

KliNaWo – klimagerechter und nachhaltiger Wohnbau

Ergebnisse im Detail: Energieeffizienz, Errichtungs- und Lebenszykluskosten

Dr. Ing. (FH) Tobias Hatt, Energieinstitut Vorarlberg



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

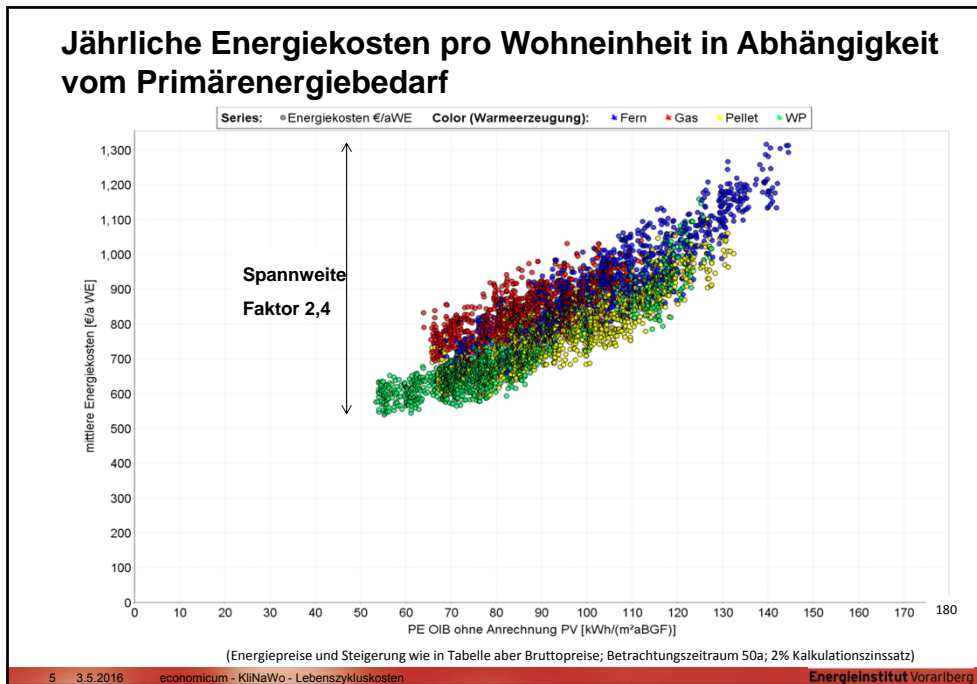
FFG Vorarlberg alp-S 4 VORARLBERG VOGELWORT

1 3.5.2016 economicum - KliNaWo - Lebenszykluskosten Energieinstitut Vorarlberg

Berechnungen im 3D Modell mit designPH und PHPP



2 3.5.2016 economicum - KliNaWo - Lebenszykluskosten Energieinstitut Vorarlberg



Energiepreise und Energiepreissteigerungen

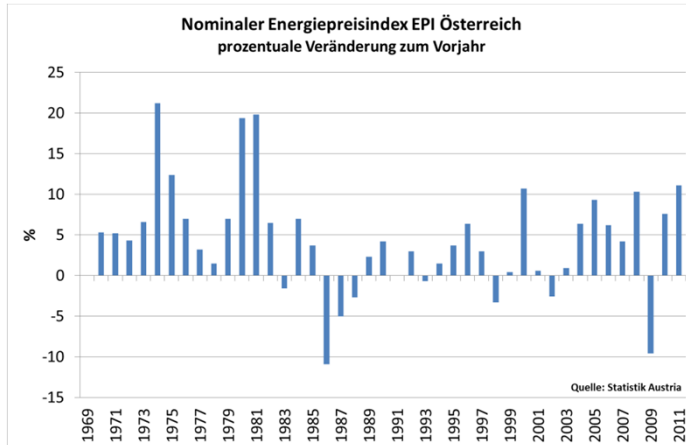
Energieträger	Nettopreise	Einheit	Preissteigerung [%]*
Pellet	0,042	EUR/kWh	3,5%*
Fernwärme	0,069	EUR/kWh	
Fernwärme Grundgebühr	25.000	EUR einmalig	
Gas Arbeitspreis	0,047	EUR/kWh	
Gas Grundgebühr	70	EUR/a (WE)	
Wärmepumpenstrom	0,101	EUR/kWh	
Wärmepumpenstrom Grundgebühr	52	EUR/a (WE)	
Haushaltsstrom	0,130	EUR/kWh	2,5%*
Haushaltsstrom Grundgebühr	86	EUR/a (WE)	
PV Einspeisung	0,050 (drei Jahre) 0,025 (ab Jahr 4)	EUR/kWh	

Stand: Juni 2015

*Angabe für Grundszenario; Sensitivitätsanalyse mit Energiepreissteigerung: $\pm 1\%$

