

2.3 Modellvorhaben Lerchenstraße in Wolfurt

Tobias Hatt

2.3.1 Projektbeschreibung

Als Nachfolgeprojekt baut das Wohnbauforschungsprojekt Wolfurt-Lerchenstrasse auf die im Modellvorhaben KliNaWo (Kapitel 2.1) erzielten Erkenntnisse auf.

Im Rahmen des Projekts wurden zwei architektonisch sehr ähnliche Gebäude in unterschiedlichen Konstruktionsarten - Holzbau mit Holzfassade und Massivbau mit WDVS - errichtet. Der Schwerpunkt des Forschungsprojekts lag auf der vergleichenden Untersuchung von 32 Wärmeversorgungs- und Solarsystemen und der nachfolgenden energetisch-wirtschaftlichen Optimierung der zwei ausgewählten, kostenoptimalen Varianten, welche schließlich 2018-2019 gebaut wurden. In beiden Gebäuden wurden durch die gemeinnützige Bauvereinigung Wohnbauselbsthilfe sowie die Rhomberg Bau GmbH gemeinnützige Miet- und Mietkaufwohnungen sowie Eigentumswohnungen angeboten. Die Gebäude werden seit Fertigstellung Ende 2019 messtechnisch begleitet (Hatt und Sigg 2017).



Abbildung 1: Mehrfamilienhäuser in Wolfurt. Vorne Haus (A) Holzbau, PV-Anlage, E+4, 18 Wohnungen. Hinten Haus (B) Massivbau, Solarthermie, E+3, 15 Wohnungen; Foto: Weissengruber

Tabelle 1: Gebäudekennndaten

Ort / Seehöhe / Mitteltemperatur Okt-März	Wolfurt	416 m	3,41 °C
Flächen (Haus B in Klammer)	BGF: 1.779 m ² (1.495 m ²)	WNF: 1.297 m ² (1.113 m ²)	PHPP: 1.462 m ² (1.254 m ²)
Überbaute Fläche (PHPP)	443 m ² (390 m ²)		
Anzahl Geschosse und Wohneinheiten	E + 4 (E + 3), unterkellert		18 (15)
Verhältnis A/V und Verhältnis A/EBF	0,37 (0,39)		1,36 (1,44)
Anzahl Bewohner und Pro-Kopf-Wohnfläche	44 (39) ± 5		29,4 m ² /Pers. (28,5)
Bauherr	Wohnbauselbsthilfe Vorarlberger gemeinnützige Gen.m.b.H. + Rhomberg Bau GmbH		
Planung	Architektur: Schnetzer Kreuzer, Bregenz HSL: Planungsteam E-Plus, Egg		

Das vom Energieinstitut Vorarlberg konzipierte und geleitete Modellvorhaben zur energetischen Optimierung der Wärmeversorgung und zum Vergleich der zwei kostenoptimalen Systeme wurde als Wohnbauforschungsprojekt vom Land Vorarlberg gefördert.

2.3.2 Konstruktion

Beide Baukörper wurden im gleichen energetischen Niveau (Passivhaus) in unterschiedlichen Konstruktionsarten ausgeführt: Haus A wurde als Holzbau mit Außenwänden in Holzrahmenbauweise und Decken in Holz-Massivbauweise errichtet, Haus B konventionell als Ziegelbau mit Wärmedämmverbundsystem aus EPS.

Die Rhomberg Bau GmbH hat in einer eigenen Studie an den beiden Baukörpern folgendes verglichen (Rhomberg 2020):

- › Untersuchung der unterschiedlichen Bauzeiten
- › Untersuchung der unterschiedlichen Qualitäten
- › Untersuchung der nötigen Bauteildimensionen
- › Untersuchung der Errichtungskosten der unterschiedlichen Bauarten
- › Untersuchung der Kaufentscheidung der Kunden bezogen auf die Bauart
- › Untersuchung und Auswertung verschiedener Haustechniksysteme
- › Vergleich der Bauarten in Bezug auf die CO₂-Emissionen zur Herstellung

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass der Holzbau unter anderem Vorteile in der Bauzeit hat, der Massivbau aber geringfügig kostengünstiger abschneidet. Dieser Kostenvorteil liegt aber größtenteils in der unterschiedlichen Ausführung der Fassade begründet: Würde der Holzbau mit WDVS Fassade oder der Massivbau mit Holzfassade ausgeführt, so hätte der Holzbau zumindest bei der Geschossigkeit E+2 gegenüber dem Massivbau einen kostenmäßigen Vorteil.

