



von Martin Ploß  
Energieeffizientes und ökologisches Bauen  
martin.ploss@energieinstitut.at

### Energieeffizienz ist wirtschaftlich!

Das Vorarlberger Modellprojekt KliNaWo zeigt, dass die Mehrkosten hocheffizienter Gebäude so gering sind, dass sie durch die Betriebskosteneinsparungen im Lebenszyklus mehr als ausgeglichen werden. **Kostenoptimale Gebäude haben einen nur etwa halb so hohen Primärenergiekennwert, wie die Mindestanforderungen der Bautechnikverordnung.**

Im Rahmen des von Arbeiterkammer Vorarlberg, VOGEWOSI, Land Vorarlberg, alpS und Energieinstitut Vorarlberg durchgeführten Forschungsvorhabens KliNaWo wird am Beispiel eines Mehrfamilienhauses in Feldkirch untersucht, welchen Einfluss das Energieniveau eines Gebäudes auf seine Bauwerks-, Errichtungs- und vor allem auf die Lebenszykluskosten hat.

#### Vorgehensweise

Grundgedanke des Projekts ist die planungsbegleitende energetisch-wirtschaftliche Optimierung durch den Vergleich zahlreich möglicher Ausführungsvarianten. Schwerpunkt der ersten Planungsphase war die Optimierung des Entwurfs.

Durch eine Vielzahl kleiner Änderungen konnten die Bauwerkskosten verringert, die Behaglichkeit verbessert und der Energiebedarf reduziert werden<sup>[1]</sup>.



Abb. 1: Ansicht Südwest  
Arch. Walser + Werle,  
Feldkirch, Planstand  
03/2016.

In der im Februar 2016 abgeschlossenen zweiten Planungsphase wurden für den so optimierten Entwurf zahlreiche Ausführungsvarianten im Detail geplant und ausgeschrieben. Aus der Vielzahl der untersuchten Varianten wurde diejenige zur Realisierung ausgewählt, die im Lebenszyklus bei hoher energetischer Qualität die geringsten Gesamtkosten aus Investition, Wartung und Energie hat.

Abbildung 2 zeigt die in Planung und modularer Ausschreibung berücksichtigten Varianten. Wie die Abbildung zeigt, wurden sowohl Varianten für die Gebäudekonstruktion (Massivbau mit dämmstoffgefülltem Ziegel, Massivbau Ziegel + WDVS, Mischbau STB + Außenwände Holz und reiner Holzbau) geplant und ausgeschrieben, als auch für die Wärmeerzeugung (Gas, Pellets, Wärmepumpe Erdreich, Fernwärme). Außerdem

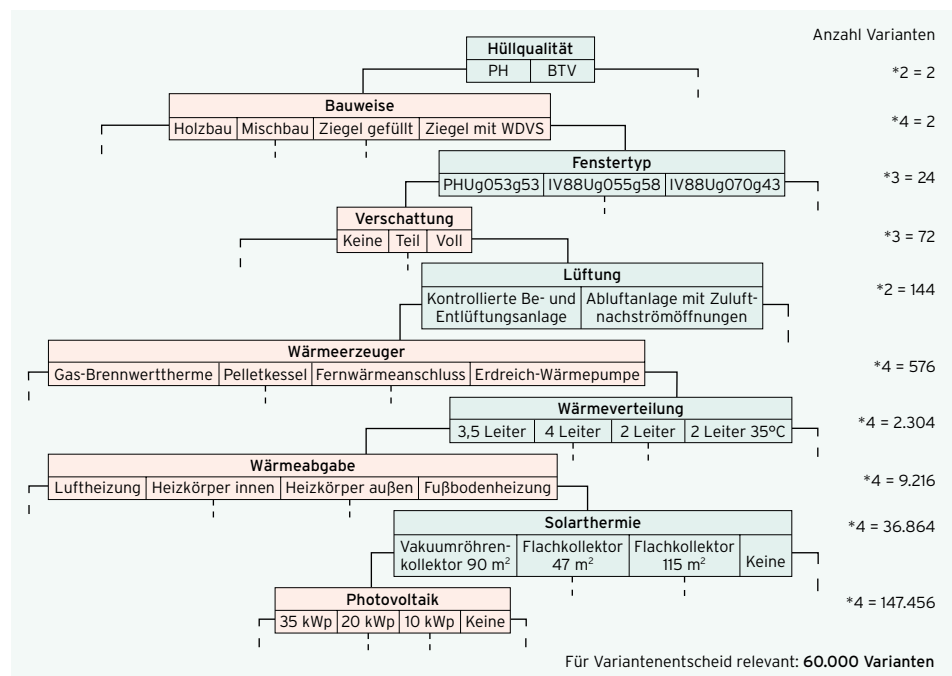


Abb. 2: Matrix der untersuchten Varianten.