Sensitivitätsanalyse: Energiepreisentwicklung (EPI)

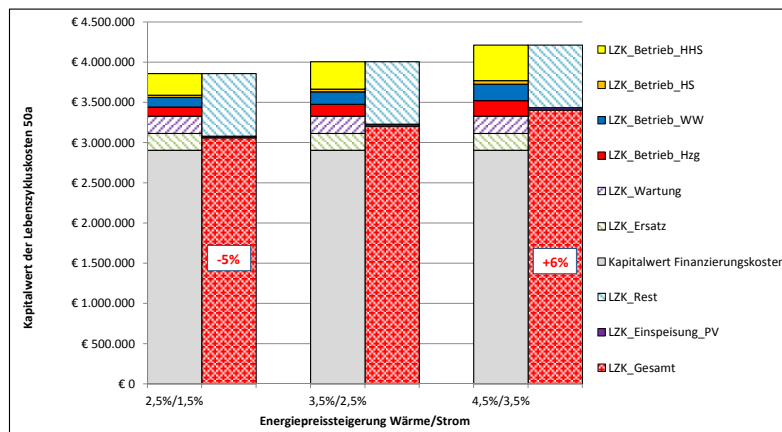
- Mittelwert EPI Österreich 1970 bis 2011: 4,2% nominal
- Mittelwert EPI Österreich 2001 bis 2011: 4,1% nominal



→ Konservative Annahme für Grundszenario: 3,5% für Wärme und 2,5 % für HH-Strom

Sensitivitätsanalyse Energiepreissteigerung: Mittelwert der Lebenszykluskosten

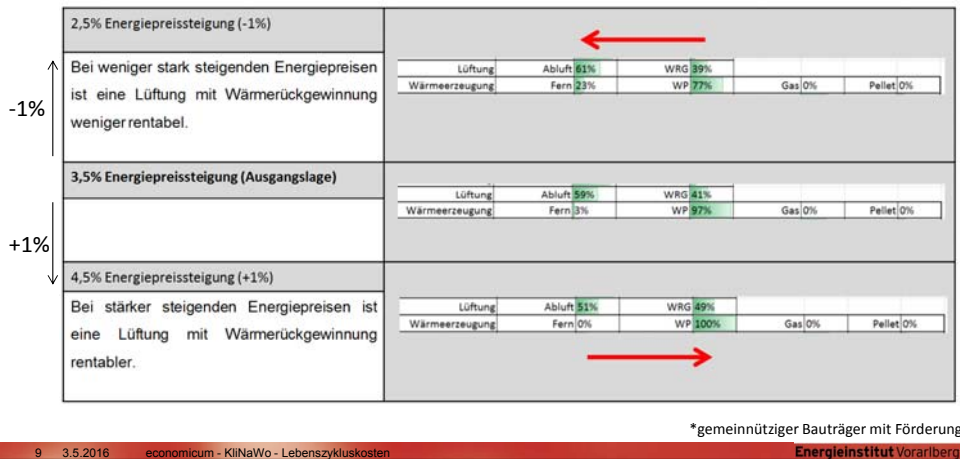
Mit Veränderung der Energiepreissteigerung um ± 1% ändern sich die Betriebskosten und dadurch die Lebenszykluskosten um -5% bis +6%



Kapitalwert der Lebenszykluskosten als Mittelwert aller Varianten, dargestellt für die unterschiedlichen Szenarien der Energiepreissteigerung, gemeinnütziger Wohnbau mit Berücksichtigung der Förderung

Sensitivitätsanalyse der wirtschaftlichste Varianten*: Auswirkung auf Lüftung und Wärmeerzeugung

- An der grundsätzlichen Reihung der Varianten und an deren Parametern ändert sich im Allgemeinen nichts.
- Innerhalb der Parameter können sich leichte Verschiebungen ergeben.