Die Fenster wurden mit Holz-Alu-Rahmen IV 90 mit einer guten, marktverfügbaren dreifach-Wärmeschutzverglasung ausgeführt. Der Fenster U-Wert liegt im Durchschnitt über alle Fenster bei 0,89 W/(m²K). Der Fensterflächenanteil wurde auf Basis dynamischer Gebäudesimulationen gegenüber dem ursprünglichen Entwurf leicht reduziert, um die sommerliche Behaglichkeit auch bei zukünftigem Klima ohne Kühlung gewährleisten zu können. Er liegt bei 20,5 % (Haus A) bzw. 21,6 % (Haus B) der PHPP-Energiebezugsfläche.

Der Wärmebrückenzuschlag wurde in Anlehnung an das Projekt KliNaWo abgeschätzt. Der weit überwiegende Teil der Wärmebrücken entsteht sowohl beim Holz- als auch beim Massivbau am Übergang vom Keller zum Erdgeschoss. Die Luftdichtheit n₅₀ liegt im Bereich von 0,39 bis 0,55 h⁻¹ und damit knapp unter dem Passivhaus-Grenzwert.

Tabelle 2: Energierelevante Kennwerte der Gebäudehülle

		Haus A (Holz)	Haus B (Massiv + WDVS)
U-Wert Außenwand	W/(m ² K)	0,110	0,102
U-Wert Flachdach	W/(m ² K)	0,070	0,076
U-Wert Kellerdecke (nicht konditioniert)	W/(m ² K)	0,128	0,128
U-Wert Decke Tiefgarage	W/(m ² K)	0,128	0,128
Fenster (U _w -Wert/U _g /g-Wert) Normmaßbezug	W/(m ² K) / -	0,89/0,55/0,50	0,89/0,55/0,50
Wärmebrückenzuschlag	W/(m ² K)	0,020 ¹	0,025 ¹
Mittlerer U-Wert inkl. Fenster (inkl. Wärmebrücken)	W/(m ² K)	0,255	0,257
Mittlerer U-Wert opak (inkl. Wärmebrücken)	W/(m ² K)	0,151	0,156
Messwert der Luftdichtheit n ₅₀	h ⁻¹	0,39	0,50 ²
Fensterflächenanteil (Fensterfläche/EBF)	%	20,5	21,6

¹ Abschätzung aufbauend auf Projekt KliNaWo, nicht detailliert ermittelt

² Luftdichtheit nicht für Gesamtgebäude, sondern für 2 Wohneinheiten gemessen

2.3.3 Energierelevante Haustechnik – Haus A (Holz)

Das Gebäude wird mit einer Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung belüftet, die mittlere Luftwechselrate beträgt $0,3 \text{ h}^{-1}$. Die Anlage ist zentral auf dem Dach in einem gedämmten, außenliegenden Haustechnikraum aufgestellt.

In Haus A wurde die Wärmeversorgungsvariante mit den niedrigsten Treibhausgasemissionen und den niedrigsten Lebenszykluskosten aller 32 untersuchter Systemvarianten umgesetzt.

Abbildung 2 zeigt das vereinfachte Haustechnikschema mit Grundwasser-Wärmepumpe, 2-Leitersystem mit 48° Vorlauftemperatur und Fußbodenheizung. Die Vorlauftemperatur von 48° ermöglicht Warmwassertemperaturen von etwa 45°C , die Anforderungen zur Legionellen-Prävention sind erfüllt, da es sich aufgrund der Wohnungsstationen um ein dezentrales System handelt. Die Fußbodenheizung wird mit demselben Temperaturniveau zuerst in den Randzonen zum Abkühlen bedient und besitzt zusätzlich Rücklauftemperaturbegrenzer. Auf dem Gebäude ist zur Energiegewinnung eine 15 kW_p -PV-Anlage mit Nutzung des PV-Stroms für alle Energieanwendungen inkl. Haushaltsstrom installiert.

