

## 2.1 Modellvorhaben „KliNaWo“ in Feldkirch

Tobias Hatt

### 2.1.1 Projektbeschreibung

Das 2016/2017 errichtete Mehrfamilienhaus der gemeinnützigen Wohnbauvereinigung VOGEWOSI wurde im Rahmen des Modellvorhabens „KliNaWo“ (klimagerechter, nachhaltiger Wohnbau) energetisch-wirtschaftlich optimiert und messtechnisch begleitet. (Ploß und Hatt 2017), (Ploß und Hatt 2019).



Abbildung 1: Mehrfamilienhaus KliNaWo in Feldkirch; Foto: Energieinstitut Vorarlberg

Schwerpunkt des Modellvorhabens war es, ein Gebäude zu errichten, das über den Lebenszyklus die geringsten Kosten aufweist. Dazu wurden zahlreiche Varianten in unterschiedlichen Konstruktionsarten, Energieniveaus und Energiekonzepten geplant und modular ausgeschrieben. Mit eigens entwickelten Rechenwerkzeugen wurden automatisierte PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen für rund 60.000 Varianten durchgeführt. Die Berechnungen zeigten, dass das Kostenoptimum bei sehr hohen energetischen Qualitäten liegt. Realisiert wurde die Variante mit Passivhaushülle, Abluftanlage, zwei Sole-Wärmepumpen und großer Solarthermie. Die abgerechneten Errichtungskosten lagen deutlich unter dem Mittelwert aller 69 zeitgleich errichteten gemeinnützigen Wohnbauten in Vorarlberg (Abb. 6). Das seit Ende 2017 laufende Monitoring zeigt, dass der reale Endenergieverbrauch sehr gut mit dem berechneten Bedarf übereinstimmt.

Tabelle 1: Gebäudekennndaten

Ort / Seehöhe / Mitteltemperatur Okt-März	Feldkirch	448 m	3,8 °C
Flächen	BGF: 1.822 m <sup>2</sup>	WNF: 1.281 m <sup>2</sup>	PHPP: 1.421 m <sup>2</sup>
Überbaute Fläche (PHPP)	658,4 m <sup>2</sup>		
Anzahl Geschosse und Wohneinheiten	E + 2, unterkellert	18 + Gemeinschaftsraum	
Verhältnis (A/V) und Verhältnis (A/EBF)	0,40	1,71	
Anzahl Bewohner und Pro-Kopf-Wohnfläche	33 Personen	38,8 m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> /Person	
Bauherr	VOGEWOSI, Dornbirn		
Planung	Architektur: Walser + Werle, Feldkirch HSL: Planungsteam E-Plus, Egg Bauphysik: SPEKTRUM Bauphysik & Bauökologie GmbH		

Das vom Energieinstitut Vorarlberg konzipierte und geleitete Modellvorhaben wurde als Forschungsprojekt des Comet-Zentrums ALPS in Innsbruck durchgeführt. COMET Projekte werden durch die österreichischen Bundesministerien BMVIT und BMWFW sowie durch das Land Vorarlberg gefördert und durch die FFG abgewickelt. Mit-Initiator und Unterstützer des Projekts war die Arbeiterkammer Vorarlberg.

### 2.1.2 Konstruktion

Die Ausschreibung zeigte nur geringe Unterschiede bezüglich der Investitions- und der Lebenszykluskosten der vier untersuchten Konstruktionsarten (Ziegelmauerwerk + Wärmedämmverbundsystem (WDVS), Mauerwerk aus dämmstoffgefüllten Ziegeln, Mischbau mit STB Konstruktion und Holz-Außenwänden, reine Holzbaukonstruktion). Das Gebäude wurde in Ziegelmauerwerk mit WDVS (24 cm EPS) und Stahlbetondecken realisiert, da der Bauherr mit diesem System gute Erfahrungen hat und es minimal niedrigere Investitionskosten aufwies.

