

Sanierung von Mehrfamilienhäusern mit vorgefertigten Holzfassaden mit integrierter Lüftung und Kleinst-Wärmepumpe

Dietmar Siegele
Energieeffizientes Bauen / UIBK
Innsbruck, Österreich



Fabian Ochs
Energieeffizientes Bauen / UIBK
Innsbruck, Österreich



Georgios Dermentzis
Energieeffizientes Bauen / UIBK
Innsbruck, Österreich



Toni Calabrese
Energieeffizientes Bauen / UIBK
Innsbruck, Österreich



Sanierung von Mehrfamilienhäusern mit vorgefertigten Holzfassaden mit integrierter Lüftung und Kleinst-Wärmepumpe

1. Einleitung und Motivation

Bei der Sanierung von Geschoßwohnbauten, welche häufig kleine Wohnungen mit sehr inhomogener Wärmeversorgung aufweisen (Gas-, Öl- oder Stückholz-Einzelöfen, Elektroboiler usw., vgl. EU-Projekt Sinfonia) zeigt sich, dass eine Gesamtanierung inklusive Umstellung auf zentrale Heizung und TWW-Versorgung mit z.B. Fernwärmeanschluss, Biomassekessel mit oder ohne Solarthermie oder Grundwasserwärmepumpe i.d.R. nicht möglich ist. Gerade für Wohnbauten mit kleinen Wohneinheiten scheiden auch am Markt verfügbare dezentrale Lösungen aus Platz- und Kostengründen häufig aus.

Ziel des Forschungsvorhabens SaLüH! war es, Wohnungsbaugesellschaften, Herstellern von Lüftungs- bzw. Heizungsgeräten sowie Planern Konzepte und Entwicklungsrichtungen für ein Gesamtpaket für die dezentrale (wohnungsweise) Lüftung, Heizung und TWW-Versorgung an die Hand zu geben, welches die kostengünstige und baulich einfache Umstellung auf effiziente Haustechnik im Rahmen der Sanierung auch schrittweise Wohnung für Wohnung ermöglicht, ohne die NutzerInnen in ihrem gewohnten Wohnumfeld einzuschränken. Ein abgestimmtes Gesamtpaket bestehend aus Wärmedämmung, Fenster, einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, sowie Heizung (und ggf. Kühlung) und Trinkwarmwasserversorgung wurde entwickelt, welches kostengünstig und mit minimalem Eingriff in der Wohnung umgesetzt werden kann. Es erfolgte eine simulationsgestützte Bewertung der Innenraumqualität, d.h. thermischer Komfort und Luftqualität, und der Energieeffizienz sowie eine Wirtschaftlichkeitsbewertung. Es wurden Funktionsmuster für eine kompakte Hybrid-Kleinst-Wärmepumpe für Lüftung, Heizung und Kühlung sowie eine kompakte Trinkwarmwasser-Wärmepumpe entwickelt optimiert und im Labor vermessen.

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Lüftungs-Heizungs-Wärmepumpe.

2. Stand des Wissens und Stand der Technik

Durch die luftdichte Bauweise von Passivhäusern ist eine mechanische Lüftung für Wohngebäude erforderlich. Die Lüftungstechnik im Passivhaus soll vier wesentliche Aufgaben erfüllen:

- a) Sicherstellen einer guten Raumluftqualität,
- b) Feuchteschutz,
- c) Minimierung der Lüftungswärmeverluste durch Wärmerückgewinnung und
- d) den Transport der nötigen Heizleistung über die Zuluft.

Aus bauphysikalischer und hygienischer Sicht ist Wärmerückgewinnung nicht erforderlich, jedoch ist durch die Verwendung einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung neben der Reduzierung der Wärmeverluste auch hoher thermischer Komfort garantiert. Die Zuluftheizung ermöglicht den Verzicht auf ein konventionelles Heizsystem und bietet damit ein großes Potential Kosten zu reduzieren. In einem Mehrfamilienhaus besteht die Möglichkeit, den Luftaustausch über eine zentrale mechanische Be- und Entlüftung sicherzustellen. Andererseits ist es aber auch möglich, die Wohnungen separat zu lüften. Dabei bleiben die verschiedenen Brandabschnitte getrennt. Der Wartungsaufwand erhöht sich jedoch, wenn zu Wartungszwecken Zugang zu den einzelnen Wohnungen nötig ist. Grundsätzlich gibt es mehrere Möglichkeiten, eine Wohnung mechanisch zu lüften, nämlich mittels:

- a) Abluftanlage (ohne Wärmerückgewinnung),
- b) dezentrale wohnungsweise Komfortlüftung,
- c) Einzelraumlüftung – Raumkombinationen,
- d) Pendellüfter.

Es gibt eine Vielzahl von nach dem PHI (Passivhausinstitut) zertifizierten Lüftungsgeräten mit Luftvolumenströmen unter 600 m³/h. Für die Anwendung in kleinen Wohnungen sind Volumenströme zwischen etwa 50 m³/h und 150 m³/h interessant.

Die Heizlastberechnung in Passivhäusern erfolgt i.d.R. nach dem PHPP-Verfahren. Als oberer Grenzwert für die Heizlast bei Passivhäusern gelten ca. 10 W/m². Eine personenbezogene Auslegung des Luftvolumenstroms mit 20 m³/h bis 30 m³/h und Person im Wohnbau sollte als Grundlage dienen. Im Optimierungsprozess der Gebäudehülle wird meist ein Zielwert des Heizwärmebedarfs von 15 kWh/(m² a) angestrebt. In der Praxis haben sich zwei wesentliche Grundtypen von Heizsystemen für Passivhäuser herausgebildet: Heizung mit Wärmepumpen und Wärmepumpenkompaktgeräten, sowie Heizung mit Biomassekesseln unterstützt durch Solaranlagen. Wärmepumpen-Kompaktgeräte stellen dabei eine der häufigsten Versorgungstechniken im Passivhaus dar. Benötigt werden für Passivhäuser Anlagen bzw. Wärmepumpen kleiner Leistung, im Bereich 1,5 bis 2,5 kW.

