

Energieinstitut Vorarlberg

KliNaWo Monitoringbericht 07/2019

**Kurzversion zum Monitoringbericht
Beschreibung der Realisierungsvariante, abgerechnete Kosten, Ergebnisse Monitoring**

Modellvorhaben „KliNaWo“
Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau

Martin Ploss
Tobias Hatt
Christina Schneider
Thomas Rosskopf
Michael Braun

Dornbirn, im Juli 2019



FFG



Vorarlberg
unser Land



Inhaltsverzeichnis

Zu diesem Kurzbericht	3
Beschreibung der ausgeführten Variante	3
Ergebnisse Kosten	4
Monitoringergebnisse	5
Energieverbräuche	5
Thermische Behaglichkeit	6
Resümee	8
Übertragbarkeit auf Nachfolgeprojekte	9
Beteiligte und Projektfinanzierung	10
Literatur	11

Das Modellvorhaben KliNaWo wurde als Projekt des Comet-Zentrums ALPS in Innsbruck gefördert. COMET Projekte werden durch die Bundesministerien BMVIT und BMWFW sowie durch das Land Vorarlberg gefördert und durch die FFG abgewickelt.

Zu diesem Kurzbericht

Ausgangslage, Zielsetzung, Vorgehensweise und Zwischenergebnisse des Projekts bis zur Auswahl der Realisierungsvariante sind im ersten Zwischenbericht von 2017 detailliert beschrieben [1]. In dieser Kurzversion des zweiten Zwischenberichts ist die ausgeführte Variante kurz beschrieben, der Schwerpunkt liegt auf der zusammengefassten Darstellung der Ergebnisse zu den abgerechneten Kosten, den realen Energieverbräuchen und zur thermischen Behaglichkeit der 2016/17 realisierten Variante.

Die detaillierte Darstellung der Ausführungsvariante und der Ergebnisse finden sich in der Langversion des Berichts [2].

Beschreibung der ausgeführten Variante

Zur Realisierung des Mehrfamilienhauses mit 19 Wohneinheiten und einer WNF von 1.281m² wurde jene Variante ausgewählt, für welche die niedrigsten Lebenszykluskosten ermittelt worden waren (siehe erster Zwischenbericht).

Diese Variante kann durch die folgenden energierelevanten Elemente charakterisiert werden:

- Gebäudehülle in Passivhausniveau - Ziegelbauweise mit EPS-Wärmedämm-Verbundsystem (U_{AW} : 0,118 W/(m²K), U_{DA} : 0,081 W/(m²K), U_{KD} : 0,146 W/(m²K), Fenster mit Rahmen IV 90 und U_g : 0,51 sowie g-Wert 0,53, mittlerer gewichteter U-Wert lt. PHPP: 0,247 W/(m²K)
- U-Wert-Zuschlag aufgrund von Wärmebrücken: 0,028 W/(m²K)
- Luftdichtheit n_{50} : 0,63h⁻¹
- gebäudezentrale Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung. Kontinuierlicher Betrieb mit der hygienisch notwendigen Luftwechselrate von 0,3h⁻¹
- hocheffiziente Sole-WP (Niedertemperatur > Heizung)
- hocheffiziente Sole-WP (Hochtemperatur > Warmwasserbereitung)
- 6 Sonden mit Gesamtlänge von 732 m
- thermische Solaranlage mit 99 m² Netto-Kollektorfläche und 7.740l Pufferspeicher im Zentrum des Gebäudes (im konditionierten Bereich)
- verlustminimiertes Vierleiter-Verteilssystem für Raumheizung und Brauchwarmwasser
- Fußbodenheizung (zusätzlich Heizkörper unter den Zuluft-Nachströmöffnungen in der Außenwand)
- Energiekennwerte gemäß Fertigstellungs-Energieausweis nach OIB RL 6 (2015): $HWB_{Ref, SK}$: 21,32 kWh/m²_{BGFa}, PEB: 45,1 kWh/m²_{BGFa}, CO₂: 6,58 kg/m²_{BGFa}
- Energiekennwerte gem. Verbrauchsprognoseberechnung PHPP mit 22°C Raumlufttemperatur und 32,5 Liter/Person tägl. Warmwasserbedarf: HWB : 34,5 kWh/m²_{EBFa}, Endenergiebedarf_{Heiz+WW}: 15,3 kWh/m²_{EBFa}