## KliNaWo-Gebäude Realisierungsvariante

Standort	Feldkirch Tosters
Geschosse	E + 2
Wohnnutzfläche	1.287 m <sup>2</sup>
Anzahl Wohneinheiten	18
Wohnungstypen	Zwei- und Dreizimmer
Anzahl Gemeinschaftsräume	1
Anzahl Tiefgaragenplätze	18
HWB <sub>OIB 2011</sub>	24 kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> a
Primärenergiebedarf <sub>OIB 2011</sub>	77 kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> a
CO <sub>2</sub> -Emissionen <sub>OIB 2011</sub>	12 kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> a
Fläche Solarthermie	115 m <sup>2</sup>
Errichtungskosten	2.530 EUR/m <sup>2</sup>

wurden zwei Lüftungsvarianten (Abluft sowie Komfortlüftung mit WRG), zahlreiche Varianten zur Wärmeverteilung und Wärmeabgabe, sowie verschiedene Größen von Solarthermie- und PV-Anlagen geplant und ausgeschrieben.

Durch Kombination aller theoretisch möglichen Ausführungen ergeben sich 147.000 Gebäudevarianten. Von diesen wurden die technisch und baurechtlich möglichen 60.000 detailliert untersucht. Erster Teil dieser Untersuchung war die Berechnung der Energiekennwerte. Dabei wurden für jede der 60.000 Varianten mit einem vom Energieinstitut Vorarlberg entwickelten PHPP-Makro die Energiekennwerte für Heizung, Warmwasser Hilfs- und Haushaltsstrom, auch angepasst an reale Raumtemperaturen und einen höheren

Warmwasserbedarf berechnet. Zur Ermittlung der Höhe der Wohnbau- und Energieförderung wurden zusätzlich die Energiekennwerte nach OIB 2011 bestimmt. Nachfolgend wurden mit einem ebenfalls vom Energieinstitut Vorarlberg entwickelten Tool die Lebenszykluskosten für jede Variante berechnet.

Berücksichtigt wurden hierbei die Errichtungskosten sowie die Wartungs- und Energiekosten für alle Energieanwendungen. Die Wirtschaftlichkeit wurde nach den Vorgaben der EU-Gebäuderichtlinie und der dazugehörigen Leitlinie berechnet<sup>[2]</sup>. Verglichen werden bei dieser Methode die Kapitalwerte der Lebenszykluskosten, dabei werden sowohl Ersatzinvestitionen als auch Restwerte berücksichtigt. Die folgende Tabelle stellt die von den Projektpartnern gemeinsam festgelegten Annahmen und Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen zusammen. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden sowohl ohne Berücksichtigung jeglicher Förderung als auch unter Berücksichtigung der Wohnbau- und der Energieförderung des Landes Vorarlberg

(Stand 2015) durchgeführt. Der Einfluss abweichender Energiepreissteigerungen wurde im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht.

## Ergebnisse - Energiebedarf und (Mehr)kosten

Der Heizwärmebedarf<sub>OIB 2011</sub> der Varianten schwankt zwischen 8 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a im Niveau Passivhaus und dem (für den privaten Wohnbau) zulässigen Höchstwert von 34 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Varianten mit Werten über 25 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a sind im gemeinnützigen Wohnbau nicht zulässig.

Die Mehrkosten der Gebäudevarianten in Passivhausniveau mit Solaranlage gegenüber denen in gleicher Konstruktionsart jeweils mit gleichem Wärmeerzeuger, jedoch ohne thermische Solaranlage liegen bei 3,9 bis 6 %.

Sie liegen damit niedriger, als in der Kostenoptimalitätsstudie des Energieinstitut Vorarlberg<sup>[3]</sup> mit 6,2 bis 8,8 % und als in der Studie der gbv<sup>[4]</sup> mit 6,7 % und in etwa in dem Bereich, den innovative Bauträger in Österreich in den letzten Jahren erreicht haben.

