

2.2 NZEB-Gebäude Vögelebichl in Innsbruck

Fabian Ochs + Mara Magni + Georgios Dermentzis

2.2.1 Projektbeschreibung

Die von der gemeinnützigen Wohnbauvereinigung Neue Heimat Tirol im Innsbrucker Stadtteil Vögelebichl errichtete, wärmepumpenbeheizte Wohnanlage verfolgt das energetische Ziel, das Niveau Netto-Nullenergie-Gebäude (NZEB) zu erreichen, d.h. den Energieverbrauch für Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung und Hilfsstrom jahresbilanziell durch PV-Stromerzeugung auszugleichen. Die Ende 2015 in Betrieb genommene Anlage besteht aus dem viergeschossigen Gebäudeblock Nord mit 16 Wohneinheiten und dem dreigeschossigen Block Süd mit 10 Wohneinheiten.



Abbildung 1: Ansicht Nordblock (links) und Südblock (rechts); Foto: Neue heimat Tirol/Vandory

Das Projekt kombiniert eine sehr gute Hüllqualität mit einer Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung, einer gemeinsamen, wärmepumpenbasierten Wärmeversorgung sowie Solarthermie und Photovoltaik. Die Gebäude wurden als erste Gebäude weltweit durch das Passivhaus Institut im Standard Passivhaus Plus zertifiziert. Dies verlangt neben der Begrenzung des jährlichen Heizwärmebedarfs ($15 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$) einen begrenzten Bedarf an erneuerbarer Primärenergie ($45 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$) und die Erzeugung einer Mindestmenge an erneuerbarer Energie am Standort ($60 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ÜFL}} \text{ a})$), (Passipedia, 2015). Beide Gebäude wurden vom Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen der Universität Innsbruck über vier Jahre messtechnisch begleitet. Auf der Basis der Monitoringergebnisse und detaillierter, dynamischer Gebäude- und Anlagensimulationen konnten im Gebäudebetrieb Optimierungen durchgeführt werden, die zu sehr geringen Verbräuchen führten (Dermentzis, Ochs, & Franzoi, 2021), (Dermentzis & Ochs, 2018), (Ochs, Dermentzis, & Feist, 2014).

Tabelle 1: Gebäudekenndaten

Ort / Seehöhe / Mitteltemperatur Okt-März	Innsbruck	578 m	2,6 °C
Flächen (Nord und Süd)	BGF: 1.686 + 1.122 m ²	WNF: 1.930 m ² (Summe N + S)	PHPP: 1.296 + 853 m ²
Anzahl Geschosse und Wohneinheiten	Nord: E + 3, unterkellert Süd: E + 2, unterkellert	Nord: 16 Süd: 10	
Verhältnis A/V und Verhältnis A/EBF	0,38 (Nord) 0,42 (Süd)	1,62 (Nord) 2,13 (Süd)	
Anzahl Bewohner und Pro-Kopf-Wohnfläche	keine Angabe	keine Angabe	
Bauherr	Neue Heimat Tirol Gemeinnützige WohnungsGmbH		
Planung	architekt vogel-fernheim ZT-GmbH, Innsbruck HSL: Alpsolar Klimadesign OG, Innsbruck		

2.2.2 Konstruktion

Beide Gebäude wurden in Massivbauweise mit Stahlbetonwänden und Wärmedämmverbundsystem (EPS) ausgeführt. Die Fenster kombinieren sehr gute Dreifach-Verglasungen mit guten Rahmen, der Fenster U-Wert (U_w) beträgt 0,91 W/(m²K). Wärmebrücken wurden weitestgehend vermieden bzw. reduziert. Der mittlere U-Wert der Gebäude liegt mit 0,24 W/(m²K) (Nordgebäude) und 0,22 W/(m²K) (Südgebäude) sehr niedrig. Die Luftdichtheit n_{50} beider Gebäude liegt mit 0,26 und 0,28 h⁻¹ bei weniger als der Hälfte des Passivhaus-Grenzwertes von 0,6 h⁻¹.

Die Fensterflächenanteile beider Gebäude liegen mit 24,1 % (Nordgebäude) bzw. 26,5 % der PHPP-Energiebezugsfläche (Südgebäude) bewusst nicht zu hoch, um die sommerliche Behaglichkeit auch ohne Kühlung gewährleisten zu können.