Ergebnisse Kosten

Die abgerechneten Netto-Errichtungskosten (ÖNORM 1801-1, KG 1-9) des Projekts liegen bei 2.400 EUR/m²_{WNF} [3]. Dieser Wert liegt aufgrund der sehr guten Planung und Projektsteuerung um 130 EUR/m²_{WNF} **unter** dem im ersten Zwischenbericht genannten Wert auf Basis der Kosten zum Stand Vergabe und um 238 EUR/m²_{WNF} **unter** der projektspezifisch ermittelten Kostengrenze der Wohnbauförderung Vorarlberg. Zur Einordnung der abgerechneten Netto-Errichtungskosten zeigt Abbildung 1 einen Vergleich mit den entsprechenden Kosten aller 69 zeitgleich ausgeschriebenen und errichteten gemeinnützigen Wohnbauten in Vorarlberg.

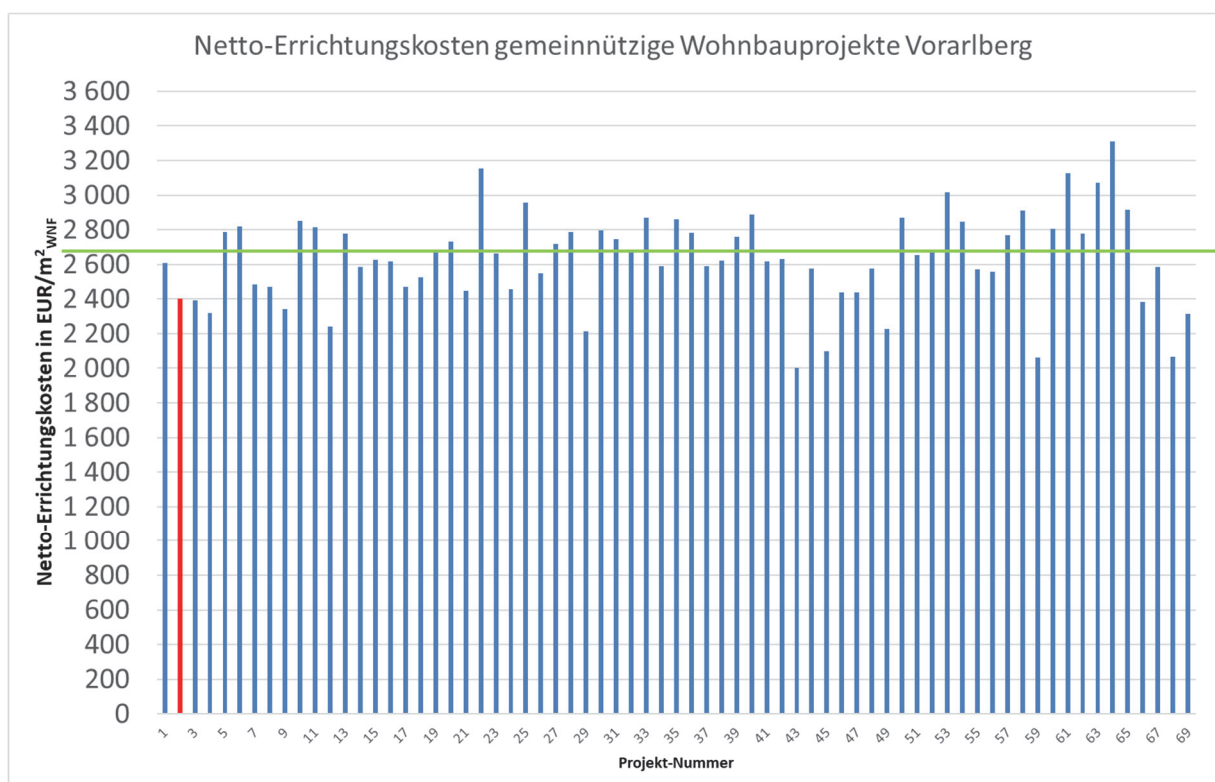


Abbildung 1 Netto-Errichtungskosten des Projekts KliNaWo im Vergleich zu denen aller zeitgleich errichteten gemeinnützigen Wohnanlagen in Vorarlberg [4].