Die Idee eines einfachen kostengünstigen und kompakten Systems für dezentrale Lüftung, Heizung, Kühlung sowie ggf. Warmwasser ist so alt wie die Idee des Passivhauses selbst. Eine Vielzahl solcher (Wärmepumpen-) Kompaktgeräte wurde entwickelt und verschiedene Ausführungen sind bzw. waren am Markt erhältlich. Diese Lüftungs-Kompaktgeräte mit Wärmerückgewinnung beinhalten eine kleine Fortluftwärmepumpe für die Heizung und die Brauchwassererwärmung. Mit diesen können Passivhäuser vollständig mit Wärme und frischer Luft versorgt werden. Die grundlegende Idee hinter dieser Technik ist das Zusammenführen von Heizung, Warmwasser und Lüftung in einem Gerät mit optimal aufeinander abgestimmten Komponenten. Bei der Heiz- bzw. Wärmepumpenleistung können entsprechend grob zwei Klassen unterschieden werden: klassische Kompaktgeräte mit 1,4 kW bis um die 2 kW und «große» Kompaktgeräte mit 4 bis zu 13 kW bzw. 22 kW. Sowohl die Luftmengen (teilweise 200 bis 350 m³/h bzw. 500 bis 600 m³/h) als auch die Abmessungen der größeren Kompaktgeräte liegen mit etwa 2 m / 1 m / 0,6 m teilweise deutlich über dem, was unter kompakt vermutet werden würde, was teilweise auch an relativ großen Trinkwasserspeichern liegt. Die Luftmengen bewegen sich bei den meisten der zertifizierten Geräte in der Größenordnung von 50 bis 200 m³/h. Sowohl hinsichtlich der Kosten als auch der Effizienz (vgl. (Bettgenhäuser & Boermans, 2011), (Pehnt, 2009)) gibt es noch ein großes Verbesserungspotential. Eine weite Verbreitung finden diese Systeme derzeit hauptsächlich deswegen nicht, weil die Investitionskosten für die Anlagen, auch wegen der bisher geringen Stückzahlen, noch zu hoch sind.

Im für Passivhäuser benötigten Leistungsbereich verfügbar – und dies aufgrund der hohen Stückzahl zu geringen Preisen – sind sogenannte (Klima-) Splitgeräte. Im Gegensatz zu Fortluft-Wärmepumpen sind Split- bzw. Multisplitgeräte unabhängig von der Lüftung. Diese Außenluft-WP (in der Regel reversible Luft-Luft-Wärmepumpen mit getrenntem Kondensator und Verdampfer) arbeiten gebäudeseitig rein mit Umluft. Splitgeräte werden mittlerweile von nahezu allen namhaften Firmen mit durch die Invertertechnologie hoher Effizienz angeboten. Nachteilig sind die Geräuscentwicklung, die i.d.R. optisch wenig attraktiven Inneneinheiten und im Falle von Multisplit die relativ hohen Kosten. Ein weiterer Nachteil von Multisplitgeräten ist der relativ hohe Kältemittelbedarf. Splitgeräte werden primär von asiatischen Herstellern wie Daikin, Toshiba, Mitsubishi, LG, Panasonic u.v.m. angeboten, wobei auch europäische Firmen Geräte in ihr Portfolio aufgenommen haben (Stiebel-Eltron, Viessmann, etc.). Es gibt Splitgeräte bereits ab einer Heizleistung von 300 W (niedrigste Stufe) aber auch bis hin zu 8 kW. Die Schallleistungspegel dieser Geräte liegen je nach Betriebsmodus bei den Außeneinheiten in einer Bandbreite von 59 bis 70 dB(A) und bei den Inneneinheiten je nach Leistungsstufe zwischen 43 und 65 dB(A). Bei manchen Geräten liegt der Schalldruckpegel auf der niedrigsten Leistungsstufe bei nur 19 dB(A).

Bereits im EU-Projekt *iNSPiRe* konnte eine Fortluft-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von knapp 1 kW in Kombination mit einem Lüftungsgerät vollständig in eine vorgefertigte Holzfassade integriert und in einem Demo-Gebäude in Ludwigsburg (Deutschland) getestet werden. Diese Größenordnung der Heizleistung ist ausreichend für Sanierungen auf Passivhausstandard. Häufig kann dies jedoch nicht erreicht werden.

3. Referenzgebäude

Für das Projekt SaLüH! stand kein definiertes Gebäude für die Entwicklung eines Sanierungskonzepts zur Verfügung. Vielmehr wurde versucht ein generisches Objekt als Referenzgebäude zu definieren, um die im Rahmen des Projekts entwickelten Lösungen in möglichst vielen Situationen (räumlich, geografisch, gesetzlich) anwenden zu können. Abbildung 1 zeigt das erstellte Referenzgebäude, ein typisches mehrgeschossiges Wohnhaus (MFH) in Innsbruck mit zehn Wohnungen (zwei symmetrische Wohnungen pro Etage). Die untersuchte Wohnung (Wohnnutzfläche 70,8 m²) besteht aus sechs Zonen: Küche (KÜ), Schlafzimmer (SZ), Korridor (Flur) (KO), Bad (BA), Kinderzimmer (KZ) und Wohnzimmer (WZ). Dieses Gebäude wurde auf Basis von typischen Wohnungsgrundrissen bzw. Gebäudetopologien des EU-Projekts Sinfonia (in dem großflächig in Innsbruck und Bozen Sanierungslösungen umgesetzt werden) entwickelt. Der Grundriss des Gebäudes kam zuvor bereits beim «Component Award 2016» des Passivhausinstituts (Passivhausinstitut, 2018) zur Anwendung.

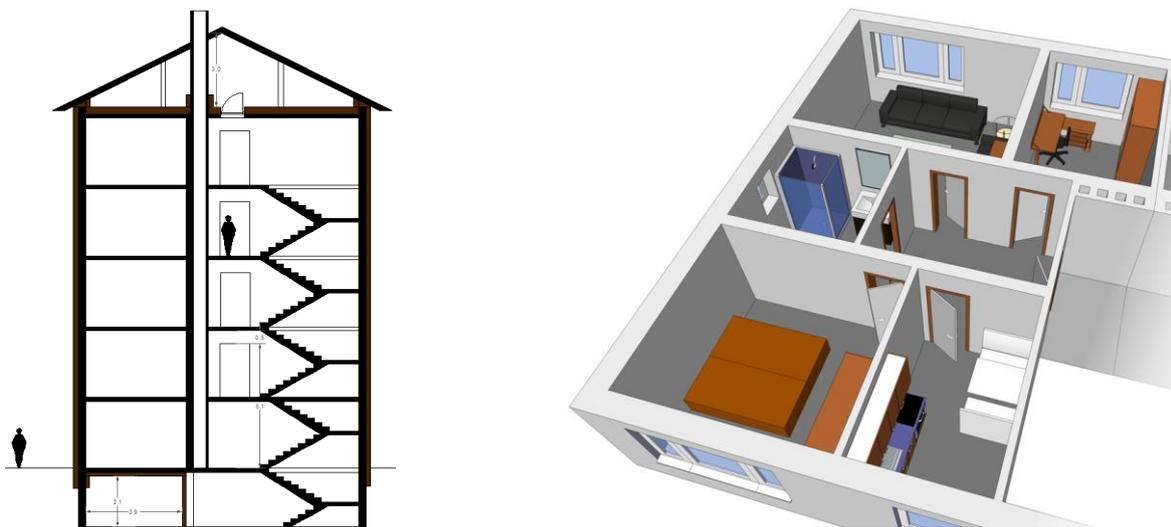


Abbildung 1: Mehrfamilienhaus Schnitt (links) (in Anlehnung an (Passivhausinstitut, 2018)), 3D Ansicht einer Wohnung (Wohnnutzfläche 70,8 m²) mit sechs Räumen (rechts)

