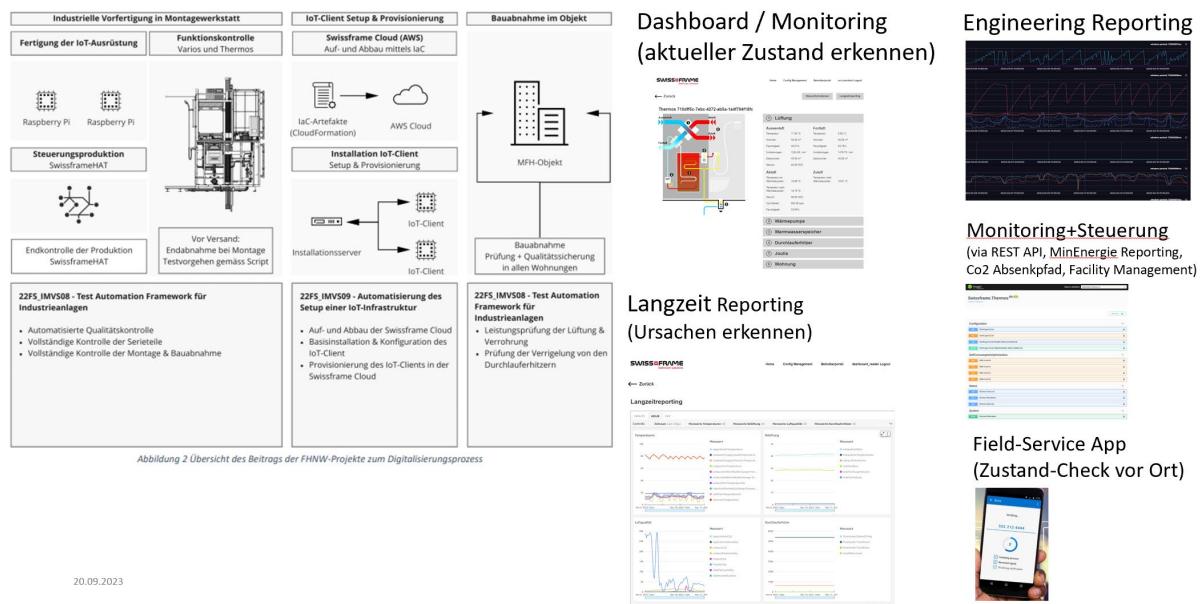


Abbildung 60 Digitale Transformation bei der Swissframe.

### 3.12.5 Fazit Swissframe AG

Dank der intensiven Zusammenarbeit der Forschungspartner PV Labor, I3S, i-REX, SPF und IES sowie mit verschiedenen Lieferanten und dem engagierten Team der Swissframe AG, ist es gelungen aus einer Idee ein marktfähiges und energieeffizientes Produkt zu entwickeln. Ohne die Unterstützung des Bundesamtes für Energie wäre die Überwindung aller Hindernisse wohl kaum möglich gewesen. Die erzielten Energieeinsparungen waren es Wert dieses Projekt trotz aller Schwierigkeiten durchzuziehen. Die vom Bund vorgegebenen Einsparungen der Energie für die Haustechnik um 40% erreichen wir somit deutlich.

Die erworbenen Kenntnisse und Kontakte sind für die Swissframe AG sehr wertvoll und sie fliessen natürlich auch in unsere zukünftigen Pläne ein. Im Moment prüfen wir mit einem Innosuisse-Projekt die Möglichkeit, ein natürliches umweltverträgliches Kältemittel zu implementieren und ob die Voraussetzungen für eine Heiz- sowie Kühlfunktion der Wohnung möglich ist.

Vielen Dank allen Beteiligten und eine innovative, spannende Zukunft.



### 3.13 Bericht smart-me: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Teammitglieder:

Stefan Fischer (PL)

David Eberli (CEO)

#### 3.13.1 Planung der Messinfrastruktur

Mit den akademischen Mitwirkenden und Fachplaner\*innen im Bereich Elektro-, Heizung Sanitär wurden die Elektro-, Wärme- und Wasserzähler ausgewählt. Die Messgeräte der smart-me AG benutzen das existierende Netzwerk (2.4 GHz) und speichern Energiedaten in Echtzeit auf einem zentralen Rechner im Internet (Cloud). Von dort werden die Zeitreihen über API-Anbindung zur Analyse an die Berner Fachhochschule übertragen.

