Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

STADT der Zukunft

FFG Forschung wirkt.

Vorarlberg unser Land

SüdSan

Sozialverträgliche und klimazielkompatible Sanierung zweier Mehrfamilienhäuser als Modell für die Sanierung der Südtiroler-Siedlung Bludenz

Themendokumentation

Zwischenstand März 2025

Das Projekt SüdSan wird im Rahmen der 8. Ausschreibung des Programms „Stadt der Zukunft“ gefördert.

„Stadt der Zukunft“ ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMK von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH (AWS) und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt.

Das Projekt erhält darüber hinaus eine Förderung des Landes Vorarlberg.

Zwischenstand März 2025

Dornbirn, 25.03.2025

Autor*In 1: Martin Ploß

Autor*In 2: Tobias Hatt

Autor*In 3: Simon Nussbaumer

Autor*In 4: Johanna Müller

Autor*In 5: Thomas Roßkopf-Nachbaur

Herausgeber:

Energieinstitut Vorarlberg, Fachbereich Bauen und Sanieren

CAMPUS V, Stadtstraße 33

6850 Dornbirn, Österreich

Tel. +43 (0)5572 / 31 202-0

info@energieinstitut.at

Kurzfassung

Ausgangslage und Problemstellung

Der Anteil des Endenergieverbrauchs der privaten Haushalte für Raumklima, Warmwasser und Kochen am Gesamt-Endenergieverbrauch Österreichs lag im Jahr 2023 bei 22,5% [Gollner 2024-2]. Die Bedeutung des Wohngebäudeparks für den Erfolg der Energiewende ist jedoch aus zwei Gründen größer als sein prozentualer Anteil:

1) Der Endenergieverbrauch der Wohngebäude hat aufgrund der Dominanz des Heizenergieverbrauchs einen starken jahreszeitlichen Swing mit deutlich ausgeprägtem Verbrauchsmaximum im Winter. Der winterliche Energieverbrauch stellt Versorgungssysteme mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien vor große Herausforderungen: Während der sommerliche Energiebedarf zukünftig in vielen europäischen Staaten leichter mit erneuerbarem Strom gedeckt werden kann (in Österreich: Wasserkraft, PV etc.), sind die Erträge aus diesen Energiequellen im Winter weitaus geringer.[1]
2) Aufgrund der geringeren Erträge der Erneuerbaren im Winter liegen die spezifischen THG-Emissionen des Verbraucherstrommix während der Heizperiode weit höher als im Sommer. Dies wird sich in absehbarer Zukunft prinzipiell nicht ändern.

Sollen die klimapolitischen Ziele auf EU,- Bundes- und Landesebene erreicht werden, so muss zusätzlich zur Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung nicht nur – wie seit langem gefordert – die Sanierungsrate, sondern auch die mittlere Sanierungsqualität erhöht werden.

Obwohl sich energetisch hochwertige Sanierungen – etwa im Standard EnerPHit[2] oder gemäß der Anforderungen für die Höchstbepunktung im klimaaktiv-Kriterienkatalog - in vielen Demonstrationsprojekten in Deutschland, Österreich und anderen Staaten seit mehr als 20 Jahren in der Praxis bewährt haben [Bastian 2022], [Ploss 2021], ist ihr Marktanteil nach wie vor sehr gering, da die gesetzlichen Mindeststandards und die Anforderungen in Förderprogrammen deutlich schlechtere Gebäude zulassen. Ein Grund für die niedrigen Marktanteile ist, dass Sanierungskosten und Mehrkosten energetisch hochwertiger Sanierungen bislang nicht systematisch erfasst und nachvollziehbar aufbereitet werden und dass Kostendatenbanken wie die des BKI[3] für Österreich nicht verfügbar bzw. statistisch nicht genügend abgesichert sind.

---

[1] Siehe Erläuterungen in Kapitel 1.

[2] Der Standard EnerPHit beschreibt die Anforderungen für die Gebäudesanierung mit Passivhauskomponenten https://passiv.de/de/03_zertifizierung/02_zertifizierung_gebaeude/04_enerphit/04_enerphit.htm

[3] Baukosteninformationszentrum der deutschen Architektenkammern

Mangels verlässlicher Kostendaten wird daher oft die These vertreten, dass die Mehrkosten energetisch hochwertiger Sanierungen ein wichtiger Grund für die niedrigen Sanierungsraten seien und Sanierungen werden in üblichen, mittleren energetischen Qualitäten ausgeführt.

Inhalt, Ziel und Methodik

Inhalt des Projekts SüdSan ist es, am Beispiel der Sanierung zweier Mehrfamilienhäuser aus den 40er und 50er Jahren den Einfluss des energetischen und ökologischen Energieniveaus auf die folgenden Parameter zu quantifizieren:

- Investitions- und Lebenszykluskosten sowie „Warmmiete“[4]
- Betriebs- und Herstellungsenergieaufwand
- Treibhausgasemissionen im Betrieb und für die Herstellung
- Thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität

Ziel ist es, zu untersuchen, ob klimazielkompatible Sanierungen kleiner, älterer Mehrfamilienhäuser unter den derzeitigen rechtlichen und finanziellen Randbedingungen (Sanierungsrücklagen des EVB[5], Fördermöglichkeiten auf Bundes- und Landesebene, Vorgaben zur Umlegung der Sanierungskosten…) sozialverträglich durchgeführt werden können.