Tabelle 1: Eckdaten Referenzgebäude und Referenzhaustechnik

Anzahl der Wohnungen	10
Energiebezugsfläche	732 m ² , 70,8 m ² pro Wohnung
Heizwärmebedarf	28,4 kWh/(m ² .a)
Energieerzeuger	Außenluftwärmepumpe für Heizung und WW
Ergebnisse (Simulation bzw. PHPP Berechnung) für 10 Wohnungen	
Wärme von der zentralen Versorgung inkl. Verteilverluste	
- für Trinkwarmwasser	32,3 MWh/a
- für Heizung	21,7 MWh/a

4. Konzept

Die im Rahmen des Projekts gegebenen Wohnungssituationen, also kleine Wohnungen ohne zentrale Heizungs- und Warmwasserbereitung, ist das Platzangebot für neue effiziente und kostengünstige Heizungs- und Lüftungstechnik sehr begrenzt.

Es wurden verschiedene Konzepte für die Bereitstellung der Heizwärme mittels Lüftungsheizungs-wärmepumpe (Fortluftwärmepumpe) und des Trinkwarmwassers mit einer separaten Trinkwasserwärmepumpe (TWW-WP) ausgearbeitet.

Für die Lüftungsheizungs-wärmepumpe hat es sich als vorteilhaft erwiesen das Gerät in eine Innen- und eine Außeneinheit aufzutrennen (siehe Abbildung 2). Die Hauptursache ist, dass sich eine vollständige Fassadenintegration (mit den vorliegenden Randbedingungen) als nicht realisierbar herausgestellt hat. Diese wäre nur durch die Entwicklung neuer Komponenten (konkret Miniaturisierung von Verdampfer und Kondensator durch den Einsatz neuer Materialien) möglich.

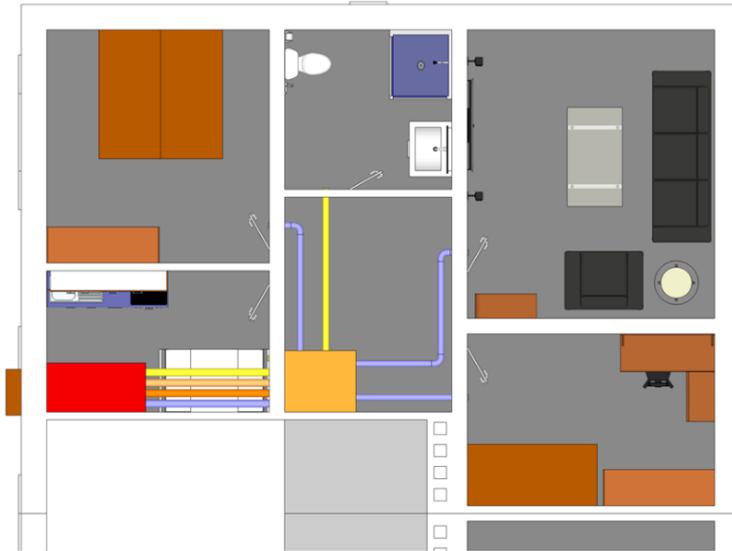


Abbildung 2: Schema des Konzepts der Lüftungs-Heizungs-WP und Grundriss der Wohnung mit Anordnung der Komponenten (Außen- und Inneneinheit sowie Luft-Verteilung) (Siegele, 2019)

Das Innengerät (siehe Abbildung 3) wird als Deckengerät ausgeführt und enthält die notwendigen Ventilatoren für das Lüftungsgerät und den Wärme- bzw. Enthalpieübertrager. Zudem sind die Kondensatoren der Wärmepumpe im Zuluft- bzw. Sekundärluftstrom positioniert. Zusätzlich sind die Außenluft- und Fortluft-Schalldämpfer bereits integriert.

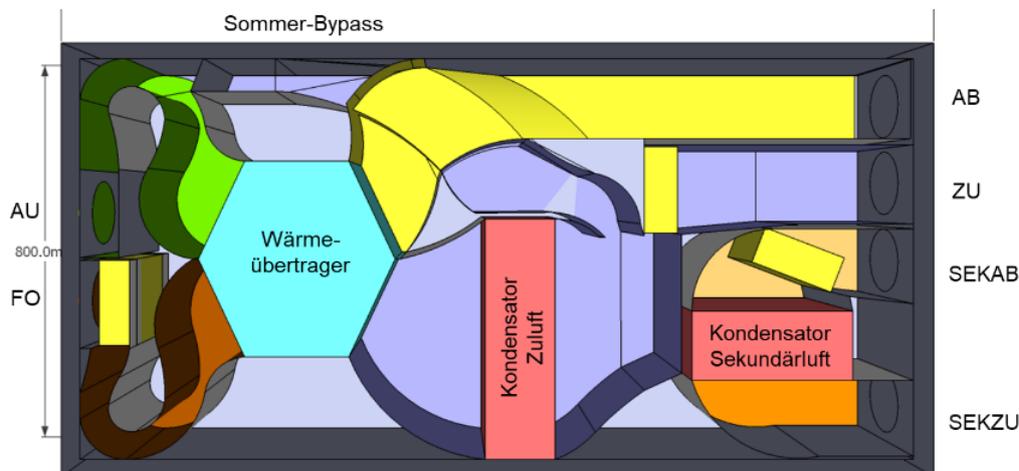


Abbildung 3: Schematischer Aufbau der Inneneinheit (Siegele, 2019)

Die Außeneinheit enthält den Kompressor und den Verdampfer. Der Verdampfer verwendet als Quellen den Fortluftvolumenstrom und zusätzlich wird bei erhöhten Heizleistungsanforderungen Außenluft beigemischt. Um die Heizleistung über die Luft zuführen zu

können, wird neben dem hygienischen Luftwechsel auch Sekundärluft verwendet. Beide Luftströme können über je einen Kondensator aufgeheizt werden. Die Sekundärluft wird ausschließlich dem Gang bzw. Korridor entnommen und aufgeheizt wieder zugeführt. Dies ermöglicht es ohne Einbußen bei der Raumluftqualität, wie mit einem zusätzlichen Fan Coil, in den Flur zusätzlich Heizleistung einzubringen.

