

Modellvorhaben „KliNaWo“

Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau

Zwischenbericht Jänner 2017

Martin Ploss, Tobias Hatt, Christina Schneider, Thomas Rosskopf, Michael Braun
Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn

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



Inhalt

1	Ausgangslage	3
1.1	Sind energieeffiziente Wohnungsneubauten energieeffizient?	4
1.2	Sind energieeffiziente Gebäude zu teuer?	7
2	Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz in der Praxis – Modellvorhaben „KliNaWo“	9
2.1	Zielsetzung.....	9
2.2	Vorgehensweise	9
3	Phase 1: Energetisch-wirtschaftliche Optimierung des Entwurfs	10
4	Phase 2: Variantenplanung Konstruktion und Haustechnik	12
4.1	Festlegung der zu untersuchenden Varianten.....	12
4.2	Energiebedarfsberechnungen	12
4.3	Werkplanung.....	14
5	Phase 3: modulare Ausschreibung und Variantenauswahl.....	15
6	Ergebnisse der Variantenstudie	16
6.1	Bauwerks- und Errichtungskosten des Gebäudes	16
6.2	Kosten von Bauteilen und Haustechnikkomponenten.....	19
6.3	Lebenszykluskosten des Gebäudes	21
7	Auswahl der zu realisierenden Variante	26
7.1	Gemeinsamkeiten der wirtschaftlichsten Varianten	26
7.2	Einfluss der Konstruktionsart.....	26
7.3	Wirtschaftlichkeit der Komfortlüftung	27
7.4	Zur Realisierung ausgewählte Variante.....	27
8	Zwischenresumé und derzeitiger Stand	28
8.1	Derzeitiger Stand der Realisierung und Ausblick.....	29
8.2	Beteiligte und Projektfinanzierung	29
	Quellen.....	30

1 Ausgangslage

Auf der Grundlage positiver Erfahrungen aus Demonstrations- und Forschungsprojekten wurden die Mindestanforderungen an die energetische Gebäudequalität in Österreich wie in Deutschland und den meisten europäischen Ländern in den letzten 30 Jahren kontinuierlich erhöht.

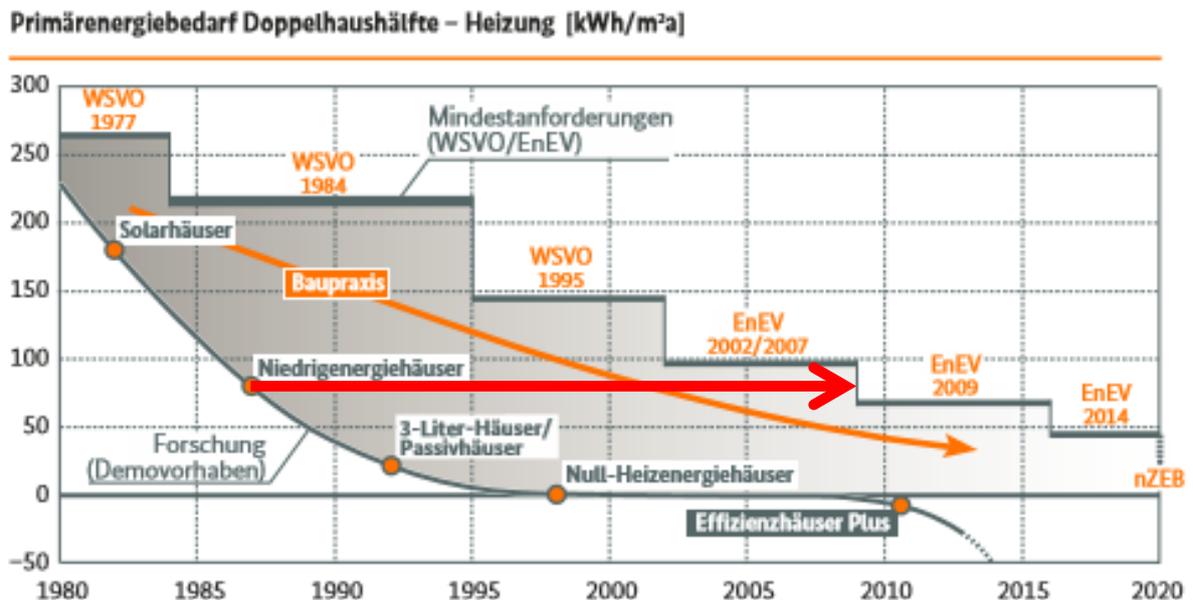


Abb. 1: Entwicklung des Primärenergiebedarfs bei Erfüllung der Mindestanforderungen an die energetische Qualität von Wohngebäuden im Vergleich zu den Werten von Demovorhaben [1]

Abbildung 1 zeigt exemplarisch am Beispiel Deutschlands den zeitlichen Verlauf des Primärenergiebedarfs von Wohngebäuden, die die Mindestanforderungen an die energetische Gebäudequalität erfüllen. Zum Vergleich sind auch die in Demo- und Forschungsvorhaben erreichten Werte und die in der Baupraxis üblicherweise erreichten Energieniveaus dargestellt. Wie zu erkennen, entsprechen die gesetzlichen Mindestanforderungen in etwa den Standards, die ca. 30 bis 40 Jahre zuvor in Demonstrationsvorhaben erfolgreich getestet wurden. Dies bedeutet, dass die heutigen Mindestanforderungen einem Energieniveau entsprechen, das schon vor 40 Jahren möglich war und somit veraltet sind.

Die Kritik: kaum Einsparung und viel zu teuer

Kritik an der Verschärfung der energetischen Mindestanforderungen wird schon seit vielen Jahren geäußert, seit etwa 2010 wird die Sinnhaftigkeit weiterer Verschärfungen zunehmend kontroverser diskutiert. Im Zentrum der Kritik stehen zumeist die folgenden Aspekte:

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

Die Diskussion wird in Vorarlberg und Gesamt-Österreich sehr emotional geführt, ein Grund für die Emotionalisierung ist der Mangel an detailliert aufbereiteten, nachvollziehbaren Daten zum Thema Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Wohngebäude. Ein weiterer Grund sind sehr widersprüchliche Angaben zu ihrem realen Energieverbrauch.

Um die Diskussion um Kosten und Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Gebäude zu versachlichen wurde Ende 2012 das Modellvorhaben KliNaWo gestartet. Schwerpunkt des Projekts ist der Vergleich unterschiedlicher Varianten zum Bau eines hocheffizienten Mehrfamilienhauses und die Auswahl der zu realisierenden Variante auf der Grundlage der Lebenszykluskosten. Dies bedeutet dass neben den Investitionskosten auch die Betriebskosten wie Energie-, Wartungs- oder Instandhaltungskosten berücksichtigt werden. Dies sind dann die Kosten, welche den Erbauer und Betreiber über die Lebensdauer des Gebäudes erwarten. Energieeffiziente Gebäude sparen im Betrieb Kosten und können so die geringen Mehrkosten ausgleichen und somit im gesamten wirtschaftlicher sein als ineffiziente Gebäude.

1.1 Sind energieeffiziente Wohnungsneubauten energieeffizient?

Der reale Energieverbrauch hocheffizienter Gebäude wird inzwischen in einer zunehmenden Anzahl an Veröffentlichungen kritisiert. So kommt etwa eine Studie des Verbandes der gemeinnützigen Bauvereinigungen (gbv) in Österreich zu dem Ergebnis, der reale Energieverbrauch der analysierten hocheffizienten Gebäude liege im Mittel deutlich über dem berechneten Bedarf während der Verbrauch älterer Gebäude zumeist unter dem vorausberechneten Wert liege [2]. Der Befund stimmt für die in der gbv-Studie berücksichtigten Gebäude wie auch für andere effiziente Gebäude, die den vorausberechneten Bedarf nicht erreichen. Der Großteil derartiger Veröffentlichungen hat gemein, dass die realen Energieverbräuche mit den Ergebnissen der Energieausweis-Berechnungen verglichen werden, denen Norm-Nutzungsbedingungen zugrunde liegen und die dezidiert nicht zur Prognose des realen Verbrauchs, sondern zur Klassifizierung von Gebäuden dienen.

Vergleicht man hingegen die realen Verbräuche hocheffizienter Gebäude mit den Werten, die mit validierten Berechnungsverfahren unter Verwendung projektspezifischer, realistischer Randbedingungen ermittelt wurden, so zeigt sich eine gute Übereinstimmung. Zahlreiche messtechnisch begleitete Mehrfamilienhaus-Projekte zeigen, dass auch in der Praxis spezifische Endenergieverbräuche_(Heizung+WW) von etwa 35 bis 50 kWh/m²_{WFa} mit Gas-, Biomasse- oder Fernwärmeheizung erreicht werden [3], [4], [5]. Der Endenergieverbrauch_(Heizung+WW) hoch effizienter, wärmepumpenbeheizter Gebäude liegt bei 10 - 15 kWh/m²_{EBFa} [6]. Das in Abbildung 2 dargestellte, derzeit energieeffizienteste Vorarlberger MFH-Projekt mit Wärmepumpe hat einen gemessenen Endenergieverbrauch_(Heizung+WW) von unter 10 kWh/m²_{WNFA} [6a].