Die abgerechneten Netto-Errichtungskosten der 69 zeitgleich mit dem KliNaWo-Projekt errichteten gemeinnützigen Wohnbauprojekte liegen zwischen 2.000 und ca. 3.300 EUR/m²_{WNF}.

Deren Mittelwert liegt bei 2.630 EUR/m²_{WNF}. Die Kosten des KliNaWo-Projekts liegen damit bei deutlich höherer energetischer Qualität um 230 EUR/m²_{WNF} unter dem Mittelwert. Der Vergleich mit dem Mittelwert der zeitgleich errichteten gemeinnützigen Wohnanlagen ist aussagekräftig, da das KliNaWo-Projekt bewusst so ausgewählt wurde, dass es bezüglich Gesamtwohnfläche, Wohnungsanzahl, durchschnittlicher Wohnungsgröße und Ausstattungsniveau repräsentativ für den gemeinnützigen Wohnbau in Vorarlberg ist.

Monitoringergebnisse

Energieverbräuche

Die im ersten Betriebsjahr 2018 gemessenen Energieverbräuche für die verschiedenen Anwendungen sind in Abbildung 2 den Ergebnissen der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung gegenübergestellt. Zur Interpretation sind folgende Randbedingungen von Bedeutung:

- Die mittlere Außentemperatur während der Heizperiode entsprach gut dem Mittel der vergangenen 20 Jahre
- Die mittlere Raumlufttemperatur in der Heizperiode lag mit 23,1°C um 1,1°C über der Annahme in der Verbrauchsprognoseberechnung
- Der pro-Kopf-Warmwasserverbrauch lag knapp unter der Annahme in der Verbrauchsprognoseberechnung, die Bewohnerzahl leicht unter der Berechnungsannahme