Der hygienische Luftwechsel des Geräts beträgt $100 \text{ m}^3/\text{h}$, der Luftwechsel der Sekundärluft max. $100 \text{ m}^3/\text{h}$ und dem Verdampfer können bis zu $250 \text{ m}^3/\text{h}$ Außenluft zugeführt werden.

5. Entwicklung und Vermessung der Funktionsmuster

Es wurden zwei Funktionsmuster der Lüftungs-Heizungs-WP mit verschiedenen Kompressoren mit unterschiedlichen Leistungsgrößen durch den Industriepartner *SIKO Energiesysteme* ausgeführt und im Kompaktgeräteprüfstand der Universität Innsbruck (UIBK) vermessen. Es liegen Messwerte für jeweils ein Funktionsmuster mit einer Design-Heizlast von ca. 2500 W und ca. 1400 W vor, welche den Bereich EnerPHit-Sanierung bzw. der Sanierung zum Passivhausstandard abdecken. Abbildung 4 zeigt das Funktionsmuster im Labor der UIBK.



Abbildung 4: (links) Außeneinheit beim Einbau, (rechts) Gesamtaufbau Funktionsmuster mit Innen- und Außeneinheit im Kompaktgeräteprüfstand der UIBK (Siko Energiesysteme)

Für das Funktionsmuster kommt ein Feuchteübertrager der Firma *Paul Wärmerückgewinnung GmbH* zum Einsatz. Im Vorfeld wurde dieser Feuchteübertrager (und auch der Wärmeübertrager in der gleichen Baugröße) im Lüftungs- und Kompaktgeräteprüfstand der Universität Innsbruck ausführlich vermessen. Aus diesen Messdaten konnte dann ein physikalisches Wärme- und Feuchteübertragermodell abgeleitet werden.

Im Rahmen des Projekts wurden Vermessungen der Komponenten und des Funktionsmusters der Heizungswärmepumpe durchgeführt. Ebenso wurden die Parametrierung und Validierung der entwickelten Simulationsmodelle durchgeführt. Eine Übersicht der im Labor ermittelten Leistungsdaten gibt Tabelle 2. Tabelle 2: Übersicht über die Leistungs-Daten der Lüftungs-Heizungswärmepumpe

Parameter	Variante 2500 W	Variante 1400 W
Wärmebereitstellungsgrad zuluftseitig (100 m ³ /h)	82,6 %	82,6 %
Wärmebereitstellungsgrad fortluftseitig (100 m ³ /h)	70,2 %	70,2 %
Feuchterückzahl (100 m ³ /h)	59,3 %	59,3 %
Ventilator-Strombedarf (100 m ³ /h, 100 Pa)	40,4 W	40,4 W
Maximale Heizleistung mit Sekundärluft (+2 °C)	1922 W	1076 W
COP bei maximaler Heizleistung mit Sekundärluft (+2 °C)	1,4 W/W	2,2 W/W
Minimale Heizleistung mit Sekundärluft (+2 °C)	556 W	319 W
COP bei minimaler Heizleistung mit Sekundärluft (+2 °C)	2,6 W/W	4,3 W/W
JAZ bei einer Design-Heizlast von 2 kW inkl. Nachheizung	1,9 W/W	2,0 W/W
JAZ bei einer Design-Heizlast von 2 kW ohne Nachheizung	1,9 W/W	2,8 W/W

6. Fassadenintegration

Ein wesentliches Hindernis für den Einsatz effizienter Technologien in der Sanierung ist Verfügbarkeit von Raum. Entsprechend wurden im Rahmen des Projekts Konzepte ausgearbeitet, wie die Geräte platzsparend im Gebäude untergebracht werden können. Dabei wurde sowohl die (teilweise) Integration in eine Holzleichtbau-Vorhangfassade als auch die Integration im Brüstungsbereich unterhalb eines Fensters betrachtet.

Für die Heizungs-Lüftungswärmepumpe wurde ein Funktionsmuster gebaut und in ein Testmodul einer Holzleichtbau-Vorhangfassade integriert, siehe Abbildung 5.

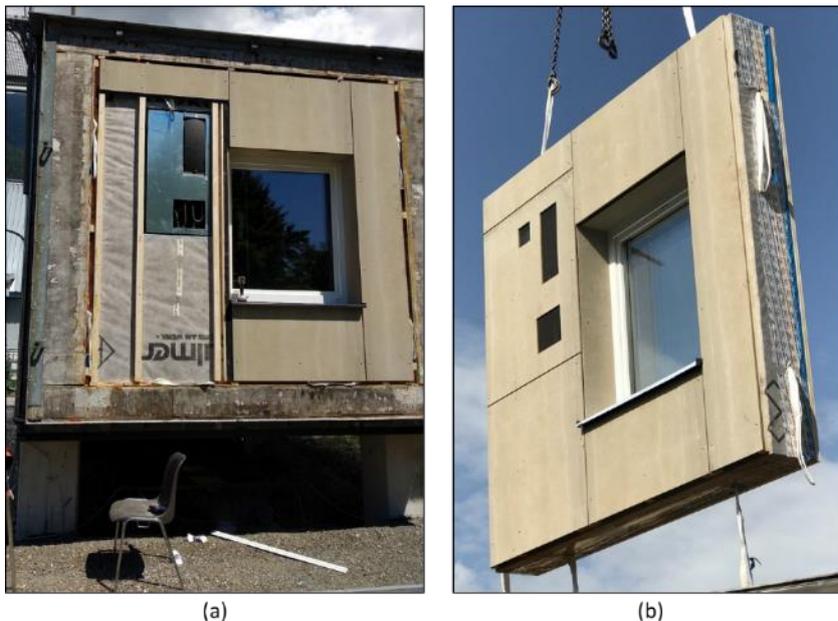


Abbildung 5: (a) Funktionsmuster einer vorgefertigten Holzfassade mit integrierter Außeneinheit der Heizungs-Lüftungs-Wärmepumpe in der PASSYS Testzelle der UIBK und (b) während der Installation des Fassadenelements (Holzbau Kulmer)

Das Funktionsmuster ist von seiner Geometrie auf eine Vorhangfassade abgestimmt indem die Breite der Einheit genau zwischen zwei Holzsteher passt. Die Komponenten wurden dazu in verschiedenen Ebenen angeordnet. Eine Integration derselben Einheit im Brüstungsbereich ist wegen der erforderlichen Bauhöhe daher nicht möglich. Dazu müssten konstruktiv andere Lösungen gefunden werden, die in diesem Projekt aber nicht weiter behandelt wurden. Nachteilig wären dabei die notwendigen Luftdurchführungen durch ein vorgesetztes Wärmedämmverbundsystem.