Wartungs- und Instandhaltungskosten mit zugehörigen Intervallen

Position	Tätigkeit	Intervall	heutige Kosten (netto)	Einheit
Fenster Holz-Alu	Dichtung tauschen u. Beschläge einstellen	25 a	5,00	€/m ² _{WNF}
Fenster Holz behandelt	Neuanstrich außen	15 a	10,00	€/m ² _{WNF}
	Dichtung tauschen u. Beschläge einstellen	25 a	5,00	€/m ² _{WNF}
Lichtkuppel	Dichtung tauschen u. Beschläge einstellen	15 a	1,00	€/m ² _{WNF}
Sonnenschutz außenliegend	Bänder tauschen	12,5 a	7,00	€/m ² _{WNF}
Lüftungsanlage WRG	Filterwechsel, Brandschutzklappen inspizieren	jährlich	0,72	€/m ² _{WNF} a
	Verteilnetz reinigen (Zu- und Abluft alle 7 Jahre)	7 a	7,00	€/m ² _{WNF}
Lüftungsanlage Abluft	Zuluftöffnungen und Filter reinigen	jährlich	0,36	€/m ² _{WNF} a
	Verteilnetz reinigen (Zu- und Abluft alle 7 Jahre)	7 a	5,00	€/m ² _{WNF}
Fernwärme-Übergabestation	Wartung	jährlich	0,36	€/m ² _{WNF} a
Gas-Brennwertkessel	Wartung	jährlich	0,60	€/m ² _{WNF} a
	Kaminreinigung	jährlich	0,24	€/m ² _{WNF} a
Pellet Kessel	Wartung	jährlich	1,20	€/m ² _{WNF} a
	Kaminreinigung	jährlich	1,20	€/m ² _{WNF} a
Erdreich-Wärmepumpe	Wartung	jährlich	0,94	€/m ² _{WNF} a
Thermische Kollektoren	Wartung	jährlich	0,24	€/m ² _{WNF} a
PV-Anlage	Wartung	jährlich	1,0% der Investitionssumme	€/a
	Versicherung	jährlich	10+20 kWp = 100 35 kWp = 140	€/a

Die Wartungskosten beruhen meist auf Erfahrungswerten der Partner und können je nach Bauträger und Wartungsmodell variieren z.B. für der privaten Bauherrn der den Filterwechsel der Lüftungsanlage als Eigenleistung durchführen kann, oder ein Hausmeister der diese Arbeiten durchführt.

Technische Lebensdauern der Bauteile

- Nach Ablauf der technischen Lebensdauern werden die Bauteile erneuert.
- Als Ersatzinvestition werden die Kapitalwerte der mittleren Angebotspreise aller Bieter bei den einzelnen Positionen angesetzt.

	techn. Lebensdauer
Außenwand Ziegel	100
Außenwand Holzrahmenbau	
Flachdach Konstruktion STB	
Flachdach Konstruktion Holz	
Kellerdecke / Decke über TG	
Innenwände STB und Leichtbau	
Zwischendecken STB/ Holz	
Innenputz	80
Hinterlüftete Schalung aus Nadelholz	70
abgehängte Decke	60
WDVS	50
Außenputz Ziegel monolithisch	
Innenverkleidung Gipskarton	
Fenster Holz-Alu	
Flachdach Dämmung	
Lüftungsanlage WRG mit Verteilung	
Lüftungsanlage Abluft mit Verteilung	
Pellet Lager und Förderung	

	techn. Lebensdauer
Erdreich-WP (Sonden)	50
Pufferspeicher	
Wärmeverteilnetz	
Heizkörper/ Fußbodenheizung	
Fenster Holz behandelt	35
Lichtkuppel	30
Flachdach Abdichtung	
PV-Module	25
Sonnenschutz außenliegend	
thermische Solarkollektoren	
Frischwasserstation	
Fernwärme Übergabestation	20
Gas-Brennwertkessel	
Pellet-Kessel	
Erdreich-Wärmepumpe	15
PV Wechselrichter	
Austausch Ventilatoren + Steuerung (WRG)	
Austausch Ventilatoren + Steuerung (Abluft)	