Tabelle 2: Energierelevante Kennwerte der Gebäudehülle

Gebäude		Nord	Süd
U-Wert Außenwand	W/(m ² K)	0,106	
U-Wert Flachdach	W/(m ² K)	0,090	
U-Wert Kellerdecke (nicht konditioniert)	W/(m ² K)	0,109	
U-Wert Decke Tiefgarage	W/(m ² K)	0,109	
Fenster (U_w -Wert/Ug/g-Wert) Normmaßbezug	W/(m ² K) / -	0,91/0,52/0,52	
Wärmebrückenzuschlag	W/(m ² K)	0,074	0,073
Mittlerer U-Wert inkl. Fenstern (inkl. Wärmebrücken)	W/(m ² K)	0,24	0,22
Mittlerer U-Wert opak (inkl. Wärmebrücken)	W/(m ² K)	0,126	0,124
Messwert der Luftdichtheit n_{50}	h ⁻¹	0,26	0,28
Fensterflächenanteil (Fensterfläche/EBF)	%	24,1	26,5

2.2.3 Energierrelevante Haustechnik

Beide Gebäudedächer sind mit Photovoltaik-Paneele bedeckt, zusätzlich sind solarthermische (ST) Kollektoren partiell am Dach des Nordgebäudes, in dem sich die gemeinsame Technikzentrale befindet, installiert worden. Die mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG) wird eingesetzt, um den hygienischen Luftwechsel mit hohem Komfort zu garantieren und die Lüftungswärmeverluste zu begrenzen (ein Gerät für das Südgebäude, zwei für das Nordgebäude). Die mittlere Luftwechselrate beträgt $0,31 \text{ h}^{-1}$. Die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse sind eine wertvolle Quelle für die Anleitung zur optimalen Integration von Wärmepumpen in nZEBs, um eine maximale Ausnutzung der Technologie zur Erzielung der höchsten Effizienz und Minimierung der Umweltbelastung unter der Vorgabe der Kostenoptimalität zu gewährleisten.

Abbildung 2 zeigt das vereinfachte Haustechnikschema mit zentraler, zweistufiger Grundwasser-Wärmepumpe für Heizung und Warmwasserbereitung, Solarthermie, 6.000 Liter Pufferspeicher, einem 2+2-Leiter Wärmeverteilsystem mit wohnungsweisen Frischwasserstationen sowie Fußbodenheizung. Zur Reduktion der Wärmeverteilverluste wurde das Wärmeverteilnetz sehr gut gedämmt und auf ein niedriges Temperaturniveau (max. 30 °C für die Fußbodenheizung, 52 °C Vorlauftemperatur für Warmwasser) ausgelegt.

Während der Sommerperiode ist eine passive Kühlung möglich, indem die Wärme über einen Wärmeübertrager an den Grundwasserkreislauf abgegeben wird.