Die Lebenszykluskostenberechnungen zeigten, dass die Hülle in Passivhausqualität in allen vier untersuchten Konstruktionsarten wirtschaftlicher ist, als die Ausführung gemäß der österreichischen Mindestanforderungen (OIB Richtlinie 6) bzw. der regionalen Anforderungen der Bautechnikverordnung Vorarlberg.

Die Fenster wurden mit guten Holz-Alu-Rahmen (IV 90) mit einer sehr guten Dreifachverglasung ausgeführt.

Der detailliert ermittelte Wärmebrückenzuschlag beträgt  $0,045 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Der weit überwiegende Teil der Wärmebrücken entsteht - typisch für mineralische Massivbaukonstruktionen - am Übergang von der Kellerdecke zum Mauerwerk der Erdgeschosswände. Die Wärmebrücken wurden zwar einem ersten Optimierungsschritt unterzogen, aus Kosten- und Zeitgründen wurde aber auf eine weitergehende Wärmebrückenoptimierung verzichtet. In Nachfolgeprojekten sollte diese durchgeführt werden.

Der Wert der Luftdichtheit  $n_{50}$  liegt mit  $0,63 \text{ h}^{-1}$  in etwa beim Passivhaus-Grenzwert.

Der Fensterflächenanteil wurde auf Basis dynamischer Gebäudesimulationen gegenüber dem ursprünglichen Entwurf leicht reduziert, um die sommerliche Behaglichkeit auch ohne aktive Kühlung gewährleisten zu können. Er liegt bei 23,5 % der PHPP-Energiebezugsfläche.

Tabelle 2: Energierrelevante Kennwerte der Gebäudehülle

U-Wert Außenwand	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,118
U-Wert Flachdach	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,081
U-Wert Kellerdecke (nicht konditioniert)	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,146
U-Wert Decke Tiefgarage	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,146
Fenster ( $U_w$ -Wert/ $U_g$ -Wert) Normmaßbezug	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K}) / -$	0,71/0,52/0,53
Wärmebrückenzuschlag	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,045
Mittlerer U-Wert inkl. Fenster (inkl. Wärmebrücken)	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,247
Mittlerer U-Wert opak (inkl. Wärmebrücken opak)	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,178
Messwert der Luftdichtheit $n_{50}$	$\text{h}^{-1}$	0,63
Fensterflächenanteil (Fensterfläche/EBF)		23,5 %

### 2.1.3 Energierrelevante Haustechnik

Das Gebäude wurde mit einer zentralen Abluftanlage realisiert. Die Abluft wird in Küche, Bad und WC jeder Wohnung abgesaugt, die Zuluft strömt durch Luftdurchlässe in den Außenwänden der Aufenthaltsräume nach. Die Anlage wird mit einer konstanten Luftwechselrate von  $0,3 \text{ h}^{-1}$  betrieben.

Abbildung 2 zeigt das vereinfachte Haustechnikschema mit Niedertemperatur- und Hochtemperatur-Sole-Wärmepumpe, großer Solarthermie und einem 6.740 Liter Schichtspeicher. Die Niedertemperatur-Wärmepumpe liefert Energie auf einem niedrigen Temperaturniveau für die Fußbodenheizung, die andere ist für hohe Temperaturen ausgelegt und bedient das Temperaturniveau von über  $60 \text{ °C}$  für Warmwasser, welches über eine Verteilung mit Zirkulation in die Wohnungen gelangt. Die Wärmeverteilung erfolgt also über ein klassisches Vierleiter-Verteilssystem mit Zirkulation (siehe Kapitel 3.8).