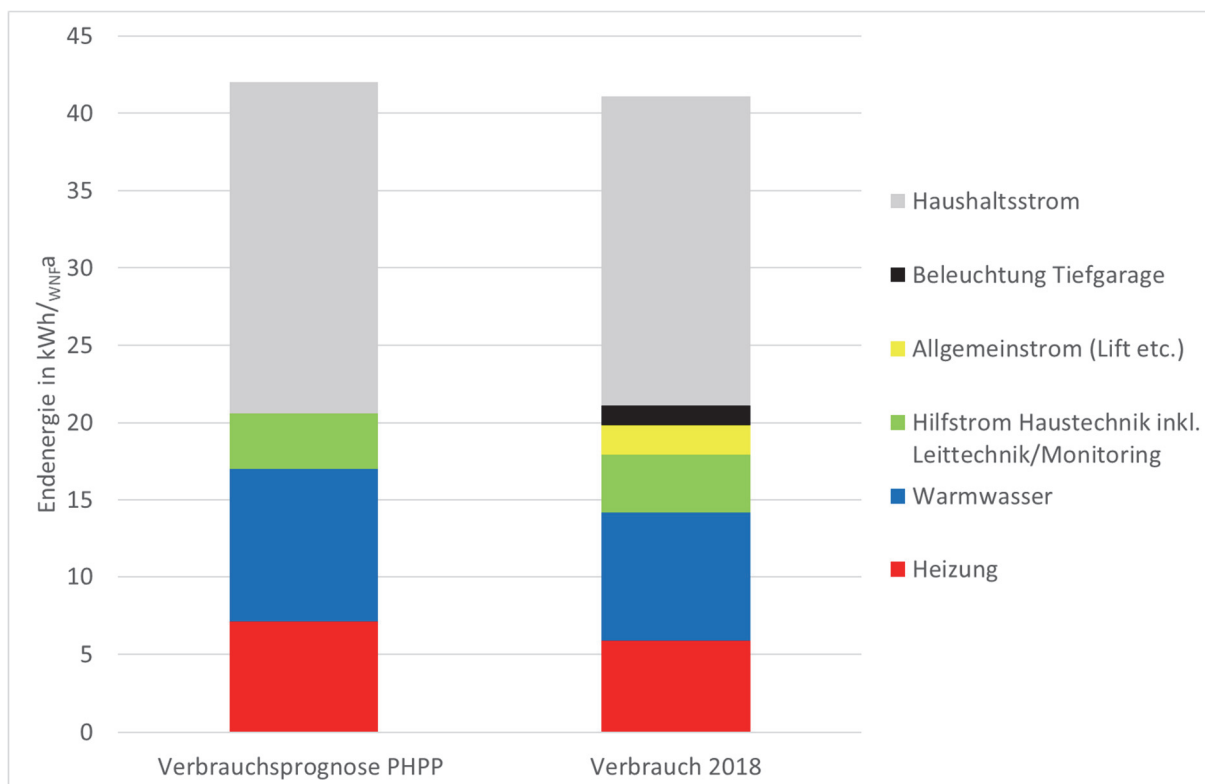


Abbildung 2: gemessener Endenergieverbrauch 2018 nach Anwendungen im Vergleich zur PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung.

Anmerkung: Die aufgeführten, flächenspezifischen Werte des gemessenen Energieverbrauchs und des vorausgerechneten Bedarfs sind auf den m²_{WNF} bezogen, da dieser Flächenbezug bei der Abrechnung der Betriebskosten üblich ist. Beim üblichen Bezug auf die BGF oder auf die Energiebezugsfläche nach PHPP ergeben sich deutlich niedrigere flächenspezifische Werte.

Die gemessenen Verbräuche für Heizung und Warmwasser sowie für Haushaltsstrom liegen knapp **unter** den in der Verbrauchsprognoseberechnung ermittelten Werten, der Verbrauch für Hilfsstrom Haustechnik inkl. Leittechnik + Monitoring minimal über dem berechneten Wert.

Für die gemessenen Endenergieverbräuche für Allgemeinstrom (Beleuchtung Treppenhaus und Erschließung, Lift...) sowie für die Tiefgarage liegen keine Vergleichswerte vor, da sie in den PHPP-Berechnungen mangels Erfahrungswerten nicht berücksichtigt wurden. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse im Detail.

Tabelle 1: Endenergieverbrauch nach Anwendungen absolut und spezifisch im Vergleich zu den spezifischen Werten der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung. Bezug auf WNF.

	gemessener Endenergieverbrauch		berechneter Endenergiebedarf
	Messwerte 2018		Verbrauchsprognose PHPP
	kWh/a	kWh/(m ² _{WNFA})	kWh/(m ² _{WNFA})
End _{Heiz}	7.537	5,9	7,1
End _{ww}	10.649	8,3	9,9
End_{Heiz+WW}	18.186	14,2	17,0
End _{Haustechnik inkl. Leittechnik/Monitoring}	4.713	3,7	3,6
Zwischensumme 1	22.899	17,9	20,6
End _{Allgemeinstrom}	2.464	1,9	0,0
End _{Tiefgarage}	1.701	1,3	0,0
Zwischensumme 2	27.064	21,1	20,6
End _{Haushaltsstrom}	25.562	20,0	21,4
Gesamtsumme	52.626	41,1	42,0

Mit einem gemessenen Endenergieverbrauch_{Heiz+WW} von 14,2 kWh/(m²_{WNFA}) ist das Projekt eines der effizientesten wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser in Österreich. Auch die übrigen Verbräuche liegen in einem sehr effizienten Bereich.