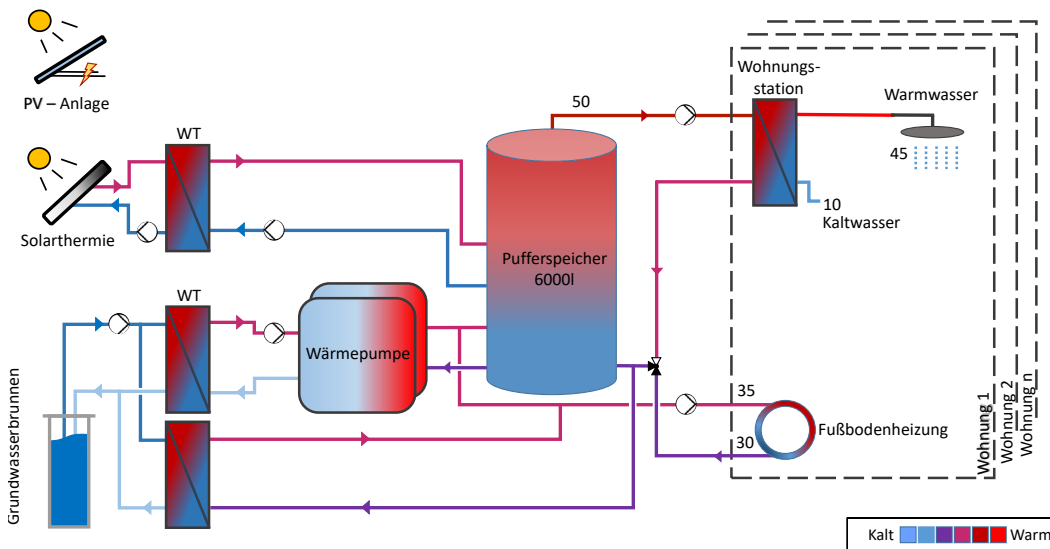


Abbildung 2: Vereinfachtes Haustechnikschema des Projekts Vögelebichl

Tabelle 3: Energierelevante Kennwerte der Haustechniksysteme

Lüftungssystem und Luftwechselrate	Zentrale Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung (3 Geräte)	0,31 h ⁻¹	
Heizlast PHPP (20°)	12,1 W/m ² _{EBF} (Gebäude Nord + Süd)		
Wärmeerzeuger Heizung (Typ, absolute und spez. Leistung)	Grundwasser-WP (Heizung + WW) zweistufig	58 kW ¹	27 W/m ² _{EBF}
Wärmeerzeuger Warmwasser (Typ, absolute und spez. Leistung)			
Wärmespeicher Typ und Größe	Pufferspeicher	6.000	2,8 Liter/m ² _{EBF}
Wärmeverteilsystem	2 + 2-Leiter (Kapitel 3.8.2.2) „Gemeinsamer Einlass in den Speicher“		
Wärmeabgabesystem Typ und Temperaturniveau	Fußbodenheizung	35 °C/30 °C	
Solarthermie Kollektorgroße (Apertur) absolut und spezifisch	73,6 m ²	0,034 m ² Koll/m ² _{EBF}	
PV-Leistung absolut und spezifisch	24,5 kW _p	11,4 W/m ² _{EBF}	
Batteriespeicher Kapazität absolut und spezifisch	-	-	

2.2.4 Energetische Performance

Für das Gebäude liegen umfangreiche Monitoringdaten für die Jahre 2016 bis 2019 vor (Dermontzis 2021). Der Schwerpunkt des Monitorings liegt auf der Messung der Effizienz der haustechnischen Systeme, aber auch der thermische Komfort im Südgebäude wird gemessen.

In der folgenden Abbildung sind die Stromverbräuche und Wärmeströme der Wohnanlage (Summe Nord- und Südgebäude) für das Jahr 2018 als spezifische, auf die Wohnnutzfläche von 1.930 m² bezogenen Werte dargestellt. Die Wärmeströme sind in einem Farbschema von gelb (hohe Temperatur) bis blau (niedrige Temperatur), die Stromverbräuche der einzelnen Anwendungen in grau dargestellt (siehe Abbildung 3).

Die mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode lag zwischen 22 und 23 °C.

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe für Heizung und Warmwasserbereitung beträgt 11,6 kWh/(m²_{WNF} a), der Hilfsstrombedarf inkl. Lüftung 6,9 kWh/(m²_{WNF} a). Der Stromverbrauch für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom inkl. Lüftung beträgt damit in Summe 18,5 kWh/(m²_{WNF} a).

Das Monitoring der Wärmepumpe (WP) ermöglichte es, den Anteil der vom Kondensator (KND) und Enthitzer (ENH) gelieferten Wärme für die beiden Anwendungen (Raumwärme und Warmwasser) zu ermitteln. Beispielsweise befand sich im Jahr 2018 die Wärmepumpe im Raumheizmodus hauptsächlich in der „Stufe I“ (34 % bezogen auf die gelieferte Wärme), während in der „Stufe II“ nur 8 % der Wärme geliefert wurde.

Der Allgemeinstromverbrauch und der Haushaltsstromverbrauch wurden im Projekt nicht gemessen, der Schätzwert von 3,9 + 24,5 = 28,4 kWh/(m²_{WNF} a) bedeutet, dass der Allgemein- und Haushaltsstromverbrauch der größte Verbraucher des Gebäudes ist. Der Gesamt-Stromverbrauch des monoelektrisch betriebenen Gebäudes läge mit diesen Werten bei 46,9 kWh/(m²_{WNF} a).