Abb. 2: Wohnanlage Langenegg Unterstein, Morscher, Architektur H. Kaufmann

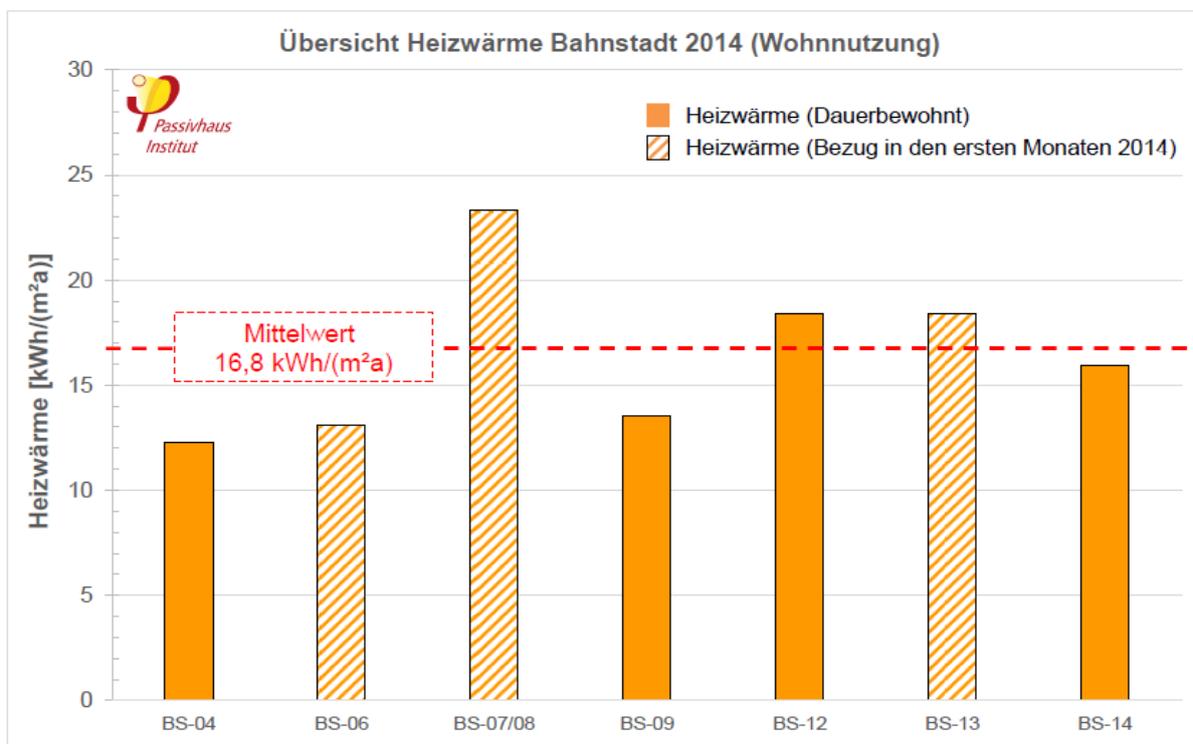


Abb. 3: Messwerte Heizwärmeverbrauch Passivhaussiedlung Bahnstadt Heidelberg [5]

Als weiteres Beispiel für die o.g. Projekte mit sehr niedrigem Energieverbrauch zeigt Abbildung 3 den gemessenen Heizwärmeverbrauch der über 1.200, mit Fernwärme aus einem Biomasse-BHKW beheizten Wohneinheiten, der Passivhaussiedlung Bahnstadt Heidelberg. Der Mittelwert des gemessenen Heizwärmeverbrauchs liegt mit $16,9 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBFA}}$ nur knapp über dem mit dem PHPP vorausgerechneten Heizwärmebedarf.

Der mittlere Endenergiebedarf_(Heizung+Warmwasser) der Siedlung liegt bei etwa $50 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBFA}}$. Dass die stetige Verschärfung der Mindestanforderungen auch bezogen auf den gesamten Wohngebäudebestand zu niedrigeren Verbräuchen führt, zeigt die folgende Abbildung. Dargestellt sind die gemessenen Energieverbräuche von 110.000 öl- und gasbeheizten Mehrfamilienhäusern in Deutschland. Jeder Punkt repräsentiert den für ein Gebäude gemessenen realen Energieverbrauch. Als Linien sind der Median sowie die 98%, 90% und die 10%-Quantile dargestellt. Bei den Daten handelt es sich um die klimabereinigten Messdaten eines großen Energieverbrauchs-Ableseunternehmens.

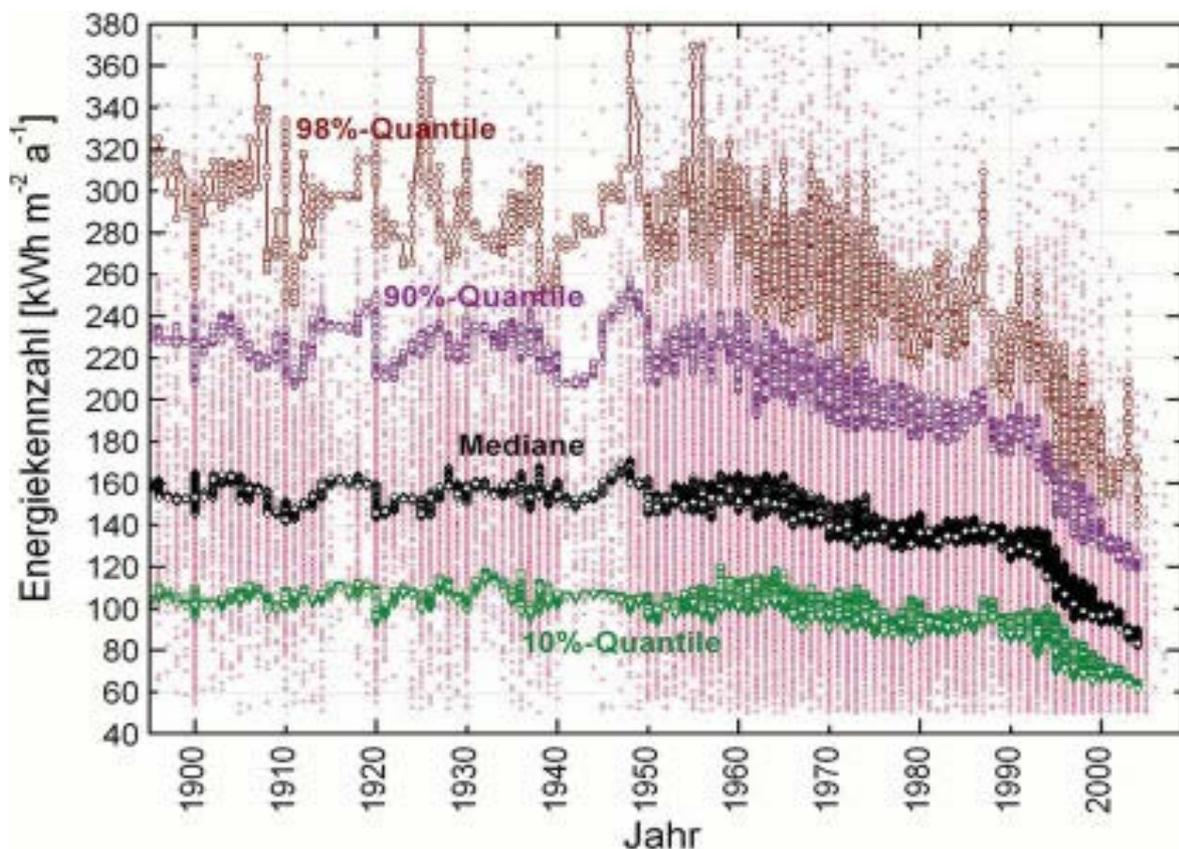


Abbildung 4: gemessene Energieverbräuche von Mehrfamilienhäusern in Deutschland in Abhängigkeit vom Baujahr [7].

Wie zu erkennen ist, liegt der Median der gemessenen Energieverbräuche der Gebäude der Baujahre 1900 bis 1964 bei etwa $155 \text{ kWh/m}^2_{\text{WFA}}$. Die Werte der Gebäude der Baujahre 1965 bis 1976 sinken auf etwa $145 \text{ kWh/m}^2_{\text{WFA}}$, 1990 beträgt der Median $136 \text{ kWh/m}^2_{\text{WFA}}$.

Die stärksten Rückgänge sind etwa 1996 und 2003 zu verzeichnen und damit knapp nach der Verschärfung der energetischen Mindestanforderungen in WSVÖ 95 und erster EnEV. Der Median der 2004 bis 2006 errichteten Gebäude liegt bei $85 \text{ kWh/m}^2_{\text{WFA}}$. Wie die Grafik ebenfalls zeigt, sinkt die Standardabweichung: lag sie bei Gebäuden der Baujahre bis 1960 noch bei etwa $50 \text{ kWh/m}^2_{\text{WFA}}$, so liegt sie aktuell bei ca. $25 \text{ kWh/m}^2_{\text{WFA}}$. Die Abweichungen zwischen den Gebäuden eines Baualters werden also geringer.

1.2 Sind energieeffiziente Gebäude zu teuer?

Während Daten zum realen Energieverbrauch effizienter Gebäude zumindest für eine große Anzahl an Forschungsprojekten vorliegen, sind im gesamten deutschsprachigen Raum nur sehr wenige Studien mit detaillierten, nachvollziehbar aufbereiteten Daten zu den Mehrkosten effizienter Gebäude verfügbar. Unter den wenigen verfügbaren Studien sind zwei unterschiedliche methodische Herangehensweisen vorherrschend:

1. Vergleich einer statistisch signifikanten Anzahl an Gebäuden unterschiedlicher energetischer Niveaus, von denen angenommen wird, dass sie bezüglich ihrer sonstigen Ausstattungsmerkmale ähnlich sind
2. Vergleich energetisch unterschiedlicher Ausführungsvarianten eines ansonsten identischen Gebäudes

Die Ergebnisse einiger Studien nach beiden Herangehensweisen sind nachfolgend zusammengefasst.

a. Studie Österreich (Methodik 1)

Eine Studie des Verbandes der gemeinnützigen Wohnbauvereinigungen (gbv) gibt die mittleren Mehrkosten von 55 Mehrfamilienhausprojekten mit einem Heizwärmebedarf $_{\text{OIB}}$ von max. $12 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ gegenüber solchen mit einem Heizwärmebedarf von $31 - 40 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ mit $6,73\%$ an [2]. Die Projekte befinden sich in ganz Österreich, die regionalen Baukostenunterschiede wurden egalisiert.

b. Studie Hamburg (Methodik 1)

Eine Studie zum Kosteneinfluss verschiedener Faktoren auf den geförderten Mietwohnbau in Hamburg kommt zu dem Ergebnis, dass es keinen signifikanten Einfluss des Energieniveaus auf die Baukosten gibt [8]. Untersucht wurden 120 Mehrfamilienhaus-Projekte aus den Jahren 2011 bis 2014 mit insgesamt 4.800 Wohneinheiten.

c. Studie Arge für zeitgemäßes Bauen (Methodik 2)

In einer u.a. im Auftrag des Bundesverbandes Deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V. (GdW) erstellten Studie der Arge für zeitgemäßes Bauen werden die Kosten von Ausführungsvarianten unterschiedlicher Energieniveaus an einem hypothetischen Muster-Mehrfamilienhauses verglichen [9]. Neben dem Einfluss erhöhter energetischer Anforderungen wird auch der Einfluss anderer Kostentreiber wie Schallschutz, Normen etc. quantifiziert.