## Annahmen und Randbedingungen Grundvarianten; alle Angaben zu Zinsen und Preissteigerungen nominal.

	Wert	Einheit
Betrachtungszeitraum gemeinnütziger Wohnbau	50	Jahre
Betrachtungszeitraum privater Wohnbau	35	Jahre
Mittlerer Kapitalzinssatz Bankkredit	3,0	%
Inflationsrate	1,6	%
Energiepreissteigerung Gas, Pellets, Fernwärme, WP-Strom	3,5	%
Energiepreissteigerung Haushaltsstrom	3,0	%

Der Primärenergiebedarf  $PE_{OIB\ 2011}$  liegt zwischen  $53\text{ kWh/m}^2_{BGFa}$  für eine Passivhaus-Variante mit großer thermischer Solaranlage und  $147\text{ kWh/m}^2_{BGFa}$ . Alle Varianten erreichen den nach BTV zulässigen Höchstwert von  $180\text{ kWh/m}^2_{BGFa}$ , die meisten auch die Grenzwerte für den gemeinnützigen Wohnbau von  $120\text{ kWh/m}^2_{BGFa}$  für Fernwärme und von  $110\text{ kWh/m}^2_{BGFa}$  für sonstige Wärmeversorgungssysteme.

Die Errichtungskosten liegen zwischen  $2.409$  und  $2.790\text{ EUR/m}^2_{WNFa}$ . 94 % der Varianten mit Abluft und 99 % der Varianten mit Komfortlüftung halten die entsprechenden Kostengrenzen ein. Diese liegen für das Gebäude bei etwa  $2.640\text{ EUR/m}^2_{WNFa}$ . Bei Ausführung mit Komfortlüftung liegt die Kostenobergrenze bei  $2.736\text{ EUR/m}^2_{WNFa}$ . Abbildung 3 zeigt den Einfluss des Energieniveaus auf die Nettoerrichtungskosten.

### Ergebnisse Lebenszykluskosten

Wie die Lebenszykluskostenberechnungen zeigen, liegen die Kostenoptima sowohl für den gemeinnützigen Wohnbau, als auch für den privaten Wohnbau bei Werten des  $PE_{OIB\ 2011}$ , die energetisch weit besser sind, als sie in derzeitigen oder geplanten Grenzwerten festgelegt sind. Die Kostenoptima des PEB liegen bereits ohne Förderung zwischen  $80\text{ kWh/m}^2_{BGFa}$  für die Gebäudevarianten mit Wärmepumpe und  $105\text{ kWh/m}^2_{BGFa}$  für die mit Fernwärme.

Diese Werte liegen in der gleichen Größenordnung, wie die in der Kostenoptimalitätsstudie ermittelten [3]. Der Grenzwert des Nationalen Plans von  $160\text{ kWh/m}^2_{BGFa}$  liegt damit weit über dem Kostenoptimum. Auch die Grenzwerte der Wohn-