Berücksichtigung von Förderungen



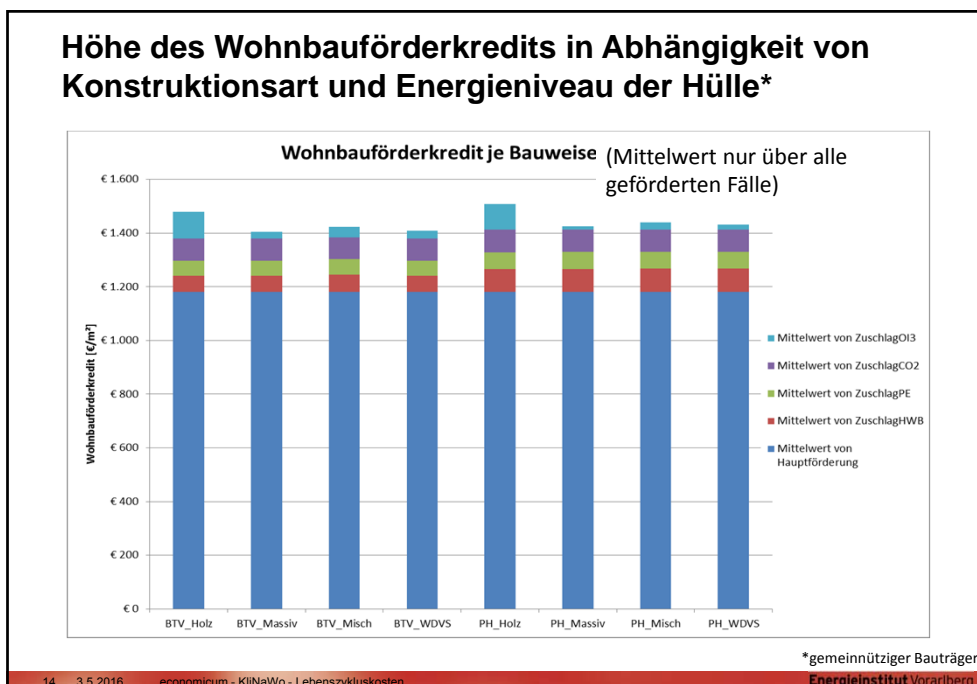
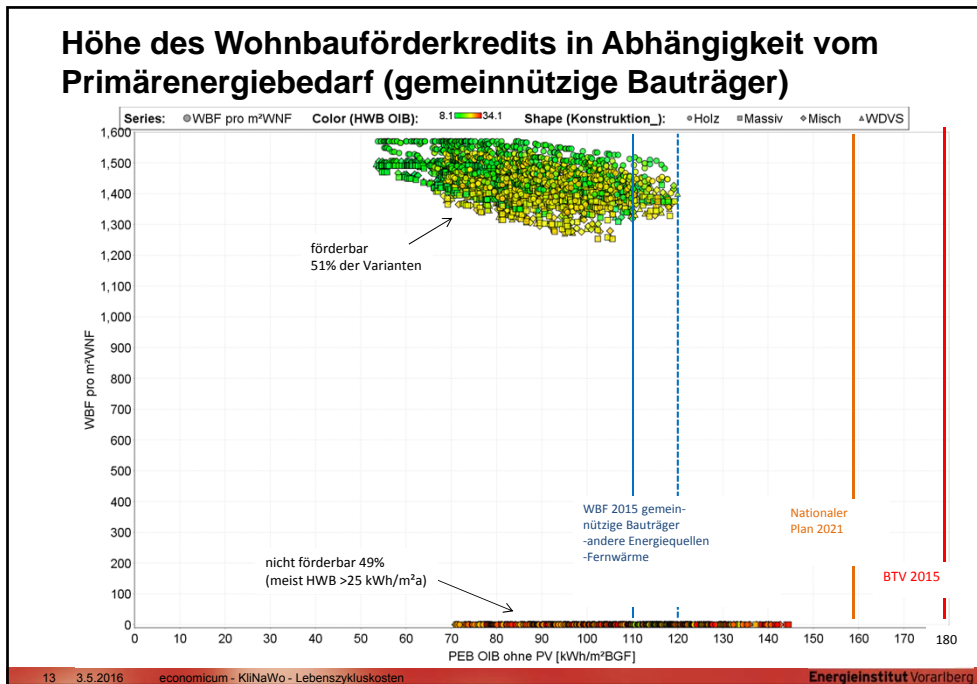
Neubauförderungsrichtlinie 2015 für den öffentlichen Wohnbau

