

Energieeffizienz ist wirtschaftlich!

Erste Ergebnisse des Projekts KliNaWo

M. Ploss

Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, Österreich

T. Hatt

Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, Österreich

ABSTRACT:

In the last 15 years, Austria has been one of the forerunners in the rollout of energy efficient buildings. As the evolution of the energetic quality of buildings has slowed down since 2010 due to criticism on the extra cost, Energieinstitut Vorarlberg is analysing extra cost and economic feasibility of energy efficient multi family houses in a research project in cooperation with the social housing company VOGEWOSI and other partners. In the project, a three floor apartment house of 1.263m² habitable surface in 18 apartments will be realised in a high energetic quality. The energetic performance will be monitored as well as other parameters like air quality and thermal comfort. As the focus of the project is on the economic feasibility of energy efficient buildings, a great number of variants was planned in which the following building characteristics was differentiated:

- energetic quality of opaque elements of the building envelope (regional energy code BTV, passive house)
- windows (3 different qualities of glazing and frames)
- construction type (4 variants from timber to brick with exterior insulation)
- heat generation systems (4 main variants: gas, pellet, district heat and heat pump)
- solar thermal (4 different dimensionings) and pv (4 different dimensionings)

The combination of the building characteristics differentiated as described results in a total of 60.000 variants of the building specified in the call for tenders. For all these variants the energy demand was automatically calculated using a macro developed for PHPP. In a second step, the life cycle cost for all 60.000 variants were calculated based on the offers, estimated cost for maintenance and calculated energy costs. As the project shows, the extra costs for high energetic quality are rather low – variants in passive house quality including a 102m² solar thermal system have extra costs of 4 to 6% compared to variants in the minimum quality required in the regional building code. While the extra costs are low, primary energy demand is reduced at about 70%. Results of the life cycle cost calculations show that the cost optimum for the building is represented by a great number of variants having a primary energy demand in the range of passive houses. The good news is, that primary energy demands as low as these can be realised economically feasible in different energy concepts.

Since april 2016 one of the variants for that the lowest life cycle costs have been calculated is been realized at Feldkirch, Vorarlberg.



1. AUSGANGSLAGE UND PROBLEMSTELLUNG

Der Energiebedarf neu errichteter Wohngebäude in Österreich konnte in den vergangenen 25 Jahren durch eine Kombination legislativer Maßnahmen mit Fördermaßnahmen sowie aufgrund verbesserter Einzelkomponenten kontinuierlich reduziert werden. Seit etwa 2010 wird die Sinnhaftigkeit hoher Effizienzstandards zunehmend kontrovers diskutiert (Bauer, 2013), in Vorarlberg nicht zuletzt aufgrund der verpflichtenden Einführung des Passivhaus-Niveaus im gemeinnützigen Wohnbau.

Im Zentrum der Kritik stehen zumeist die folgenden Aspekte:

- Mehrkosten von Energieeffizienzmaßnahmen
- Überschreitung der berechneten Energiebedarfe im realen Gebäudebetrieb
- Unwirtschaftlichkeit

Die Diskussion wird größtenteils sehr emotional geführt, ein Grund für die Emotionalisierung ist der Mangel an belastbaren Fakten zum Thema Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Wohngebäude. Während Daten zum realen Energieverbrauch effizienter Gebäude im deutschsprachigen Raum zumindest für eine große Anzahl an Forschungsprojekten vorliegen (Schnieders, 2001), (Treberspurg, 2009), (Peper, 2015), sind in Vorarlberg wie in ganz Österreich nur wenige detaillierte, nachvollziehbare Daten zu Kosten und Wirtschaftlichkeit verfügbar.

2. ZIELSETZUNG, VORGEHENSWEISE UND METHODEN

2.1 ZIELSETZUNG

Angesichts der beschriebenen unbefriedigenden Datenlage zum Thema Kosten und Wirtschaftlichkeit wurde 2012 das Modellvorhaben „KliNaWo“ gestartet. Hauptziel ist es, am Beispiel eines für Vorarlberg typischen Mehrfamilienhauses mit etwa 20 Wohneinheiten in der Praxis zu untersuchen, wie das energetische Gebäudeniveau die Bauwerks- und Errichtungskosten sowie die Wirtschaftlichkeit im Lebenszyklus beeinflusst. Als weiteres Ziel sollen der reale Energieverbrauch sowie wichtige Behaglichkeitsparameter messtechnisch erfasst werden. Neben dem Energieverbrauch im Betrieb wird auch der Primärenergiebedarf für die Herstellung ermittelt.

2.2 VORGEHENSWEISE

Für das Projekt wurde eine Vorgehensweise gewählt, die sich in einem Vorgängerprojekt sehr gut bewährt hat: für einen zunächst energetisch-wirtschaftlich optimierten Gebäudeentwurf werden zahlreiche Ausführungsvarianten geplant und ausgeschrieben, die sich bezüglich ihres Energieniveaus, der Konstruktionsart und des Haustechnikkonzepts unterscheiden (Ploss, 2001).

Auf der Grundlage der Ausschreibungsergebnisse werden die Bauwerks- und Errichtungskosten aller Varianten bestimmt, auf der Basis der Energiebedarfsberechnungen ihre voraussichtlichen Energiekosten. Aus diesen Daten können unter zusätzlicher Berücksichtigung der Wartungskosten die Lebenszykluskosten ermittelt werden. Auf dieser Datengrundlage kann zur Realisierung die Variante ausgewählt werden, für die die niedrigsten Lebenszykluskosten ermittelt wurden.

Im Detail wurde für das Projekt „KliNaWo“ die folgende Vorgehensweise gewählt:

Phase 1: Energetisch-wirtschaftliche Optimierung des Entwurfs

Phase 2: Variantenplanung zu Konstruktion und Haustechnik

Phase 3: Modulare Ausschreibung + Variantenauswahl nach Lebenszykluskosten

Phase 4: Detailoptimierung der zu realisierenden Variante

Phase 5: Bau (seit April 2016)

Phase 6: Monitoring Energie und Behaglichkeit (2 Jahre)

In diesem Beitrag werden die Phasen 1 bis 4 beschrieben, der Schwerpunkt liegt auf den Phasen 2 und 3.

3. PHASE 1 – ENERGETISCH-WIRTSCHAFTLICHE OPTIMIERUNG DES ENTWURFS

Baufaufgabe ist die Errichtung eines Mehrfamilienhauses mit 18 Wohneinheiten (2- und 3 Zimmer-Wohnungen) sowie einem Gemeinschaftsraum. Das Gebäude wird auf einem Grundstück in Feldkirch errichtet, das schon im Besitz der VOGEWOSI war. Aufgrund der örtlichen Situation ergibt sich eine Verdrehung der Gebäudefassaden um etwa 45° aus der Südrichtung, der Grundstückszuschnitt legt einen etwa quadratischen Grundriss nahe.