Als Kostenquelle nennt die Studie

- Kostenauswertungen und Preisdatenbanken der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.
- Untersuchungsergebnisse aus dem bundesweiten Bauforschungsbereich der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. auf Grundlage von repräsentativen Kostenerhebungen in Zusammenarbeit mit der Wohnungswirtschaft

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, die Ausführung des Gebäudes im Energieniveau EnEV 2014 sei etwa 6,5% teurer als nach WSVO 1995. Für die Ausführung im Standard KfW 40 werden Mehrkosten von 26,3% gegenüber den Mindestanforderungen der EnEV 2014 genannt. Die energetische Qualität von KfW 40 Gebäuden entspricht in etwa der Qualität von Passivhäusern. Die wohnflächenspezifischen Mehrkosten vom Niveau EnEV 2014 zum Niveau KfW 40 werden mit 351 EUR/m² angegeben. Die Studie wird auch im Bericht der Baukostensenkungskommission des Bundesumweltministeriums zitiert und beeinflusst dessen Ausarbeitungen zum Thema der Mehrkosten energieeffizienter Bauweisen und zu deren Wirtschaftlichkeit maßgeblich [10].

d. Studie Wien (Methodik 2)

In einer Studie über vier detailliert untersuchte, zwischen 2006 und 2010 in Wien errichtete Passivhausprojekte werden die Mehrkosten mit knapp 4 bis 6% gegenüber dem Standard Niedrigenergie angegeben [11]. In der Studie werden auch die Kosteneinflüsse einzelner Bauteile und Haustechnikkomponenten detailliert analysiert.

e. Sonstige Kostenangaben

Die gleiche Größenordnung, etwa 4-5% Mehrkosten geben auch Bauträger wie die ABG, Frankfurt, die Neue Heimat Tirol und die Innsbrucker Immobilien GmbH für Ihre Passivhausprojekte an. Detaillierte Kostenauswertungen sind für diese Projekte jedoch nicht öffentlich verfügbar.

Wie der Vergleich der dargestellten Studien zeigt, schwanken schon die Angaben zu den Mehrkosten energieeffizienter Gebäude sehr stark.

Studien, in denen auch die Wirtschaftlichkeit hocheffizienter Gebäude untersucht und nachvollziehbar hergeleitet wird, sind noch seltener und aufgrund der Vielzahl notwendiger Annahmen noch schlechter vergleichbar. Deshalb wurde das Modellvorhaben KliNaWo ins Leben gerufen.

2 Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz in der Praxis – Modellvorhaben „KliNaWo“

2.1 Zielsetzung

Angesichts der beschriebenen unbefriedigenden Datenlage zum Thema Kosten und Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Wohngebäude startete das Energieinstitut Vorarlberg Ende 2012 das Modellvorhaben „KliNaWo“ (Klimagerechter, nachhaltiger Wohnbau). Anlass für das gemeinsam mit der gemeinsam mit der gemeinnützigen Wohnbauvereinigung VOGEWOSI und der Arbeiterkammer Vorarlberg durchgeführten Projekts waren starke Kostensteigerungen für Eigentums- und Mietwohnungen und eine dadurch ausgelöste Diskussion über die Leistbarkeit des Bauens. In vielen Diskussionsbeiträgen wurde die Energieeffizienz als Hauptkostentreiber genannt.

Hauptprojektziel ist es, am Beispiel eines für Vorarlberg typischen Mehrfamilienhauses mit knapp 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 [12]: für einen zunächst energetisch-wirtschaftlich optimierten Gebäudeentwurf werden zahlreiche Ausführungsvarianten geplant und ausgeschrieben, die sich bezüglich ihres Energieniveaus, der Konstruktionsart und des Haustechnikkonzepts unterscheiden. Auf der Grundlage der Ausschreibungsergebnisse werden die reinen Baukosten aller Varianten bestimmt, auf der Basis der Energiebedarfsberechnungen ihre voraussichtlichen Energiekosten. Aus diesen Daten können unter Berücksichtigung der Wartungskosten die Lebenszykluskosten aller Varianten ermittelt werden. Realisiert wird die Variante, für die bei einem definierten, sehr niedrigen Energiebedarf 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 Konstruktion und Haustechnik + Energiebedarfsberechnungen
- 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 3 beschrieben, der Schwerpunkt liegt auf den Phasen 2 und 3. Eine genaue Beschreibung der angewandten Methodik findet sich in [13].

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 Baukörper nahe.

Abbildung 5 zeigt den Gebäudeentwurf vor und nach der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung.

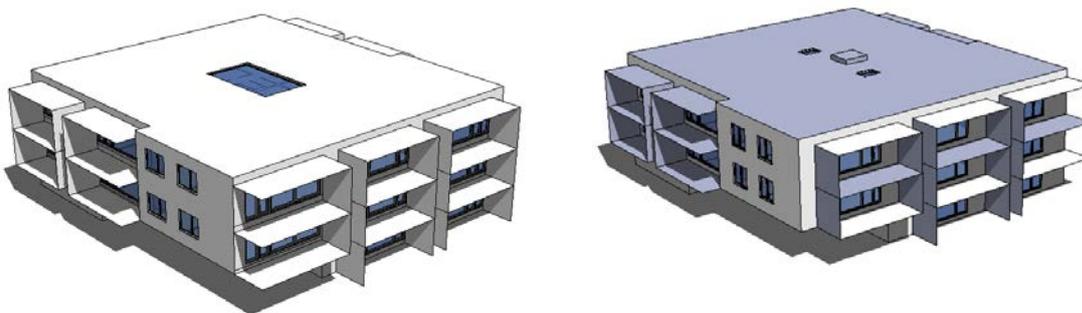


Abb. 5: Gebäudeentwurf vor (links) und nach der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung; Arch. Walser + Werle, Feldkirch, Darstellung PHI Innsbruck mit Design PH

Der Gebäudeentwurf repräsentiert bezüglich Gestaltung, Geschößzahl (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 vom Keller 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. Bautechnikverordnung (BTV), Passivhaus) mit geringeren Dämmstoffdicken und damit günstiger erreicht werden können. Wie dynamische Gebäudesimulationen zeigen, führt die geringfügige Verkleinerung der Fensterflächen nicht nur zu einer Verringerung 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 des Bauträgers und der BKI Baukostendatenbank auf etwa 50 bis 75 EUR/m²_{WNF} abgeschätzt und soll im weiteren Projektverlauf auf Basis der Ausschreibungsergebnisse quantifiziert werden. Die wichtigsten Kennwerte des Gebäudes sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Bauherr		VOGEWOSI
Standort		Feldkirch-Tosters
Klimadaten für PHPP-Berechnungen		TRY Feldkirch (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 _{OIB} Mindestanforderung BTV	kWh/m ² _{BGFa}	34

Tab. 1: Kenndaten des Gebäudes

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 Bautechnikverordnung Vorarlberg (BTV), 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.

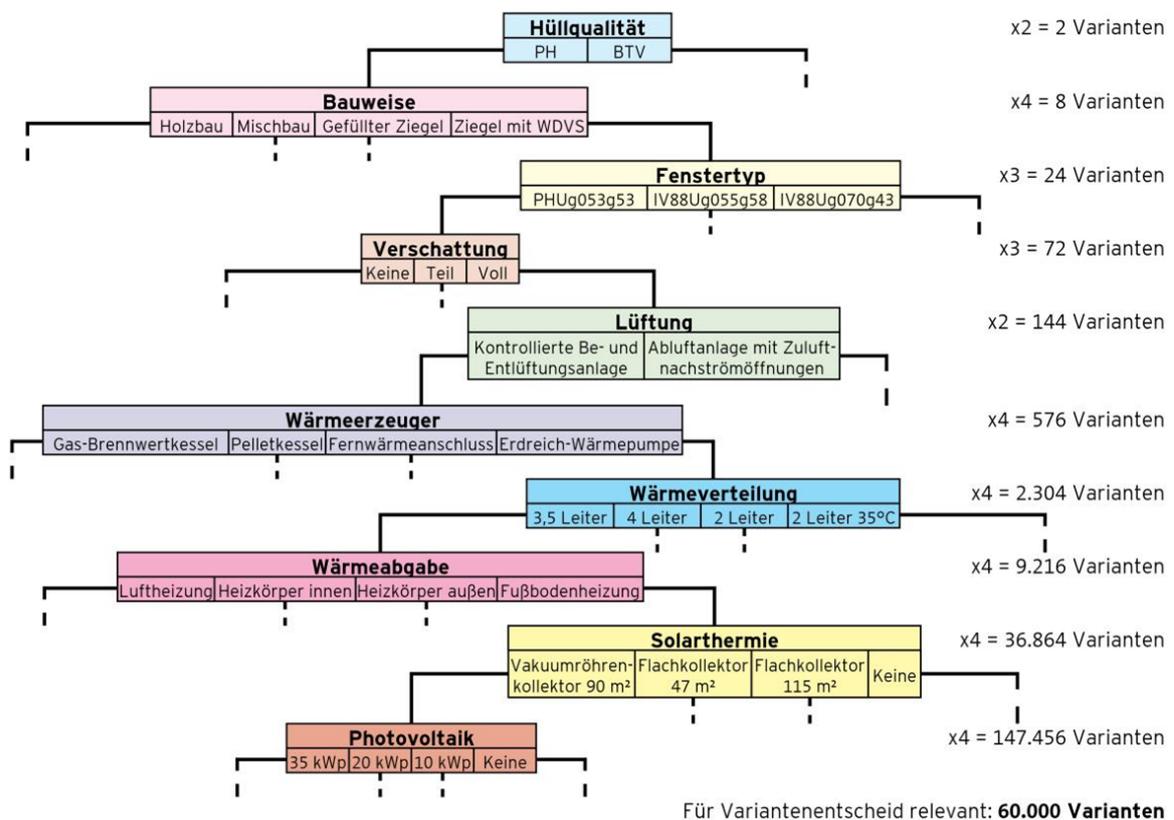


Abb. 6: Matrix der zu untersuchenden Gebäudevarianten

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.