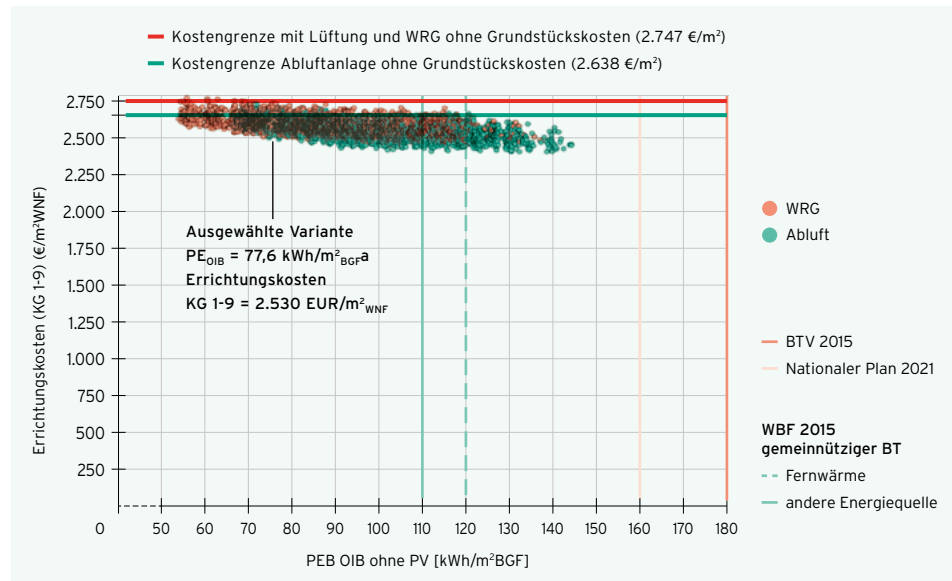


Abb. 3: Errichtungskosten der untersuchten Varianten in Abhängigkeit vom Primärenergiebedarf OIB RL6 (2011).

bauförderung für den gemeinnützigen Wohnbau liegen merklich über dem Kostenoptimum. Auch für den privaten Wohnbau ergeben sich mit 83 bis  $110\text{ kWh/m}^2_{BGFa}$  ähnliche Werte für die Kostenoptima. Diese Werte liegen sehr weit unter dem Grenzwert der WBF Vorarlberg für den privaten Wohnbau von  $165$  für Fernwärme und  $150\text{ kWh/m}^2_{BGFa}$  für sonstige Wärmeversorgungssysteme.

Die Ergebnisse zeigen, dass Bauherren, die nur die Mindestanforderungen der BTV und der WBF erfüllen, im Lebenszyklus deutlich mehr Geld ausgeben, als jene, die Gebäude mit 50 % niedrigeren Primärenergiekennwerten umsetzen.

### Auswahl der zu realisierenden Variante

Zur Auswahl der zu realisierenden Variante wurden die Gemeinsamkeiten der wirtschaftlichsten Varianten analysiert. Unter Berücksichtigung der Förderung zeigen sich die folgenden Ergebnisse:

**Hüllqualität:** 100 % der wirtschaftlichsten Varianten haben Passivhaus-Qualität.

**Fenster:** 72 % der wirtschaftlichsten Fenster haben die marktbeste Verglasung.

**Konstruktion:** Die Varianten Massivbau (mineralfasergedämmter Ziegel), WDVS und Mischbau sind in etwa gleich stark vertreten, der Holzbau merklich seltener. Dieses Ergebnis kann nicht verallgemeinert werden. In Entwürfen, die von Anfang an auf den Holzbau optimiert sind, liegen die Mehrkosten geringer, so dass die Wirtschaftlichkeit des Holzbaus steigt. Dies gilt umso mehr, wenn die kürzeren Bauzeiten mit bewertet werden.

**Wärmeerzeuger:** 97 % der wirtschaftlichsten Varianten verfügen über die Erdsreich-WP.

**Solarthermie:** 70 % verfügen über die Anlage mit  $115\text{ m}^2$  Flachkollektoren.

**PV:** Ohne ÖMAG-Förderung ist eine PV-Anlage noch knapp von der Wirtschaftlichkeit entfernt, immerhin 27 % der besten Varianten haben eine Anlage mit  $10\text{ kW}_{peak}$ .