Abbildung 1 zeigt den Gebäudeentwurf vor und nach der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung.

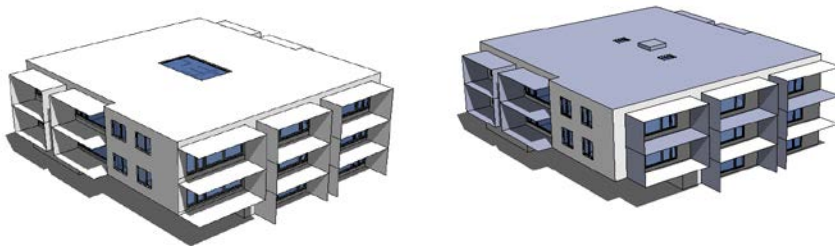


Abb. 1: Gebäudeentwurf vor (links) und nach der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung; Arch. Walser + Werle, Feldkirch, Darstellung PHI Innsbruck mit Design PH

Der Gebäudeentwurf repräsentiert bezüglich Gestaltung, Geschossigkeit (E+2) und Größe typische Mehrfamilienhäuser in Vorarlberg. Wie zu erkennen wurde in der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung nur „minimalinvasiv“ eingegriffen, die wichtigsten Veränderungen gegenüber dem ursprünglichen Entwurf waren:

- Verkleinerung des Fensterflächenanteils
- Verlagerung der Wärmeerzeugung und –speicherung in den beheizten Gebäudekern
- Verlagerung des zentralen Lüftungsgerät vom Keller aufs Dach
- Verlagerung eines Teils der Fahrradabstellplätze vom EG in das UG

Die energetische Optimierung des Entwurfs führt dazu, dass vorgegebene Energieniveaus (z.B. BTV, Passivhaus) mit geringeren Dämmstoffdicken und damit günstiger erreicht werden können. Wie dynamische Gebäudesimulationen zeigten, führt die geringfügige Verkleinerung der Fensterflächen nicht nur zu einer Reduktion des Heizwärmebedarfs, sondern auch zu einer Reduktion der Überhitzungsstunden.



Die Verlagerung der Wärmeerzeugung und Speicherung aus dem Kellergeschoss in den Gebäudekern führt zu einer deutlichen Reduktion der Speicher- und Verteilverluste, die Anordnung des Lüftungsgeräts auf dem Dach senkt die Bauwerkskosten.

Durch die Verlagerung eines Teils der Fahrradabstellplätze vom Erdgeschoss ins UG vergrößert sich die vermietbare Wohnfläche, zusätzlich wird das A/V-Verhältnis minimal verbessert.

Das Ausmaß der Kosteneinsparung wurde in der Entwurfsphase auf Grund von Erfahrungswerten abgeschätzt und soll im weiteren Projektverlauf auf Basis der Ausschreibungsergebnisse quantifiziert werden.

Die wichtigsten Kennwerte des Gebäudes sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tab. 1: Kenndaten des Gebäudes

Bauherr		VOGEWOSI
Standort		Feldkirch-Tosters
Klimadaten für PHPP-Berechnungen		TRY Feldkirch (ZAMG 1994-2012)
Wohneinheiten	Anzahl	18 + 1 Gemeinschaftsraum
Tiefgaragen-Stellplätze KFZ	Anzahl	18 + 7 Stellplätze Motorrad
BGF	m ²	1.791
Energiebezugsfläche PHPP	m ²	1.421
WNF	m ²	1.263
Geschosse	Anzahl	E+2
Wohnungstypen	Anzahl Zimmer	2- und 3 Zimmer
Wohnungsgrößen	m ²	53 bis 76
HWB _{01B} Mindestanforderung BTV	kWh/m ² _{BGF} a	34

4. PHASE 2: VARIANTENPLANUNG KONSTRUKTION UND HAUSTECHNIK

4.1 FESTLEGUNG DER ZU UNTERSUCHENDEN VARIANTEN

In der Phase der Projektdefinition wurde festgelegt, dass Gebäudevarianten in den Energieniveaus BTV Vorarlberg, Passivhaus und Nullenergiehaus untersucht werden – jeweils in unterschiedlichen Konstruktionsarten und mit unterschiedlichen Haustechnikkonzepten. Als Basis für die weitere Projektbearbeitung wurde zu Beginn der Phase 2 die folgende Matrix der zu untersuchenden Varianten ausgearbeitet.