Diese Verbrauchsprognoseberechnungen wurden dann 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-Berechnungen dienen auch dem Vergleich der energetischen Qualität der untersuchten Varianten mit verschiedenen Anforderungsniveaus wie BTV oder dem Nationalem Plan.

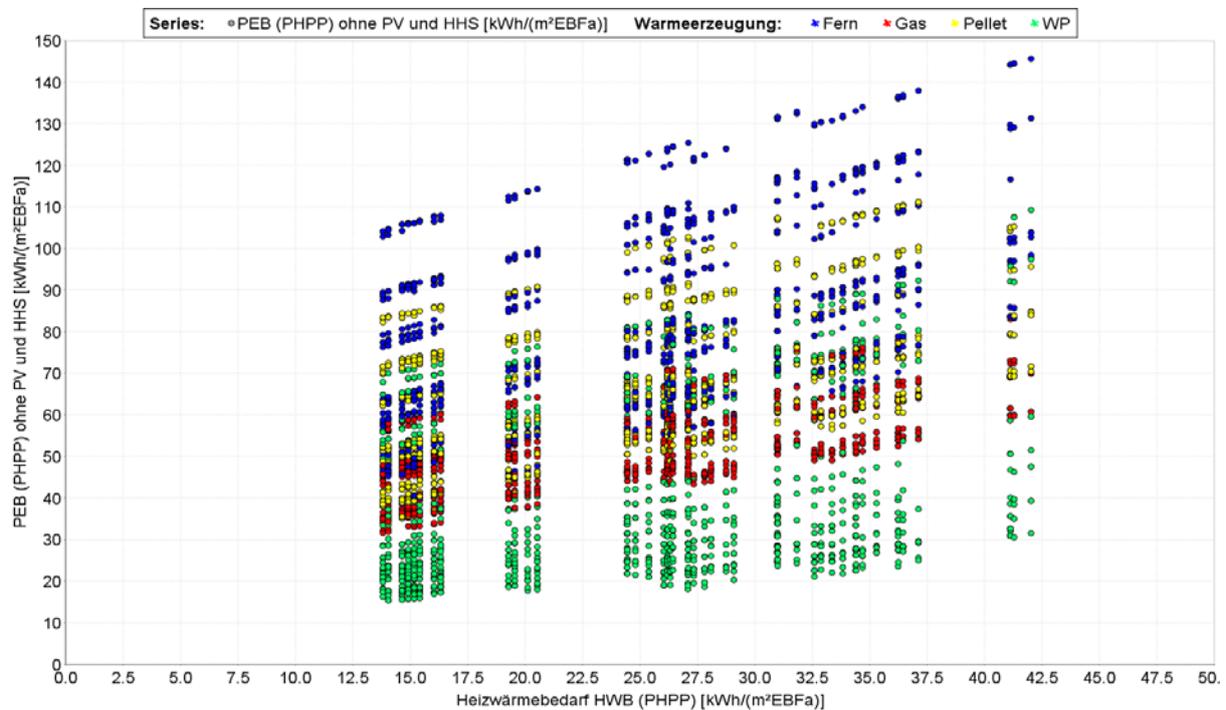


Abb. 7: Heizwärmebedarf PHPP und Primärenergiebedarf PHPP ohne Haushaltsstrom und ohne Berücksichtigung von PV-Erzeugung, Berechnung mit Primärenergiefaktoren der OIB RL 6 (2011)

Wie Abb. 7 zeigt, schwankt der Heizwärmebedarf_{PHPP} der untersuchten Varianten um den Faktor 3 zwischen 14 und 42 kWh/m²_{EBFa}. Letzter Wert entspricht dem Niveau BTV Vorarlberg und damit einem Heizwärmebedarf von ca. 34 kWh/m²_{BGFa} bei Berechnung 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 PHPP-Berechnungen wurden die österreichischen Primärenergiefaktoren gemäß 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}

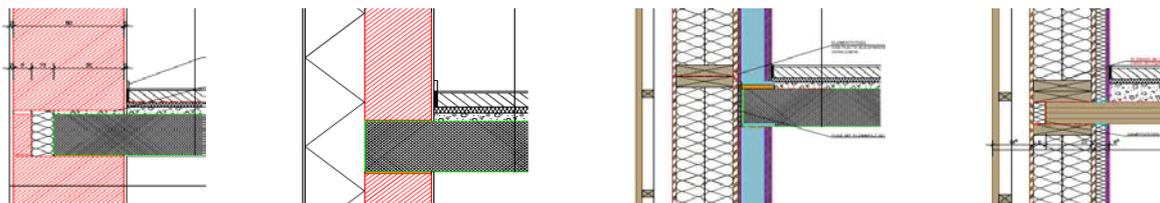
erreichen die Gebäudevarianten mit Wärmepumpe, die höchsten haben die Varianten mit Biomasse-Fernwärme. Letztere haben ebenso wie die Varianten mit Pelletheizung die deutlich niedrigsten CO₂-Emissionen.

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 Wärmeverteilsysteme, Speicher, Solarthermie- und PV-Systeme.



Massivbau monolithisch	Massivbau WDVS	Mischbau	Holzbau
38er/50er Ziegel	24er Ziegel + 12cm/22cm EPS	34cm/48cm davon 14cm/28cm Holzständerwand	24cm/38cm davon 14cm/28cm Holzständerwand
$U_{AW}=0,177/0,125$	$U_{AW}=0,215/0,124$	$U_{AW}=0,197/0,126$	$U_{AW}=0,215/0,134$
$U_D=0,201/0,093$	$U_D=0,168/0,093$	$U_D=0,168/0,093$	$U_D=0,158/0,082$

Abbildung 8: Darstellung der vier Konstruktionsarten und energetische Kennwerte in den Energieniveaus BTV und Passivhaus

5 Phase 3: modulare Ausschreibung und Variantenauswahl

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.

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

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

- ohne Berücksichtigung von Förderungen
- mit Energieförderung und 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.

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.

6 Ergebnisse der Variantenstudie

6.1 Bauwerks- und Errichtungskosten des Gebäudes

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. Die Bauwerkskosten entsprechen den reinen Baukosten (DIN 276, KG 300+400), die Errichtungskosten schließen alle Kostengruppen außer den Grundstückskosten ein.

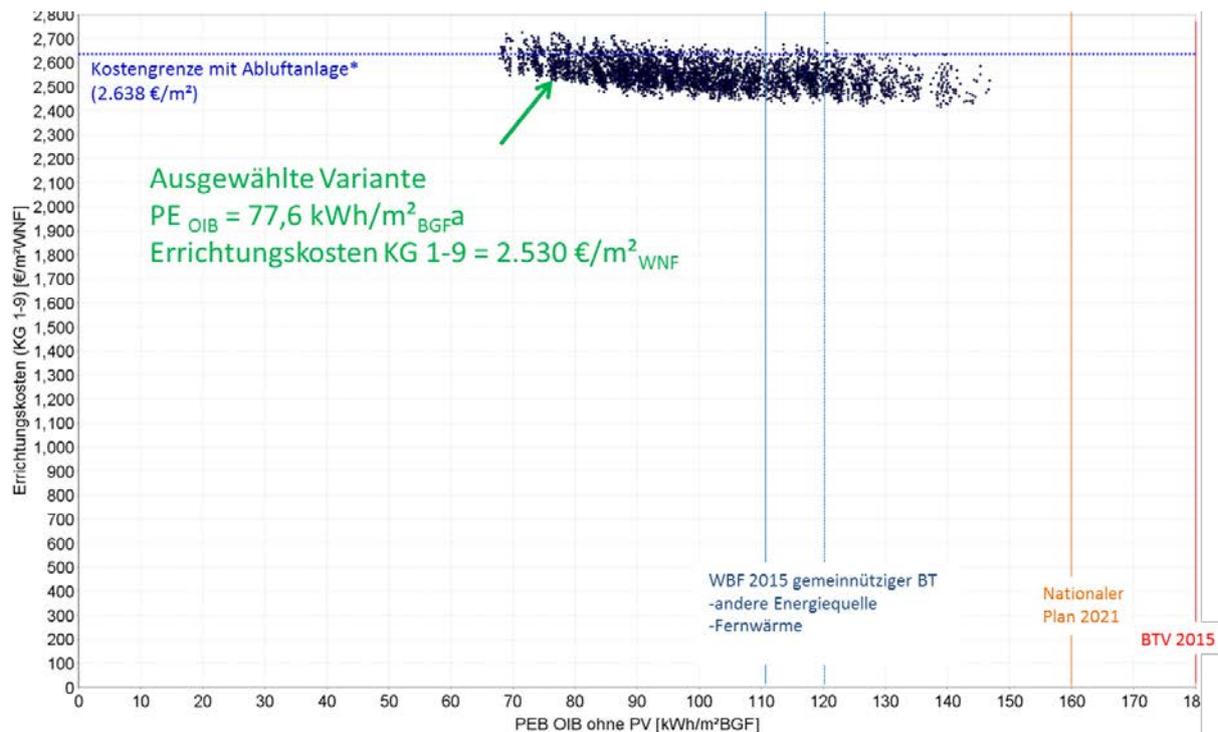


Abb. 9: Netto-Errichtungskosten (KG 1-9 ÖNORM 1801-1) der 30.000 Varianten mit Abluftanlage und Kostenobergrenze der Wohnbauförderung für Gemeinnützige über dem PEB_{OIB} (2011)

Abbildung 9 zeigt die Netto-Errichtungskosten der 30.000 Varianten mit Abluftanlage im Vergleich zur Kostengrenze der Wohnbauförderung Vorarlberg über dem Primärenergiebedarf PEB_{OIB} 2011. 94% aller untersuchten Varianten mit Abluftanlage, liegen unter der der Wohnbauförderung für Gemeinnützige 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_{BGFa}. Zum Vergleich: die Werte typischer Passivhäuser liegen bei Berechnung nach OIB RL 6 (2011) bei knapp 80 kWh/m²_{BGFa}.