Neben den Kosten für energetische und ökologische Maßnahmen werden auch die Kosten ohnehin notwendiger Maßnahmen detailliert ermittelt, um Aussagen zu den wichtigsten Kosten-Einflussfaktoren von Sanierungen und zu deren Finanzierbarkeit treffen zu können.

Als Grundlage für die Untersuchung werden für beide Gebäude zahlreiche Varianten geplant und modular ausgeschrieben, in denen energetische Qualitäten zwischen OIB RL 6 (2019) und dem Standard EnerPHit, verschiedene ökologische Materialqualitäten sowie unterschiedliche Wärmeversorgungs-, Lüftungs- und Solarsysteme kombiniert werden.

Zur Auswahl der Ausführungsvarianten werden automatisierte, realitätsnahe Energiebedarfsberechnungen und Lebenszykluskostenberechnungen durchgeführt.

Energieverbräuche, thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität werden sowohl vor, als auch nach Sanierung in einem Monitoring analysiert. Zur Einordnung der Ergebnisse werden auch die Kosten für die Option Abriss und Ersatzneubau ermittelt.

---

[4] Als „Warmmiete“ wird in diesem Bericht die Miete inkl. aller Betriebs- und Energiekosten verstanden, d.h. inkl. Haushaltsstrom.

[5] Im EVB (Erneuerungs- und Verbesserungsbeitrag) sind Höhe und Verwendungszweck der Sanierungsrücklagen im gemeinnützigen Wohnbau definiert.

Ausgewählte Gebäude und Randbedingungen

Ausgewählt wurden zwei Gebäude der Südtirolersiedlung Bludenz, deren Geometrien, Konstruktionen und Wärmeversorgungssysteme repräsentativ für kleine Mehrfamilienhäuser der 20er bis 60er Jahre sind. Dieses Marktsegment hat einen Anteil von 13% am Gesamt-Wohngebäudebestand Österreichs und von 10% des Bestandes in Vorarlberg [o.A. 2023].

Die Bedeutung des Segments ist größer als sein Marktanteil, da es einen großen Anteil an den „Worst Performing Buildings“ ausmacht, in denen nach EPBD 2024 ein großer Anteil der Reduktion des Energiebedarfs des Wohngebäudeparks erreicht werden soll [EPBD 2024].

Abbildung 1: kleines und großes Gebäude vor Sanierung; Fotos: Walser Fotografie, Hohenems, M. Fortenbacher

Das 1942 fertiggestellte kleine Gebäude hat fünf, das große Gebäude aus dem Jahr 1959 zehn Wohneinheiten – jeweils inklusive einer Dachgeschosswohnung. Beide Gebäude sind unterkellert und waren zu Projektstart baulich bis auf die in den 80er Jahren erneuerten Fenster im Originalzustand. Der Wärmeschutz war dementsprechend sehr schlecht.

Die Beheizung erfolgte dezentral über

- Stückholz- und Pelletöfen
- Direkt-elektrische Heizsysteme (z. B. Infrarot, Nachtspeicheröfen)
- Kombinationen aus Einzelöfen und direkt-elektrischen Heizsystemen

Die Warmwassererzeugung erfolgte durch dezentrale Elektroboiler.

Die thermische Behaglichkeit im Winter wurde von 3/4 der Mieterschaft als schlecht beurteilt, die im Sommer von 2/3. Das Monitoring vor Sanierung bestätigt diese Einschätzung.

Der Endenergieverbrauch der Gebäude vor Sanierung konnte nicht genau ermittelt werden, da viele Wohnungen sowohl über Einzelöfen als auch elektrisch direkt beheizt wurden und der Stromverbrauch für alle Anwendungen nur über einen Zähler pro Wohnung gemessen wurde.

Er kann aber auf Grundlage der gemessenen mittleren Raumlufttemperaturen in der Heizperiode (17,9°C im Großen und 21,6°C im kleinen Gebäude), der Personenzahl und des Gesamtstromverbrauchs in Verbrauchsprognoseberechnungen hinreichend genau abgeschätzt werden. Die folgende Abbildung zeigt die für das große Gebäude ermittelten Werte des wohnflächenspezifischen Endenergieverbrauchs[6].