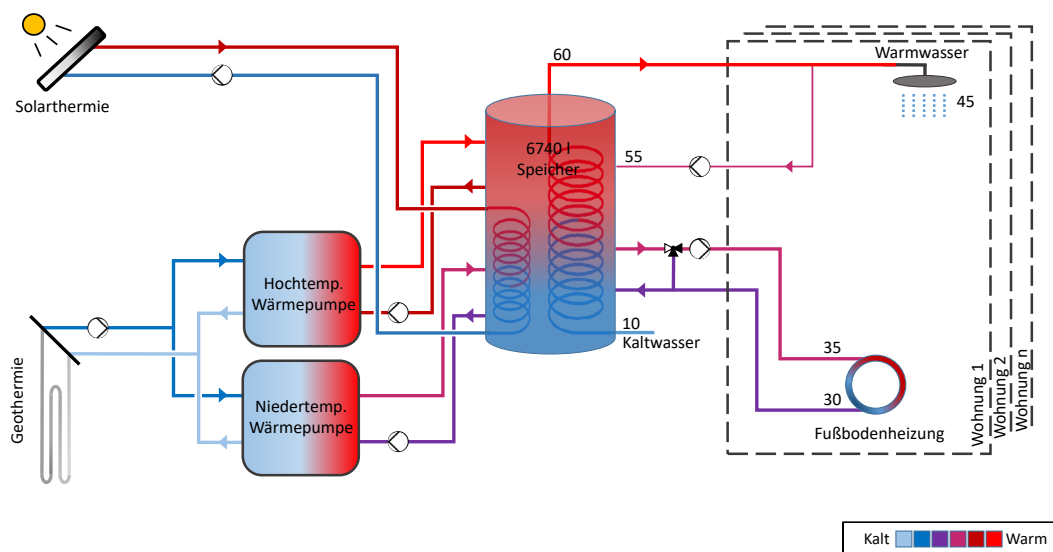


Abb. 2: Vereinfachtes Haustechnikschema des Projekts KliNaWo mit zwei Sole-Wärmepumpen, Solarthermie, 6.740 Liter Schichtspeicher, Vierleiter-Verteilssystem mit Zirkulation und Fußbodenheizung

Tabelle 3: Energierrelevante Kennwerte der Haustechniksysteme

Lüftungssystem und Luftwechselrate	Abluft zentral mit Nachströmöffnungen Außenwand	$0,3 \text{ h}^{-1}$
Heizlast PHPP ( $20^\circ$ )	$14,9 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$	
Wärmeerzeuger Heizung (Typ, absolute und spez. Leistung)	Sole-WP	$36,2 \text{ kW}$ $25,5 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$
Wärmeerzeuger Warmwasser (Typ, absolute und spez. Leistung)	Sole-WP	$9,9 \text{ kW}$ $7,0 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$
Wärmespeicher Typ und Größe	Schichtspeicher	$6.740 \text{ Liter}$ $4,7 \text{ Liter/m}^2_{\text{EBF}}$
Wärmeverteilsystem	4-Leitersystem mit Zirkulation (Kapitel 3.8)	
Wärmeabgabesystem Typ und Temperaturniveau	Fußbodenheizung	$35 \text{ °C}/28 \text{ °C}$
Solarthermie Kollektorgröße (Apertur) absolut und spezifisch	$99,1 \text{ m}^2$	$0,070 \text{ m}^2_{\text{Koll}}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$
PV-Leistung absolut und spezifisch	-	-
Batteriespeicher Kapazität absolut und spezifisch	-	-

## 2.1.4 Energetische Performance

Die energetische Performance des Gebäudes im Jahr 2018 ist in Abb. 3 in einem Energieflussdiagramm (Sankey) visualisiert. Dargestellt sind die auf die Wohnnutzfläche von 1.281 m<sup>2</sup> bezogenen spezifische Werte. Die Energieflüsse der Wärmeanwendungen sind in einem Farbschema von gelb (hohe Temperatur) bis blau (niedrige Temperatur), die Stromverbräuche der einzelnen Anwendungen in grau dargestellt. Die mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode lag bei 23,1 °C.