Die Primärenergiekennwerte OIB (2011) aller untersuchten Varianten liegen damit deutlich unter dem Grenzwert der BTV von $180 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ und unter dem im Nationalen Plan (OIB, 2014) für 2021 festgelegten Wert von $160 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ (Österreichisches Fast-Nullenergiehaus zur Umsetzung der Europäischen Gebäuderichtlinie EPBD).

Trotz der großen Schwankungsbreite des $\text{PEB}_{\text{OIB 2011}}$ ist der Einfluss des Energieniveaus auf die Errichtungskosten nur gering.

Abbildung 9a zeigt die Netto-Errichtungskosten der Varianten mit Wärmerückgewinnung über dem Primärenergiebedarf OIB (2011) .

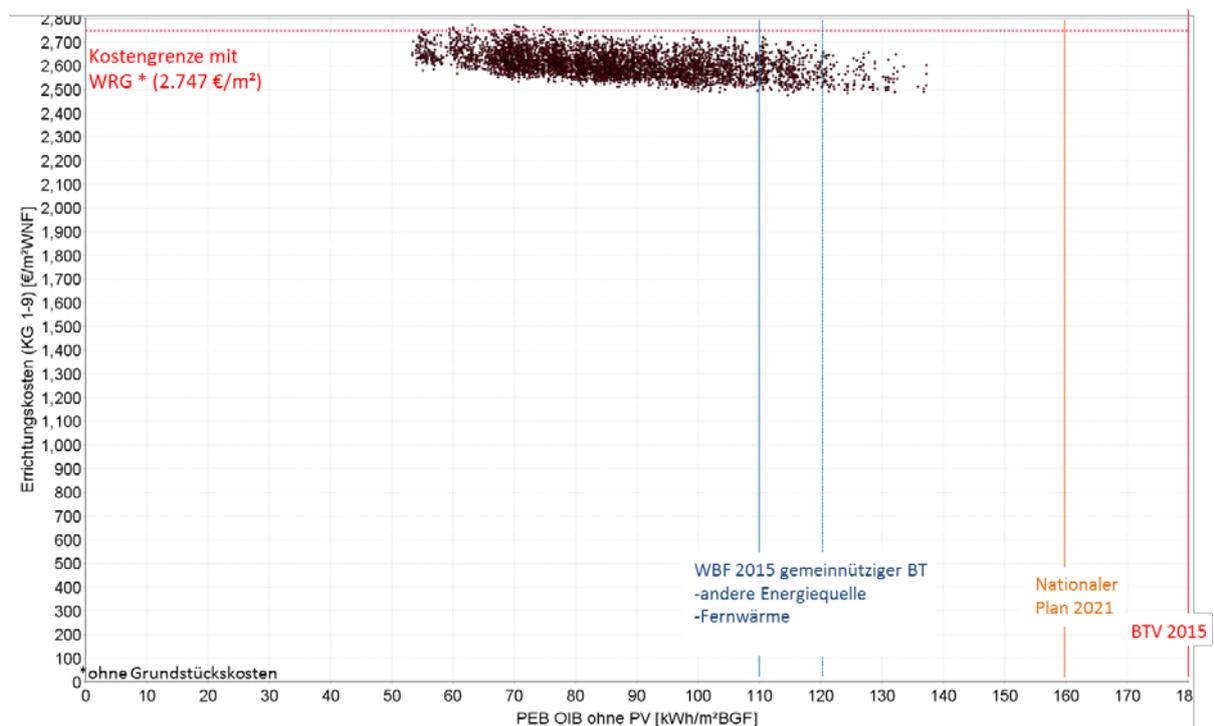


Abb. 10: Netto-Errichtungskosten (KG 1-9 ÖNORM 1801-1) der 30.000 Varianten mit Komfortlüftung mit WRG und Kostenobergrenze der Wohnbauförderung für Gemeinnützige über dem $\text{PEB}_{\text{OIB (2011)}}$

Die Primärenergiekennwerte der Varianten mit WRG liegen im Vergleich zu denen mit Abluftanlage um etwa $13 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ niedriger. Die projektspezifische ermittelte Kostengrenze der Wohnbauförderung liegt für die Varianten mit WRG bei $2.747 \text{ EUR/m}^2_{\text{WNF}}$. 99% der 30.000 Varianten im Projekt KliNaWo unterschreiten diese Kostengrenze.

Die Mehrkosten effizienterer Gebäudevarianten werden in Abbildung 11 auf der Ebene der Bauwerkskosten (ÖNORM 1801-1, KG 2, 3, 4) exemplarisch für drei Varianten dargestellt.

Netto-Bauwerkskosten: Bauweise WDVS, Wärmeerzeugung: WP			
gem. ÖNorm 1801-1 KG 2-4			
WNF = 1.287,1m²	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 m² 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
CO₂ (PHPP 20°C, ohne HH-Strom, ohne PV)	11,5kg/m ² a	3,0kg/m ² a	3,6kg/m ² a

Abb. 11: Netto-Bauwerkskosten (KG 2,3+ 4 ÖNORM 1801-1) für 3 Varianten mit WDVS und Wärmepumpe

Dargestellt sind die aus den Angebotspreisen ermittelten Netto-Bauwerkskosten für drei Gebäudevarianten mit identischer Konstruktion (Ziegel +WDVS) und identischem Wärmeerzeuger (Sole-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 mit thermischer Solaranlage wird der Primärenergiebedarf_{PHPP} ohne Haushaltsstrom von 72 auf knapp 19 kWh/m²_{EBFA} reduziert.

Als dritte Variante ist eine Variante mit Passivhaus-Gebäudehülle und 102m² thermischer Solaranlage, jedoch mit Abluftanlage statt Komfortlüftung dargestellt. Die Bauwerkskosten dieser Variante liegen bei 1.974 EUR/m²_{WNF} und damit um 3,0% über dem Referenzwert nach BTV und ohne Solaranlage. Der Primärenergiebedarf_{PHPP} liegt mit 22,4 kWh/m²_{EBFA} ebenfalls weit unter dem der Referenzvariante nach BTV.

Fast identische 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% [14] und unter dem in der Studie des gbv ermittelten Mittelwert von 6,7% [2]. Sie liegen in der Größenordnung der von innovativen Bauträgern wie der Neuen Heimat Tirol, der ABG, Frankfurt und der Innsbrucker Immobilien GmbH genannten, jedoch nicht detailliert veröffentlichten Werten von 4-5%.

6.2 Kosten von Bauteilen und Haustechnikkomponenten

Parallel zum Bau des Gebäudes werden derzeit Detailergebnisse auf der Ebene von Bauteilen und Haustechnikkomponenten ausgewertet. Zu beachten ist, dass die dargestellten (Mehr)kosten nichts über die Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Energiesparmaßnahme aussagen. Sie sollen ausschließlich der Grobermittlung der Mehrkosten in Folgeprojekten dienen.

Flachdach

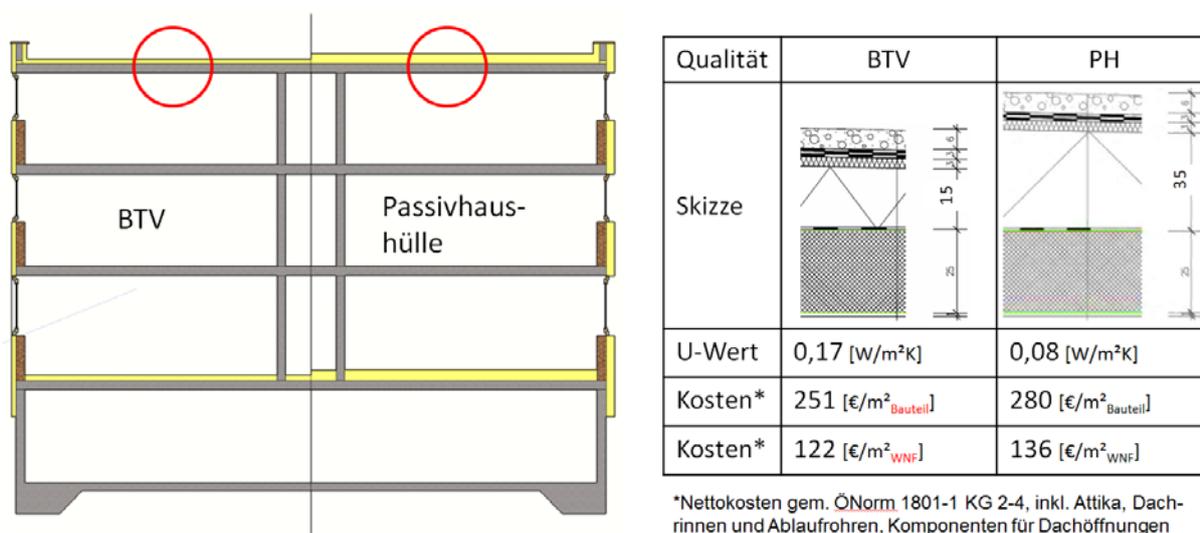
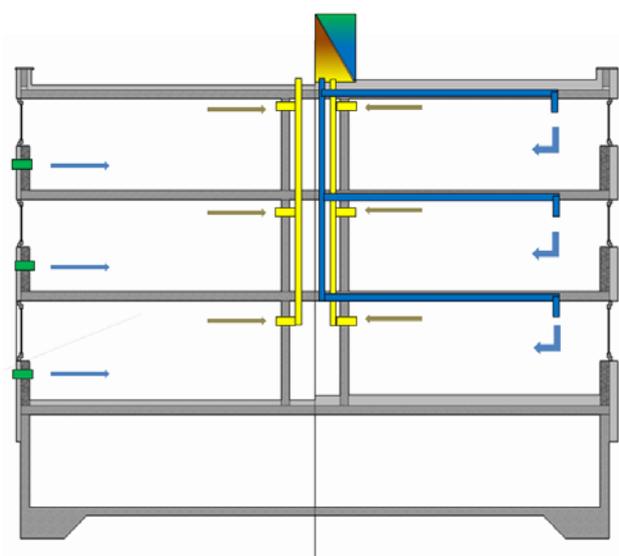


Abb. 12: Netto-Bauwerkskosten des Bauteils Dach in den Energieebenen BTV und PH; Kostenangaben pro m² Bauteil und pro m² WNF; inkl. Attika, Dachrinnen und Ablaufrohren; inkl. Komponenten für Dachöffnungen

Die Kostenauswertungen ergeben, dass die Mehrkosten der Dämmung in PH-Niveau 35cm EPS gegenüber der Ausführung nach BTV mit 15cm EPS inkl. aller Nebenkosten für Anschlüsse und Dachrinnen 29 EUR/m² Bauteilfläche betragen. Überschläglich kostet also der cm Mehrdämmung inkl. aller Nebenarbeiten etwa 1,45 EUR/m² Bauteilfläche.