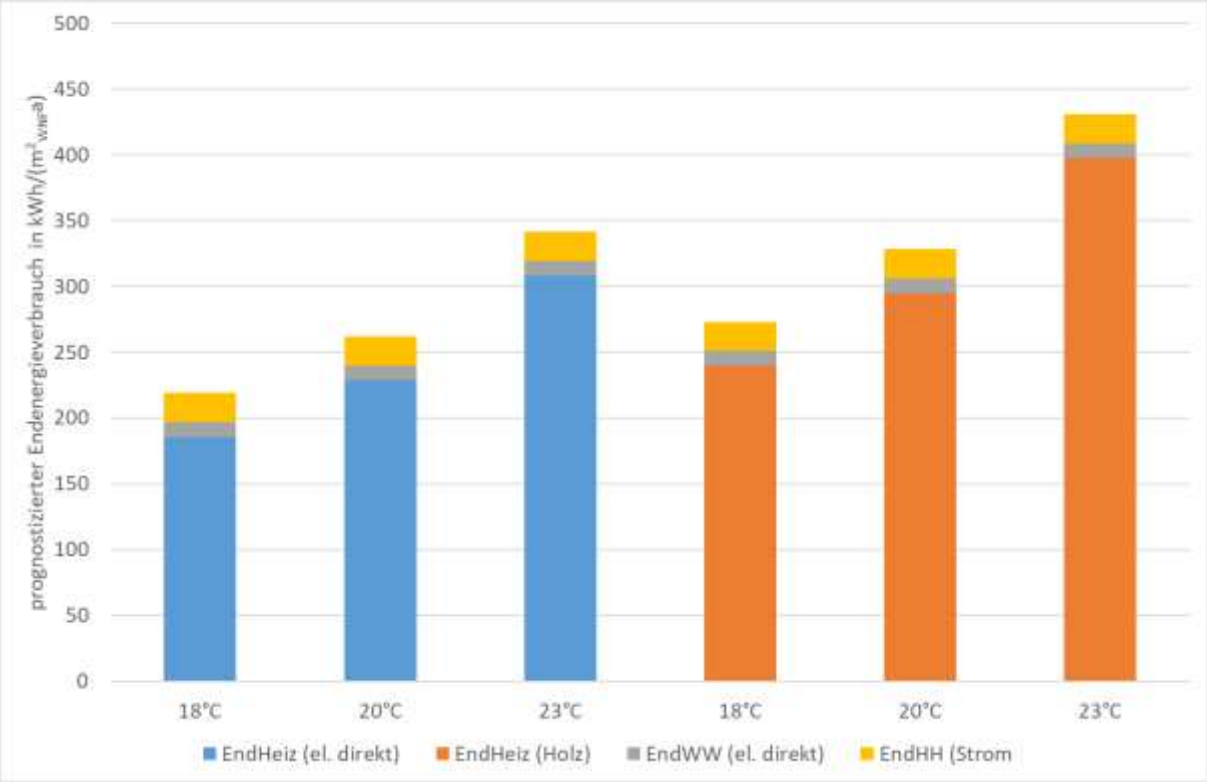

Abbildung 2: Spezifischer Endenergieverbrauch des großen Gebäudes vor der Sanierung gemäß Verbrauchsprognoseberechnungen mit PHPP. Dargestellt sind die Werte für eine direkt-elektrische Beheizung aller Wohnungen sowie eine Beheizung aller Wohnungen mit Holzöfen, jeweils unter Annahme unterschiedlicher mittlerer Raumlufttemperaturen während der Heizperiode.

Der wohnflächenspezifische Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ läge bei rein elektrischer Beheizung zwischen 186 kWh/(m$^2_{WNF}$a) bei einer mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur von 18°C und ca. 308 kWh/(m$^2_{WNF}$a) bei 23°C[7].

[6] Bei den genannten Werten handelt es sich genau genommen um Energiebedarfswerte, die in Verbrauchsprognoseberechnungen mit realistischen Randbedingungen ermittelt wurden. Als Verbrauch werden üblicherweise gemessene Werte bezeichnet.

[7] Die mittlere Heizperioden-Raumlufttemperatur des großen Gebäudes liegt bei 17,9°C, der Wert einer rein elektrisch beheizten „Sandwichwohnung“ mit nur einer Außenwand bei 23°.

Würden die gleichen Temperaturniveaus mit Holzofenheizungen bereitgestellt, so läge der Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ wie in der Abbildung dargestellt höher.

Geht man von einer mittleren Raumlufttemperatur von 20°C und einer Beheizung zu jeweils 50% elektrisch direkt und mit Holzöfen aus, so ergibt sich ein spezifischer Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ von 261 kWh/(m$^2_{WNF}$a).

Der Endenergieverbrauch für Warmwasser beträgt bei einer Belegung mit 10 Personen etwa 11 kWh/(m$^2_{WNF}$a).

Damit ergibt sich ein **Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser** von **261 + 11 = 272 kWh/(m$^2_{WNF}$a).**

Das große Gebäude gehört damit zu den schlechtesten Mehrfamilienhäusern Vorarlbergs. Gleiches gilt auch für das kleine Gebäude, dessen Endenergieverbrauch$_{Heizung\ und\ Warmwasser}$ in der gleichen Größenordnung liegt.

Zusätzlich fällt der Haushaltsstrombedarf an, der basierend auf Monitoring-Ergebnissen und der genannten Personenbelegung auf 22 kWh/(m$^2_{WNF}$a) geschätzt wird.

Die hohen Verbräuche führen – trotz der vergleichsweise niedrigen Energiepreise in Vorarlberg – zu erheblichen Energiekosten. Dadurch bleiben die „Warmmieten“[8] trotz niedriger Kaltmieten auf einem hohen Niveau.