Der Stromverbrauch für Heizung und Warmwasser lag in Summe beider Wärmepumpen bei 14,2 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> a), das Gebäude ist damit eines der effizientesten wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser Österreichs. Auch die übrigen Verbräuche wie Hilfsstrom (Pumpen, Lüftung) 3,7 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> a), Allgemeinstrom (Lift, Beleuchtung) 3,3 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> a) und Haushaltsstrom 20 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> a) sind sehr niedrig. Hauptverbraucher mit etwa der Hälfte des Gesamtverbrauchs ist der Haushaltsstrom. Der zweitgrößte Stromverbraucher sind die beiden Wärmepumpen für Heizung und Warmwasser. Beim Energieoutput der Wärmepumpen im Vergleich zum Strombezug erkennt man, dass die Niedertemperaturwärmepumpe wie erwartet bei kleinerem Strombezug einen größeren Output liefert. Die Niedertemperaturwärmepumpe läuft also effizienter als die Hochtemperaturwärmepumpe.

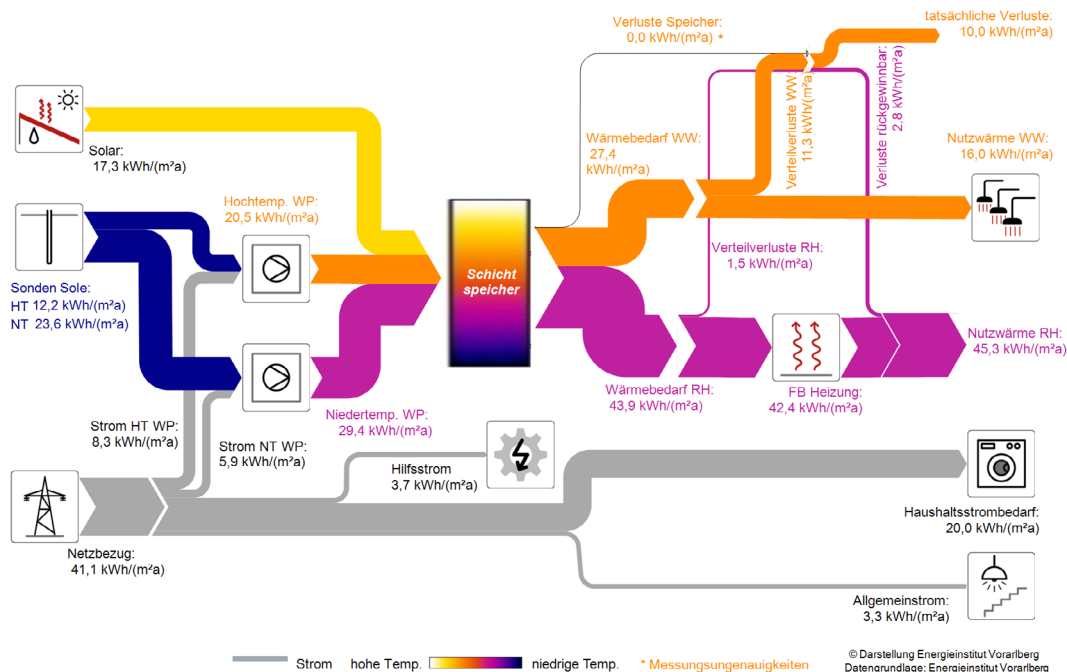


Abbildung 3: Sankey Diagramm: gemessene Energieflüsse im Jahr 2018 – spezifische Werte mit Bezug auf die Wohnnutzfläche (Quelle: Energieinstitut Vorarlberg)

Die wichtigsten berechneten und gemessenen Energiekennwerte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt, die Werte sind auf die Wohnnutzfläche von 1.281 m<sup>2</sup> bezogen.