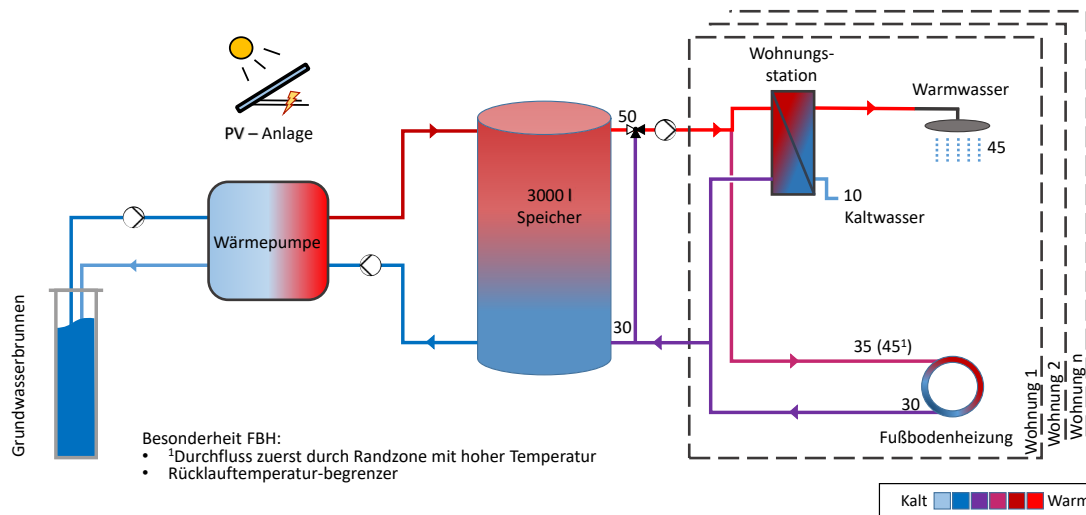


Abb. 2: Vereinfachtes Haustechnikschema des Projekts Wolfurt Lerchenstrasse – Haus A mit Grundwasser-Wärmepumpe, 3.050 Liter-Pufferspeicher, Zweileiter-System und Fußbodenheizung sowie 15 kW_p PV

Tabelle 3: Energierelevante Kennwerte der Haustechniksysteme von Haus A

Lüftungssystem und Luftwechselrate	Zentrale Komfortlüftung mit WRG		$0,3 \text{ h}^{-1}$
Heizlast PHPP (20°)		$7,2 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$	
Wärmeerzeuger Heizung und Warmwasser (Typ, absolute und spez. Leistung)	IDM TERRA SW 20 Twin, Grundwasser WP	$24,5 \text{ kW}$	$16,8 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$
Wärmespeicher Typ und Größe	Pufferspeicher	3.050 Liter	$2,1 \text{ Liter/m}^2_{\text{EBF}}$
Wärmeverteilsystem	Zweileiter (siehe auch Kapitel 3.8)		
Wärmeabgabesystem, Typ und Temperaturniveau	Fußbodenheizung	35°C (45°C) ³ / 28°C	
Solarthermie	-		
PV-Leistung absolut und spezifisch	15 kW_p	$10,3 \text{ W}_p/\text{m}^2_{\text{EBF}}$	$33,9 \text{ Wp/m}^2_{\text{ÜFL}}$
Batteriespeicher	-		

³ FBH haben keine dezentralen Mischer, zuerst wird die Randzone durchflossen; es sind Rücklauftemperaturbegrenzer verbaut

2.3.3 Energierelevante Haustechnik – Haus B (Massiv + WDVS)

Das Gebäude wird wie Haus A mit einer Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung belüftet, die mittlere Luftwechselrate beträgt $0,3 \text{ h}^{-1}$. Die Anlage ist zentral auf dem Dach in einem gedämmten, außenliegenden Haustechnikraum aufgestellt.

Die in Haus B realisierte Wärmeversorgungsvariante hat die zweitniedrigsten Treibhausgasemissionen der untersuchten Varianten und nur geringfügig höhere Lebenszykluskosten als das System in Haus A.