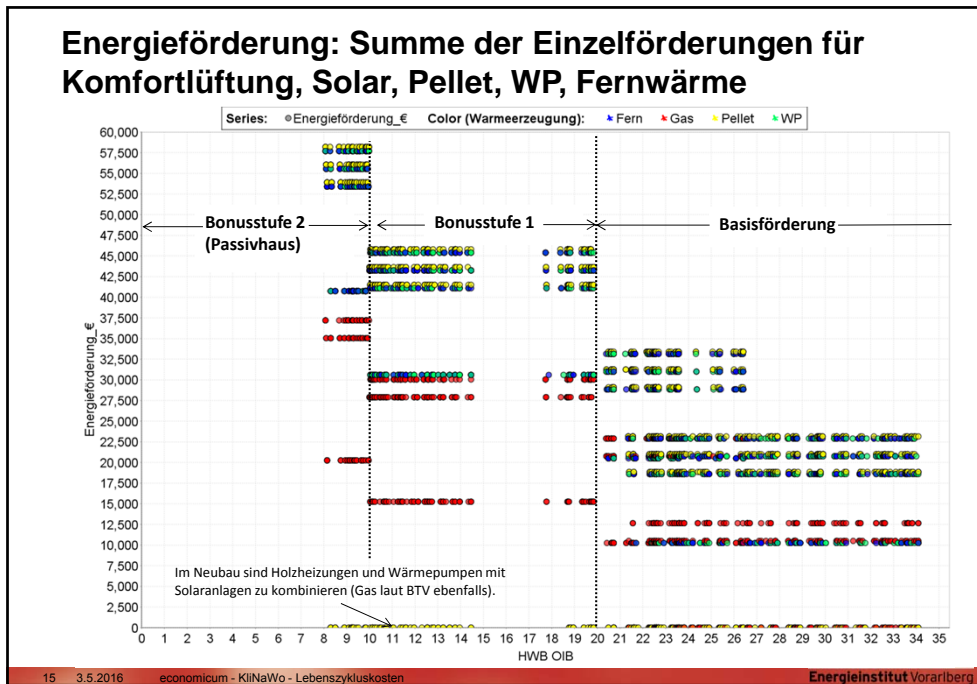


Neubauförderungsrichtlinie 2015 für den privaten Wohnbau



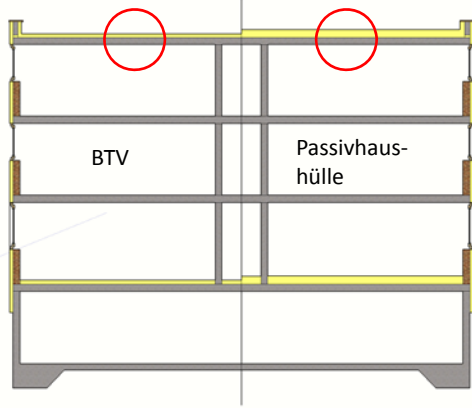
Energieförderungsrichtlinie 2015





Bauwerkskosten: Dach

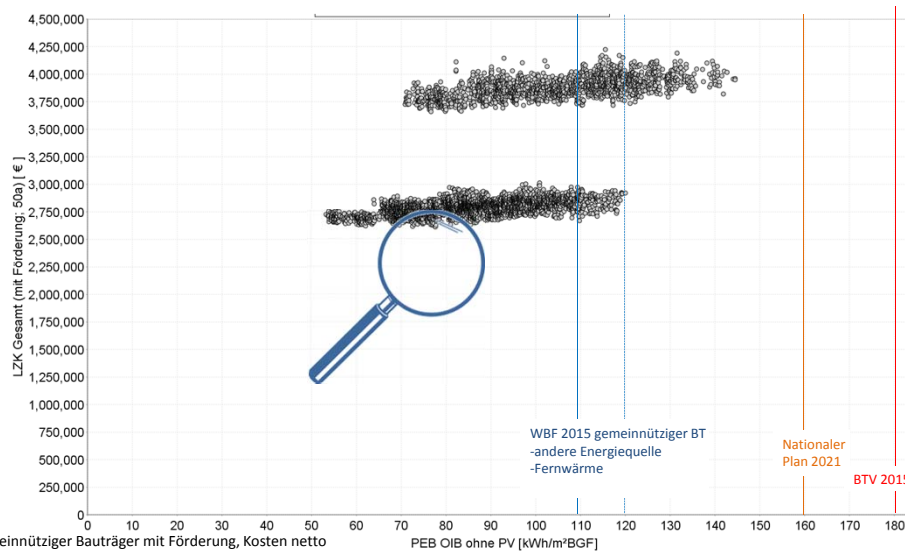
- Flachdach, EPS Gefälledämmung
- Kosten inkl. Attika, Dachrinnen und Ablaufrohren, Dachöffnungen



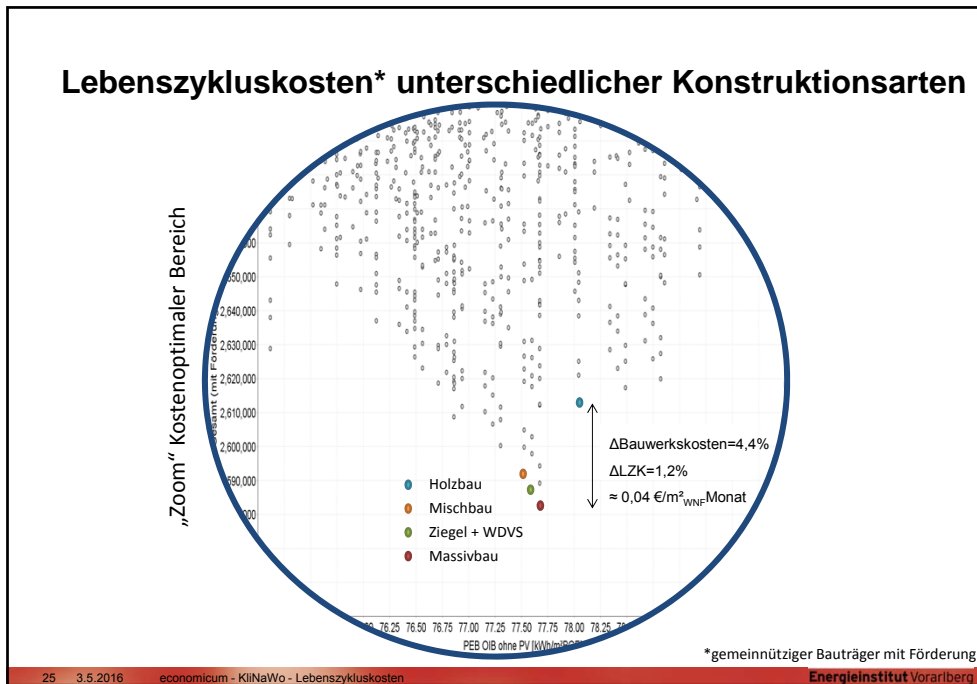
Qualität	BTV	PH
Skizze		
U-Wert	0,17 [W/m²K]	0,08 [W/m²K]
Kosten*	251 [€/m² _{Bauteil}]	280 [€/m² _{Bauteil}]
Kosten*	122 [€/m² _{WNF}]	136 [€/m² _{WNF}]