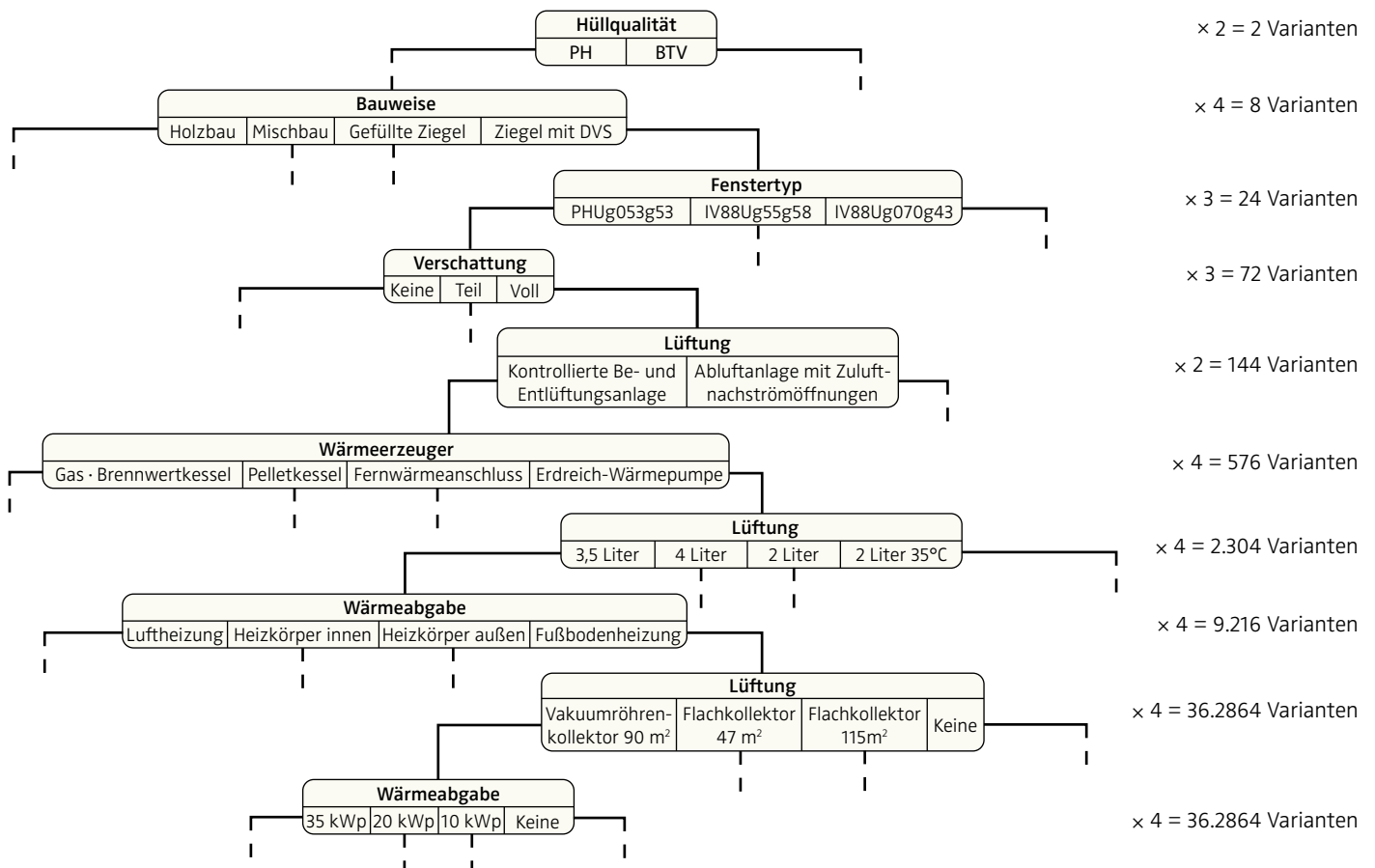
Tabelle 4: Kennwerte Energiebedarf und -verbrauch