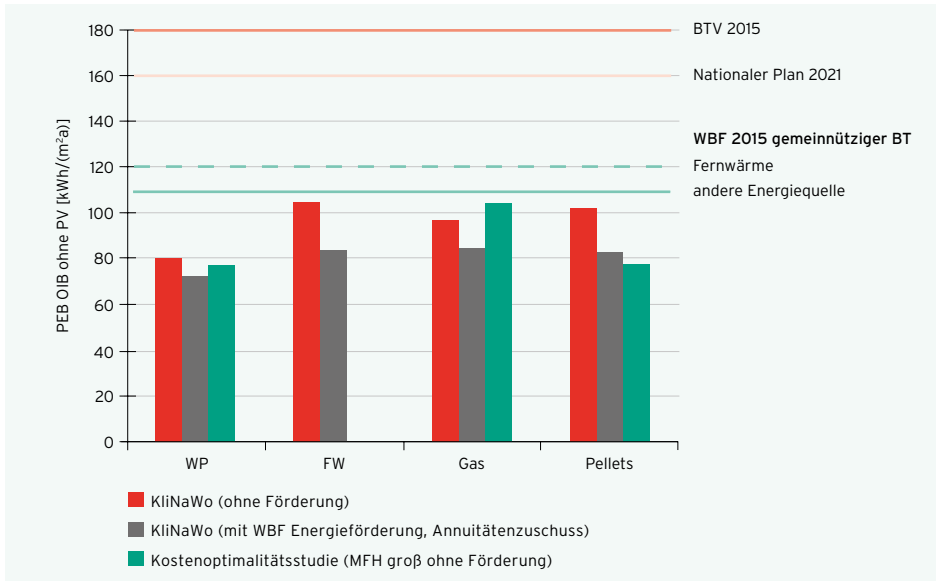


Abb. 4: Kostenoptima des Primärenergiebedarfs<sub>OIB 2011</sub> in Abhängigkeit vom Wärmeerzeuger - gemeinnütziger Wohnbau.

**Lüftung:** Für die Varianten mit hoch-effizienter Wärmepumpe ist die Abluftanlage meist wirtschaftlicher als die Komfortlüftung, für die Varianten mit Fernwärme und Pellets ist die Komfortlüftung wirtschaftlicher.

### Aus 60.000 mach 1

Auf der Basis dieser Analyse wurde die folgende Variante zur Realisierung ausgewählt:

Hülle Passivhausniveau, Ziegel mit WDVS, Fenster mit bester Verglasung, Erdreich-Wärmepumpe, 115 m<sup>2</sup> Solarthermie und eine Abluftanlage. Die so ausgewählte Variante hat einen Primärenergiekennwert von etwa 77 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>, CO<sub>2</sub>-Emissionen von knapp über 12 kg/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> und die zweitniedrigsten Lebenszykluskosten aller Varianten. Energieinstitut und Fachplaner würden aus Behaglichkeitsgründen und wegen der minimalen Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit die Ausführung mit Kom-

fortlüftung bevorzugen. Die VOGEWOSI als Bauherr und Arbeiterkammer versprechen sich von der Lösung mit Abluftanlage eine geringere Komplexität.

### Resumee

Nachfolgend die wichtigsten Ergebnisse:

- Alle Varianten haben Errichtungskosten deutlich unter der Kostengrenze der Wohnbauförderung.
- Die Mehrkosten der hocheffizienten Varianten von 4-6 % werden im Lebenszyklus durch geringere Betriebskosten mehr als kompensiert.
- Die Kostenoptima des Primärenergiebedarfs liegen - auch ohne Förderung - weit unter den derzeitigen und den geplanten Grenzwerten.
- Die Passivhaushülle und die hocheffizienten Fenster sind mit oder ohne Förderung in den meisten Fällen wirtschaftlich.
- Wirtschaftlichster Wärmeerzeuger ist die Erdreich-Wärmepumpe.

- Die Variantenauswahl nach Lebenszykluskosten ist sinnvoll und sollte verstärkt als Entscheidungskriterium herangezogen werden.

### Nächste Schritte

Baubeginn des Projekts ist im April 2016, geplante Fertigstellung 2017, danach folgt ein zweijähriges Monitoring der energetischen Performance und der Behaglichkeit.

### Ergebnisse im Detail

Die detaillierten Projektergebnisse werden in der nächsten Session des economicum am 03.05.2016 in Dornbirn vorgestellt.

### Beteiligte

Förderung/Finanzierung: FFG/alpS, Land Vorarlberg, Energieinstitut Vorarlberg (Eigenmittel), VOGEWOSI, AK Vorarlberg  
 Leitung Forschungsprojekt: Energieinstitut Vorarlberg  
 Wissensch. Begleitung: Uni Innsbruck  
 Architektur: Walser + Werle  
 Haustechnik: e-plus  
 Bauphysik: Spektrum  
 Statik: M+G Ingenieure  
 Elektroplanung: K. Ehgartner

### Quellen

- [1] max 50, Nr. 53, August 2014
- [2] Informationen der Organe, Einrichtungen und sonstigen Stellen der Europäischen Union, Europäische Kommission, Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 (2012/C 115/01), Seite C 115/25
- [3] M. Ploß, M. Brunn et al.: Analyse des kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg, EIV / e7 Energie Markt Analyse, Nov. 2013
- [4] E. Bauer: Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit - Investitions- und Nutzungskosten in Wohngebäuden gemeinnütziger Bauvereinigungen unter besonderer Berücksichtigung energetischer Aspekte, Österreichischer Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen Wien, Oktober 2013