Die Energiekosten liegen etwas niedriger als auf Basis der Verbrauchsprognoseberechnung angenommen: die Bruttokosten für Wärmepumpenstrom_{Heiz+WW} liegen für eine Wohnung mit 76m² Wohnfläche bei 10,50 EUR/Monat. Hinzu kommt die Strom-Grundgebühr von 5,80 EUR/Monat, so dass die Bruttokosten der 76m²-Wohnung für Wärmepumpenstrom_{Heiz+WW} bei 16,30 pro Monat liegen. Dies entspricht spezifischen Bruttokosten für Heizung und Warmwasser von 0,21 EUR/m²_{WNF} pro Monat.

Thermische Behaglichkeit

Wie das Monitoring des ersten Betriebsjahres zeigen, war die thermische Behaglichkeit sowohl im Winter, als auch im „Jahrhundertsommer“ 2018 gut. Abbildung 3 verdeutlicht dies am Beispiel der kältesten Winterwoche.

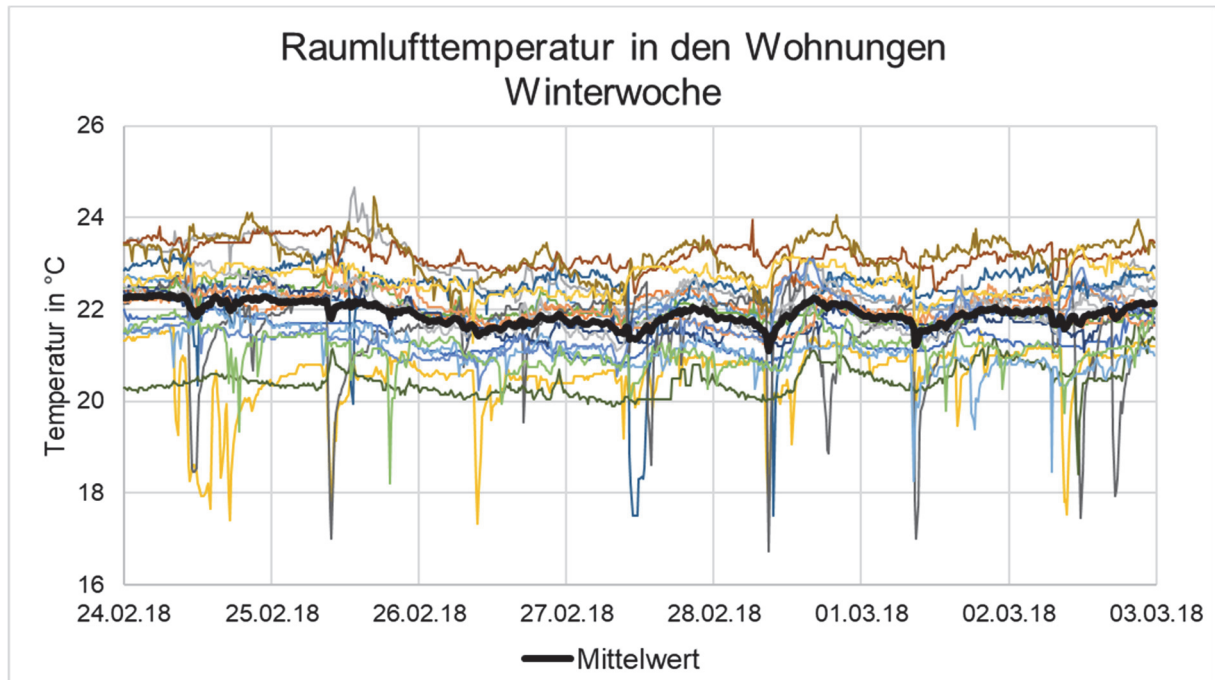


Abbildung 3: grafischer Verlauf der Raumlufttemperatur in den Wohnungen während der kältesten Woche im Winter 2018 (Viertelstundemesswerte).

Die Raumlufttemperatur im Mittel aller Wohnungen liegt in der kältesten Winterwoche mit Außentemperaturen bis $-12,7^{\circ}\text{C}$ bei $21,9^{\circ}\text{C}$. Der Wochen-Mittelwert der einzelnen Wohnungen liegt im Bereich von $21,1^{\circ}\text{C}$ bis $22,3^{\circ}\text{C}$. Die Werte der einzelnen Wohnungen liegen in einem Temperaturband zwischen etwa 20 bis 24°C . Auch in der kältesten Winterwoche ist kein Abfall der Raumlufttemperatur erkennbar.