Heizwärmebedarf PHPP-Standard (20 °C)	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> a)	30,5
Heizwärmebedarf PHPP -Verbrauchsprognose (22,5 °C)	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> a)	41,2
Heizwärmeverbrauch gemessen (23,1 °C) (Jahr 2018)	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> a)	42,5
Warmwasserbedarf (PHPP Standard +30 %)	l/(Pers*d (60°))	32,5
Endenergiebedarf <sub>Heiz+WW</sub> PHPP-Verbrauchsprognose (22,5° und 32,5 l/ Person pro Tag)	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> a)	17,6
Endenergieverbrauch <sub>Heiz+WW</sub> gemessen (Jahr 2018)	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> a)	14,2
PV-Stromerzeugung	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>ÜFL</sub> a)	0

## 2.1.5 Besonderheiten und Optimierungsmöglichkeiten

Die Besonderheit des Projekts KliNaWo ist, dass die Ausführungsvariante erstmals im gemeinnützigen Wohnbau Österreichs nach den Lebenszykluskosten statt nach den Investitionskosten ausgewählt wurde. Um den Einfluss des Energieniveaus auf Investitions- und Lebenszykluskosten zu quantifizieren, wurde eine sehr große Anzahl an möglichen Ausführungsvarianten in unterschiedlichen Energieniveaus und mit unterschiedlichen Energiekonzepten im Detail geplant und modular ausgeschrieben.

Abbildung 4 zeigt die Matrix der untersuchten Varianten.



Für Variantenentscheid relevant: **60.000 Varianten**

Abbildung 4: Matrix der untersuchten Varianten

Auf Basis der modularen Ausschreibungen wurden die Investitionskosten von 60.000 Varianten ermittelt, für die in einem nächsten Schritt automatisierte PPHP-Verbrauchsprognoseberechnungen durchgeführt wurden. Diese dienen zur Abschätzung der zu erwartenden Energiekosten. Die Wartungskosten wurden auf der Basis von Erfahrungswerten des Bauherrn geschätzt. Abbildung 5 zeigt die Lebenszykluskosten (genauer gesagt: die Kapitalwerte der Gesamtkosten aus Investitions-, Energie- und Wartungskosten) der untersuchten Varianten.

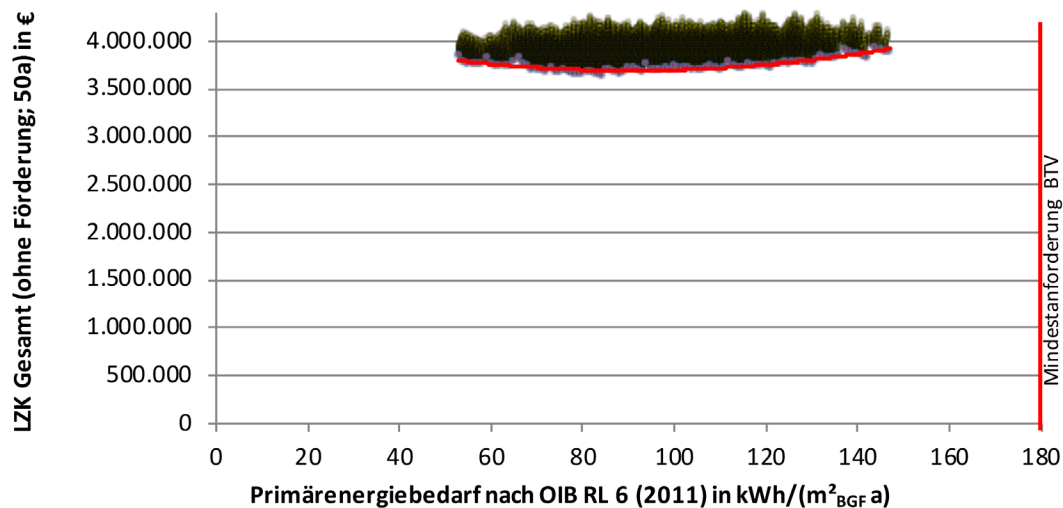


Abbildung 5: Lebenszykluskosten (Kapitalwerte der Investitions-, Wartungs- und Energiekosten) der 60.000 untersuchten Varianten in Abhängigkeit vom Primärenergiebedarf bei Berechnung nach OIB Richtlinie 6 (2011); Betrachtungsdauer: 50 Jahre, mit Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen; ohne Förderungen