Die folgende Abbildung zeigt die „Warmmiete“ des großen Gebäudes vor Sanierung für Mieter mit unbefristeten Verträgen in Abhängigkeit von der Art der Beheizung unter Annahme einer mittleren Raumlufttemperatur von 20°C. Zum Vergleich ist ein Bereich für die „Warmmiete“ in gemeinnützigen Neubauten in Vorarlberg dargestellt.

[8] Als Warmmiete wird im Folgenden die Miete inkl. der Kosten aller Energieanwendungen, d.h. inkl. des Haushaltsstroms bezeichnet. Die Einbeziehung der Kosten des Haushaltsstroms ist sinnvoll, da diese nach Sanierung durch die Nutzung von PV-Strom reduziert werden sollen und da sie einen nicht zu vernachlässigenden Anteil der Energiekosten der Mieter ausmachen.

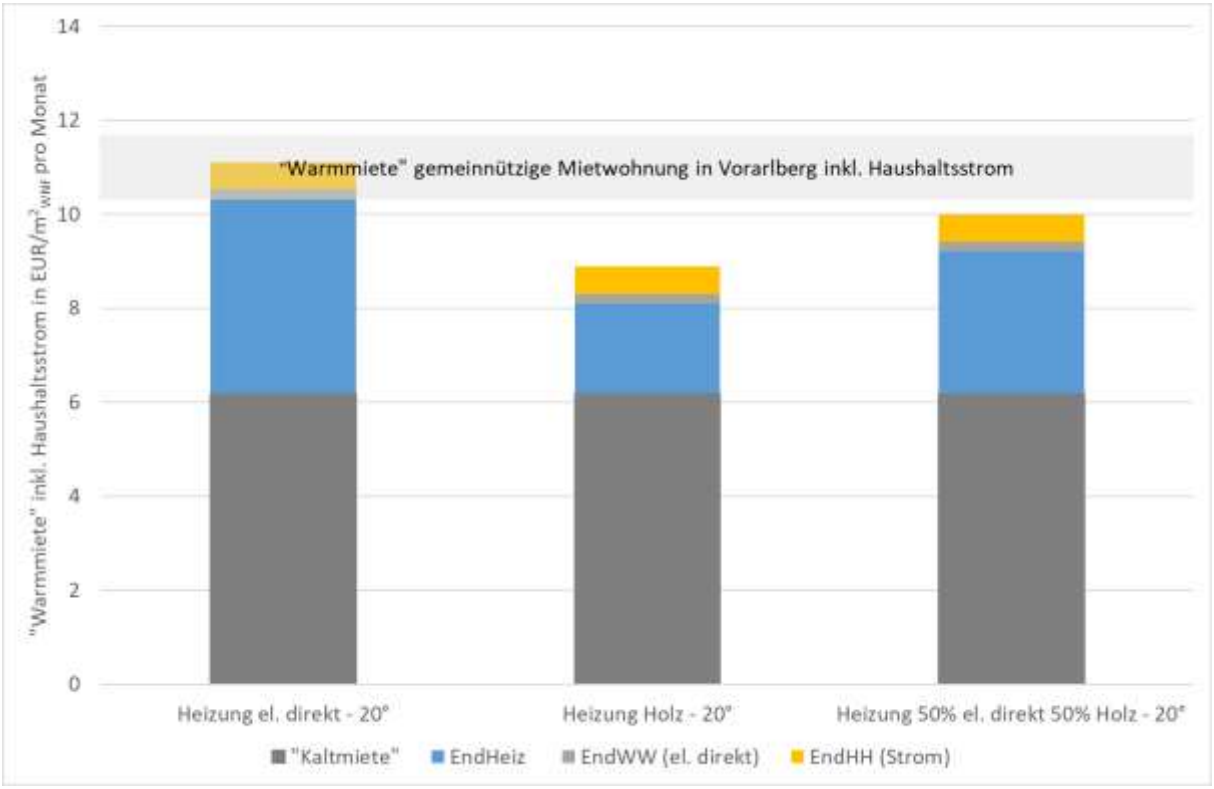

Abbildung 3: monatliche Warmmiete inkl. Haushaltsstrom für Mieter mit befristetem Mietvertrag, abhängig von der Art der Beheizung und unter Annahme einer mittleren Heizperioden-Raumluft-temperatur von 20°C (großes Gebäude); Vergleichskosten für gemeinnützige Neubauten in Vorarlberg (grauer Balken)

Die mittlere monatliche Warmmiete inkl. Haushaltsstrom läge für Mieter mit befristeten Verträgen zwischen 8,88 EUR/m^2_{WNF} bei Beheizung über Holzöfen und 11,10 EUR/m^2_{WNF}, wenn alle Wohnungen elektrisch direkt auf 20°C beheizt würden[9].

Die Warmmiete inkl. Haushaltsstrom liegt damit für Mieter mit befristeten Verträgen nur geringfügig unter dem Vergleichswert in neu errichteten, gemeinnützigen Wohnanlagen in Vorarlberg. Im Fall einer direkt-elektrischen Beheizung der unsanierten Gebäude liegen die Warmmieten inkl. Haushaltsstrom gleich hoch wie im Neubau.