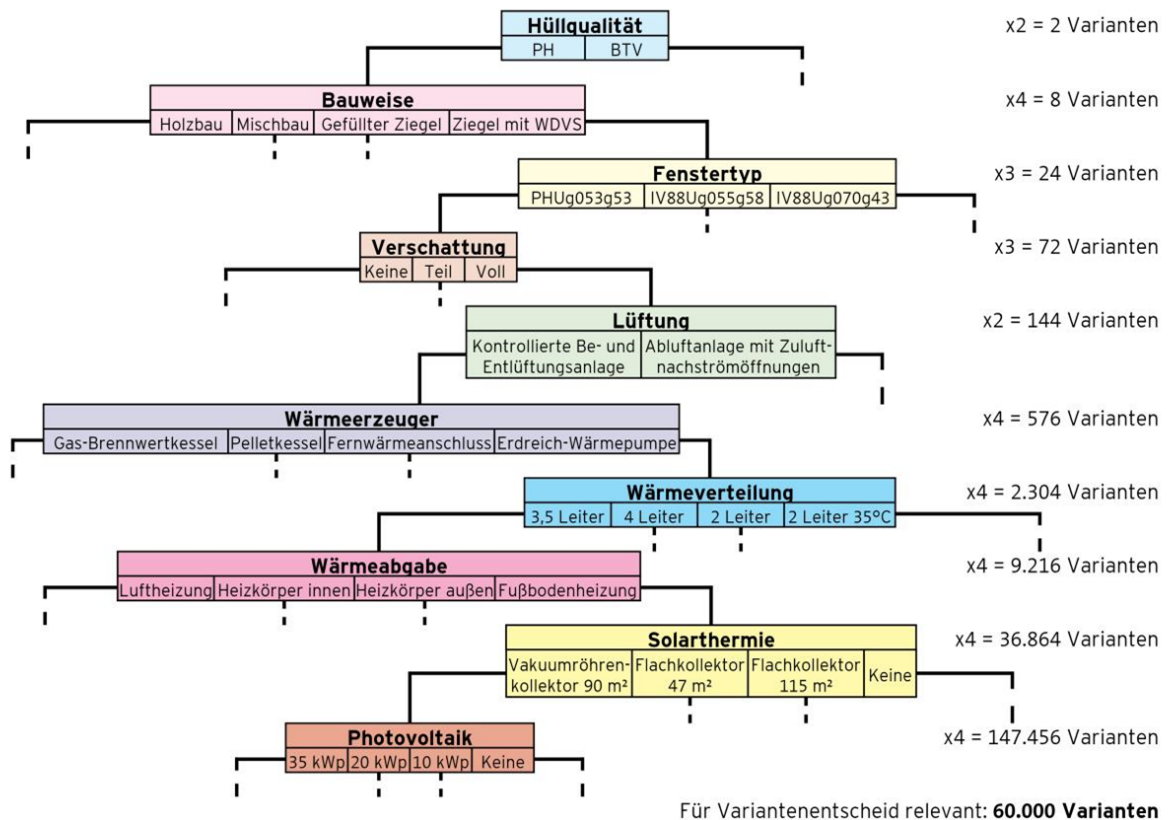


Abb. 2: Matrix der zu untersuchenden Gebäudevarianten

Aus der dargestellten Matrix ergeben sich theoretisch etwa 147.000 Varianten. Da viele dieser Varianten jedoch technisch nicht möglich/sinnvoll (Beispiel: BTV-Gebäude nicht über Luftheizung beheizbar) oder baurechtlich nicht zulässig sind (Beispiel: gasbeheiztes Gebäude nicht ohne thermische Solaranlage erlaubt), verblieben für den Variantenentscheid 60.000 sinnvolle Varianten.

4.2 ENERGIEBEDARFSBERECHNUNGEN

Für alle 60.000 Varianten wurden in einem ersten Schritt die Energiekennwerte bei Standardannahmen (u.a. Raumlufttemperatur 20°C, Standard-Warmwasserbedarf) mit PHPP automatisiert berechnet. Dazu wurde ein vom EIV neu entwickeltes Makro eingesetzt.

Da aus zahlreichen Forschungsprojekten bekannt ist, dass die Raumlufttemperaturen in hocheffizienten Gebäuden meist deutlich über 20°C liegen und dass der flächenspezifische Warmwasserbedarf im gemeinnützigen Wohnbau aufgrund der vergleichsweise dichten Belegung deutlich höher ist, als die Norm-Annahmen, wurde für jede Gebäudevariante eine zweite Energiebedarfsberechnung erstellt, in der die Raumlufttemperatur mit 22°C und der Warmwasserbedarf 30% über dem PHPP-Standardwert angenommen wurde.

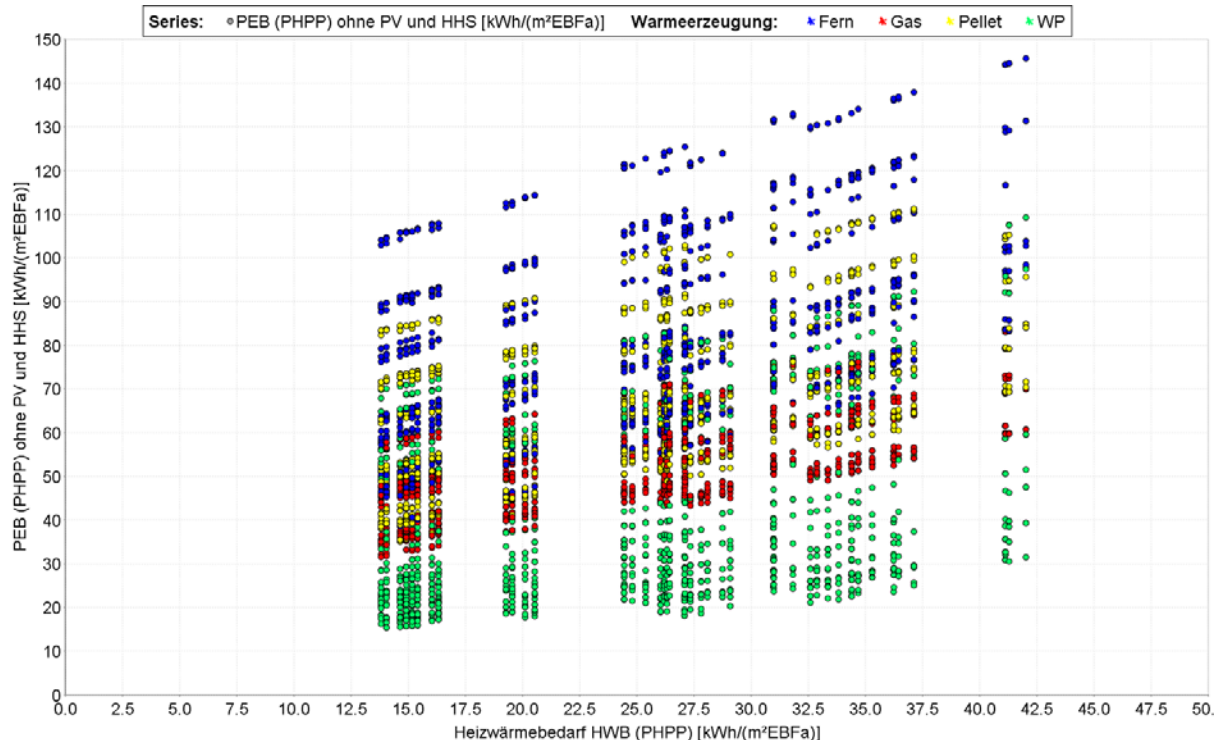
Nur diese Berechnung zur Verbrauchsprognose wurde zur Abschätzung der Energiekosten verwendet.

Zur Justierung der Varianten nach BTV und zur Bestimmung der Fördergelder wurden zusätzlich Berechnungen nach OIB Richtlinie 6, Ausgabe Oktober 2011 durchgeführt. Die OIB-



Varianten dienen auch dem Vergleich der energetischen Qualität der untersuchten Varianten mit verschiedenen Anforderungsniveaus wie BTV oder Nationalem Plan (OIB, 2014).

Abb. 3: Das Heizwärmebedarf PHPP und Primärenergiebedarf PHPP ohne Haushaltsstrom und ohne Berücksichtigung von PV-Erzeugung, Berechnung mit Primärenergiefaktoren der OIB RL 6 (2011)



Wie Abb. 3 zeigt, schwankt der Heizwärmebedarf_{PHPP} der untersuchten Varianten um den Faktor 3 zwischen etwa 14 und 42 kWh/m²_{EBFa}. Letzter Wert entspricht dem Niveau BTV Vorarlberg und damit einem HWB von ca. 34 kWh/m²_{BGFa} nach OIB RL 6 (2011).