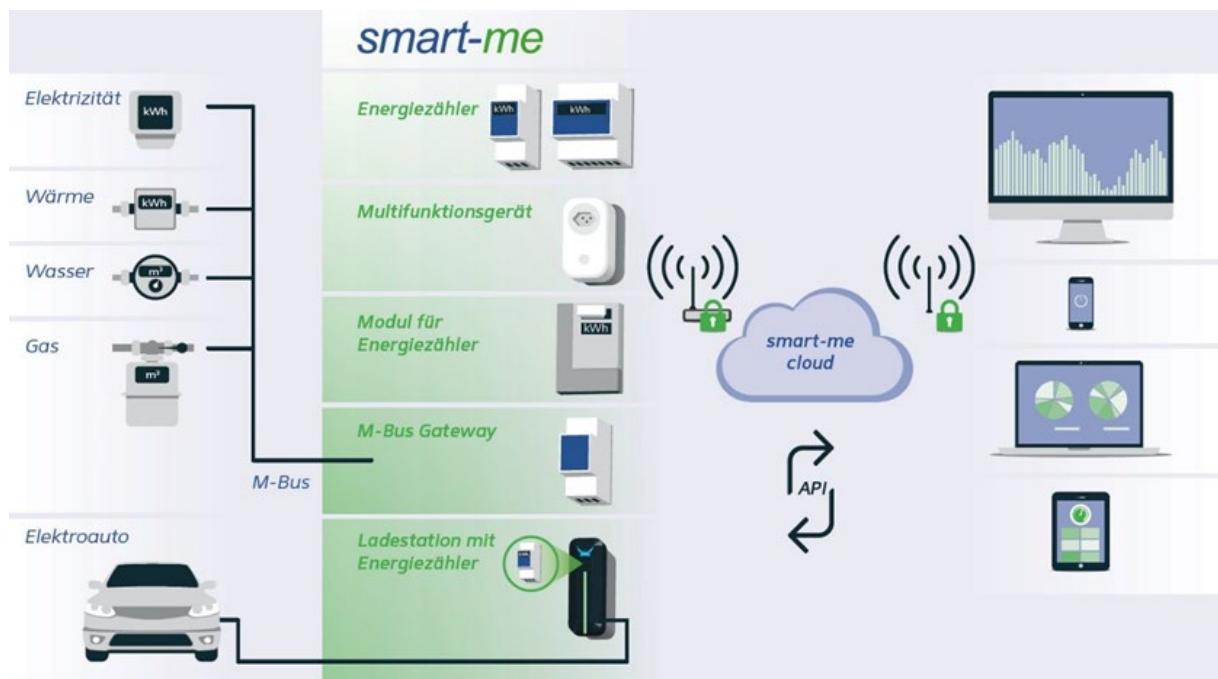


Abbildung 61 Übersicht, wie Messinstrumente mit der smart-me Cloud kommunizieren können.

Zwecks Wohnungsabrechnung wird von smart-me in allen Wohneinheiten der Strom- und Wasserbedarf gemessen (M-Bus-Gateway oder integrierte Wi-Fi Schnittstelle). Im Sinne des BFE-Modell der verbrauchsabhängigen Energie- und Wasserkostenabrechnung (VEWA) erfolgt die Abrechnung nach dem Verursacherprinzip. Zur Analyse der Energieströme lassen sich die Messwerte mit PC, Tablet oder Smartphone visualisieren (Eigenverbrauch optimieren etc.).

Fünf der dezentralen Vorwändeinheiten sind mit einem detaillierten Monitoring System ausgestattet. Hierbei wird zusätzlich der Energieverbrauch von Kompressor, Lüftung, Durchlauferhitzer, Cooker (Küche) sowie die Wärmemenge im Speicher und der Heizungsanlage (vor Heizkörper) erfasst. Die Sensorwertewerte der kumulierenden Strom- und Wasserwärmezähler werden in 10-Sekunden-Auflösung abgetastet. Auf dieser Zeitbasis lassen sich die elektrischen Leistungsdaten (Watt) sowie kurze Warmwasser-Zapfungen leichter auswerten bzw. quantifizieren.