Die Zahlen verdeutlichen, dass eine energetische Sanierung der Gebäude in der Südtirolersiedlung Bludenz dringend geboten ist.

[9] Für die wenigen Mieter mit unbefristeten Verträgen lägen die Werte wegen der um 2 EUR/m2WNF geringeren monatlichen „Kaltmiete“ zwischen 6,88 EUR/m2WNFa bei Beheizung über Holzöfen und 9,10 EUR/m2WNFa bei rein elektrischer Beheizung.

Wie bei der Sanierung vieler älterer Gebäude mussten die energetischen Maßnahmen an Hülle und Haustechnik mit zahlreichen ohnehin notwendigen Instandhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen kombiniert werden.

Um das notwendige Ausmaß dieser Maßnahmen zu bestimmen, wurde der Zustand der Gebäude in mehreren Gutachten analysiert. Wie die folgenden Abbildungen zeigen war der Allgemeinzustand beider Gebäude aufgrund des erheblichen Sanierungsstaus schlecht.

Abbildung 4: Zustand des Kellers im großen Gebäude (links) und oberste Geschoßdecke im kleinen Gebäude; Fotos Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 5: Dachkonstruktion und –deckung sowie Treppenhaus im kleinen Gebäude; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg (links), Rhomberg Bau GmbH

Wie die Abbildungen verdeutlichen, waren aufgrund des erheblichen Sanierungsstaus umfangreiche Instandhaltungs- und Modernisierungsarbeiten notwendig, um die Gebäude mittelfristig in einem vermietbaren Zustand zu erhalten.

Aus den gravierendsten Mängeln ergaben sich die folgenden Ohnehin-Maßnahmen:

- Beseitigung der erheblichen Feuchteschäden im Kellergeschoß
- Statische Ertüchtigung der obersten Geschoßdecke als Voraussetzung zur Nutzung des Dachgeschosses
- Abriss und Neuerrichtung des Dachstuhls aus statischen Gründen
- Beseitigung der Mängel an Elektroinstallation, Wasser- und Abwasserinstallation
- Modernisierung knapp der Hälfte aller Bäder

Randbedingungen der Sanierung

Die wichtigsten Randbedingungen für die Sanierung sind nachfolgend zusammengefasst:

- Der Kontostand der EVB-Konten[10] lag zu Projektbeginn mit ca. 1 Mio. EUR im Minus
- Die Siedlung erhielt kurz nach Projektgenehmigung den Status „erhaltenswert". Wegen der baukulturellen Bedeutung wurde das BDA[11] ins Projektteam aufgenommen
- Der Eigentümer entschied bei Projektstart, die Sanierung im bewohnten Zustand durchzuführen und über einen GU abwickeln zu lassen
- Im Gegensatz zu ähnlichen Siedlungen gab es kein Problem mit Leerstand und die kleinräumigen Bevölkerungsprognosen sowie die demographische Entwicklung in der Region lassen eine hohe Nachfrage nach bezahlbarem Wohnraum erwarten

Untersuchte Varianten

In einem ersten Schritt wurden zahlreiche Entwurfsvarianten erarbeitet, die sich insbesondere bezüglich der Grundrisse und der Gestaltung des neuen Dachgeschosses unterscheiden.

Für die ausgewählten Entwurfsvarianten beider Gebäude wurden verschiedene Konstruktionsarten analysiert, die unterschiedliche Energieniveaus von OIB RL 6 (2019) bis EnerPHit abdecken. Dabei wurden folgende Faktoren berücksichtigt:

- Wärmeerzeuger
- Wärmeverteil- und Abgabesysteme
- Lüftungssysteme
- Solarsysteme

[10] In Summe aller Gebäude der Siedlung

[11] Bundesdenkmalamt

Während für das kleinere Gebäude sechs Hüllvarianten mit Wärmedämmverbundsystem (EPS, Holz-Weichfaser und Stroh, jeweils im Standard OIB RL 6 (2019) und EnerPHit) geplant und ausgeschrieben wurden, wurden für das große Gebäude drei Außenwandkonstruktionen im Standard EnerPHit mit vorgefertigten sowie mit teil-vorgefertigten Fassadenelementen untersucht.

In Abbildung 6 sind die Heizwärmebedarfe $HWB_{Ref, RK}$ der beiden Gebäude den Anforderungen verschiedener Standards in Österreich gegenübergestellt [12].