*Nettokosten gem. ÖNorm 1801-1 KG 2-4, inkl. Attika, Dachrinnen und Ablaufrohren, Komponenten für Dachöffnungen

Lebenszykluskosten* unterschiedlicher Konstruktionsarten



*gemeinnütziger Bauträger mit Förderung, Kosten netto



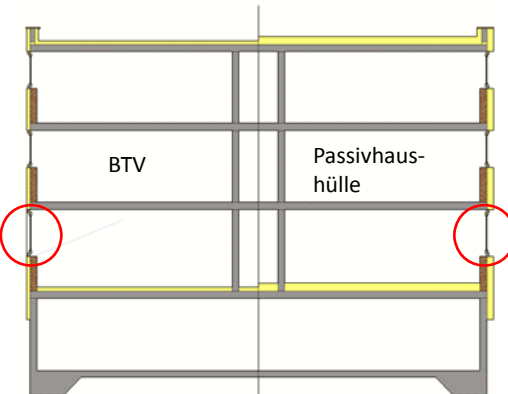
25 3.5.2016

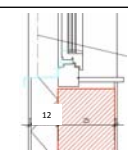
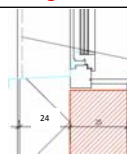
economicum - KIINaWo - Lebenszykluskosten

Energieinstitut Vorarlberg

Bauwerkskosten: Fenster

- Holz-Alufenster; Rahmen IV88
- Kosten der verglichenen Qualitäten stammen von unterschiedlichen Bietern; tatsächlicher Kostenunterschied ist niedriger



Qualität	IV88 Rahmen; Glas 3-fach	IV88 Rahmen; sehr gut 3-fach
Skizze		
U_g -Wert	0,70 [W/m²K]	0,51 [W/m²K]
g-Wert	0,43 [-]	0,53 [-]
U_f -Wert	0,98 [W/m²K]	0,98 [W/m²K]
U_w -Wert*	0,88 [W/m²K]	0,75 [W/m²K]
Kosten**	330 [€/m²_Bauteil]	364 [€/m²_Bauteil]
Kosten***	466 [€/m²_Bauteil]	515 [€/m²_Bauteil]

*Normfenster 1,23m x 1,48m; ψ_{glasrand} (Mittel) 0,039 [W/mK]; ohne Einbauwärmeverbindungen; **gem. ÖNorm 1801-1 KG 2-4, nur Fensterelemente
 ***, wie oben zzgl. Brüstung, Laibung, Abdichtg. u. Vollverschattg.

26 3.5.2016

economicum - KIINaWo - Lebenszykluskosten

Energieinstitut Vorarlberg

Wärmebrücken

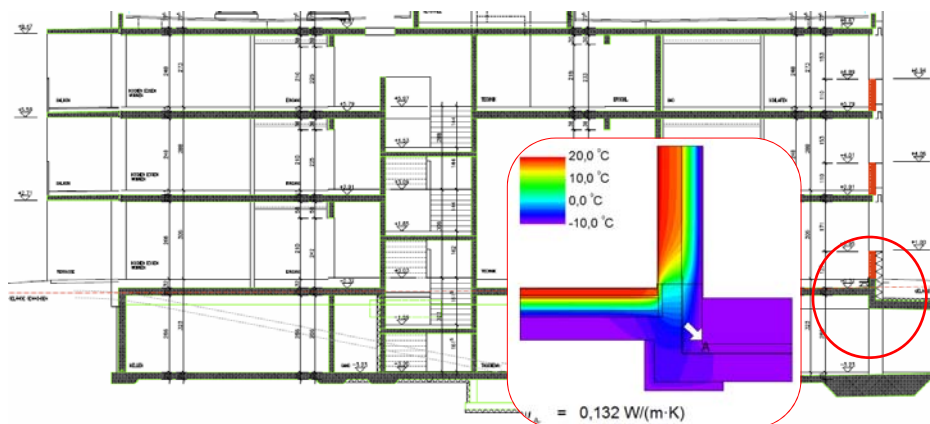
- Wärmebrückenberechnungen für 84 Anschlussdetails
 - für 4 Bauweisen in 2 energetischen Qualitäten
 - Insgesamt ergeben sich somit 672 berechnete Wärmebrücken
- 57% der Wärmebrückenverluste resultieren aus dem Anschluss EG an UG, 40% Fenstereinbau und nur 3% aus der restlichen Hülle.
- Für die ausgewählte Variante (Ziegel + WDVS, Hüllqualität Passivhaus) ergibt sich ein U-Wert Zuschlag von $0,028 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