Wie die Abbildung zeigt, wird in mindestens drei Wohnungen regelmäßig, z.T. zweimal täglich über die Fenster gelüftet. In Folge dieser zusätzlichen Fensterlüftung fallen die Raumlufttemperaturen kurzfristig auf Werte zwischen 17 und $18,5^{\circ}\text{C}$, steigen jedoch sehr schnell wieder auf über 20°C .

Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Raumlufttemperaturen aller Wohnungen in der wärmsten Sommerwoche, in der die Maxima der Außenlufttemperatur an 3 Tagen zwischen 34 und 35°C und an den anderen Tagen bei 30 bis 34°C lagen. Wie zu erkennen unterscheiden sich die mittleren Raumlufttemperaturen der einzelnen Wohnungen deutlich. Die zeitgleich gemessenen Werte liegen in einem Temperaturband mit meist etwa $3 - 5\text{K}$ Spreizung. Wie die detaillierte Auswertung der Messwerte zeigt, ist die Raumlufttemperatur im Sommer weniger von Orientierung und Lage der Wohnung als vom Nutzerverhalten abhängig (nächtliche Zusatzlüftung über die Fenster, Nutzung der außenliegenden Jalousien bei hohen Tagestemperaturen).

Bei Bewertung nach EN 15251:2007 ergibt sich für alle Wohnungen im Winter wie im Sommer eine sehr gute bis gute Bewertung des thermischen Komforts.

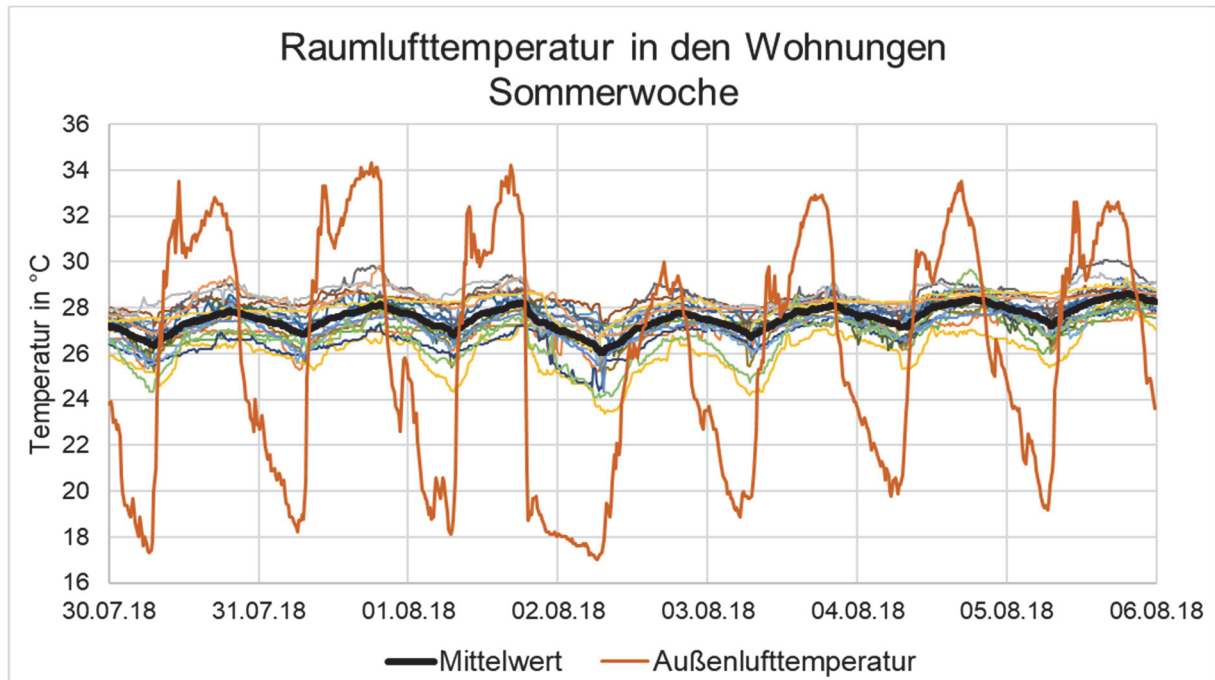


Abbildung 4: grafischer Verlauf der Raumlufttemperatur in den Wohnungen während der wärmsten Woche im Sommer 2018 (Viertelstundemesswerte).