Abbildung 3 zeigt das vereinfachte Haustechnikschema mit Grundwasser-Wärmepumpe, 2+2-Leitersystem mit 48° Vorlauftemperatur für die Warmwasserbereitung mit Frischwasserstationen und $30\text{--}35^\circ$ Vorlauftemperatur für die Fußbodenheizung. Die Vorlauftemperatur von 48° ermöglicht Warmwassertemperaturen von etwa 45°C , die Anforderungen zur Legionellen-Prävention sind erfüllt, da es sich aufgrund der Wohnungsstationen um ein dezentrales System handelt. Haus B verfügt über eine thermische Solaranlage mit 70 m^2 Kollektorfläche und 2 Speichern mit je 3.500 Liter Inhalt, wovon einer exklusiv für die Solarthermienutzung vorgesehen ist.

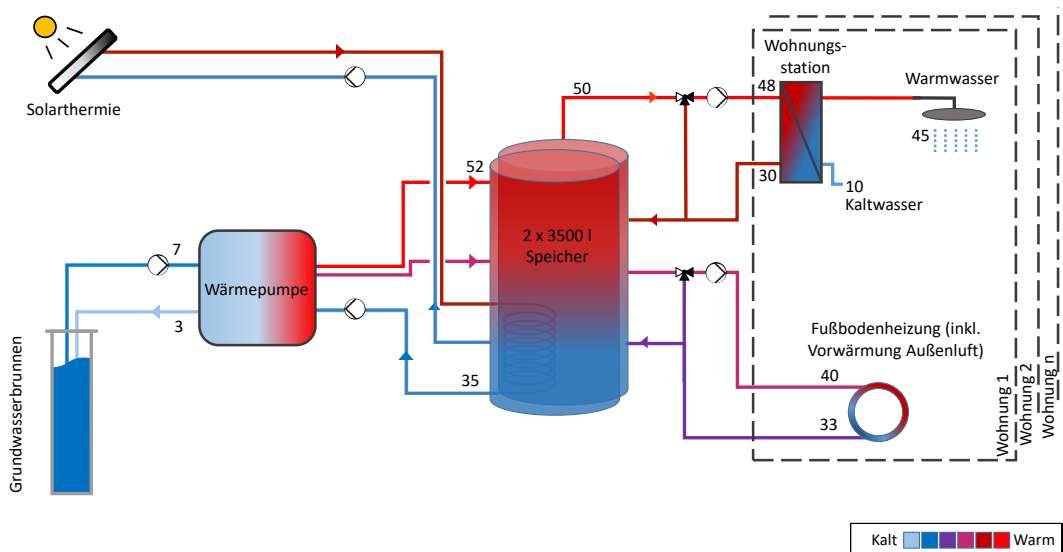


Abb. 3: Vereinfachtes Haustechnikschema des Projekts Wolfurt Lerchenstrasse – Haus B mit Grundwasser-Wärmepumpe, 70 m^2 Solarthermie, 7.000 Liter Schichtspeicher, 2+2-Leiter-System mit Frischwasserstationen und Fußbodenheizung

Tabelle 4: Energierelevante Kennwerte der Haustechniksysteme von Haus B

Lüftungssystem und Luftwechselrate	Zentrale Komfortlüftung mit WRG		$0,3 \text{ h}^{-1}$
Heizlast PHPP (20°)		$7,5 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$	
Wärmeerzeuger Heizung und Warmwasser (Typ, absolute und spez. Leistung)	IDM TERRA SW 20 Twin HGL, Grundwasser WP	24,5 kW	$19,5 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$
Wärmespeicher Typ und Größe	Schichtspeicher	2 x 3.500 Liter	$5,6 \text{ Liter/m}^2_{\text{EBF}}$
Wärmeverteilsystem	Vierleiter (oder 2+2 Leiter) mit wohnungsweisen Frischwasserstationen (Kapitel 3.8.2.2)		
Wärmeabgabesystem Typ und Temperaturniveau	Fußbodenheizung	$35^\circ \text{C}/28^\circ \text{C}$	
Solarthermie Kollektorgröße (Apertur) absolut und spezifisch	70 m^2	$0,056 \text{ m}^2_{\text{Koll}}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$	
PV-Leistung		-	
Batteriespeicher		-	