Auf die Wohnnutzfläche umgelegt verursacht die 20 cm dickere Dämmung Mehrkosten von 14 EUR/m² WNF.

Lüftung



Qualität	Abluftanlage	Komfortlüftung
Skizze		
Luftwechsel	ca. 0,3 <u>fach</u>	ca. 0,3 <u>fach</u>
WRG	0 [%]	81 [%]
Kosten*	33 [€/m ² _{WNF}]	98 [€/m ² _{WNF}]

*gem. ÖNorm 1801-1 KG 4, inkl. Elektroanteil

Abb. 13: Netto-Bauwerkskosten der Lüftung inkl. Elektro pro m² WNF

Die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung wurde zu 98 EUR/m²_{WNF} angeboten. Dies ist selbst für das Hochpreis-Land Vorarlberg ein vergleichsweise hoher Preis. Wie Auswertungen der Kosten geförderter Komfortlüftungsanlagen zeigen, liegt das übliche Preisniveau im Mehrfamilienhaus meist bei etwa 60 bis 75 EUR/m²_{WNF}. Ausreißer bis 100 EUR/m²_{WNF} sind selten.

Der angebotene Preis entspricht etwa 6.500 EUR pro Wohneinheit. Auswertungen der neuen Heimat Tirol und der Innsbrucker Immobilien GmbH zeigen, dass dort Preise von ca. 3.800 bis 4.500 EUR pro Wohneinheit erzielt werden, da der Markt deutlich größer ist. Für das KliNaWo-Projekt gingen nur zwei Angebote für das Gewerk Lüftung ein.

Auch der Angebotspreis von 33 EUR/m²_{WNF} für die Abluftanlage ist relativ hoch, das übliche Niveau liegt bei etwa 20 bis 30 EUR/m²_{WNF}.

Wärmeerzeuger

	Wärmepumpe incl. Sonden	Pellet	Gas	Fernwärme
BTV Kosten*	84 [€/m ² _{WNF}]	28 [€/m ² _{WNF}]	25 [€/m ² _{WNF}]	33 [€/m ² _{WNF}]
PH Kosten*	71 [€/m ² _{WNF}]	26 [€/m ² _{WNF}]	25 [€/m ² _{WNF}]	33 [€/m ² _{WNF}]

*gem. ÖNorm 1801-1 KG 4, inkl. Elektroanteil

Abb. 14: Netto-Bauwerkskosten der Wärmeerzeuger inkl. Elektro pro m² WNF

Günstigster Wärmeerzeuger ist der Gas-Brennwertkessel mit 25 EUR/m²_{WNF}, knapp gefolgt vom Pelletkessel. Der Fernwärmeanschluss ist etwas teurer, da ein Tarifmodell mit Baukostenzuschuss und niedrigerem Arbeitspreis gewählt wurde. Dieses führt am Standort zu niedrigeren LZK, als das Tarifmodell ohne Baukostenzuschuss und mit höheren Arbeitspreisen.

Die Investitionskosten der Sole-Wärmepumpe liegen deutlich höher, als die der übrigen Wärmeerzeuger. Zu erkennen ist auch, dass bei der Sole-Wärmepumpe das Energieniveau des Gebäudes einen deutlichen Einfluss auf die Kosten hat: Die WP für die Passivhausvariante ist um $13 \text{ EUR/m}^2_{\text{WNF}}$ günstiger, als die für die Variante nach Bautechnikverordnung. Hauptgrund ist die günstigere Erschließung der Wärmequelle – die PH-Variante benötigt weniger Sonden.

6.3 Lebenszykluskosten des Gebäudes

Wie dargestellt wurde die Entscheidung über die zu realisierende Gebäudevariante nicht auf der Basis der Bauwerks- oder Errichtungskosten, sondern auf Grundlage der Lebenszykluskosten berechnet. Die folgende Abbildung fasst die Ergebnisse der Lebenszyklus- und der Energiebedarfsberechnungen für alle 60.000 Varianten zusammen.

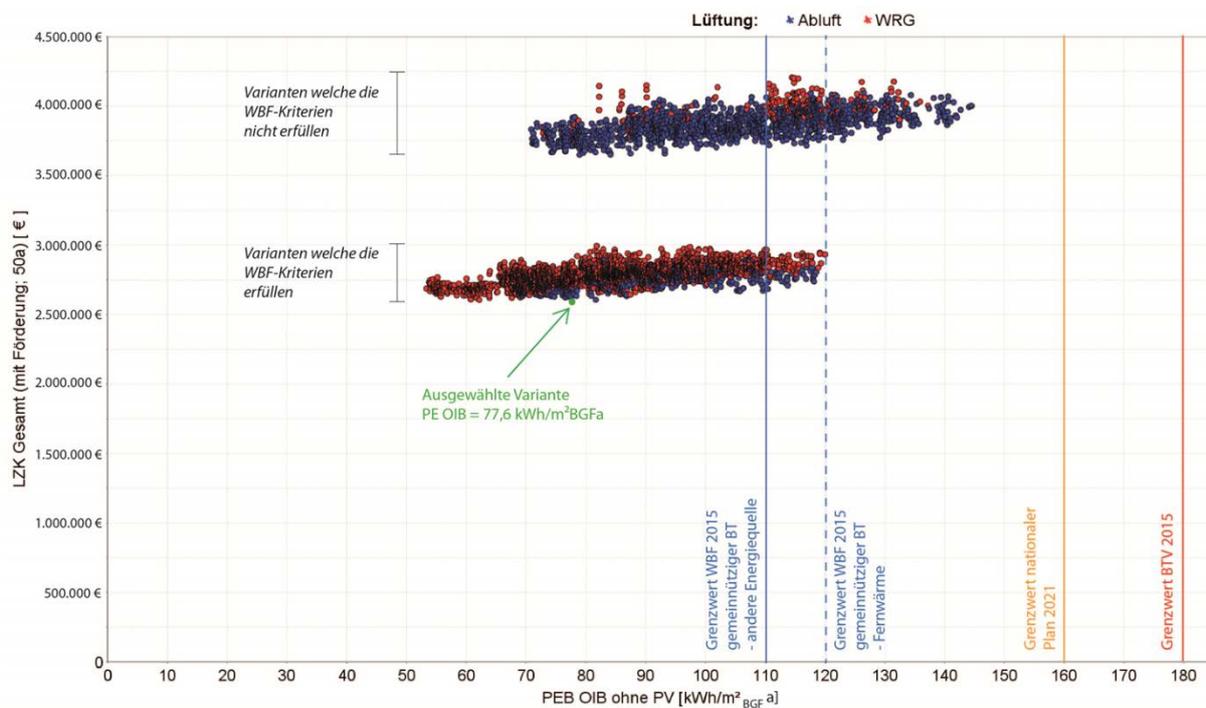


Abb. 15: Lebenszykluskosten aller Varianten für Gemeinnützige (unter Berücksichtigung der WBF für Gemeinnützige und der Energieförderung) über dem Primärenergiebedarf_{OIB} (2011)

Auf der y-Achse sind die sind die Lebenszykluskosten (Investition, Energie, Wartung) aller 60.000 Varianten unter Berücksichtigung der WBF für Gemeinnützige und der Energieförderung Vorarlberg dargestellt, auf der x-Achse der Primärenergiebedarf PEB bei Berechnung nach OIB RL 6(2011). Der Betrachtungszeitraum beträgt 50 Jahre.

In der oberen Punktwolke sind die Varianten dargestellt, die keine Wohnbauförderung (WBF) erhalten würden, weil sie mindestens eine energetische Anforderung der WBF für Gemeinnützige nicht einhalten. Da derartige Varianten für die gemeinnützigen Bauvereinigungen wirtschaftlich uninteressant sind und daher nicht gebaut werden, werden die Ergebnisse nicht weiter diskutiert.

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 oder ökologischen, sondern nach sozialen Kriterien wie verfügbarem Einkommen und Familienstruktur vergeben. Betrachtet man die Punktwolke der geförderten Varianten, so fällt auf, dass die Lebenszykluskosten LZK bis zu einem sehr niedrigen Wert des PEB_{OIB} fallen. Das sehr flach ausgeprägte Kostenoptimum liegt in einem Bereich von etwa 65 bis 85 kWh/m²_{BGFA} und damit bei etwa der Hälfte des im Nationalen Plan Österreichs für 2021 vorgesehenen Grenzwerts von 160 kWh/m²_{BGFA}.

Zum Vergleich: der PEB_{OIB} typischer Passivhausvarianten liegt bei knapp 80 kWh/m²_{BGFA}.

Die LZK der Varianten, die die Mindestanforderungen der Wohnbauförderung für Gemeinnützige gerade einhalten (110 bzw. 120 kWh/m²_{BGFA}, je nach eingesetztem Energieträger), liegen deutlich über denen der kostenoptimalen Varianten.