Der Aufbau der Testfassade ist in Abbildung 6 dargestellt. Die vorgefertigte Fassade besteht aus einem Holzrahmen, einer Holzplatte, die die Mineralwoll-Wärmedämmung innen und außen abdeckt, und einer zementgebundenen Spanplattenverkleidung. Hinter der Außeneinheit wird eine leistungsstärkere Dämmplatte verwendet, damit trotz geringerer Dämmstärke keine kritischen Temperaturbedingungen auftreten. Außerdem ist auf der Innenseite eine dampfbremsende und luftdichte Membran und auf der Außenseite eine

winddichte Membran eingebaut. Die Testfassade ist entsprechend Maße der PASSYS-Testzelle 273 cm breit, 273 cm hoch und 31 cm dick.

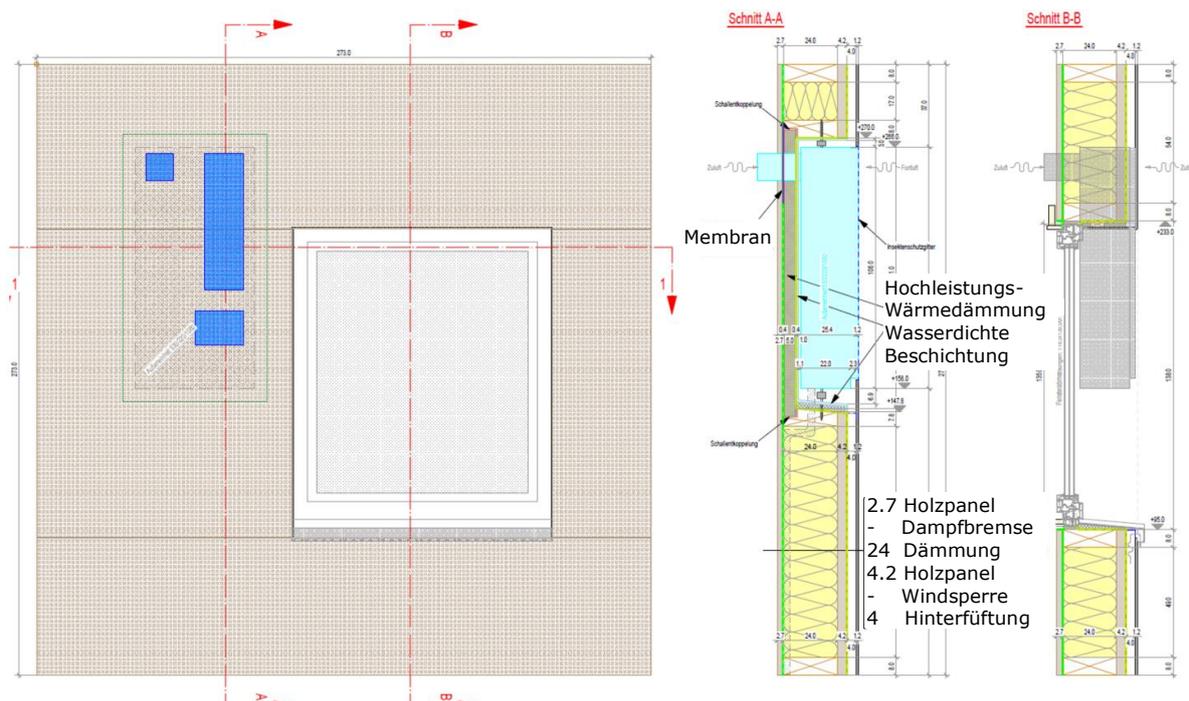


Abbildung 6: Aufbau der Testfassade mit integrierter Außeneinheit (Holzbau Kulmer)

7. Simulationsergebnisse

Im Rahmen der Simulationsstudie innerhalb des Projekts SaLÜH! wurden vier verschiedene Konzepte zur dezentralen Beheizung und Belüftung von Kleinwohnungen für die Sanierung von Mehrfamilienhäusern (MFH) untersucht. Der thermische Komfort (d.h. Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) und die Raumluftqualität (IAQ) in einer Wohnung der MFH wurden durch dynamische Gebäude- und Systemsimulationen in MATLAB Simulink mit dem CARNOT Blockset analysiert. Darüber hinaus wurde der Einfluss relevanter Parameter (d.h. des genutzten Gebäudes, der Planung und des Betriebs der Heizungs- und Lüftungsanlage) auf die Simulationsergebnisse mittels einer parametrischen Studie analysiert.

Als Simulationsobjekt wurde das Referenzgebäude (siehe Abschnitt oben) herangezogen. Die im Abschnitt Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe mit Sekundärluftzirkulation (nachfolgend «System D» genannt) wurde mit verschiedenen Lösungen für eine störungsarme Renovierung einer Wohnung verglichen:

- «System A»: raumweise Elektroheizkörper (kostengünstig in der Installation, hohe Betriebskosten)
- «System B»: Split-Wärmepumpe, Inneinheit im Korridor angebracht (Verbesserung der Effizienz im Vergleich zu System A)
- «System C»: Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe in Kombination mit einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung (ohne Sekundärluft).

Das untersuchte Heizkonzept (d.h. Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe mit Sekundärluftzirkulation) kann, wie Abbildung 7 zeigt, einen guten thermischen Komfort und eine gute Raumluftqualität (IAQ) in der Wohnung gewährleisten. Im Vergleich zum System mit der Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe (z.B. "System C" in Abbildung 8) kann eine Überhitzung der Zulufräume begrenzt und eine gute Durchschnittstemperatur in allen Räumen der Wohnung gewährleistet werden.

So können mit dem vorgeschlagenen System eine höhere Heizleistung, gute Effizienz und flexible Regelung der Raumtemperatur, aber auch hoher Komfort und IAQ erreicht werden.