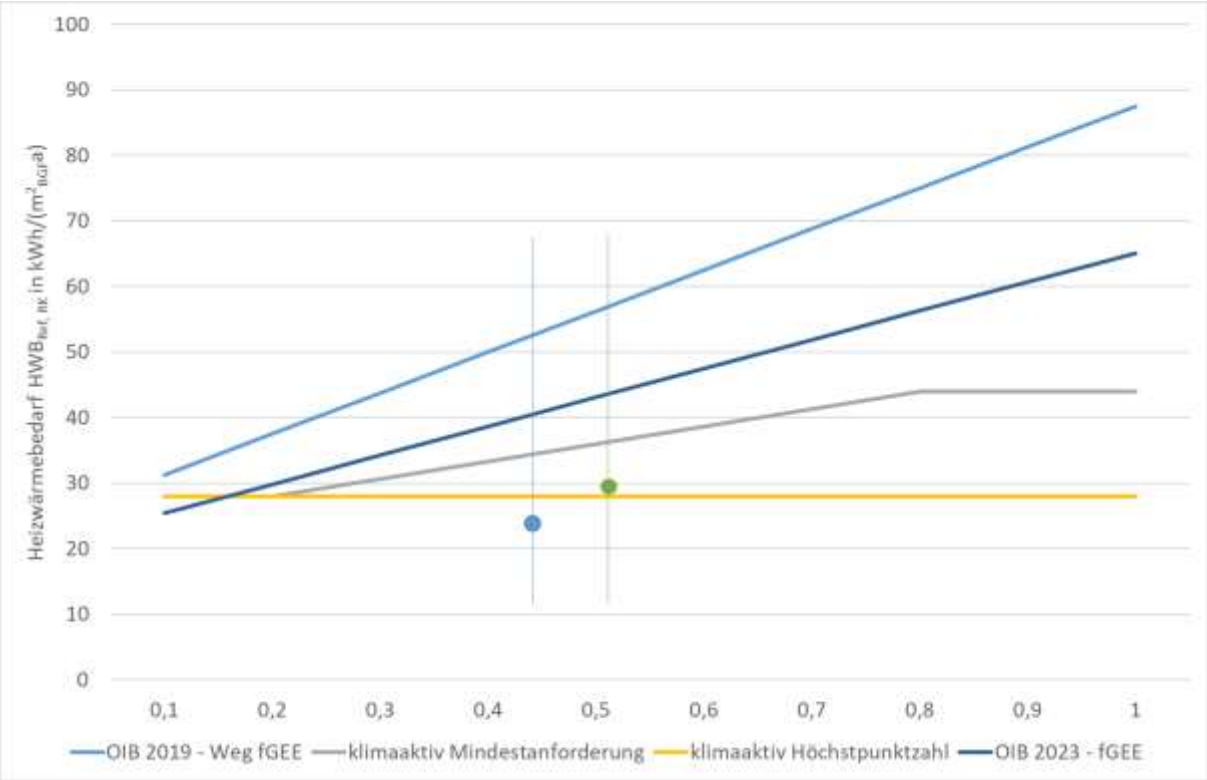

Abbildung 6: Werte des $HWB_{Ref, RK}$ der Realisierungsvarianten der zwei Mustergebäude im Vergleich zu den Mindestanforderungen einiger der untersuchten Standards bei Berechnung nach OIB RL 6 (2019)

Wie die Abbildung verdeutlicht, unterscheiden sich die A/V-abhängigen Mindestanforderungen der untersuchten Standards an den $HWB_{Ref, RK}$ erheblich:

[12] Der $HWB_{Ref, RK}$ bezeichnet den nach OIB RL 6 (2019) berechneten Heizwärmebedarf eines Gebäudes für ein österreichweit vereinheitlichtes Referenzklima. Die Auswirkung einer Lüftungs-Wärmerückgewinnung sind in dem Wert nicht enthalten. Die angegebenen Werte dienen nur dem Vergleich verschiedener Anforderungsniveaus, die Energiebedarfsberechnungen zur Abschätzung des zu erwartenden Energieverbrauchs wurden mit PHPP durchgeführt.

Sie liegen für das große Gebäude zwischen 52,5 kWh/(m^2_{BGF}a) bei Erfüllung der OIB Richtlinie 6 (2019) und 28 kWh/(m^2_{BGF}a) bei Erfüllung der Anforderung für die Höchstbepunktung im klimaaktiv-Katalog.

Die Ausführungsvariante des großen Gebäudes hat einen $HWB_{Ref, RK}$ von 23,7 kWh/(m^2_{BGF}a), der Wert des kleinen Gebäudes liegt bei 29,3 kWh/(m^2_{BGF}a).

Die untersuchten Haustechnikvarianten sind in der folgenden Abbildung exemplarisch für das große Gebäude dargestellt.

	Wärmeerzeuger	Wärmeverteilung und -abgabe				PV
		Heizung			WW	
		EG bis OG2	DG	Zusatz		
Variante 1	Luft-Wärmepumpe	AWH	FBH	IR	WS	ohne
Variante 2	Fernwärme	AWH	FBH	IR	BWP	25,5 kWp Indach
Variante 3		AWH	FBH	IR	E-Boiler	
Variante 4		AWH	FBH	DH	WS	
Variante 5		AWH	FBH	DH	BWP	
Variante 6		AWH	FBH	DH	E-Boiler	
Variante 7		HK			WS	
Variante 8		HK			E-Boiler	
Anzahl	2	8				2

Tabelle 1: Variantenmatrix Haustechnik – großes Gebäude; AWH: Außenwandheizung, FBH: Fußbodenheizung; HK: Heizkörper; IR: Infrarot-Zusatzheizung im Bad; DH: Decken-Zusatzheizung im Bad; WS: Wohnungsstation; BWP: Brauchwasserwärmepumpe

Für das große Gebäude wurden die Wärmeerzeuger Luft-Wärmepumpe und Fernwärme untersucht. Da das Gebäude im Bestand kein hydraulisches Wärmeverteil- und -abgabesystem besaß, wurden verschiedene Systeme im Niedertemperaturbereich untersucht, die wärmepumpenoptimiert betrieben werden können.