Die Abbildung zeigt jede Variante als Punkt mit zugehörigem Primärenergiebedarf und den jeweiligen Lebenszykluskosten ohne Berücksichtigung von Förderungen. Die untere Umschließungskurve der Kurve (in rot) der Punktwolke zeigt an ihrem Tiefpunkt das Kostenoptimum. Wie die Abbildung zeigt, liegt das Kostenoptimum schon ohne Berücksichtigung von Förderungen bei Werten von etwa  $77 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \text{ a})$  (Berechnung nach OIB RL 6 (2011)). Die Mindestanforderung der damaligen Bautechnikverordnung Vorarlberg lag bei  $180 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \text{ a})$ . Die realisierte, kostenoptimale Gebäudevariante erfüllte die Projektziele in der Praxis nicht nur, sondern übertraf sie:

- › Der reale Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser lag schon im ersten Betriebsjahr mit  $14,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNF}} \text{ a})$  knapp unter dem Ergebnis der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung.
- › Auch alle anderen Verbräuche liegen sehr niedrig und entsprechen sehr gut der Prognose.
- › Die thermische Behaglichkeit im Winter ist sehr hoch und war auch im „Jahrhundertsommer“ 2018 hoch.
- › Die abgerechneten Netto-Errichtungskosten liegen mit  $2.400 \text{ EUR}/\text{m}^2_{\text{WNF}}$  um  $230 \text{ EUR}/\text{m}^2_{\text{WNF}}$  unter dem Mittelwert aller 69 zeitgleich errichteten gemeinnützigen Wohnbauten Vorarlbergs (siehe Abbildung 6)
- › Die Mehrkosten gegenüber architektonisch identischen Gebäuden nach den Mindestanforderungen der Bautechnikverordnung Vorarlberg liegen mit etwa  $2/3$  reduziertem Primärenergiebedarf bei 3-5 % (Bezug auf Bauwerkskosten KG 2-4 nach ÖNORM 1801-1, entspricht KG 300+400 nach DIN 276).
- › Die Miete konnte nach dem ersten Betriebsjahr zweimal gesenkt werden.
- › Die im Projekt entwickelte Methode der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung hat sich in der Praxis bewährt und wurde auch in Nachfolgeprojekten erfolgreich eingesetzt.

Wenn nur auf Lebenszykluskosten als alleinige Zielgröße optimiert wird, können auch energetisch schlechtere Varianten als Optimum gefunden werden. Deshalb ist es sinnvoll Energieeffizienz und Lebenszykluskosten von Anfang an als gleichberechtigte Planungsziele zu definieren.