Der Primärenergiebedarf_{PHPP} ohne Berücksichtigung des Haushaltsstroms und etwaiger PV-Erzeugung liegt zwischen etwa 17 und 145 kWh/m²_{EBFa}. Für die Berechnung wurden die Primärenergiefaktoren nach OIB RL 6 (2011) verwendet. Dargestellt sind die Ergebnisse der Berechnungen mit Normbedingungen (Raumlufttemperatur 20°C, WW-Bedarf Standardwert PHPP). Die niedrigsten Werte des Primärenergiebedarf_{PHPP} erreichen die Gebäudevarianten mit Wärmepumpe, die höchsten haben die Varianten mit Biomasse-Fernwärme. Letztere haben ebenso wie die Varianten mit Pelletheizung die deutlich niedrigsten CO₂-Emissionen.

4.3 WERKPLANUNG

Der größte Mehraufwand für das Planungsteam und die wissenschaftliche Begleitung entstand durch die Parallelplanung der zahlreichen Varianten in unterschiedlichen Konstruktionsarten, Energieniveaus und mit unterschiedlichen Haustechniksystemen. So wurden vom Architekturbüro 8 Werkplanungen erarbeitet – für 4 Konstruktionsarten jeweils in den zwei Energieniveaus BTV und Passivhaus. Für jede dieser Konstruktionsvarianten wurden 24 Leitdetails gezeichnet. Für alle Leitdetails wurden Wärmebrückenberechnungen durchgeführt – zum Teil mehrere Optimierungsvarianten. Ein ähnlicher Mehraufwand entstand bei der Planung der Wärmeversorgung – 4 verschiedene Wärmeerzeuger in zwei Leistungen, dazu unterschiedliche Wärmeverteiler- und Abgabesysteme, Speicher, Solarthermie- und PV-Systeme.



5. PHASE 3: MODULARE AUSSCHREIBUNG UND VARIANTENAUSWAHL NACH LZK

5.1 MODULARE AUSSCHREIBUNG

Um den Aufwand der Bieter bei der Erstellung der Angebote zu minimieren, wurden die Ausschreibungen modular aufgebaut. Die Spezifika des Modellvorhabens – der Vergleich unterschiedlicher Konstruktionsarten und Wärmeversorgungs-systeme und die Vergabe nach Lebenszykluskosten wurde in den Vorbemerkungen erläutert.

Der Rücklauf war in den meisten Gewerken normal. Für das Gewerk Lüftung gingen allerdings nur zwei Angebote ein.

5.2 VERGABE AUF BASIS DER LEBENSZYKLUSKOSTEN

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden mit einem vom Energieinstitut Vorarlberg entwickelten tool die Lebenszykluskosten aller 60.000 Varianten berechnet.

Das tool wird in einem eigenen Tagungsbeitrag von T. Hatt vorgestellt.

Für jede Variante wurden zunächst die Bauwerks- und Errichtungs-, Energie- und Wartungskosten und darauf aufbauend die Lebenszykluskosten für die folgenden Fälle berechnet:

- ohne Berücksichtigung von Förderungen für Gemeinnützige
- ohne Berücksichtigung von Förderungen für private Bauträger
- mit Energieförderung Vorarlberg, Wohnbauförderung Vorarlberg für Gemeinnützige
- mit Energieförderung Vorarlberg und Wohnbauförderung Vorarlberg für Private

Als Methode wurde die Kapitalwertmethode gewählt, Restwerte und Ersatzinvestitionen wurden berücksichtigt. Die Annahmen bezüglich der technischen Lebensdauern der Bauteile und Komponenten wurden ebenso gemeinschaftlich festgelegt wie alle anderen Annahmen und Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen. Gewählt wurden bewusst konservative Werte.

Der Betrachtungszeitraum wurde für die gemeinnützigen Bauvereinigungen auf 50 Jahre festgelegt, dies entspricht deren üblichem Finanzierungshorizont. Für private Bauträger wurde der Betrachtungszeitraum auf 35a festgelegt, dies entspricht der Höchstlaufzeit der Wohnbauförderungskredite. Der Zinssatz für den Bankzins wurde für die Kreditlaufzeit von 25 Jahren auf 3,0% festgelegt, der derzeitige Zinssatz bei 10-jähriger Zinsbindung liegt bei etwa 1,8%.

Die Energiepreissteigerung wurde in der Grundvariante der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für Haushaltsstrom mit 2,5 für alle anderen Energieträger mit 3,5% angenommen.

Die Auswirkung unterschiedlicher Energiepreissteigerungen wurde in Sensitivitätsstudien untersucht.

5.2.1 Bauwerks- und Errichtungskosten

Die aus den Angeboten ermittelten Kosten wurden auf den Ebenen der Bauwerkskosten (ÖNORM 1801-1, KG 2, 3, 4) bzw. der Errichtungskosten (KG 1-9) verglichen.

Abb. 4: Netto-Errichtungskosten (KG 1-9 ÖNORM 1801-1) der 30.000 Varianten mit Abluftanlage und Kostenobergrenze der Wohnbauförderung für Gemeinnützig über dem $PE_{OIB(2011)}$