27 3.5.2016

economicum - KiINaWo - Lebenszykluskosten

Energieinstitut Vorarlberg

Beispiel Wärmebrücken UG zu EG (Tiefgarage)



28 3.5.2016

economicum - KiINaWo - Lebenszykluskosten

Energieinstitut Vorarlberg

Bauwerkskosten: Lüftungssystem



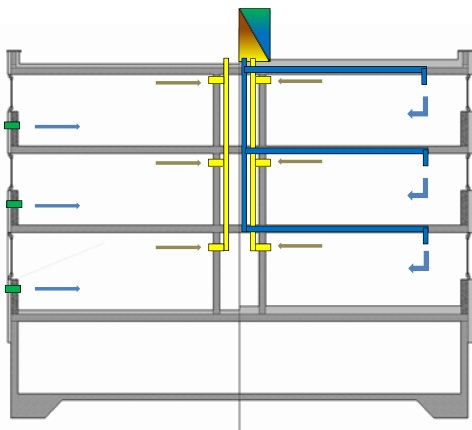
29 3.5.2016



economicum - KIINaWo - Lebenszykluskosten

Energieinstitut Vorarlberg

Bauwerkskosten: Lüftungssystem

- Komfortlüftung mit WRG versus Abluftanlage



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

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

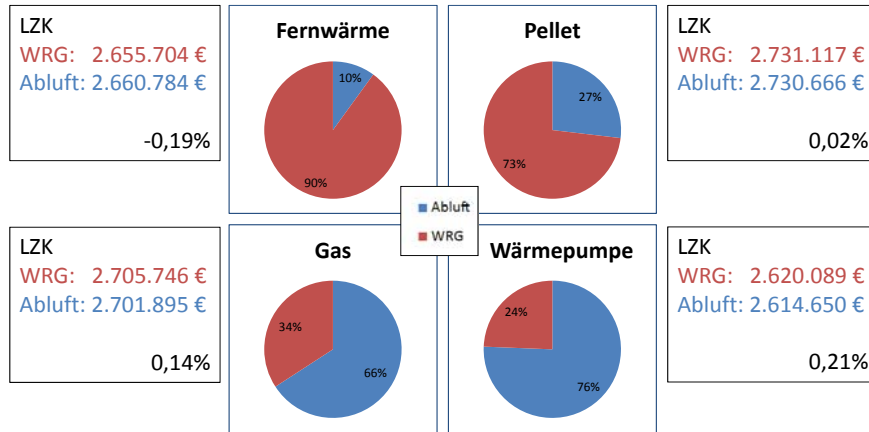
** Anlage auf dem Dach (Außenaufstellung ohne Einhausung)

30 3.5.2016

economicum - KIINaWo - Lebenszykluskosten

Energieinstitut Vorarlberg

Vorherrschende Lüftungslösung der wirtschaftlichsten Varianten* in Abhängigkeit vom Wärmeerzeuger**



*im gemeinnützigen Wohnungsbau unter Berücksichtigung der Förderung
 **1% der wirtschaftlichsten Varianten sind 150 Varianten pro Wärmeerzeuger

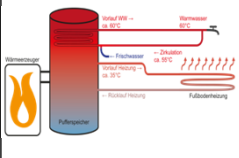
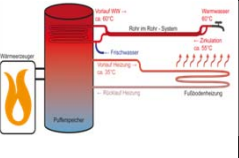
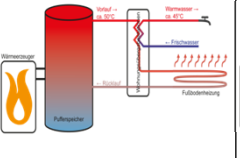
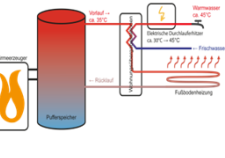
Bauwerkskosten: Wärmeerzeugung

- vier verschiedene Varianten in je zwei Energieniveaus (ohne Speicher, dieser ist der Solarthermie zugeordnet)
- Heizleistung nach energetischer Qualität der Variante
- Bei der Wärmepumpe verringern sich die Kosten bei den PH-Varianten vor allem wegen der geringeren erforderlichen Sondenlänge

	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

Bauwerkskosten*: Wärmeverteilung

4-Leitersystem	Rohr in Rohr Zirkulation (3,5-Leiter)	2-Leiter mit Wohnungs- übergabestation	2-Leiter (35°C) mit Wohnungs- übergabestation und elektrischer Nacherwärmung
12 [€/m ² _{WNF}]	13 [€/m ² _{WNF}]	29 [€/m ² _{WNF}]	34 [€/m ² _{WNF}]
			