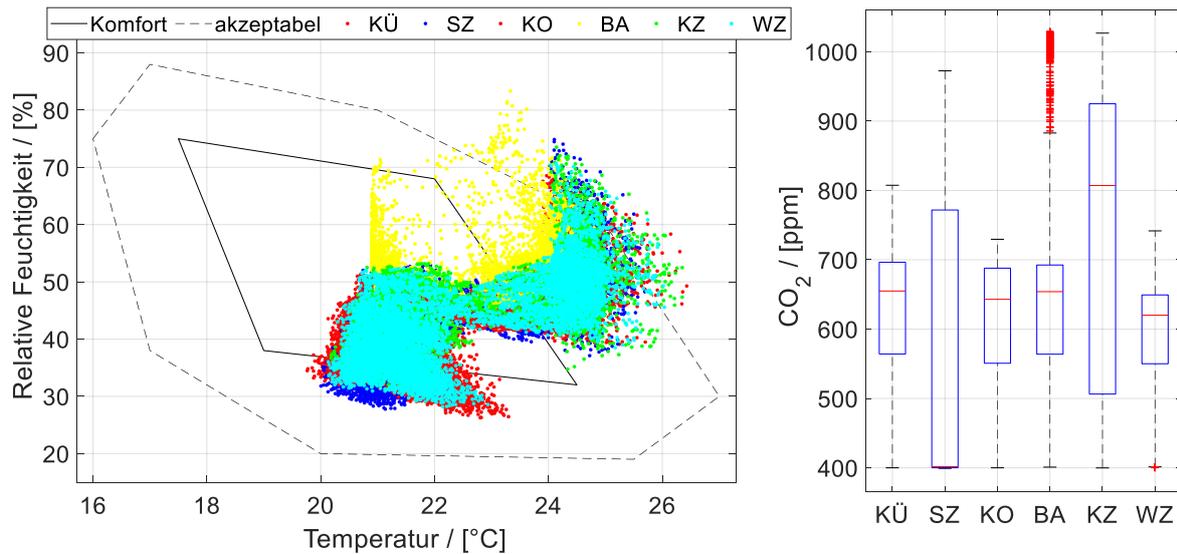


Abbildung 7: Stundenwerte der relativen Feuchte vs. Temperatur für jeden Raum der Wohnung (links) und Box-Plot der CO₂-Konzentration (rechts) bei Berücksichtigung der Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe mit Sekundärluftzirkulation - KÜ: Küche, SZ: Schlafzimmer, KO: Korridor (Flur), BA: Bad, KZ: Kinderzimmer, WZ: Wohnzimmer

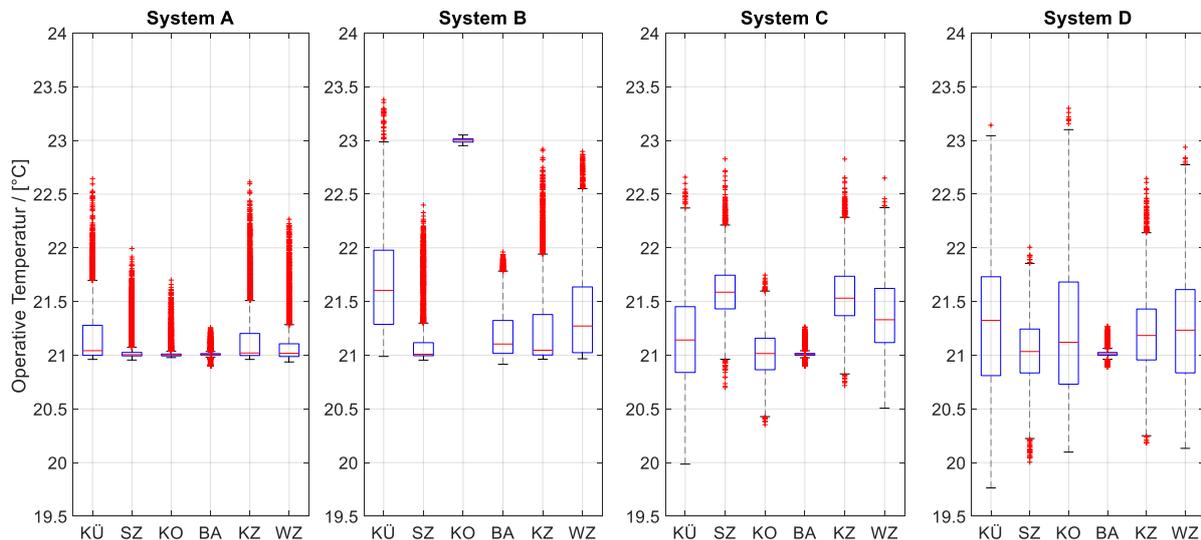


Abbildung 8: Raumtemperatur während der Heizperiode für jeden Raum der Wohnung für die vier analysierten Heizsysteme (d.h. raumweise elektrische Heizkörper (A), Splitgerät mit Inneneinheit im Korridor (B), Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe (C) und Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe mit Sekundärluft (D))

Wie in den Abschnitten oben bereits ausführlich vorgestellt, ist die Heizungswärmepumpe mit zwei Wärmeübertragern, einem Kondensator und einem Enthitzer ausgestattet. Die Sekundärluft, die aus dem Korridor bzw. Flur der Wohnung kommt, wird durch den Enthitzer erwärmt und wieder in den Flur eingebracht. Der Einsatz von zwei Wärmeübertragern mit zwei getrennten Luftströmen fügt dem System einen neuen Freiheitsgrad für die Regelung hinzu, der es ermöglicht, Heizenergie nur mit der Zuluft (d.h. mit dem Kondensator) oder mit Zu- und Sekundärluft (d.h. mit Kondensator und dem Enthitzer) einzubringen.

Dieses neue Konzept (d.h. System «D») wurde mit anderen drei möglichen Sanierungslösungen bezüglich der Effizienz verglichen.

System «C» und System «D» weisen deutlich bessere Ergebnisse auf als die beiden anderen Heizkonzepte (vergleiche Abbildung 9). Die Energieeffizienz der Systeme «C» und «D» ist bei Heizlasten kleiner als 1,2 kW vergleichbar, aber das System D kann auch bis zu 2,5 kW einen besseren thermischen Komfort in der Wohnung gewährleisten.