Ähnliche Verläufe des Kostenoptimums zeigen sich auch für die Betrachtung ohne jegliche Förderung: das Kostenoptimum liegt auch ohne Förderung nur geringfügig über dem in Abb. 15 dargestellten Wert. Der Einfluss der Förderung auf das Kostenoptimum wird in Abbildung 16 dargestellt, dabei wird nach der Art des Wärmeversorgungssystems differenziert.

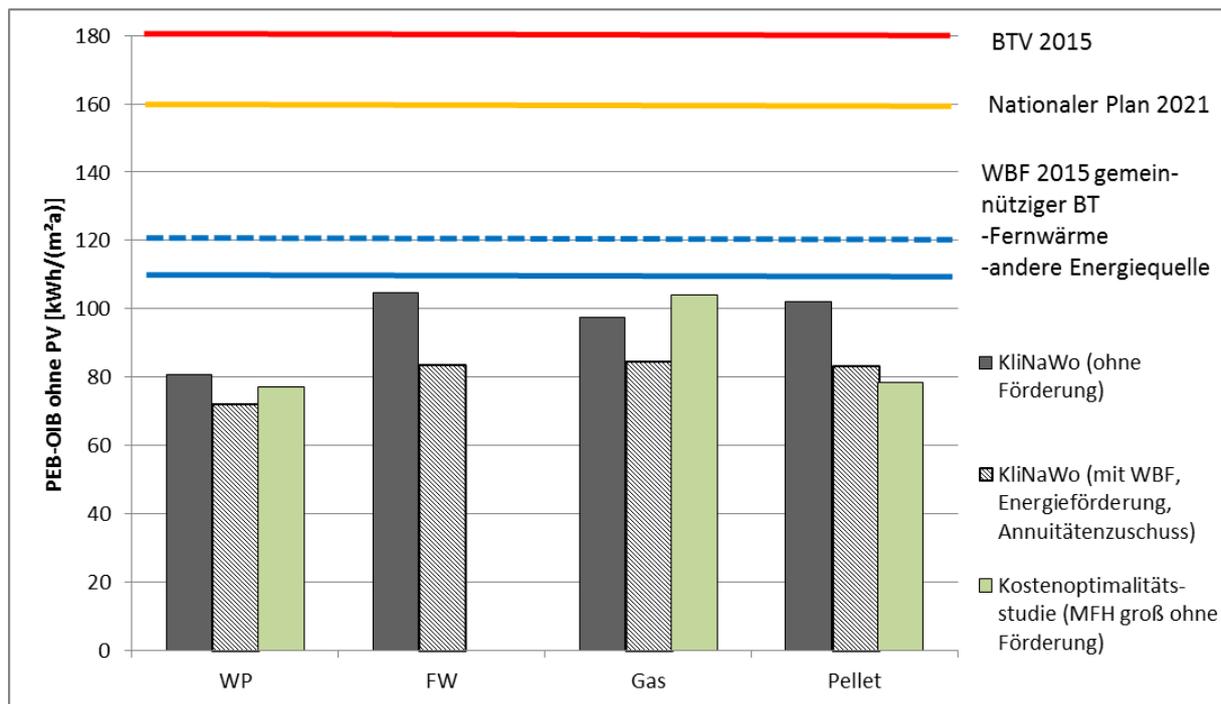


Abb. 16: Kostenoptima des Primärenergiebedarfs OIB (2011) differenziert nach Wärmeversorgungssystem – mit und ohne Berücksichtigung der Förderung

Abbildung 16 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 [14].

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 Bau träger von 180 kWh/m²_{BGFA} und dem Wert des Nationalen Plans von 160 kWh/m²_{BGFA} (für das Jahr 2021), sondern auch unter den strengeren Grenzwerten der

Wohnbauförderung Vorarlberg von $120 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFA}}$ für Biomasse-Fernwärme und $110 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFA}}$ 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 (Sensitivitätsstudie mit Veränderung der Preissteigerung um $\pm 1\%$) zeigt fast unveränderte Ergebnisse für das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarf_{OIB (2011)}.

In der folgenden Abbildung sind die nach Wärmeversorgungssystem differenzierten Kostenoptima der CO₂-Emissionen dargestellt.

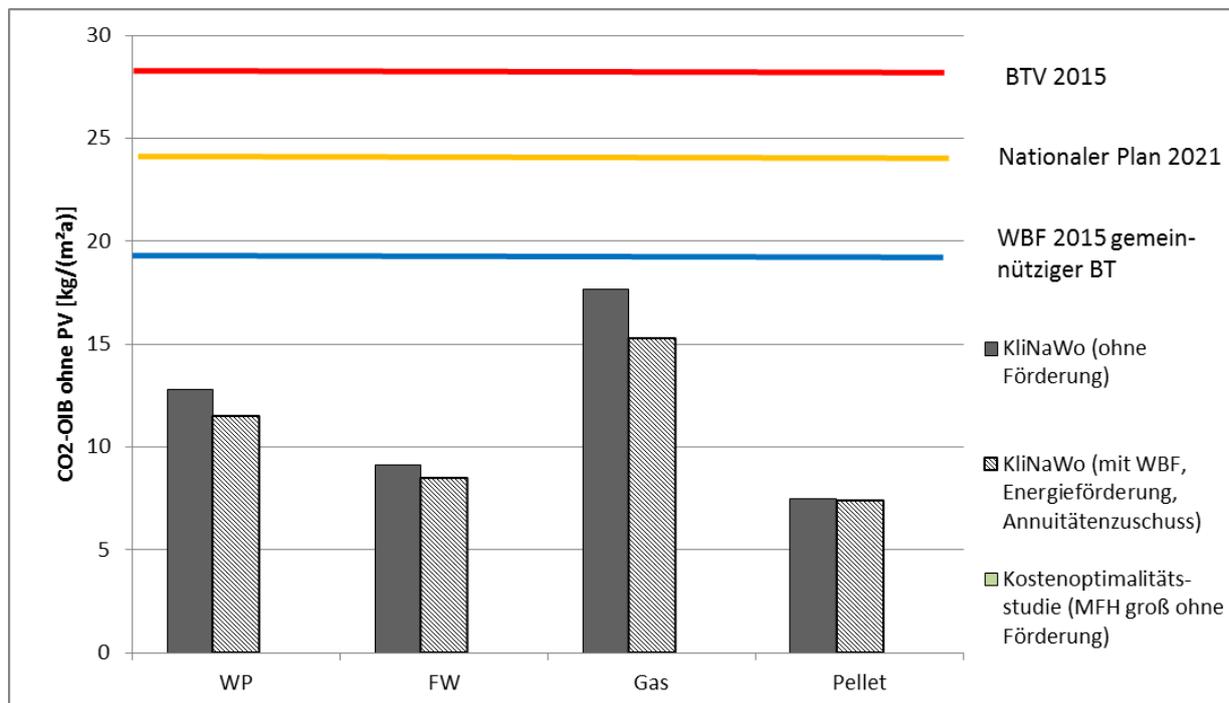
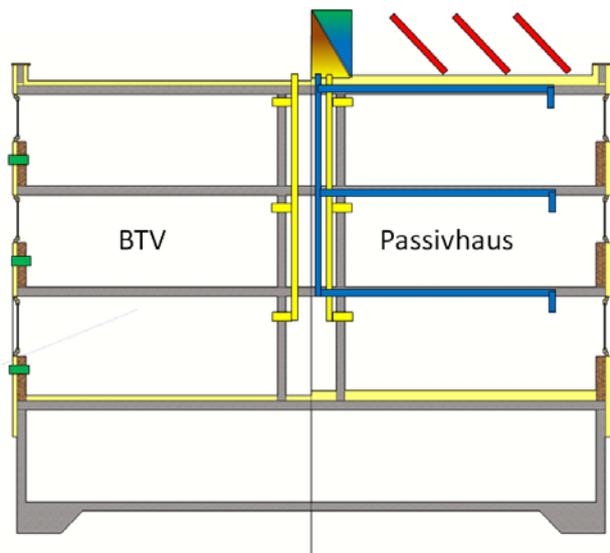


Abb. 17: Kostenoptima der CO₂-Emissionen OIB (2011) differenziert nach Wärmeversorgungssystem – mit und ohne Berücksichtigung der Förderung

Wie zu erkennen liegen die Kostenoptima mit allen vier Wärmeversorgungssystemen schon ohne jegliche Förderung drastisch unter den Anforderungen der BTV 2015: im Einzelnen liegt das Kostenoptimum für Gas um 37%, für Pellet um 73%, für Fernwärme um 67% und für Wärmepumpen um 54% unter dem Grenzwert nach BTV.

Unter Berücksichtigung der Energie- und der Wohnbauförderung liegen die Kostenoptima der CO₂-Emissionen um 46 bis 74% unter den Mindestanforderungen der BTV 2015.



	BTV ohne Solar	PH mit Solar
Konstruktion Ziegel + WDVS	1.116 [€/m ² _{WNF}]	1.141 [€/m ² _{WNF}]
Fenster IV88 Rahmen mit sehr guter Verglasung	97 [€/m ² _{WNF}]	97 [€/m ² _{WNF}]
Sonnenschutz vor allen Fenstern	21 [€/m ² _{WNF}]	23 [€/m ² _{WNF}]
Heizung: WP mit FBH, 3,5L, (PH mit 115m ² Flachkollektor)	124 [€/m ² _{WNF}]	142 [€/m ² _{WNF}]
Sanitär	91 [€/m ² _{WNF}]	91 [€/m ² _{WNF}]
Lüftung (Abluft bei BTV und Lüftung m. WRG bei PH)	32 [€/m ² _{WNF}]	93 [€/m ² _{WNF}]
Elektro	103 [€/m ² _{WNF}]	107 [€/m ² _{WNF}]
Sonstige Kosten (für alle Varianten gleich, z.B. Schlosser, Asphalt, Garten, Bodenbeläge)	329 [€/m ² _{WNF}]	329 [€/m ² _{WNF}]
Summe	1.913 [€/m²_{WNF}]	2.023 [€/m²_{WNF}]
Differenz		+5,8 %
Lebenszykluskosten ohne Förderung (50 Jahre)	3.847.535 €	3.782.679 €
Differenz		-1,7 %

*gem. ÖNorm 1801-1 KG 2-4

Abbildung 18: Bauwerkskosten nach Grobkostenelementen und Lebenszykluskosten der Varianten BTV ohne Solar und PH mit Solar (beide in Konstruktion Ziegel+WDVS mit WP-Heizung (vgl. Abb. 10))

Wie schon in Abbildung 11 dargestellt liegen die Mehrkosten einer Ausführungsvariante im Passivhausniveau mit 102 m² thermischer Solaranlage um 5,8% über denen einer Variante in gleicher Konstruktionsart (Ziegel + WDVS) und mit gleichem Wärmeversorgungssystem (Sole-WP), jedoch im Energieniveau BTV und ohne thermische Solaranlage. Der Primärenergiebedarf_{PHPP} der PH-Variante (ohne Haushaltsstrom) liegt um 72% unter dem der Variante nach BTV.