Der Ertrag der PV-Anlage von 12,6 kWh/(m²_{WNF} a) reicht nicht ganz aus, um das Ziel des jahresbilanziellen Nullenergiestandards (NZEB) zu erreichen.

¹ Die Wärmepumpe ist mit 58 kW Spitzenheizleistung im zweistufigen Betrieb (W10 W35) im Vergleich zu 36 kW Designheizleistung deutlich überdimensioniert (Ochs et al. (2019)). Bemerkenswert ist, dass die mit dem PHPP prognostizierte Heizleistung gut mit der durch die Messung ermittelte Spitzenlast übereinstimmt.

Die zentralen Komfortlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung (eines für das Südgebäude und zwei für das Nordgebäude) haben einen Wärmebereitstellungsgrad von 82 %. Der Wärmeübertrager ist durch einen Solekreis, der vom Heizkreislauf versorgt wird vor Vereisung geschützt. Der Energieverbrauch für die Frostfreihaltung beträgt im Durchschnitt 450 kWh/a, was weniger als 1 % des durchschnittlichen jährlichen Gesamt-Heizenergieverbrauchs entspricht.

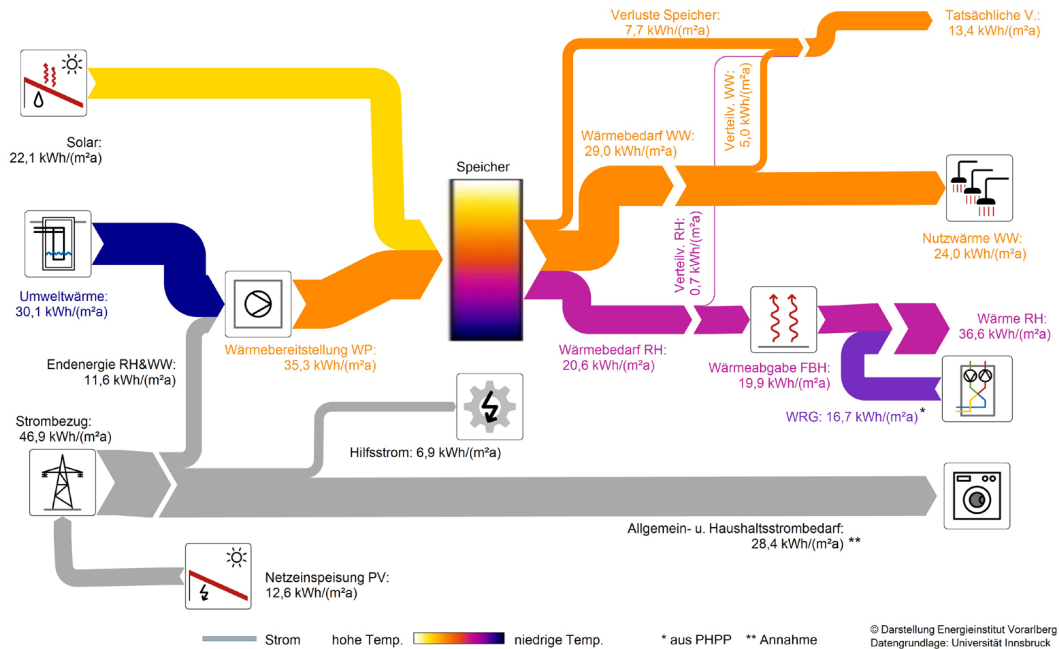


Abbildung 3: Sankey Diagramm: gemessenen Energieflüsse im Jahr 2018 – spezifische Werte mit Bezug auf Energiebezugsfläche PHPP (Quelle: Projekt Low-Cost nZEB, Messung Uni Innsbruck, Darstellung EIV).

Die wichtigsten berechneten Energiebedarfswerte sind in der nachfolgenden Tabelle den Messwerten des Jahres 2018 gegenübergestellt. Die berechneten Bedarfswerte sind für beide Gebäude separat und in Summe angegeben, die Verbrauchsdaten beziehen sich auf das Gesamtprojekt aus Nord- und Südblock und sind auf die Wohnnutzfläche bezogen.