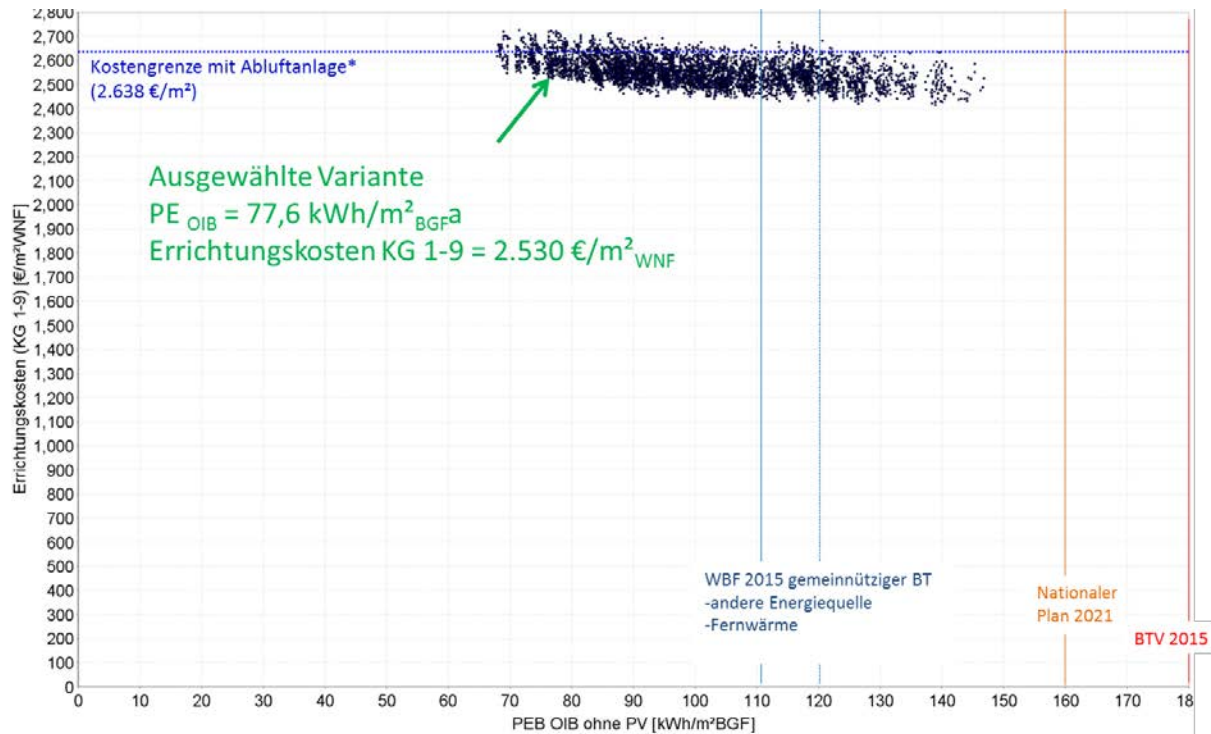


Abbildung 4 zeigt die Netto-Errichtungskosten der 30.000 Varianten mit Abluftanlage im Vergleich zur Kostenobergrenze der WBf Vorarlberg über dem $PE_{OIB(2011)}$. 94% aller untersuchten Varianten mit Abluftanlage und (nicht grafisch dargestellt) 99% der Gebäudevarianten mit Komfortlüftung liegen unter der jeweiligen Kostenobergrenze, die in üblichen Wohnbauförderungsprojekten als schwer zu erreichen gilt.

Die Kostenobergrenze wird projektspezifisch bestimmt und liegt für das untersuchte Projekt bei 2.638 EUR/m² (ohne Komfortlüftung).

Wie die Abbildung zeigt, schwanken die Primärenergiekennwerte OIB (2011) der untersuchten Varianten mit Abluft zwischen etwa 68 und 146 kWh/m²_{BGF}. Die Werte der in der Abbildung nicht dargestellten Varianten mit Komfortlüftung liegen um etwa 13 kWh/m²_{BGF} niedriger.

Die Primärenergiekennwerte OIB (2011) aller untersuchten Varianten liegen damit deutlich unter dem Grenzwert der BTV von 180 kWh/m²_{BGF} und unter dem im Nationalen Plan (OIB, 2014) für 2021 festgelegten Wert von 160 kWh/m²_{BGF}.

Trotz der großen Schwankungsbreite des $PE_{OIB(2011)}$ ist der Einfluss des Energieniveaus auf die Errichtungskosten nur gering.

Die Mehrkosten effizienterer Gebäudevarianten werden in Abbildung 5 auf der Ebene der Bauwerkskosten (ÖNORM 1801-1, KG 2, 3, 4) dargestellt.

Abb. 5: Netto-Bauwerkskosten (KG 2,3 und 4 ÖNORM 1801-1) für drei Varianten mit WDVS und Wärmepumpe

Netto-Bauwerkskosten: Bauweise WDVS, Wärmeerzeugung: WP			
gem. ÖNorm 1801-1 KG 2-4			
WNF = 1.287,1m ²	Variante BTV ohne Solar	Variante PH WDVS mit Solar	ausgeführte Variante WDVS vor Optimierung mit Solar
Konstruktion WDVS (variantenabhängige Kosten)	1.116,3€/m ² WNF	1.141,2€/m ² WNF	1.141,2€/m ² WNF
Fenster IV88 mit sehr guter Verglasung	97,4€/m ² WNF	97,4€/m ² WNF	97,4€/m ² WNF
Sonnenschutz bei Vollverschattung	21,2€/m ² WNF	22,9€/m ² WNF	22,9€/m ² WNF
Heizung (WP mit FBH, 3,5L, PH und ausgeführte Var. mit mittlerer Solaranlage, BTV ohne Solar)	123,8€/m ² WNF	142,7€/m ² WNF	158,2€/m ² WNF
Sanitär	91,4€/m ² WNF	91,4€/m ² WNF	91,4€/m ² WNF
Lüftung (Abluft bei BTV und Lüftung m. WRG bei PH)	31,7€/m ² WNF	93,3€/m ² WNF	31,7€/m ² WNF
Elektro	102,4€/m ² WNF	106,3€/m ² WNF	102,4€/m ² WNF
Sonstige Kosten (für alle Varianten gleich, z.B. Schlosser, Asphalt, Garten, Lift, Bodenbeläge)	328,8€/m ² WNF	328,8€/m ² WNF	328,8€/m ² WNF
Summe Bauwerkskosten	1.912,9€/m² WNF	2.024,0€/m² WNF	1.973,9€/m² WNF
Differenz Bauwerkskosten je m ² WNF		111,0€/m ² WNF	61,0€/m ² WNF
Differenz Bauwerkskosten in %		5,8%	3,0%
HWB (PhPP 20°C)	36,2kWh/m ² a	15,4kWh/m ² a	28,1kWh/m ² a
PEB (PHPP 20°C, ohne HH-Strom, ohne PV)	72,0kWh/m ² a	18,8kWh/m ² a	22,4kWh/m ² a
CO ₂ , (PHPP 20°C, ohne HH-Strom, ohne PV)	11,5kg/m ² a	3,0kg/m ² a	3,6kg/m ² a

Dargestellt sind die aus den Angebotspreisen ermittelten Netto-Bauwerkskosten für drei Gebäudevarianten mit identischer Konstruktion (Ziegel +WDVS) und identischem Wärmeerzeuger (Wärmepumpe) in unterschiedlichen Energieniveaus. Die Bauwerkskosten der Variante nach BTV ohne thermische Solaranlage liegen bei 1.913 EUR/m²_{WNF}, die der Passivhausvariante mit 102m² thermischer Solaranlage mit 2.024 EUR/m²_{WNF} um 111 EUR oder 5,8% über dem Referenzwert.