Trotz der Mehrkosten liegen die Lebenszykluskosten der energetisch besseren Variante schon ohne Berücksichtigung jeglicher Förderung um 1,7% unter denen der energetisch schlechteren.

Die Auswahl der Variante nach den Bauwerkskosten führt demnach zu einer Fehlentscheidung, die dem Bauherrn im Lebenszyklus höhere Kosten verursacht.

Dies gilt erst Recht, wenn Wohnbau- und Energieförderung berücksichtigt werden.

7 Auswahl der zu realisierenden Variante

7.1 Gemeinsamkeiten der wirtschaftlichsten Varianten

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.

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%

Abb. 19: Gemeinsamkeiten des 1% der wirtschaftlichsten Varianten (gemeinnütziger Wohnbau, mit Förderung)

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)

7.2 Einfluss der Konstruktionsart

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. Würde man etwa die im Vergleich zur Massivbauvariante um 1,2% höheren LZK der Holzbauvariante auf eine monatliche Miete umlegen, so betrüge der Mehrpreis etwa 0,04 EUR/m²_{WNF} pro Monat.

Während also die Konstruktionsart nur einen minimalen Einfluss auf die Lebenszykluskosten hat, gilt für alle untersuchten Konstruktionen, dass die hocheffizienten Varianten niedrigere LZK als die nach Mindeststandards haben.

7.3 Wirtschaftlichkeit der Komfortlüftung

Trotz der vergleichsweise hohen Angebotspreise von 98 EUR/m²_{WNFA} und der Berücksichtigung von Kosten für die Reinigung des kompletten Luftverteilsystems – Ab- und Zuluft – alle 7 Jahre zusätzlich zu den jährlichen Wartungskosten zeigt die Detailauswertung der LZK der Lüftungssysteme, dass die Komfortlüftung in Kombination mit Fernwärmeheizung und Pellettheizung 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 – je nach eingesetztem Wärmeversorgungssystem - zwischen -5.000 und + 5.000 EUR in 50 Jahren für eine Wohnfläche von 1.263 m². Legt man dies auf die Warmmiete um, so entspricht die Differenz einer Warmmieterhöhung/Reduktion von 1 ct/m²_{WNF} pro Monat.

Zum Vergleich: Während die Komfortlüftung mit WRG im Projekt KliNaWo zu Kosten von etwa 6.500 EUR pro m² WNF angeboten wurde, liegen die Kosten in den Projekten der großen Tiroler Gemeinnützigen derzeit bei etwa 3.800 bis 4.500 EUR pro Wohneinheit. Den Tiroler Gesellschaften ist es gelungen, die Kosten der Komfortlüftung in den vergangenen 8 Jahren durch stetige Optimierungen deutlich zu reduzieren. In ersten Projekten um das Jahr 2009 lagen die Kosten bei über 6.000 EUR pro Wohneinheit.

Auch in Vorarlberg sind deutlich niedrigere Kosten als im Projekt KliNaWo realisierbar: so lagen die Kosten der wohnungsweisen Komfortlüftungen im Projekt Langenegg-Unterstein bei etwa 60 EUR/m²_{WNF} [15].

7.4 Zur Realisierung ausgewählte Variante

Zur Realisierung wurde die folgende Variante gemeinschaftlich ausgewählt:

Hülle Passivhausqualität, Außenwand Ziegel + Wärmedämmverbundsystem, Holz-Alu-Fenster IV 88 mit der besten der untersuchten Verglasungen, kontinuierlich betriebene zentrale Abluftanlage, die mit dem gleichen Luftvolumenstrom von ca. 0,3h⁻¹ betrieben wird, der für die Komfortlüftung ermittelt wurde, effiziente Sole-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 geringfügig besseren Energiekennwerte für die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung 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.

8 Zwischenresumee und derzeitiger Stand

Die wichtigsten Zwischenergebnisse des Projekts lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Energieniveau hat einen geringen Einfluss auf die Bauwerks- und Errichtungskosten.
- Die Bauwerks-Mehrkosten der hocheffizienten Gebäudevarianten (Passivhaus **mit** Solarthermie) gegenüber denen im Mindest-Energieniveau (Bautechnikverordnung **ohne** Solarthermie) liegen bei einer Reduktion des Primärenergiebedarfs um 72% bei 4-6%.
- Die im Projekt KliNaWo sehr detailliert ermittelten Mehrkosten stimmen mit den Angaben innovativer Bauträger überein.
- Mehrkostenangaben in Höhe von bis zu 26%, wie in einer vielbeachteten deutschen Studie publiziert [9] sind nicht nachvollziehbar.
- Die im Projekt KliNaWo als Resultat modularer Ausschreibungen ermittelten Mehrkosten werden im Lebenszyklus auch ohne jegliche Förderung mehr als kompensiert.
- Die Kostenoptima des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen liegen im Bereich von Passivhäusern.
- Derartige Primärenergiekennwerte können mit unterschiedlichen Energiekonzepten erreicht werden.
- Die Kostenoptima des Primärenergiebedarfs liegen ohne Förderung je nach Wärmeversorgungssystem um 42 bis 56% unter der Mindestanforderung der BTV.
- Die Variantenauswahl nach Lebenszykluskosten statt nach Bauwerkskosten ist sinnvoll und sollte verstärkt als Vergabekriterium eingesetzt werden.

8.1 Derzeitiger Stand der Realisierung und Ausblick

Der Realisierung des Gebäudes läuft seit April 2016 und wird voraussichtlich im Herbst 2017 termingerecht abgeschlossen werden.

Nach Bezug der Wohnungen startet ein zweijähriges Monitoring der Energieverbräuche sowie der wichtigsten Behaglichkeitsparameter.

Abbildung 19 zeigt einige Baustellenfotos.



Abbildung 19: Baustellenfotos MFH in Feldkirch-Tosters

8.2 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

Quellen

- [1] Erhorn, H., Bergmann, A., Fraunhofer Institut für Bauphysik: Wege zum Effizienzhaus Plus, dritte Auflage; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Herausgeber); Berlin, 2015
- [2] Bauer, E.: Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit – Investitions- und Nutzungskosten in Wohngebäuden gemeinnütziger Bauvereinigungen unter besonderer Berücksichtigung energetischer Aspekte; Österreichischer Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen, Wien, 2013
- [3] Schnieders, J. et al., 2001: CEPHEUS – wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht; Passivhaus Institut, Darmstadt 2001
- [4] Treberspurg, M. Smutny, R., 2009: Nachhaltigkeitsmonitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien – Endbericht, BOKU, Wien, 2009
- [5] Peper, S., 2015: Monitoring in der Passivhaus-Siedlung Heidelberg-Bahnstadt. et al., Passivhaus Institut, Darmstadt 2015
- [6] Wagner, W.: Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung der Bauprojekte – Berichtsteil Passivhauswohnanlage Roschegasse – Übersichtsbericht; AEE – Institut für Nachhaltige Technologien, Gleisdorf, 2008
- [6a] Energieinstitut Vorarlberg: Energieverbrauchsauswertungen für das Projekt Langenegg Unterstein, Dornbirn
- [7] Greller, M. et al.: Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 2: Verbrauchskennzahlentwicklung nach Baualtersklassen; in: Bauphysik 32(2010) Heft 1
- [8] Leutner, B. et al.: Analyse des Einflusses des energetischen Standards auf die Baukosten im öffentlich geförderten Wohnungsbau in Hamburg; Forschung + Beratung für Wohnen Immobilien und Umwelt GmbH; Hamburg, 2016
- [9] Walberg, D. et al.: Kostentreiber für den Wohnungsbau; Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., Kiel, 2015
- [10] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Herausgeber): Bündnis für bezahlbares Wohnen und Bauen – Bericht der Baukostensenkungskommission, Berlin, 2015
- [11] Schöberl, H. et al.: Ermittlung und Evaluierung der baulichen Mehrkosten von Passivhausprojekten – Berichte aus der Energie- und Umweltforschung 63/2011; bmvit (Herausgeber), Wien 2011
- [12] Ploss, M.: Modellvorhaben Kostengünstige Passivhäuser Kaiserslautern – Forschungsbericht 2001; Ministerium der Finanzen, Rheinland-Pfalz (Herausgeber)
- [13] Hatt, T.: Parameterstudien als energetisch-wirtschaftliche Optimierungsmethode der Lebenszykluskosten, in: e-nova 2016 – nachhaltige Technologien - Tagungsband, Herausgeber: FH Burgenland

[14] Ploss, M., Brunn, M., Bachner, D., Leutgöb, K., Jörg, B.: Analyse des kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg, Energieinstitut Vorarlberg/e7 Energie Markt Analyse, Endbericht 29. Nov. 2013, Dornbirn 2013

[15] G. Morscher, T. Roskopf: Mehrfamilienwohnhaus Langenegg Unterstein: regionale Lösung für europäische Energieziele; in: economicum Themenband zur Session 4: Best practice: konkret gebaut, gemessen, abgerechnet; Energieinstitut Vorarlberg (Herausgeber), Dornbirn, 2015