2.3.4 Energetische Performance – Haus A (Holz)

Die energetische Performance von Haus A im Jahr 2021 ist in Abb. 4 in einem Energieflussdiagramm (Sankey) dargestellt. Dargestellt sind die auf die Wohnnutzfläche von 1.297 m² bezogenen spezifischen Werte. Die Wärmeströme sind in einem Farbschema von gelb (hohe Temperatur) bis blau (niedrige Temperatur), die Stromverbräuche der einzelnen Anwendungen in grau dargestellt. Die mittlere Ablufttemperatur aus allen Räumen der Wohnungen lag während der Heizperiode bei sehr hohen 25,0 °C.

Der Stromverbrauch für Heizung und Warmwasser lag bei 18,6 kWh/(m²_{WNF} a). Auch die übrigen Verbräuche wie Hilfsstrom (Pumpen, Lüftung) 4,0 kWh/(m²_{WNF} a) und Haushaltsstrom 23,7 kWh/(m²_{WNF} a) sind in einem niedrigen Bereich angesiedelt. Der Allgemeinstrom für Lift, Beleuchtung und Tiefgarage liegt mit 4,9 kWh/(m²_{WNF} a) im erwarteten Bereich für Mehrfamilienhäuser. Bedingt durch das Zweileiter-Verteilssystem liegt die Solltemperatur für die WP immer bei etwa 50 °C, was sich auch in der Effizienz widerspiegelt. Die Jahresarbeitszahl liegt bei 3,6. Die Verteilverluste sind mit 10,5 kWh/(m²_{WNF} a) in einem Bereich, der auch in Kapitel 3.8 beschrieben wird.

Der durch die 15 kW_p Photovoltaikanlage erzeugte Strom wird fast zur Gänze im Gebäude selbst genutzt, nur 13 % werden ins Netz eingespeist. Trotzdem sieht man, dass 42,3 kWh/(m²_{WNF} a) Strom aus dem Netz bezogen werden, das sind 82 % des Gesamtverbrauchs des Gebäudes. Eine deutlich größere PV-Anlage würde den Strombezug nochmals merklich verringern.