Resümee

Die Auswertung der abgerechneten Kosten, der realen Energieverbräuche und der thermischen Behaglichkeit können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die abgerechneten Netto-Errichtungskosten liegen um 130 EUR/m²_{WNF} **unter** dem Wert bei Planstand Vergabe, um 238 EUR/m²_{WNF} **unter** der Kostengrenze der Wohnbauförderung Vorarlberg und um 230 EUR/m²_{WNF} **unter** dem Vergleichswert im Mittel aller zeitgleich errichteten gemeinnützigen Wohnbauten Vorarlbergs
- Der reale Endenergieverbrauch_{Heizung+WW} liegt mit 14,2 kWh/m²_{WNF} knapp unter dem in der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung ermittelten Wert. Auch die übrigen Verbräuche entsprechen sehr gut den berechneten Werten.
- Das Gebäude ist eines der effizientesten wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser Österreichs.
- Die realen Brutto-Energiekosten für Heizung und Warmwasser liegen mit 10,50 EUR/Monat (Verbrauch) zzgl. 5,80 EUR/Monat (Grundgebühr) = 16,30 EUR/Monat für eine 76m²-Wohnung etwas niedriger als vorausberechnet. Die flächenspezifischen Brutto-Energiekosten für Heizung und Warmwasser liegen mit 0,21 EUR/m²_{WNF} pro Monat sehr niedrig.
- Die Miete inkl. BK wurde aufgrund der geringen Errichtungskosten und der niedrigen Energiekosten des ersten Jahres in zwei Stufen reduziert.
- Die thermische Behaglichkeit ist im Winter sehr hoch und war auch im „Jahrhundertsommer“ 2018 hoch.

- Da sowohl die abgerechneten Kosten, als auch die realen Energieverbräuche und -kosten sehr gut den vorausgerechneten und in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen verwendeten Werten entsprechen, können die Wirtschaftlichkeitsberechnungen als valide eingestuft werden.
- Das KliNaWo-Projekt zeigt in der Praxis, dass das Kostenoptimum bei sehr hohen energetischen Qualitäten liegt - bei Werten, die weit niedriger liegen als die Mindestanforderungen der BTV Vorarlberg und die Definition des Österreichischen Niedrigstenergiegebäudes gemäß Nationalem Plan von 2014 [5].

Tabelle 2: Vergleich der energetischen Qualität des KliNaWo-Gebäudes mit den Anforderungen der Bautechnikverordnung Vorarlberg 2017

Rechenverfahren	Indikator Einheit	Mindestanforderung BTV 2017	KliNaWo gem. Fertigstellungs- EAW OIB 2015
OIB RL 6 (2015)	PEB in kWh/m ² _{BGFa}	◦ 165	◦ 45,1
OIB RL 6 (2015)	CO ₂ in kg/m ² _{BGFa}	◦ 24	◦ 6,58

- Das Projekt unterstreicht die Bedeutung eines regelmäßig ausgewerteten Monitorings, mit dessen Hilfe die selbst in sehr guten Projekten auftretenden Fehler erkannt und behoben werden können.
- Die im Projekt entwickelte Methode zur Auswahl der im Lebenszyklus kostenoptimalen Variante hat sich bewährt und kann in jedem Bauprojekt angewandt werden.