In der Passivhausvariante wird der Primärenergiebedarf_{PHPP} ohne HH-Strom von 72 auf knapp 19 kWh/m²_{EBF,a} reduziert.

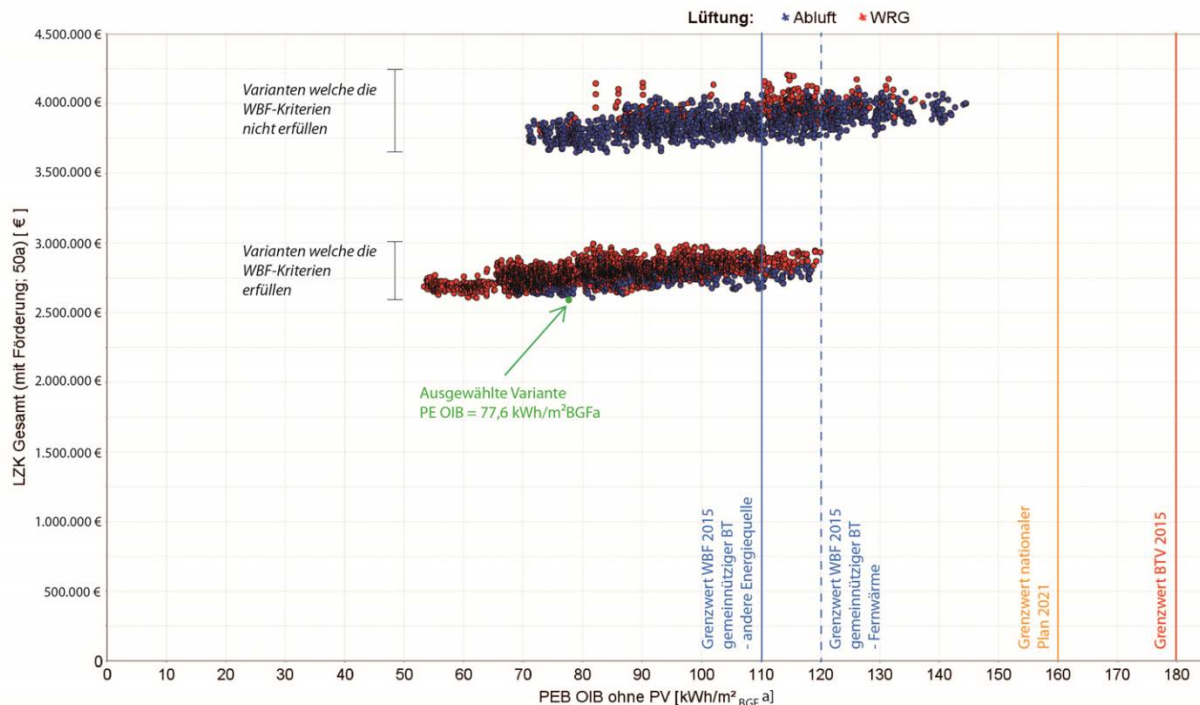
Würde man die Variante Passivhaus inkl. 102m² thermischer Solaranlage mit Abluftanlage statt Komfortlüftung ausführen, so lägen die Bauwerkskosten bei 1.974 EUR/m²_{WNF} und damit um 3,0% über dem Referenzwert nach BTV und ohne Solaranlage. Der Primärenergiebedarf_{PHPP} dieser Variante liegt mit 22,4 kWh/m²_{EBF,a} ebenfalls weit unter dem der Referenzvariante nach BTV.

Ähnliche Mehrkosten der hocheffizienten Gebäudevariante gegenüber der BTV-Variante in gleicher Konstruktionsart zeigen sich auch für die Konstruktionen in Holz- und Mischbauweise bzw. in Massivbauweise mit dämmstoffgefülltem 50er Ziegel.

Die im Projekt „KliNaWo“ durch Ausschreibungen bestimmten prozentualen Mehrkosten liegen damit unter den in der Kostenoptimalitätsstudie des Energieinstitut Vorarlberg bestimmten Werten von 6,2 bis 8,8% (Ploss, 2013) und unter dem in einer Studie des gbv ermittelten Mittelwert von 6,7% (Bauer, 2013). Sie entsprechen in etwa den von innovativen Bauträgern wie der neuen Heimat Tirol genannten, jedoch nicht detailliert veröffentlichten Werten von 4-5%.

5.2.2 Lebenszykluskosten

Abb. 6: Lebenszykluskosten aller Varianten für Gemeinnützige (unter Berücksichtigung der WBF und der Energieförderung) über dem Primärenergiebedarf_{OIB} (2011)



Dargestellt sind die Lebenszykluskosten (Investition, Energie, Wartung) aller 60.000 Varianten unter Berücksichtigung der WBF und der Energieförderung Vorarlberg. Der Betrachtungszeitraum beträgt 50 Jahre.

In der oberen Punktwolke sind die Varianten dargestellt, die keine WBF erhalten würden, weil sie mindestens eine energetische Anforderung der WBF für Gemeinnützige nicht einhalten.

Die untere Wolke zeigt die Varianten, die alle energetischen Mindestanforderungen einhalten und damit Wohnbauförderung erhalten. Wie zu erkennen liegen die Lebenszykluskosten der geförderten Varianten deutlich unter denen ohne Förderung. Der weit überwiegende Teil der Förderung wird nicht nach energetischen, sondern nach ökologischen Kriterien vergeben.

Betrachtet man die Punktwolke der geförderten Varianten, so fällt auf, dass die LZK mit abnehmendem PEB_{OIB} bis u einem sehr niedrigen Wert des PEB_{OIB} fallen. Das sehr flach ausgeprägte Kostenoptimum liegt in einem Bereich von etwa 65 bis 85 $kWh/m^2_{BGF a}$ und damit bei etwa der Hälfte des im Nationalen Plan für 2021 vorgesehenen Grenzwerts von 160 $kWh/m^2_{BGF a}$.

Die LZK der Varianten, die die Mindestanforderungen der WBF für Gemeinnützige gerade einhalten liegen deutlich über denen der kostenoptimalen Varianten.

Ähnliche Verläufe des Kostenoptimums zeigen sich auch für die Varianten ohne jegliche Förderung: das Kostenoptimum liegt auch ohne Förderung nur geringfügig über dem in Abb. 6 dargestellten Wert. Der Einfluss der Förderung auf das Kostenoptimum wird ebenso wie der Einfluss des Wärmeversorgungssystems in Abbildung 7 dargestellt.