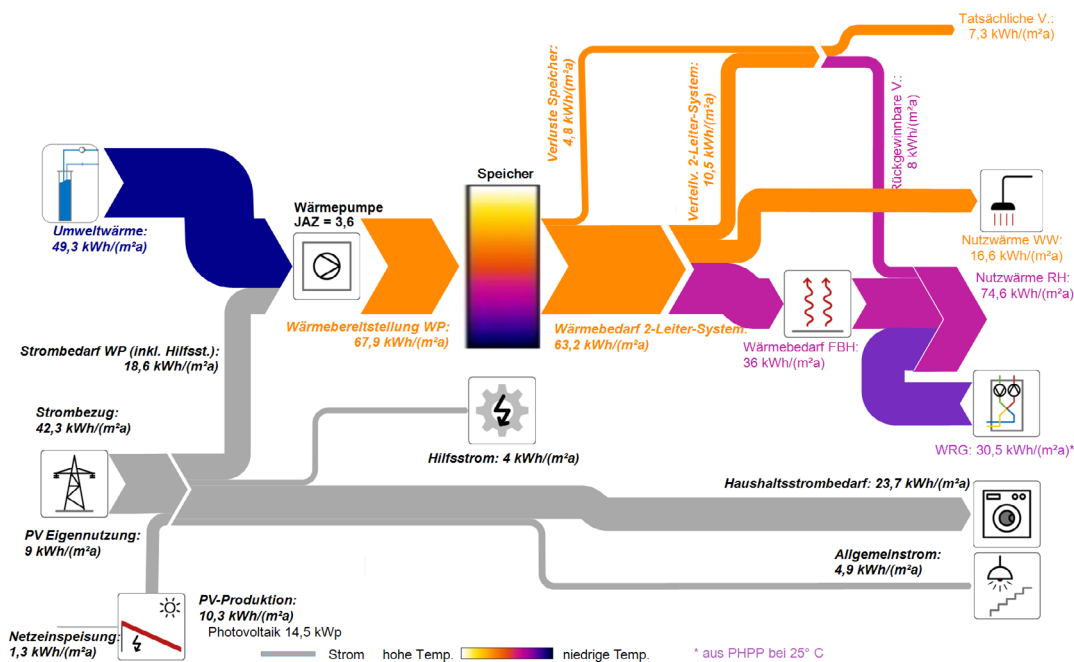


Abbildung 4: Sankey Diagramm: gemessene Energieflüsse Haus A im Jahr 2021– spezifische Werte mit Bezug auf die Wohnnutzfläche von 1.297 m² (Quelle: Energieinstitut Vorarlberg).

Die wichtigsten berechneten und gemessenen Energiekennwerte mit Bezug auf die Wohnnutzfläche von 1.297 m² sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 5: Kennwerte Energiebedarf und -verbrauch von Haus A

Heizwärmebedarf PHPP-Standard (20 °C)	kWh/(m ² _{WNF} a)	15,8
Heizwärmebedarf PHPP -Verbrauchsprognose (22,5 °C)	kWh/(m ² _{WNF} a)	22,2 ¹
Heizwärme verbrauch gemessen (2021; 25,0 °C)	kWh/(m ² _{WNF} a)	32,3
Warmwasserbedarf (PHPP Standard +30 %)	l/(Pers.d) (60°)	32,5
Warmwasser verbrauch gemessen bei 44 Pers	l/(Pers.d) (60°)	23,1
Endenergiebedarf _{Heiz+WW} PHPP-Verbrauchsprognose (22,5° und 32,5 l/ Person pro Tag)	kWh/(m ² _{WNF} a)	17,8
Endenergie verbrauch _{Heiz+WW} gemessen (2021)	kWh/(m ² _{WNF} a)	18,6
PV-Stromerzeugung (PHPP Prognose)	kWh/(m ² _{ÜFL} a)	28,5
PV-Stromerzeugung gemessen (2021)	kWh/(m ² _{ÜFL} a)	30,1

2.3.4 Energetische Performance – Haus B (Massiv + WDVS)

Die energetische Performance von Haus B im Jahr 2021 ist in Abb. 5 in einem Energieflussdiagramm (Sankey) dargestellt. Dargestellt sind die auf die Wohnnutzfläche von 1.113 m² bezogenen spezifischen Werte. Die Wärmeströme sind in einem Farbschema von gelb (hohe Temperatur) bis blau (niedrige Temperatur), die Stromverbräuche der einzelnen Anwendungen in grau dargestellt. Die mittlere Ablufttemperatur aus allen Räumen der Wohnungen während der Heizperiode lag bei sehr hohen 25,6 °C.

Der Stromverbrauch für Heizung und Warmwasser lag bei 16,6 kWh/(m²_{WNF} a). Auch der Haushaltsstrom mit 21,5 kWh/(m²_{WNF} a) liegt in einem niedrigen Bereich. Der Allgemeinstrom für Lift, Beleuchtung und Tiefgarage liegt mit 4,8 kWh/(m²_{WNF} a) im erwarteten Bereich. Der Hilfsstrombedarf liegt mit 10,2 kWh/(m²_{WNF} a) etwa doppelt so hoch wie erwartet. Bedingt durch das 2+2 Leiter-Verteilssystem (auch als 4-Leiter mit Wärmeübergabestation bezeichnet) sollten die Verteilverluste unter denen von Haus A liegen, sind aber mit 16,9 kWh/(m²_{WNF} a) deutlich höher. Im Punkt 2.1.5 werden mögliche Optimierungen zur Reduktion dieser erhöhten Werte beschrieben. Die Solarthermieanlage lieferte im Jahr 2021 23.373 kWh Wärme an den Speicher, das sind 334 kWh/m²_{Kollektor}. Dies ist ein guter Wert für eine Anlage in dieser Dimensionierung, welcher in etwa der Prognose entspricht.