Auf Bitte der Forschungspartner implementierte smart-me weitere Funktionen für die Auswertung des Wärmezählers, die ab sofort für alle Benutzer verfügbar sind. So stehen neu die Vor- und Rücklauftemperatur des Speichers sowie der dazugehörige Durchfluss via API zur Analyse bereit.



## 4 Schlussfolgerungen und Fazit

### 4.1 Messsystem und Datenqualität

Die BFH war verantwortlich für die Erfassung und Übermittlung von Messdaten an die BFH-Server, einschliesslich der Inbetriebnahme und Wartung einer Datenbank. Für die Messkampagne modifizierte die BFH die Steuerungssoftware, um zusätzliche Sensoren zu integrieren und die Messdaten an den BFH-Server weiterzuleiten. Es traten jedoch Probleme mit dem Messsystem auf, die zusätzlichen Aufwand für die Fehlerbehebung und Datenaufbereitung erforderten. Dies beeinträchtigte die Datenerfassung während der ersten Kältewelle der Heizperiode 2022/2023. Aufgrund der beeinträchtigten Datenqualität konzentrieren sich die Auswertungen hauptsächlich auf den Messzeitraum von Dezember 2022 bis Ende Juni 2023. Üblicherweise erstrecken sich Energieauswertungen über ein Jahr. Da nur Daten über einen Zeitraum von sieben Monaten betrachtet wurden, mussten einige Hochrechnungen angestellt werden. Andere Kennzahlen sind aufgrund des zu kurzen Auswertungszeitraums nicht vergleichbar.

### 4.2 Optimierungspotenzial des THERMOS-Systems

Die THERMOS-Einheit bewährte sich im Betrieb. Allerdings wurden im Rahmen der Erfolgskontrolle Optimierungspotenzial betreffen der Temperatur des Durchlauferhitzers und des Abluft-Volumenstroms identifiziert. Eine Erhöhung des Volumenstroms in den Wintermonaten könnte die Effizienz der Wärmepumpe steigern, indem die Temperaturdifferenz im Verdampfer reduziert wird. Bei der Regulierung der Luftmengen sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Raumtemperatur, insbesondere in Badezimmern, nicht als zu kalt wahrgenommen wird.

Die Durchlauferhitzer an der Stauffacherstrasse waren standardmässig auf 38°C eingestellt. Aus den Hotelbewertungen von Evi's Home Hotel & Apartments auf Booking.com ging hervor, dass einige Gäste in den Wintermonaten die Duschwassertemperatur als zu niedrig empfanden. Die Einstellung der Solltemperatur des Durchlauferhitzers beeinflusst die Effizienz. Um einen Kompromiss zwischen Effizienz und Komfort zu gewährleisten, sollte die Solltemperatur des Durchlauferhitzers nicht über 45°C einstellbar sein (vom Kunden heute bis 60°C einstellbar).

### 4.3 Effizienzvergleich und Speicherverluste

Im Vergleich zu herkömmlichen Warmwasser Erzeugungssystemen, bei denen der SNG-Wert zwischen 0.25 und 2.4 liegt, weist der THERMOS mit einem SNG ( $SNG_3$ ) von 1.3 bis 1.5 eine vergleichbare Effizienz auf. Diese Werte sind etwa doppelt so hoch wie eine rein elektrische Warmwasseraufbereitung. Somit stellt das THERMOS-System eine Alternative zu konventionellen Warmwasser Erzeugungssystemen dar und bietet eine zukunftsfähige Lösung für die Sanierung in Mehrfamilienhäusern oder Neubauten zu realisieren.

Die gemessenen Speicherverluste betragen durchschnittlich 0,8 kWh/d und liegen somit deutlich unter den Vorgaben der SIA 385/1. Der vakuumisierte Speicher zeigte auch nach fünf Jahren keine Anzeichen von Beschädigungen. Da sich der Speicher selbst bei sehr kalten Außentemperaturen regelmäßig auf 60°C erwärmt, kann das Konzept als legionellsicher bezeichnet werden.