Zusätzlich wurden drei Varianten der Warmwasserbereitung und zwei Varianten der PV-Größe geplant und modular ausgeschrieben.

Darüber hinaus wurden – in der Variantenmatrix nicht dargestellt – verschiedene Lüftungsvarianten untersucht.

Umgesetzte Sanierungsvarianten

Die folgenden Abbildungen zeigen beide Gebäude nach Sanierung.

Abbildung 7: großes Gebäude nach Sanierung; Johannes Kaufmann und Partner GmbH; Fotos: Walser Fotografie, Hohenems

Abbildung 8: kleines Gebäude nach der Sanierung; Johannes Kaufmann und Partner GmbH; Fotos: Walser Fotografie, Hohenems

Das äußere Erscheinungsbild beider Gebäude wurde in Abstimmung mit dem Bundesdenkmalamt nur geringfügig geändert. So blieben die Proportionen des Gebäudes und die Fensterformate erhalten und die Gebäude erhielten einen dem Bestand in Struktur und Farbe ähnlichen Außenputz. Im kleinen Gebäude blieben die charakteristisch ausgestellten Gebäudeecken erhalten.

In beiden Gebäuden wurde das bestehende Dachgeschoß wegen der statischen Mängel komplett abgerissen und neu errichtet.

Je Gebäude entstand im Dachgeschoß eine zusätzliche Wohnung. Die oberste Geschoßdecke beider Gebäude wurde statisch ertüchtigt. Umfangreiche Grundrissveränderungen wurden auch im Keller vorgenommen.

Der Umfang der Arbeiten an den Außenanlagen war im kleinen Gebäude deutlich größer, so erhielt dieses eine neue Hauseingangstreppe und eine Rampe, um die Erdgeschoßwohnungen barrierearm zugänglich zu machen.

Die wichtigsten umgesetzten Maßnahmen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Dargestellt werden der Befund der Bestandsanalyse, die ohnehin notwendigen Maßnahmen zur Instandsetzung und Modernisierung sowie die zusätzlichen Maßnahmen zur energetischen und ökologischen Optimierung für die wichtigsten Bauteile und Komponenten.

Bauteil	Befund	ohnehin notwendige, bauliche bzw. haustechnische Maßnahmen	energetische und ökologische Optimierung
Kellerwand	Feuchteschäden, Schimmel, fehlende Abdichtung, fehlende Drainage	Aufgraben bis Sohle, Trockenlegung, Abdichtung, Drainage, Mindestwärmeschutz	verbesserter Wärmeschutz, Flankendämmung Innenseite Außenwände
Kellerdecke	kalte Fußböden im Erdgeschoß, Schimmel	Mindestwärmeschutz	verbesserter Wärmeschutz
Kellerboden	Mangelnde Abdichtung	Abriss Kellerboden und teilweise Einbringen eines neuen Bodens	keine
Kellerräume	Keine Kellerabteile, Waschküche, Fahrrad- und Technikraum	Grundrissänderungen (Haustechnikraum, Fahrradraum, neue Kellerabteile)	keine
Heizung und Warmwasser-bereitung	Wohnungsweise Wärmeerzeuger (Holz/Kohle, el. Nachtspeicher, IR) + Elektroboiler	Zentralheizung (Wärmepumpe o. Fernwärme) + Verteilleitungen + Heizkörper/Deckenheizung	optimierte Wärmepumpe, verbesserte Leitungsdämmung, Wandheizung außen
Bäder	6 von 13 Wohnungen (ohne DG) unsaniert	Sanierung der 6 bislang unsanierten Bäder + je zwei neue Bäder in den DG-Wohnungen	verbesserte Leitungsdämmung
Elektro	ca. 50% unsaniert	restliche 50% sanieren	keine
Fenster	undicht, kein außenliegender Sonnenschutz in Haus St. Antoniusstraße 19	Mindestqualität Fenster + außenliegender Sonnenschutz	3-WSV + außenliegender Sonnenschutz
Fassade	schlechter U-Wert, Putzschäden in kleineren Bereichen	Mindestwärmeschutz	verbesserter Wärmeschutz
Oberste Geschossdecke	statisch nicht für Ausbau des Dachgeschosses geeignet	statische Ertüchtigung, Verbesserung Schallschutz	keine
Dach	statisch unterdimensioniert, Ziegeldeckung z.T. defekt	neuer Dachstuhl + Mindestwärmeschutz	verbesserter Wärmeschutz
Zwischendecke – und -wände	Schlechter Schallschutz	keine Maßnahme technisch/wirtschaftlich möglich	keine

Tabelle 2: Überblick über bauliche und haustechnische Maßnahmen, die im Rahmen der umfassenden Sanierung der Mustergebäude durchgeführt wurden (Auszug)

Wie die Abbildung verdeutlicht, war ein Großteil der Maßnahmen aufgrund des fortgeschrittenen Gebäudealters und des schlechten Allgemeinzustands notwendig. Bei der Großzahl der Bauteile und Komponenten waren die typischen Lebensdauern und Austauschzyklen bereits weit überschritten.