Übertragbarkeit auf Nachfolgeprojekte

Im Nachfolge-Forschungsprojekt KoPro LZK⁺ der AEE Intec mit dem Energieinstitut Vorarlberg wurden inzwischen sieben Bauprojekte in verschiedenen österreichischen Bundesländern nach der im Projekt KliNaWo entwickelten Methodik bewertet. Die Resultate bestätigen die Ergebnisse des KliNaWo-Projekts: in allen Projekten (Wohnbau, Nicht-Wohnbau, jeweils Neubau und Sanierung) ergaben sich geringe investive Mehrkosten für energieeffiziente Varianten und Kostenoptima im Bereich sehr effizienter Gebäudequalitäten [6].

Die im Projekt KliNaWo entwickelte und in KoProLZK⁺ weiterentwickelte Methode wird inzwischen auf internationaler Ebene im EU-Horizon 2020-Projekt Crave zero „Kostenreduktion und beschleunigte Markteinführung von Niedrigstenergiegebäuden“ von den Wissenschaftspartnern AEE Intec, Fraunhofer, eurac research sowie einigen großen europäischen Baukonzernen angewandt [7].

Beteiligte und Projektfinanzierung

Bauherr ist die gemeinnützige Bauvereinigung VOGEWOSI, die ebenso wie die Arbeiterkammer Vorarlberg Finanzierungspartner des Projekts ist. Der aus dem Forschungsprojekt resultierende Planungsmehraufwand und die wissenschaftliche Begleitung werden als Projekt des Comet-Zentrums ALPS in Innsbruck gefördert. Als weitere Firmenpartner in der zweiten Projektphase konnten die gemeinnützigen Bauvereinigungen Alpenländische Heimstätte Vorarlberg und Wohnbauselbsthilfe Vorarlberg gewonnen werden. Comet-Projekte werden durch die Bundesministerien BMVIT und BMWFW sowie durch das Land Vorarlberg gefördert und durch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) abgewickelt. Die Hardwarekosten des Monitorings werden vom Land Vorarlberg getragen.

Wissenschaftspartner sind die Universität Innsbruck (Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften - Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen und das Passivhaus Institut, Standort Innsbruck. Das Forschungsprojekt wird vom Energieinstitut Vorarlberg geleitet.

Die Gebäudeplanung wurde vom folgenden Planungsteam übernommen:

- Architektur: walser + werle architekten zt gmbh, Feldkirch
- Haustechnikplanung: Planungsteam e-plus GmbH, Egg
- Bauphysik: Spektrum - Zentrum für Umwelttechnik und -management GmbH, Dornbirn
- Statik: M+G Ingenieure, Feldkirch
- Elektroplanung: ekplan, Elektroplanung, Nenzing

Literatur

- [1] M. Ploss, T. Hatt, C. Schneider, T. Rosskopf, und M. Braun, „Modellvorhaben KliNaWo - Klimagerechter, nachhaltiger Wohnbau - Zwischenbericht Jänner 2017“, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2018.
- [2] M. Ploss, T. Hatt, C. Schneider, T. Rosskopf, und M. Braun, „Modellvorhaben ‚KliNaWo‘ - Klimagerechter, nachhaltiger Wohnbau - Zweiter Zwischenbericht Juli 2019 - Beschreibung der Realisierungsvariante, abgerechnete Kosten, Ergebnisse Monitoring“, Dornbirn, Juli 2019.
- [3] „Endabrechnung zum Modellvorhaben KliNaWo“, Vorarlberger gemeinnützige Wohnungsbau- und Siedlungsgesellschaft mbH (VOGEWOSI), Dornbirn.
- [4] „Errichtungskosten der gemeinnützigen Wohnbauprojekte in Vorarlberg (interne Auswertung)“. Land Vorarlberg, Abt. Wohnbauförderung.
- [5] „OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem ‚Nationalen Plan‘ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU“, Österreichisches Institut für Bautechnik, März 2014.
- [6] T. Weiß, „Kosten- und Prozessoptimierung im Lebenszyklus von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden“, bmvit (Herausgeber), Wien, 01/2019.
- [7] R. Perneti, „Cost reduction and market acceleration for viable nearly zero energy buildings; D 2.2 spreadsheet with LCCs - A database for benchmarking actual NZEB life-cycle costs of the case studies“, eurac research, Aug. 2018.