### 4.4 Wirtschaftlichkeit und Kosteneffizienz

Durch die Erstellung einer Fertigungsstrasse konnte der Produktionsprozess verbessert werden. Die Umstellung von einem Prototyp zur Serienproduktion wurde erfolgreich durchgeführt, wobei der Herstellungsprozess und Testverfahren detailliert dokumentiert und optimiert wurde. Hierbei trug die Unterstützung der Partnerhochschulen wesentlich zur Produktverbesserung bei und gewährleistete



eine hohe Qualität in der Serienproduktion der Wärmepumpen. Durch die Optimierung der Bestellprozesse und einer Just-in-time-Lagerhaltung konnten die Produktionskosten pro THERMOS-Einheit auf 15.000.- gesenkt und die Wettbewerbsfähigkeit gesteigert werden.

#### 4.5 Abschliessende Bemerkungen

Trotz diversen Herausforderungen lieferte das Demonstrationsprojekt wertvolle Einblicke in die Umsetzung und den Betrieb der THERMOS-Einheiten in einem realen Umfeld. Das Projekt hat gezeigt, dass die THERMOS-Einheiten eine zukunftsfähige und effiziente Lösung für die Warmwasserversorgung darstellen. Ferner bietet es wertvolle Erkenntnisse und Daten, die für zukünftige Projekte von Bedeutung sind.



## 5 Ausblick und zukünftige Umsetzung

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen hat Swissframe das THERMOS-System weiterentwickelt. Im Rahmen des THERMOS II Projekts wurde ein eigenes Lüftungsgerät mit integriertem Verdampfer entwickelt, was zu einer Optimierung der Abmessungen und Kältemittelleitungen führte. Zusätzlich wurde eine Steuerung inklusive Platine auf Basis eines Raspberry Pi entwickelt (siehe Abschnitt 3.12.1 und 3.12.2). Diese Steuerung ermöglicht die Abstimmung des Wärmekreislaufs und des Lüftungsgeräts aufeinander und bietet erweiterte Funktionen wie die Anpassung von Schwellenwerten für CO<sub>2</sub> und VOC zur Sicherstellung optimaler Luftqualität. Zusätzlich ermöglicht sie die Erfassung von Energie- und Wasserverbrauch zur Auswertung der Effizienz und Abrechnung.

Im November 2021 wurde das Innosuisse-Projekt Thermos III (58301.1 IP-EE) genehmigt. Ziel dieses Projekts ist die Weiterentwicklung der Wärmepumpe und die Digitalisierung der THERMOS-Plattform voranzutreiben (siehe Abschnitt 3.12.3 und 3.12.4). Das Projekt trägt den Titel "IMPULSE: Networked wall unit for ventilation, hot water preparation, and air conditioning" und erstreckt sich über die Jahre 2022-2023. Forschungspartner in diesem Projekt sind die Fachhochschulen OST und FHNW.

Die Forschung und Entwicklung im Rahmen dieses Projekts umfasst mehrere Bereiche:

- Digitalisierung in der Fertigung und im Betrieb.
- Einrichtung der Swissframe Cloud und IoT-Clients.
- Bauabnahme und Qualitätssicherung in allen Wohnungen im Objekt.
- Integrationsschnittstelle für ein übergeordnetes Gebäude- oder Arealleitsystem.
- Entwicklung eines Dashboards und Monitoring-Apps

Diese Schritte zeichnen den Weg für die zukünftige Entwicklung und Umsetzung des Systems, um die Effizienz, Qualität und Benutzererfahrung weiter zu verbessern.



## 6 Publikationen

- ➔ Success story: Energy funding programme: A heat pump for the hot water in the bathroom, in: CTI Activity Report 2017, pp. 58-59.
- ➔ Urena Hunziker, D., Bärtschi, J., Muntwyler, U., 2018, Dezentrale Warmwasserbereitstellung aus Fortluft im Badezimmer - ein BFE Demonstrationsprojekt. 20. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt», 6-7 September 2018, ETH Zürich, Switzerland, 15 p.
- ➔ SCCER–FURIES 2018 Activity Reports: Decentralized hot water production in the bathroom with micro heat pump and vacuum insulated panel (VIP) storage tank (THERMOS system). WP.4.F.1 2018, pp. 96-97.
- ➔ Ruesch F, Persdorf P, Hunziker D, Büchel E, Haller M. Decentralized DHW production from exhaust air in the bathroom prewall. EuroSun 2018, Rapperswil-Jona: 2018.
- ➔ Swiss Technology Award: Die Finalisten des Swiss Technology Award 2019: Swissframe AG Seiten 30, 31 der Zeitung Neue Zürcher Zeitung vom Fr, 08.11.2019