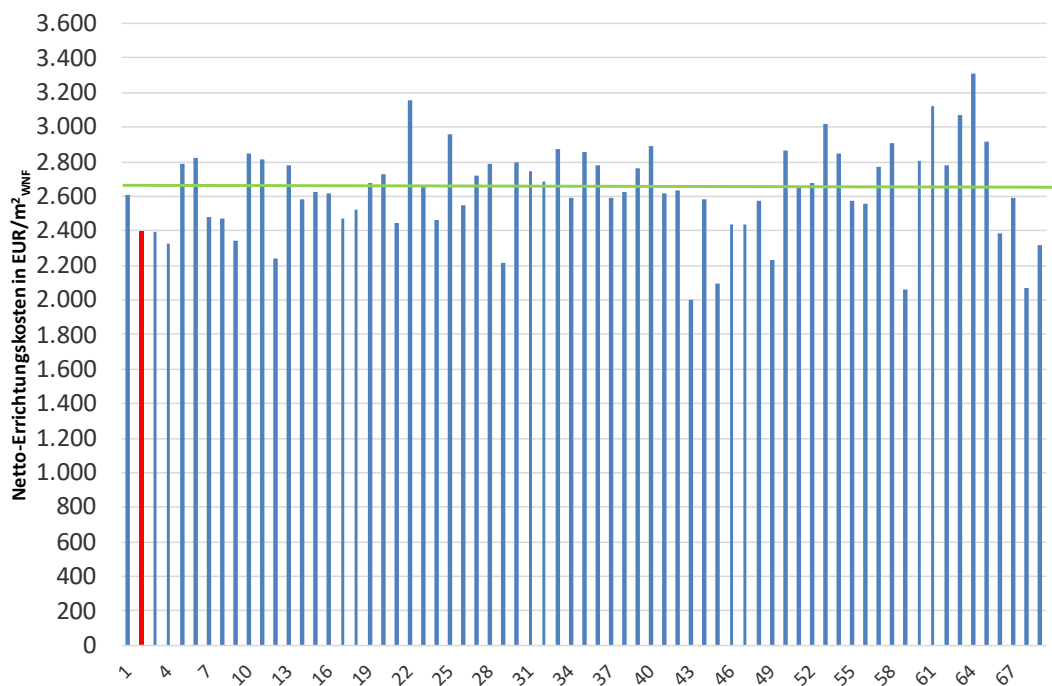


Abbildung 6: Netto-Errichtungskosten gemeinnützige Wohnbauprojekte Vorarlberg; rote Säule: KliNaWo, blaue Säulen: zeitgleich errichtete gemeinnützige Wohnbauten ind Vorarlberg; grüne Linie: Mittelwert

Auch wenn die Projektziele übertroffen wurden, traten in den ersten Betriebsjahren kleinere Fehler auf, es sind noch Optimierungen möglich und die Wirtschaftlichkeit könnte heute, 6 Jahre nach der Planung des Gebäudes, nochmals verbessert werden:

- › Ein Problem im Betrieb der thermischen Solaranlage konnte durch die Analyse der Monitoringdaten und im Vergleich mit Simulationsergebnissen lokalisiert und behoben werden. Seitdem funktioniert auch diese Anlage problemlos und bringt die prognostizierten Erträge.
- › Die zentrale Abluftanlage wird bislang mit einem konstanten Luftwechsel von  $0,3 \text{ h}^{-1}$  betrieben. Diese Regelung könnte durch eine Differenzierung (Zeitprogramm Sommer/Winter bzw. Tag/Nacht) oder durch eine simple Temperatursteuerung noch verbessert werden. So könnte z.B. ein erhöhter sommerlicher Nachtluftwechsel zur Kühlung realisiert werden.
- › Während zum Zeitpunkt der Realisierung die Solarthermie die wirtschaftlichere Variante zur Sonnenenergie Nutzung war, wäre dies inzwischen vermutlich die PV-Anlage. Wie Nachfolgeprojekte zeigen, fielen die Kosten von PV-Anlagen zwischen 2015 und 2020 um mehr als 40 %. Zusätzlich ist die PV-Nutzung in Mehrfamilienhäusern inzwischen auch in Österreich rechtlich möglich (gemeinschaftliche Erzeugungsanlage) und wird 2022 rechtlich und wirtschaftlich nochmals attraktiver werden, da der Verkauf von PV-Strom auch über Grundstücksgrenzen hinweg rechtlich ermöglicht wird.
- › Ohne Thermie würde das Gebäude mit deutlich kleinerem Speicher ausgeführt werden.
- › Zur Steigerung der Behaglichkeit wäre die Ausführung mit einer Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung vorteilhaft. Wo dies nicht erwünscht ist, sollte die zentrale Abluftanlage durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe ergänzt werden, um die Fortluft als Wärmequelle nutzen zu können.
- › Im Projekt zeigte sich durch die genaue Analyse, dass in Mehrfamilienhäusern am Übergang vom EG zu Tiefgarage oder Keller oft merkliche Wärmebrücken vorhanden sind. Hier besteht ein erhebliches Optimierungspotenzial, in Nachfolgeprojekten könnten die Wärmebrücken weiter optimiert werden.