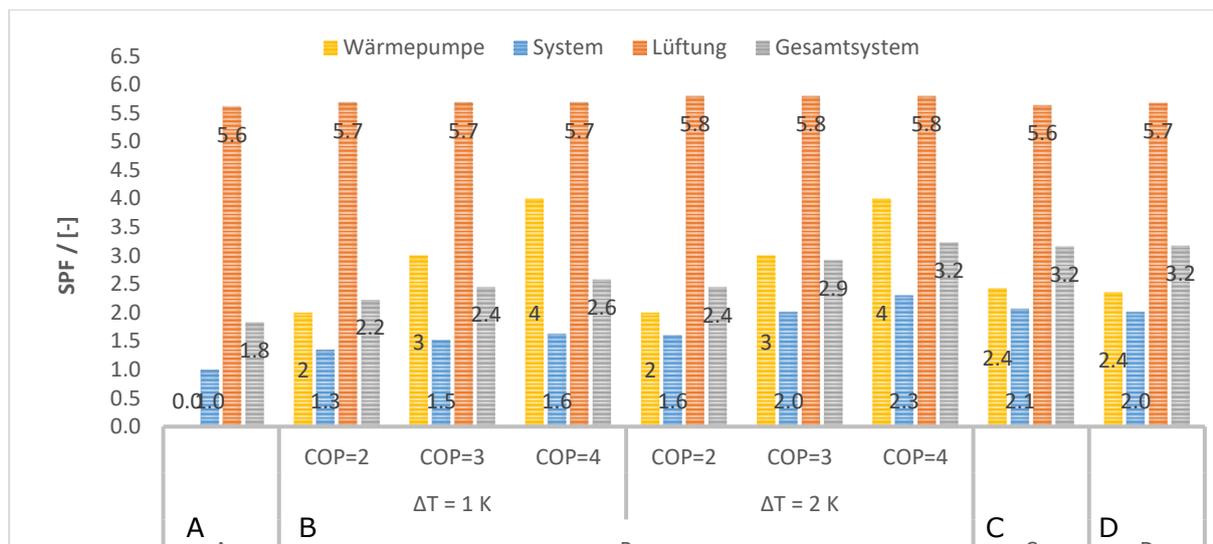


Abbildung 9: Jahresarbeitszahlen (SPF) für die vier untersuchten Heizsysteme. Für die Split-Wärmepumpe (d.h. System «B») werden SPF für unterschiedliche Überhitzungen des Korridors (ΔT , Überhitzung des Korridors im Vergleich zu den anderen Räumen der Wohnung) und unterschiedliche Leistungszahlen (COP) der Split-Wärmepumpe angenommen.

8. Wirtschaftlichkeit

Das Sanierungskonzept basierend auf den beiden im Rahmen des Projekts SaLüH! entwickelten Wärmepumpen (Lüftungs-Heizungswärmepumpe und Trinkwarmwasser-Wärmepumpe) bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu einem Referenzsystem bewertet. Mithilfe der am Projekt beteiligten Industriepartner wurden realistische Kosten für das Referenzsystem sowie die jeweils benötigte Verrohrung, weiteres Zubehör, Installation, Inbetriebnahme und Wartung abgeschätzt. Alle Kosten sind Bruttoangaben und enthalten. In einem zweiten Schritt wurden dann die Grenzkosten bestimmt, unter denen die dezentralen Wärmepumpen liegen müssten, um wirtschaftlich konkurrenzfähig mit dem Referenzsystem zu sein.

Anmerkung: Es wurde zwar für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ein zentrales Referenzsystem angesetzt, jedoch soll das vorgeschlagene Konzept nur dann zum Einsatz kommen, wenn eine zentrale Lösung aus diversen Gründen nicht möglich ist. Der Vergleich mit einem zentralen System ist dennoch lehrreich und erforderlich.

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung wurde mit der Kapitalwertmethode durchgeführt. Dabei werden alle Kosten, die zu späteren Zeitpunkten anfallen, auf den Investitionszeitpunkt abgezinst (Strompreissteigerung 0,5 %, Kapitalzinsen 2,0 % Inflationsrate 1,0 %). Bei der Analyse wurden die Investitionskosten und ggf. Reinvestitionen sowie Betriebskosten inklusive Wartungskosten berücksichtigt. Die Betriebskosten für das zentrale Referenzsystem und für die dezentralen Wärmepumpen wurden jeweils mit dem PHPP unter Berücksichtigung von Speicher und Leistungsverlusten und mit durch Simulationen überprüften Effizienz der Wärmepumpen ermittelt.

Das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist, dass die Geräte bei den aktuellen Stromkosten in Österreich etwa 9.000 EUR inklusive Montage und Umsatzsteuer kosten dürfen, um wirtschaftlich konkurrenzfähig zu sein (also z.B. 6.000 EUR für die Lüftungs-Heizungs-Wärmepumpe und 3.000 EUR für die Trinkwarmwasserwärmepumpe). In Deutschland dürfen die Kosten wegen der höheren Strompreise (derzeit 30 Eurocent in Deutschland statt 18 Eurocent in AT) bei etwa 10.000 EUR liegen. Es erscheint realistisch, dass bei einer breiten Markteinführung, solche Gerätepreise erreicht werden. Durch die kompakte Bauweise können beide Geräte äußerst platzsparend in die Fassade oder ins Gebäude integriert werden (z.B. die Heizungs-Lüftungs-WP in der Küche als Deckengerät und der Außenteil in die Fassade integriert und die TWW-WP in der Fensterbrüstung im Bad) und damit in nahezu jeder hochwertig sanierten Wohnung zur Anwendung kommen.

9. Schlussfolgerungen und Ausblick

Das SaLüH!-Konzept – der Einsatz von dezentralen Kleinst-Wärmepumpen für Heizung (kombiniert mit der Lüftungsanlage) und für Trinkwarmwasser in der Sanierung von mehrgeschossigen Wohnbauten – wurde mittels Simulationsstudien überprüft und bewertet. Es konnten dabei drei sich ergänzende technische Lösungsansätze erarbeitet und als Funktionsmuster umgesetzt werden:

- Lüftungs-Heizungs-Wärmepumpe (Schwerpunkt in diesem Beitrag)
- Kompakte Trinkwarmwasser-Wärmepumpe mit Speicher
- Aktive Überströmer

Diese Funktionsmuster wurden anschließend im Labor getestet und bewertet. In umfangreichen Simulationsstudien, mit durch Messungen parametrisierten Modellen, wurden diese unter verschiedenen Randbedingungen (virtuell) getestet, optimiert und bewertet. Damit stehen theoretisch Lösungen für die wohnungsweise Sanierung zur Verfügung. Diese sollen insbesondere dann zum Einsatz kommen können, wenn eine zentrale Sanierung oder Nachrüstung der Heizungs- und Lüftungsanlage nicht möglich ist oder ein ökonomischer Vorteil erwartet wird. Damit kann zukünftig ein Einsatz von E-Boilern und E-Heizungen, mit entsprechend ineffizientem Einsatz von Strom, oder von Gas-Boilern vermieden oder zumindest reduziert werden. Es können ausgezeichnete Luftqualität und hoher thermischer Komfort erreicht werden, wie durch die umfangreichen Simulationsstudien gezeigt werden konnte.