Abb. 7: Kostenoptima des Primärenergiebedarfs OIB (2011) differenziert nach Wärmeversorgungssystem – mit und ohne Berücksichtigung der Förderung

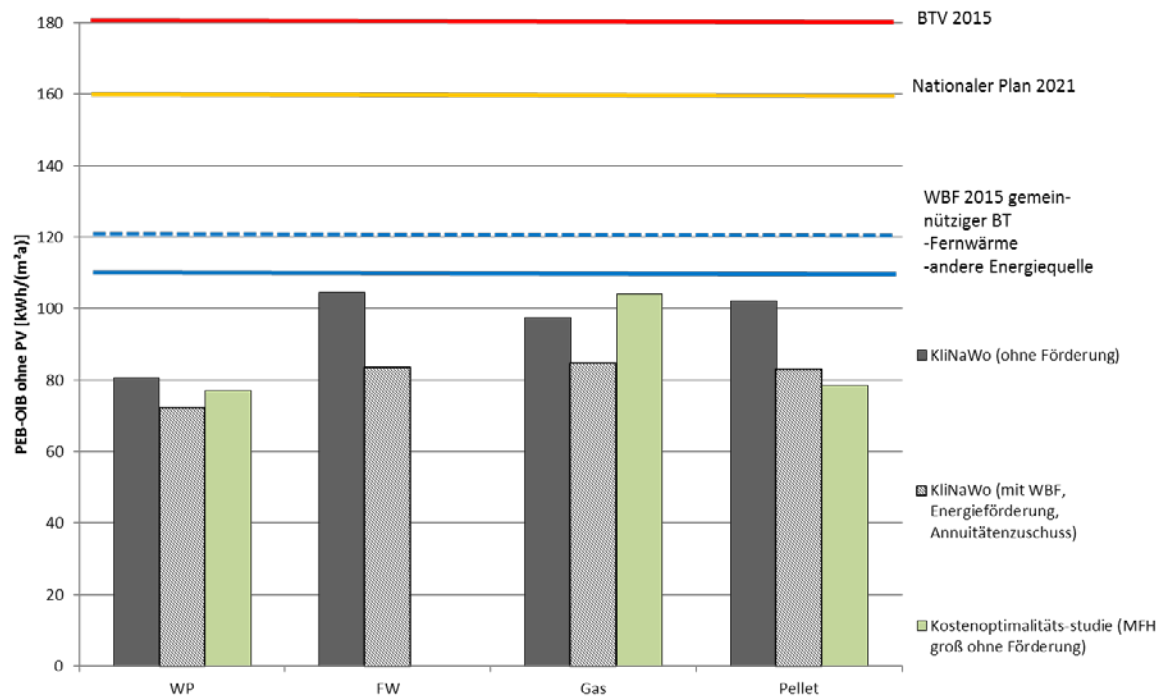


Abbildung 7 zeigt die die Kostenoptima bezüglich des Primärenergiebedarf_{OIB(2011)} differenziert nach dem Wärmeversorgungssystem. Je Energieträger sind drei Säulen dargestellt: die jeweils linke Säule beschreibt das im KliNaWo-Projekt ermittelte Kostenoptimum ohne Förderung, die mittlere das Optimum unter Berücksichtigung der WBF und der Energieförderung. Die jeweils rechte Säule zeigt im Vergleich die Werte des Kostenoptimums, die in einer früheren, theoretischen Studie des EIV mit e7 ermittelten Werte (Ploss, 2013).

Als Kostenoptimum wurde der Wert definiert, der dem mittleren Primärenergiekennwert_{OIB(2011)} des 1% der wirtschaftlichsten Varianten eines Energieträgers entspricht.

Ablesebeispiel:

Von den 60.000 untersuchten Varianten entfallen auf jedes der 4 Wärmeversorgungssysteme 15.000 Varianten. Zur Bestimmung des Kostenoptimums werden für jeden Energieträger die 150 Varianten mit den niedrigsten LZK herangezogen (1% der wirtschaftlichsten Varianten je Energieträger). Als Kostenoptimum wird der Mittelwert des Primärenergiebedarf_{OIB 2011} der 150 wirtschaftlichsten Varianten definiert. Der Mittelwert der besten 150 (=1%) Varianten mit WP beträgt ohne Berücksichtigung jeglicher Förderung 80 kWh/m²_{BGFa} (linke Säule).

Wie die Darstellung zeigt, liegen die Kostenoptima für alle Wärmeversorgungssysteme schon ohne jegliche Förderung nicht nur deutlich unter dem Grenzwert der BTV Vorarlberg für private Bauträger von 180 kWh/m²_{BGFa} und dem Wert des Nationalen Plans von 160 kWh/m²_{BGFa}, sondern auch unter den strengeren Grenzwerten der Wohnbauförderung Vorarlberg von 120 kWh/m²_{BGFa} für Biomasse-Fernwärme und 110 kWh/m²_{BGFa} für alle anderen Energieträger.

Die Berechnungen mit veränderten Randbedingungen für private Bauträger (Betrachtungszeitraum 35 statt 50 Jahre, abweichendes Fördermodell) zeigen sehr ähnliche Ergebnisse. Auch die Annahme etwas stärker oder schwächer steigender Energiepreise (Sensitivitätsstu-

die mit Veränderung der Preissteigerung um +-1%) zeigt fast unveränderte Ergebnisse für das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarf_{OIB} (2011).

5.2.3 Auswahl der zu realisierenden Variante

Die Auswahl der zu realisierenden Variante wurde auf der Basis der Lebenszykluskosten getroffen. Da die LZK der wirtschaftlichsten Varianten nur geringfügig voneinander abweichen, wurden ihre Gemeinsamkeiten als erster Filter zur Variantenauswahl statistisch ausgewertet.