¹ Bei 25,0 °C Raumtemperatur liegt der Heizwärmebedarf (PHPP) bei 29,0 kWh/(m²_{WNF}a)

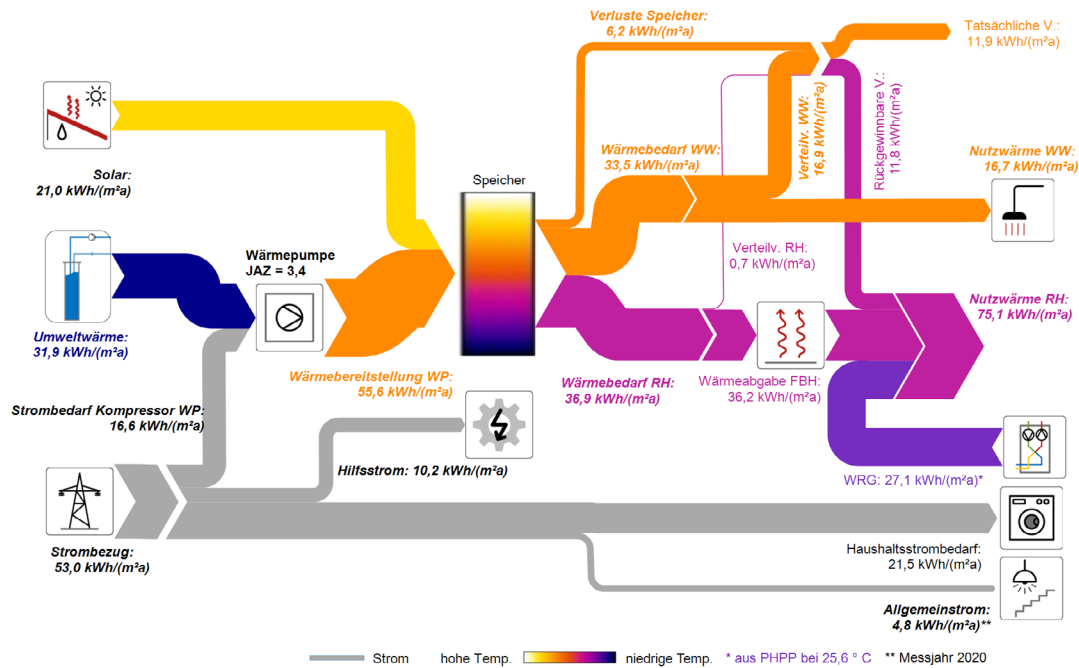


Abbildung 5: Sankey Diagramm: gemessene Energieflüsse Haus B im Jahr 2021– spezifische Werte mit Bezug auf die Wohnnutzfläche von 1.113 m² (Quelle: Energieinstitut Vorarlberg).

Die wichtigsten berechneten und gemessenen Energiekennwerte mit Bezug auf die Wohnnutzfläche von 1.113 m² sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 6: Kennwerte Energiebedarf und -verbrauch von Haus B

Heizwärmebedarf PHPP-Standard (20 °C)	kWh/(m² _{WNF} a)	15,8
Heizwärmebedarf PHPP -Verbrauchsprognose (22,5 °C)	kWh/(m² _{WNF} a)	22,1 ²
Heizwärme verbrauch gemessen (2021; 25,6 °C)	kWh/(m² _{WNF} a)	36,2
Warmwasserbedarf (PHPP Standard +30 %)	l/(Pers.d) (60°)	32,5
Warmwasserbedarf gemessen bei 39 Pers	l/(Pers.d) (60°)	22,5
Endenergiebedarf _{Heiz+WW} PHPP-Verbrauchsprognose (22,5° und 32,5 l/Person pro Tag)	kWh/(m² _{WNF} a)	10,9
Endenergie verbrauch _{Heiz+WW} gemessen (2021)	kWh/(m² _{WNF} a)	16,6
Ertrag Solarthermie (PHPP Prognose)	kWh/(m² _{ÜFL} a)	63,8
Ertrag Solarthermie gemessen (2021)	kWh/(m² _{ÜFL} a)	59,9