Tabelle 4: Kennwerte Energiebedarf und -verbrauch

Gebäude		Nord	Süd	N + S
Heizwärmebedarf PHPP-Standard (20 °C)	kWh/(m ² _{WNF} a)	12,3	15,7	13,6
Heizwärmebedarf PHPP -Verbrauchsprognose (22,5 °C)	kWh/(m ² _{WNF} a)	17,8	22,6	19,7
Heizwärmeverbrauch gemessen (22 – 23 °C)	kWh/(m ² _{WNF} a)	20,8	20,3	20,6
Warmwasserbedarf (PHPP Standard +30 %)	l/(Pers.d) (60°)	7,3	8,2	7,7
Endenergiebedarf _{Heiz+WW} PHPP-Verbrauchsprognose (22,5° und 32,5 l, 10 % Zusatzverschattung Winter)	kWh/(m ² _{WNF} a)	6,6	7,4	6,9
Endenergieverbrauch _{Heiz+WW} gemessen (Kompressorstrom WP)	kWh/(m ² _{WNF} a)	11,6	11,6	11,6
PV-Stromerzeugung (PHPP)	kWh/(m ² _{ÜFL} a)	35,3	22,6	29,0
PV-Stromerzeugung (gemessen)	kWh/(m ² _{ÜFL} a)	32,6	21,4	27,0

Die jahresbilanzielle Nettonullbilanz für die Anwendungen Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung und Hilfsstrom konnte v.a. aufgrund der relativ hohen Speicherverluste und des hohen Hilfsenergieverbrauchs während der ersten vier Jahre messtechnisch noch nicht nachgewiesen werden. Zusätzliche Optimierungsschritte sind jedoch möglich und Simulationsergebnisse zeigen, dass der Standard NZEB erreichbar wäre. Darüber hinaus wurden alternative Systemdesigns vorgeschlagen und mittels Simulation mit kalibrierten Komponentenmodellen und unter Berücksichtigung von monatlichen Primärenergiekonversionsfaktoren bewertet.

2.2.5 Optimierungsmöglichkeiten

Die MFH Vögelebichl stellen sehr effiziente Gebäude (Passivhausstandard) mit einer effizienten Wärmeversorgung (Niedertemperaturverteilung mit dezentralen/wohnungsweisen Frischwasserstationen und Grundwasserwärmepumpe) und einer hohen Integration von erneuerbaren Energien (Solarthermie und PV) mit einer sehr hohen Primärenergieeinsparung im Vergleich zu Standardgebäuden dar. Diese Gebäude, realisiert als sozialer Wohnbau, können als Prototyp für zukünftige nZEB dienen. Aus heutiger Sicht würde jedoch ein System ohne Solarthermieanlage (stattdessen mit einer größeren PV-Anlage) vergleichbare Einsparungen bei besserer Wirtschaftlichkeit liefern. Die Komplexität der Anlage würde sich reduzieren und damit die Robustheit verbessern und die Fehleranfälligkeit abnehmen. Auch die Inbetriebnahme und Fehlererkennung bei der Inbetriebnahme wären einfacher. Statt eines Kombispeichers wäre eine Variante mit eher knapp dimensioniertem Pufferspeicher für die Trinkwarmwassererwärmung und mit getrennter hydraulischer Weiche für die Heizung zu empfehlen. Ein Vierleitersystem mit wohnungsweisen Frischwasserstationen mit getrennter Einbindung in den Speicher und damit der Möglichkeit einer Einschichtung abhängig vom Temperaturniveau wäre im Vergleich zur realisierten 3-Leitervariante deutlich zu bevorzugen. Die Wärmepumpe mit Enthitzerschaltung bringt bei sehr effizienten Gebäuden auch theoretisch nur ein minimales Einsparpotential und kann nicht generell empfohlen werden. Wenn, wäre eine hydraulische Verschaltung mit einer Möglichkeit, den Enthitzer flexibel seriell und parallel einzubinden, zu erwägen.

Bei der Konzeption zukünftiger Gebäude ist auf eine gezielte Dimensionierung der Komponenten, kurze Leitungswege (geringe Wärmeverluste) und v.a. auch in Bezug auf die Reduzierung der Hilfsenergie optimierte Komponenten (z.B. gut dimensionierte und geregelte Zirkulationspumpen) zu achten.

Schließlich muss darauf hingewiesen werden, dass eine simulationsgestützte Inbetriebnahme ermöglicht, Fehler frühzeitig zu erkennen und zu beheben und einen optimalen Betrieb zu gewährleisten.