## 7 Literaturverzeichnis

### Literaturverzeichnis

1. **M. Berthold, M Prinzing, M. Eschmann, St. Bertsch.** Trinkwarmwassererwärmung mit Wärmepumpen. *Planer + Installateur*. 2021, 01/2021.
2. **Citherlet, Stéphane, Bony, Jacques und George, Olivier.** *Projet Reno-HP Installation technique décentralisée pour la rénovation à*. CH-3003 Berne : Office fédéral de l'énergie OFEN , 2011. 8100146-02 - SI/500584 .
3. **Kompakte, dezentrale Warmwasserbereitstellung aus Fortluft und Solarstrom (KoDeWa).** **Büchel, Elias, et al.** 19. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt», ETH-Zürich : brenet Building and Renewable Energies Network of Technology, 2016.
4. **Kommission für Technologie und Innovation KTI.** Erfolgsgeschichte: Förderprogramm Energie Eine Wärmepumpe fürs Warmwasser im Badezimmer (S. 58-59). *Ein erfolgreiches letztes KTI-Jahr*. 2017, Bde. KTI-Tätigkeitsbericht 2017.
5. **Primas, Alex und Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG.** *Solare Wassererwärmung in Mehrfamilienhäusern. Entscheidungsgrundlagen für solare Warmwasseraufbereitungskonzepte*. s.l. : Schlussbericht im Rahmen des Pilot- & Demonstrationsprogramms Solarwärme des Bundesamtes für Energie, 2005.
6. **Primas, Alex, Karlström, Petra und Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG.** *Warmwasserversorgung GBZ 7 - Sanierung mit Umstellung auf ein dezentrales solares System*. Bern : Im Auftrag des Bundesamt für Energie, 2007. 100171.
7. **Bernhard, Vetsch, Andreas, Gschwend und Stefan, Bertsch.** *Warmwasserbereitstellung mittels Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern*. Bern : Bundesamt für Energie BFE, 2012. SI/500574-01.
8. **Nipkow, Jürg.** *Elektrische Wassererwärmung in der Schweiz. Statistische Daten, Abschätzung des Elektrizitätsverbrauchs, Ersatzmechanismen, Potenzial Wärmepumpenboiler*. Bern : Bundesamt für Energie BFE , 2013. SI/400951-01 .



## 8 Anhang

### 8.1 Messgeräteverzeichnis

Die auf dem BFH-Server gespeicherten Messgeräte sind in Tabelle 30 aufgelistet.

Tabelle 30 Messgeräteverzeichnis

| ID | Name                    | Geraetefamilie      | Abkürzung     | Sender       |
|----|-------------------------|---------------------|---------------|--------------|
| 1  | T-110 Durchl.erh. Bad   | SME_Dreiphasig Wifi | E3            | WIFI GATEWAY |
| 2  | T-110 Frischwasser      | SME_Wasserzaehler   | Vw2           | WIFI GATEWAY |
| 3  | T-110 Grohe             | SME_Einphasig       | E7            | WIFI         |
| 90 | T-110 Grohe             | SME_Einphasig       | E7            | WIFI         |
| 4  | T-110 Heizung GW2       | SME_Waermezaehler   | Qhzg          | WIFI GATEWAY |
| 5  | T-110 Lüftung           | SME_Einphasig       | E2            | WIFI         |
| 6  | T-110 Wärme Thermos GWx | SME_Waermezaehler   | Vw1, Tw1, Tw2 | WIFI GATEWAY |
| 7  | T-110 Wärmepumpe        | SME_Einphasig       | E1            | WIFI         |
| 93 | T-110 Wärmepumpe        | SME_Einphasig       | E1            | WIFI         |
| 8  | T-110 Wohnung Total     | SME_Dreiphasig Wifi | E8            | WIFI GATEWAY |
| 9  | T-210 Durchl.erh. Bad   | SME_Dreiphasig Wifi | E3            | WIFI GATEWAY |
| 10 | T-210 Frischwasser      | SME_Wasserzaehler   | Vw2           | WIFI GATEWAY |
| 11 | T-210 Grohe             | SME_Einphasig       | E7            | WIFI         |
| 12 | T-210 Heizung GW2       | SME_Waermezaehler   | Qhzg          | WIFI GATEWAY |
| 13 | T-210 Lüftung           | SME_Einphasig       | E2            | WIFI         |
| 14 | T-210 Wärme Thermos GW1 | SME_Waermezaehler   | Vw1, Tw1, Tw2 | WIFI GATEWAY |
| 15 | T-210 Wärmepumpe        | SME_Einphasig       | E1            | WIFI         |
| 16 | T-210 Wohnung Total     | SME_Dreiphasig Wifi | E8            | WIFI GATEWAY |
| 17 | T-310 Durchl.erh. Bad   | SME_Dreiphasig Wifi | E3            | WIFI GATEWAY |
| 18 | T-310 Frischwasser      | SME_Wasserzaehler   | Vw2           | WIFI GATEWAY |
| 19 | T-310 Grohe             | SME_Einphasig       | E7            | WIFI         |
| 20 | T-310 Heizung GWx       | SME_Waermezaehler   | Qhzg          | WIFI GATEWAY |
| 21 | T-310 Lüftung           | SME_Einphasig       | E2            | WIFI         |
| 91 | T-310 Lüftung           | SME_Einphasig       | E2            | SME-WIF      |
| 22 | T-310 Wärme Thermos GW1 | SME_Waermezaehler   | Vw1, Tw1, Tw2 | WIFI GATEWAY |
| 23 | T-310 Wärmepumpe        | SME_Einphasig       | E1            | WIFI         |
| 24 | T-310 Wohnung Total     | SME_Dreiphasig Wifi | E8            | WIFI GATEWAY |
| 25 | T-410 Durchl.erh. Bad   | SME_Dreiphasig Wifi | E3            | WIFI GATEWAY |