2 Bei 25,6 °C Raumtemperatur liegt der Heizwärmebedarf (PHPP) bei 30,4 Wh/(m²_{WNF}a)

2.3.5 Optimierungsmöglichkeiten

Unter 2.3.3 und 2.3.4 wurde die energetische Performance von Haus A und B beschrieben. Haus A verhält sich in der Realität so, wie es laut den Modellen erwartet wird. In den Berechnungen wurde allerdings von einer Raumtemperatur im Winter von 22,5 °C ausgegangen, die gemessene Ablufttemperatur in den Wohnungen beträgt aber im Mittel 25,0 °C. Punktuelle Messungen mit Datenloggern im Wohnbereich ergeben eine Temperaturdifferenz zur Ablufttemperatur bis zu einem Grad, in den Bädern liegen die Temperaturen eher höher. Durch die Art der Messung bedingt, hängt die Ablufttemperatur vom Volumenstrommischverhältnis und der Temperatur der Ablufträume ab, deshalb wird davon ausgegangen, dass die mittlere Raumlufttemperatur etwa bei 24 °C im Winter liegt. Es wird vermutet und auch durch Aussagen der Nutzer sowie punktuellen Messungen bestätigt, dass die ungedämmten Wohnungsübergabestationen hohe Oberflächentemperaturen besitzen und deshalb wie unregelte Heizkörper wirken. (siehe nachfolgende Abbildung). Dieser Umstand kann auch das sommerliche Überhitzungsrisiko erhöhen. Als Optimierungsmöglichkeit für zukünftige Projekte wird also der Einbau gedämmter Wohnungsübergabestationen gesehen.



Abbildung 6: Ungedämmte Wohnungsübergabestation in Haus A; Foto: Energieinstitut Vorarlberg

In Haus B haben die gemessenen Energiekennwerte die vorhergesagten vor allem bei den Verteilverlusten und dem Hilfsstrom nicht erreicht. Auch der Stromverbrauch der Wärmepumpe liegt dadurch etwas höher. Die höheren Verteilverluste im Warmwasserteil des Systems und der höhere Hilfsstrombedarf können ersten Untersuchungen zufolge beide auf die gleiche Ursache zurückgeführt werden. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass die Warmwasserzirkulationspumpe nicht richtig regelt und konstant auf dem Auslegevolumenstrom für volle Zapfung läuft. Dadurch sind sowohl der Hilfsstromverbrauch, als auch die Verteilverluste höher als berechnet. Optimierungsziel ist es, dass die Pumpe nur im Bedarfsfall den Auslegevolumenstrom fördert, wenn viele gleichzeitige Zapfungen erfolgen und ansonsten auf einen Minimalbetrieb zur Gewährleistung der Temperatur an den Wärmetauschern in den Wärmeübergabestationen zurückregelt. Zweiter Optimierungspunkt ist die Solltemperatur der Wärmepumpe. Momentan läuft sie die meiste Zeit im Warmwassermodus, muss also einen hohen Temperaturhub bewerk-

stelligen. Dies bewirkt eine vergleichsweise geringe Effizienz. Nach der derzeit geplanten Optimierung soll die Wärmepumpe im Heizungsmodus auf niedrigem Temperaturniveau arbeiten und nur noch für die Bereitstellung des Warmwassers auf hohem Temperaturniveau. Hierzu wird eine geänderte hydraulische Einbindung des Schichtspeichers als zielführend angesehen. Beide Optimierungsschritte sollen zu einem geringeren Wärmebedarf, bzw. einem niedrigeren Temperaturniveau im System führen und somit im Endeffekt zu einem geringeren Strombedarf der Wärmepumpe und der Warmwasserzirkulationspumpe.

Nichtsdestotrotz zeigt sich in beiden Gebäuden, dass trotz höherer Raumtemperaturen in beiden Gebäuden und einem nicht ganz optimal arbeitenden System in Haus B die gemessenen Stromverbräuche auf einem niedrigen Niveau liegen. Dies spricht für die Robustheit der beiden eingesetzten Systeme. In Haus B hilft hier auch die gut funktionierende Solarthermie den Stromverbrauch trotz höherer Verteilverluste niedrig zu halten. Die Optimierungen sollen im Frühjahr 2022 abgeschlossen werden und sich dann in den Messergebnissen widerspiegeln.