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

33 3.5.2016 economicum - KiINaWo - Lebenszykluskosten
Energieinstitut Vorarlberg

Bauwerkskosten: Wärmeabgabe

- Wärmeabgabe: vier verschiedene Möglichkeiten
- Die Wärmeabgabe über die Nachheizung der Zuluft funktioniert nur im Passivhaus mit Komfortlüftungsanlage und einer Heizlast unter 10 W/m²

	Fußbodenheizung	Heizkörper (Außenwand)	Heizkörper (Innenwand)	Zuluftheizung (nur für PH!)
BTV Kosten*	30 [€/m ² _{WNF}]	35 [€/m ² _{WNF}]	32 [€/m ² _{WNF}]	/
PH Kosten*	27 [€/m ² _{WNF}]	32 [€/m ² _{WNF}]	30 [€/m ² _{WNF}]	11 [€/m ² _{WNF}]

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

34 3.5.2016 economicum - KiINaWo - Lebenszykluskosten
Energieinstitut Vorarlberg

Solarthermie



35 3.5.2016

economicum - KiINaWo - Lebenszykluskosten

Energieinstitut Vorarlberg

Aperturfläche der unterschiedlichen Solarthermieanlagen inkl. zugehörigem Kombispeicher

Flachkollektor	Flachkollektor	Vakuummöhrnenkollektor
49 m ² Aperturfläche	102 m ² Aperturfläche	90 m ² Aperturfläche
1.760 l Speicher*	3.550 l Speicher*	5.330 l Speicher*
532 [€/m ² Aperturfläche]**	419 [€/m ² Aperturfläche]**	658 [€/m ² Aperturfläche]**
21 [€/m ² WNF]	34 [€/m ² WNF]	47 [€/m ² WNF]

* bei Pelletheizung ca. 20% größere Speicher
 ** inkl. Speicher, Verrohrung + Regelung

36 3.5.2016

economicum - KiINaWo - Lebenszykluskosten

Energieinstitut Vorarlberg

Bauwerkskosten PV

- PV-Anlage als reine Einspeiseanlage ohne Eigennutzung
- Lebenszykluskosten wurden nur unter Berücksichtigung der Einspeisevergütung berechnet. Es wurde keine weitere Förderung der Einspeisung berücksichtigt.

Installierte Leistung	10 kWp (ca. 60m ²)	20 kWp (ca. 120m ²)	35 kWp (ca. 210m ²)
Ertrag prognostiziert	10.712 [kWh/a]	22.069 [kWh/a]	36.686 [kWh/a]
	1.071 [kWh/(a kWp)]	1.103 [kWh/(a kWp)]	1.048 [kWh/(a kWp)]
Kosten*	1.720 [€/kWp]	1.640 [€/kWp]	1.618 [€/kWp]

*gem. ÖNorm 1801-1 KG 2-4 (Netto)

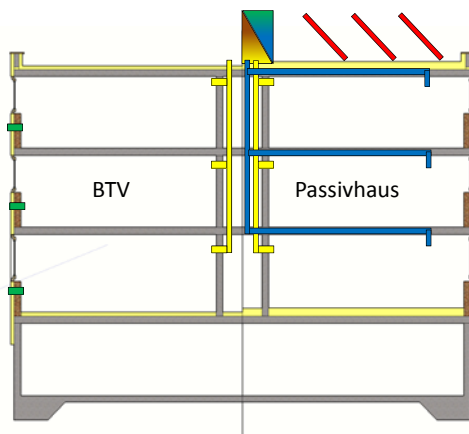
37 3.5.2016

economicum - KiINaWo - Lebenszykluskosten

Energieinstitut Vorarlberg

Bauwerkskosten: Gegenüberstellung

- BTV ohne Solarthermie versus PH mit mittlerer Solarthermie



	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

38 3.5.2016

economicum - KiINaWo - Lebenszykluskosten

Energieinstitut Vorarlberg

Zusammenfassung

- Die ausgewählte Variante hat Errichtungskosten*, die deutlich unter der Kostengrenze der Wohnbauförderung liegen.
- Die Mehrkosten hocheffizienter Gebäudevarianten von etwa 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.
- Passivhaushülle und hocheffiziente Fenster sind auch ohne Förderung in den meisten Fällen wirtschaftlich.
- Die Variantenauswahl nach Lebenszykluskosten ist sinnvoll und sollte verstärkt als Entscheidungskriterium herangezogen werden.

* ÖNORM B 1801-1, Kostengruppen 1 bis 9

** auf die Bauwerkskosten gem. ÖNORM B 1801-1, Kostengruppen 2 bis 4