Praktisch müssen die Technologien zu marktreifen Produkten weiterentwickelt werden und sich am Markt durchsetzen. Dies hängt maßgeblich von den wirtschaftlichen und politischen Randbedingungen (Energiepreis, Förderung, Ausstieg aus Gas, etc.) ab. Generell lässt sich schlussfolgern, dass Lösungen für die Heizung und Warmwasserbereitung im Mehrgeschosswohnungsbau auf Basis von dezentralen Kleinst-Wärmepumpen in Kombination mit einem Lüftungsgerät vielversprechend sind, jedoch bei den derzeitigen Randbedingungen (v.a. Energiepreisen) ein wirtschaftlicher Einsatz kaum möglich ist.

Es konnte bei der Entwicklung der Lüftungs-Heizungs-Wärmepumpe auf Erfahrungen des kurz vor Projektstarts abgeschlossenen EU-Projekts iNSPiRe zurückgegriffen werden, in dem ein Funktionsmuster einer Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe in eine vorgefertigte Holzfassade integriert wurde. Dieses Funktionsmuster wurde im Labor der UIBK sowie in einem Demogebäude (Mehrfamilienhaus in Ludwigsburg, Deutschland) getestet und vermessen. Das Ziel in SaLüH! war die Verbesserung der Effizienz und v.a. die Steigerung der Leistung der Wärmepumpe von unter 1 kW auf für die Sanierung notwendigen 2,5 kW. Dafür sollte zusätzlich Umluft (Sekundärluft) für die Wärmeabgabe als auch zusätzliche Außenluft als Wärmequelle verwendet werden.

Die Funktionsmuster wurden detailliert im Labor vermessen. Die Vermessung der Lüftungs-Heizungs-Wärmepumpe erfolgte im Kompaktgeräte-Prüfstand der UIBK, welcher für SaLüH! angepasst und erweitert wurde. Es erfolgte zunächst die Vermessung der Komponenten (Wärmeübertrager, Feuchteübertrager, Verdampfer, Kondensator, Kompressor, Inverter und Ventilatoren) und dann die Vermessung des Gesamtsystems. Für alle Komponenten wurden Simulationsmodelle erstellt.

Enthalpieübertragern werden mehr und mehr nachgefragt, um dem Problem der zu trockenen Luft bei kalten Außenlufttemperaturen im Winter entgegenzuwirken. Außerdem wird durch die Verwendung eines Enthalpieübertragers Kondensatbildung im Wärmeübertrager vermieden bzw. zumindest deutlich reduziert, wodurch die Möglichkeit entsteht, das Gerät als deckenhängendes Gerät auszuführen. Der Einfluss der Feuchteübertragung auf die Effizienz bei einer Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe wurde im Rahmen des Projekts SaLüH! erstmals systematisch untersucht.

Die Integration der Komponenten (vollständig oder zumindest teilweise) in die Fassade war ein weiterer Aspekt des Projekts SaLüH!. Fassadenintegration verspricht einen breiteren Einsatz, z.B. auch in Gebäuden mit sehr kleinen Wohnungen, in denen kein Platz für die Heizungstechnik vorhanden ist. Innerhalb des Projektes SaLüH! wurde auf Konzeptebene die Heizungswärmepumpe und die Kleinst-Trinkwarmwasserwärmepumpe jeweils in eine vorgefertigte Holzfassade, als auch in die Bestandswand integriert. Es zeigte sich,

dass zum einen das benötigte Volumen des Gerätes für solch eine Leistung (2,5 kW) und damit verbunden relativ hohen Volumenstrom (100 m³/h hygienischer Luftwechsel und 100 m³/h Sekundärluft-Zirkulation) auch bei maximal möglicher Kompaktheit so groß ist, dass eine vollständige Integration nur bei Modularer Bauweise möglich ist und zum anderen, dass die Rohrführung bei Integration in die Bestandswand (Fensterbrüstung) schwierig ist. Entsprechend wurde schwerpunktmäßig an der Integration der Heizungswärmepumpe in eine vorgefertigte Holzfassade gearbeitet.

Ein Funktionsmuster der Außeneinheit der Lüftungs-Heizungswärmepumpe wurde in einer Holzrahmen-Fassade integriert im Außenlabor (PASSYS Testzelle der UIBK) montiert und erfolgreich getestet. Die Fassade wurde mit im Werk bereits vollständig integrierter Außeneinheit der Lüftungs-Heizungswärmepumpe geliefert. Es wurden praktische Aspekte der Handhabbarkeit und Installation getestet sowie bauphysikalische Messungen (Schallemissionen, Kondensatvermeidung) durchgeführt. Die Messergebnisse wurden zudem verwendet um thermische (3D) und hygrothermische Modelle (2D) zu parametrieren. Damit können diese Modelle bzw. Simulationswerkzeuge zuverlässiger für zukünftige Planungen eingesetzt werden.

Danksagung

Die hier präsentierten Ergebnisse sind Teil des Forschungsprojekts «SaLÜH! Sanierung von MFH mit kleinen Wohnungen - Kostengünstige technische Lösungsansätze für Lüftung, Heizung und Warmwasser» (2015-2018). Förderprogramm Stadt der Zukunft, FFG, Projektnr.: 850085. Stadt der Zukunft ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Literaturverzeichnis

Bettgenhäuser, K., & Boermans, T. (2011). *Umweltwirkung von Heizungssystemen in Deutschland - ein Vergleich*. Köln: Umweltbundesamt.

Passivhausinstitut. (07. 12 2018). *Passivhausinstitut Component Award 2016*. Von https://passiv.de/de/08_award/01_component_award/01_component_award_2016.html abgerufen

Pehnt, M. (2009). *Energiebalance - Optimale Systemlösungen für erneuerbare Energien und Energieeffizienz*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Sibille, E. (2015). *Optimized Integration of Ventilation with Heat Recovery in Residential Buildings through the Implementation of innovative Air Distribution Strategies and Pre-fabricated Components*. *Dissertation*. Innsbruck.

Siegele, D. (2019). *Optimization and Appliance of small Air Exhaust Heat Pumps with Focus on Alpine Regions*. *Disseration*.

Wetter, M. (2011). Co-Simulation of building energy and control systems with the Building Controls Virtual Test Bed. *Journal of Building Performance Simulation*(4), S. 185-203.