|    |                        |                     |               |              |
|----|------------------------|---------------------|---------------|--------------|
| 26 | T-410 Frischwasser GW1 | SME_Wasserzaehler   | Vw2           | WIFI GATEWAY |
| 27 | T-410 Grohe            | SME_Einphasig       | E7            | WIFI         |
| 92 | T-410 Grohe            | SME_Einphasig       | E7            | WIFI         |
| 28 | T-410 Heizung          | SME_Waermezaehler   | Qhzg          | WIFI GATEWAY |
| 29 | T-410 Lüftung          | SME_Einphasig       | E2            | WIFI         |
| 30 | T-410 Wärme Thermos    | SME_Waermezaehler   | Vw1, Tw1, Tw2 | WIFI GATEWAY |
| 31 | T-410 Wärmepumpe       | SME_Einphasig       | E1            | WIFI         |
| 32 | T-410 Wohnung Total    | SME_Dreiphasig Wifi | E8            | WIFI GATEWAY |
| 33 | T-510 Durchl.erh. Bad  | SME_Dreiphasig Wifi | E3            | WIFI GATEWAY |
| 34 | T-510 Frischwasser GW2 | SME_Wasserzaehler   | Vw2           | WIFI GATEWAY |
| 35 | T-510 Grohe            | SME_Einphasig       | E7            | WIFI         |
| 36 | T-510 Heizung GW2      | SME_Waermezaehler   | Qhzg          | WIFI GATEWAY |
| 37 | T-510 Lüftung          | SME_Einphasig       | E2            | WIFI         |
| 38 | T-510 Wärme Thermos    | SME_Waermezaehler   | Vw1, Tw1, Tw2 | WIFI GATEWAY |
| 39 | T-510 Wärmepumpe       | SME_Einphasig       | E1            | WIFI         |
| 40 | T-510 Wohnung Total    | SME_Dreiphasig Wifi | E8            | WIFI GATEWAY |
| 42 | SPS T-210              | SPS                 | -             | -            |
| 43 | SPS T-410              | SPS                 | -             | -            |
| 44 | SPS T-310              | SPS                 | -             | -            |
| 45 | SPS T-110              | SPS                 | -             | -            |
| 50 | SPS T-510              | SPS                 | -             | -            |
| 51 | SPS T-150              | SPS                 |               |              |
| 52 | SPS T-130              | SPS                 |               |              |
| 53 | SPS T-160              | SPS                 |               |              |
| 54 | SPS T-330              | SPS                 |               |              |
| 55 | SPS T-220              | SPS                 |               |              |
| 56 | SPS T-340              | SPS                 |               |              |
| 57 | SPS T-350              | SPS                 |               |              |
| 58 | SPS T-360              | SPS                 |               |              |
| 59 | SPS T-420              | SPS                 |               |              |
| 60 | SPS T-430              | SPS                 |               |              |
| 61 | SPS T-440              | SPS                 |               |              |
| 62 | SPS T-450              | SPS                 |               |              |
| 63 | SPS T-520              | SPS                 |               |              |