Abb. 8: Gemeinsamkeiten des 1% der wirtschaftlichsten Varianten (gemeinnütziger Wohnbau, mit Förderung)

Hullqualität	PH	100%	BTV	0%				
Konstruktion	Holz	6%	Massiv	41%	Misch	25%	WDVS	28% *
Fenster	IV88Ug055g58	72%	IV88Ug070g43	13%	PHUg053g53	15%		
Verschattung	teil	88%	voll	12% **				
Lüftung	Abluft	59%	WRG	41%				
Wärmeerzeugung	Fern	3%	WP	97%	Gas	0%	Pellet	0%
Wärmeverteilung	2leiter	20%	2leiter35°C	4%	3,5leiter	58%	4leiter	18%
Wärmeabgabe	FBH	45%	HK_außen	20%	HK innen	23%	Luftheiz	13%
Solarthermie	groß	26%	klein	5%	mittel	70%	keine	0%
PV_Strom	0_kWp	50%	10_kWp	27%	20_kWp	19%	35_kWp	5%

Betrachtet man die Gemeinsamkeiten der 600 Varianten mit den geringsten LZK (wirtschaftlichstes Prozent der insgesamt 60.000 Varianten), so zeigen sich die folgenden Hauptergebnisse:

- 100% der wirtschaftlichsten Varianten haben eine Gebäudehülle in Passivhausqualität
- 59% der wirtschaftlichsten Varianten haben eine Abluftanlage, 41% eine Komfortlüftung
- 97% der wirtschaftlichsten Varianten haben eine Wärmepumpenheizung
- 70% der wirtschaftlichsten Varianten haben eine mittelgroße thermische Solaranlage (102m² Kollektorfläche)

Wie Detailauswertungen zeigen, hat die Konstruktionsart nur einen sehr geringen Einfluss auf die LZK. Der größte Anteil der wirtschaftlichsten Varianten verfügt über die Konstruktion in Massivbau mit dämmstoffgefülltem 50er Ziegel; die LZK der Varianten mit anderen Konstruktionsarten liegen jedoch nur minimal höher.

Zur Realisierung wurde die folgende Variante gemeinschaftlich ausgewählt:

Hülle Passivhausqualität, Außenwand Ziegel + Wärmedämmverbundsystem, Holz-Alu-Fenster mit der besten der untersuchten Verglasungen, kontinuierlich betriebene zentrale Abluftanlage, die mit dem gleichen Luftvolumenstrom betrieben wird, der für die Komfortlüftung ermittelt wurde, Wärmepumpe, Fußbodenheizung, mittlere Solarthermie (102m²), keine PV.

Die Entscheidung für die Variante WDVS fiel, da die VOGEWOSI mit diesem System gute Erfahrungen hat.

Einzig strittiger Punkt war die Wahl des Lüftungssystems. Während Energieinstitut, Fachplaner und Uni Innsbruck aus Komfortgründen und wegen der etwas besseren Energiekennwerte für die Komfortlüftung plädierten, favorisierten der Bauherr VOGEWOSI und die Arbeiterkammer die Abluftanlage. Hauptgrund für diese Präferenz war der Wunsch nach einer Vereinfachung des Gesamt-Haustechniksystems und der – wenn auch sehr geringe Vorteil des Abluftsystems bezüglich der Lebenszykluskosten.



Die Detailauswertung der LZK der Lüftungssysteme zeigt, dass die Komfortlüftung in Kombination mit Fernwärmeheizung und Pelletheizung die geringfügig wirtschaftlichere Variante ist, während bei Wärmepumpe und Gas die Abluftanlage geringfügig niedrigere LZK aufweist. Die Unterschiede der LZK zwischen Komfortlüftung und Abluftsystem liegen zwischen -5.000 und + 5.000 EUR in 50 Jahren für eine Wohnfläche von 1.263 m².

6. ZWISCHENRESUMÉ

Die wichtigsten Zwischenergebnisse des Projekts lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Auch Mehrfamilienhäuser höchster Effizienz können in den (Errichtungs-) Kostengrenzen der WBF Vorarlberg realisiert werden
- Das Energieniveau hat einen geringen Einfluss auf die Bauwerks- und Errichtungskosten
- Die (Bauwerks)Mehrkosten hocheffizienter Gebäudevarianten von etwa 4-6% (Passivhaus mit Solarthermie gegenüber BTV ohne Solarthermie) werden im Lebenszyklus durch geringere Betriebskosten mehr als kompensiert
- Die Kostenoptima des Primärenergiebedarfs OIB 2011 liegen schon ohne Förderung drastisch unter dem Grenzwert des Nationalen Plans für 2021
- Die Variantenauswahl nach LZK statt nach Bauwerkskosten ist sinnvoll und sollte verstärkt als eingesetzt werden

7. BETEILIGTE UND PROJEKTFINANZIERUNG

Bauherr ist die gemeinnützige Bauvereinigung VOGEWOSI, die ebenso wie die Arbeiterkammer Vorarlberg auch Finanzierungspartner des Projekts ist. Der aus dem Forschungsprojekt resultierende Planungsmehraufwand und die wissenschaftliche Begleitung werden als Projekt des Comet-Zentrums ALPS in Innsbruck gefördert. COMET Projekte werden durch die Bundes-Ministerien BMVIT und BMWFW sowie durch das Land Vorarlberg gefördert und durch die FFG abgewickelt. Die Hardwarekosten des Monitoring werden vom Land Vorarlberg getragen.

Wissenschaftspartner Partner ist die Universität Innsbruck (Institut für Konstruktion u. Materialwissenschaften – Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen), die Leitung der wissenschaftlichen Begleitung liegt beim Energieinstitut Vorarlberg.

Die Gebäudeplanung wurde vom folgenden Planungsteam übernommen:

Architektur: Walser + Werle, Feldkirch

Planung Haustechnik: e plus, Egg

Bauphysik: Spektrum, Dornbirn

Statik: M+G Ingenieure, Feldkirch

Elektroplanung: EK Plan, Nenzing



8. LITERATURLISTE

Bauer, E, 2013: Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit – Investitions- und Nutzungskosten in Wohngebäuden gemeinnütziger Bauvereinigungen unter besonderer Berücksichtigung energetischer Aspekte; Österreichischer Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen, Wien, 2013

OIB, 2014: Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB): OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU

Peper, S., 2015: Monitoring in der Passivhaus-Siedlung Heidelberg-Bahnstadt. et al., Passivhaus Institut, Darmstadt 2015

Ploss, M., 2001: Modellvorhaben Kostengünstige Passivhäuser Kaiserslautern – Forschungsbericht 2001; Ministerium der Finanzen, Rheinland-Pfalz (Herausgeber)

Ploss, M., Brunn, M., 2013: Analyse des Kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg – Endbericht, Energieinstitut Vorarlberg / e7 Energie Markt Analyse, Dornbirn, 2013

Schnieders, J. et al., 2001: CEPHEUS – wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht; Passivhaus Institut, Darmstadt 2015

Treberspurg, M. Smutny, R., 2009: Nachhaltigkeitsmonitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien – Endbericht, BOKU, Wien, 2009

Kontakt Daten der Autoren:

Martin Ploss

Energieinstitut Vorarlberg

Stadtstraße 33

6850 Dornbirn

Email: martin.ploss@energieinstitut.at

Tobias Hatt

Energieinstitut Vorarlberg

Stadtstraße 33

6850 Dornbirn

Email: tobias.hatt@energieinstitut.at