|    |                     |                     |  |  |
|----|---------------------|---------------------|--|--|
| 64 | SPS T-540           | SPS                 |  |  |
| 65 | SPS T-550           | SPS                 |  |  |
| 66 | T-130 Wohnung Total | SME_Dreiphasig Wifi |  |  |
| 67 | T-140 Wohnung Total | SME_Dreiphasig Wifi |  |  |
| 68 | T-150 Wohnung Total | SME_Dreiphasig Wifi |  |  |
| 69 | T-160 Wohnung Total | SME_Dreiphasig Wifi |  |  |
| 70 | T-220 Wohnung Total | SME_Dreiphasig Wifi |  |  |
| 71 | T-230 Wohnung Total | SME_Dreiphasig Wifi |  |  |
| 72 | T-240 Wohnung Total | SME_Dreiphasig Wifi |  |  |
| 73 | T-250 Wohnung Total | SME_Dreiphasig Wifi |  |  |
| 74 | T-260 Wohnung Total | SME_Dreiphasig Wifi |  |  |

## 8.2 Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1 Technische Spezifikationen des Komfortlüftungsgeräts .....                      | 19 |
| Tabelle 2 Technische Spezifikationen der Kleineistungswärmepumpe .....                    | 21 |
| Tabelle 3 Technische Spezifikationen des Hochleistungsspeichers.....                      | 22 |
| Tabelle 4 Technische Spezifikationen des elektrischen Durchlauferhitzers .....            | 23 |
| Tabelle 5 Übersicht über die Projektgruppen und deren Leiter .....                        | 32 |
| Tabelle 6 Sensoren der Detailmessung .....  | 34 |
| Tabelle 7 Messfunktionen der Wetterstation .....  | 40 |
| Tabelle 8 Übersicht der Einphasenzähler mit Sprüngen in den Energiedaten .....            | 42 |
| Tabelle 9 Messdaten Grohe-Cooker .....  | 42 |
| Tabelle 10 Sensoren, die über M-BUS Gateways verbunden und keine Daten mehr sendeten..... | 42 |
| Tabelle 11 Bezeichnung und Umrechnung der Sensor Rohdaten.....                            | 53 |
| Tabelle 12 Ergebnisse Druckverhältnisse .....   | 54 |
| Tabelle 13 Pinch Temperaturen im Verdampfer .....   | 55 |
| Tabelle 14 Volumenströme Lüftungsgerät .....  | 55 |
| Tabelle 15 Durchschnittliche Leistung Wärmerückgewinnung .....                            | 56 |
| Tabelle 16: Total zurück gewonnene Energie.....   | 56 |
| Tabelle 17 Heizenergie .....  | 57 |
| Tabelle 18 Heizenergie pro Quadratmeter .....   | 57 |
| Tabelle 19 Beschreibung der Energien .....  | 58 |
| Tabelle 20 Systemnutzungsgrad Trinkwarmwasser 1 .....                                     | 58 |
| Tabelle 21 Systemnutzungsgrad Trinkwarmwasser 2 .....                                     | 58 |
| Tabelle 22 Systemnutzungsgrad Trinkwarmwasser 3 .....                                     | 59 |
| Tabelle 23 Systemnutzungsgrad Trinkwarmwasser 4 .....                                     | 59 |
| Tabelle 24 Systemnutzungsgrad Trinkwarmwasser 4, ohne Cooker.....                         | 60 |
| Tabelle 25 Wärmemenge Warmwasser .....  | 62 |
| Tabelle 26 Wasserbezüge gesamt (Kalt- und Warmwasser).....                                | 62 |
| Tabelle 27 Einschaltungen Wärmepumpen .....   | 63 |
| Tabelle 28 Gleichzeitigkeit Durchlauferhitzer.....  | 63 |
| Tabelle 29 SNG Werte der Wärmepumpen Feldmessung .....                                    | 65 |
| Tabelle 30 Messgeräteverzeichnis.....   | 95 |