Die folgenden Fotos zeigen einige der umgesetzten Maßnahmen.

Abbildung 9: Freilegung der Kelleraußenwand vor Abdichtug und Dämmung; neuer Kellerfußboden, großes Gebäude; Fotos Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 10: statische Verstärkung der obersten Geschoßdecke und Montage der neuen Dachelemente, kleines Gebäude; Fotos Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 11: Außenwandheizung und Zuluftverteilung in Fassadenebene; teil-vorgefertigte Fassadenelemente, großes Gebäude; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 12: Luftwärmepumpe und Schichtspeicher großes Gebäude; Fotos: Walser Fotografie, Hohenems, links, Johannes Kaufmann und Partner GmbH, rechts

Abbildung 13: dachintegrierte PV-Anlage im großen Gebäude und Aufdachanlage im kleinen Gebäude; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Angestrebte energetische Qualität und Energiekonzept

In beiden Gebäuden konnte auf Grundlage der Lebenszykluskostenberechnungen eine sehr hohe energetische Qualität umgesetzt werden. Angestrebt wird das Energieniveau „Paris-kompatible MFH-Sanierung“.

Dieses Niveau ist für Gebäude mit Wärmepumpenheizungen durch zwei Kennwerte beschrieben [Ploss 2024].

- spezifischer Endenergieverbrauch in Summe aller Anwendungen: 55 kWh/(m^2_{WNF}a)
- spezifischer PV-Ertrag: min. 60 kWh/($m^2_{überbaute}$ Fläche a)

Die wichtigsten in den PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen[13] ermittelten Energiekennwerte sowie die zugrunde liegenden Randbedingungen und Annahmen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

[13] In den Verbrauchsprognoseberechnungen werden von den PHPP-Standardrandbedingungen abweichende Annahmen getroffen, etwa eine mittlere Raumlufttemperatur von 22,5°C während der Heizperiode.

		Haus 12a	Haus 19
		PHPP	PHPP
		Verbrauchsprognose	Verbrauchsprognose
Annahmen und Randbedingungen			
Anzahl Personen	Zahl	12	11
mittlere Raumlufttemperatur Heizperiode	°C	22,5	22,5
mittlerer pro Kopf-WW-Bedarf	Liter pro Person (Tag) bei 60°	32,5	32,5
temporäre Verschattung Heizperiode	Faktor	0,9	0,9
Luftwechselrate Heizperiode	h^{-1}	0,407	0,477
Ergebnisse			
Heizlast	W/m^2_{EBF}	14,9	21,8
Heizwärmebedarf PHPP	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	31,8	51,9
Endenergie Heizung	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	12,9	14,3
Endenergie Warmwasser	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	7,8	11,8
Endenergie Heizung + Warmwasser	**$kWh/(m^2_{EBF}a)$**	**20,7**	**26,1**
Hilfs- und Allgemeinstrom	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	7,9	8,7
Haustechnik gesamt	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	28,6	34,8
Haushalts- und Allgemeinstrom	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	20,0	28
Endenergie gesamt	**$kWh/(m^2_{EBF}a)$**	**48,6**	**62,8**
PV-Erzeugung	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	42,4	42,4
PER Bedarf	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	k.A.	k.A.
PER Erzeugung	$kWh/(m^2_{überbaute\ Fläche}a)$	115,6	85,4

Tabelle 3: Energiekennwerte beider Gebäude gemäß PHPP-Verbrauchsprognose in $kWh/(m^2_{EBF}a)$

Der in den Verbrauchsprognoseberechnungen ermittelte $Endenergiebedarf_{Heiz+WW}$ liegt mit 20,7 bzw. 26,1 $kWh/(m^2_{EBF}a)$ sehr niedrig.

Der $Endenergiebedarf_{gesamt}$ des großen Gebäudes liegt bei knapp 49 $kWh/(m^2_{EBF}a)$, der des kleinen bei knapp 63 $kWh/(m^2_{EBF}a)$.

Werden die berechneten Werte im realen Betrieb erreicht, so wäre die Anforderung an den $Endenergieverbrauch_{gesamt}$ Paris-kompatibler Sanierungen von Mehrfamilienhäusern im großen Gebäude erfüllt.

Die spezifische PV-Ertrag liegt im großen Gebäude bei 115,6 $kWh/(m^2_{überbaute\ Fläche}\ a)$, beim kleinen bei 85,4 $kWh/(m^2_{überbaute\ Fläche}\ a)$. Wird dieser Ertrag in der Praxis erreicht, so wäre die Anforderung an den PV-Ertrag erfüllt.

Das große Gebäude erreicht darüber hinaus den Standard EnerPHit Plus, beide Gebäude erreichen die Höchstpunktzahl in den Energiekriterien des klimaaktiv Katalogs 2020.

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch den Endenergiebedarf des großen Gebäudes vor und nach Sanierung.

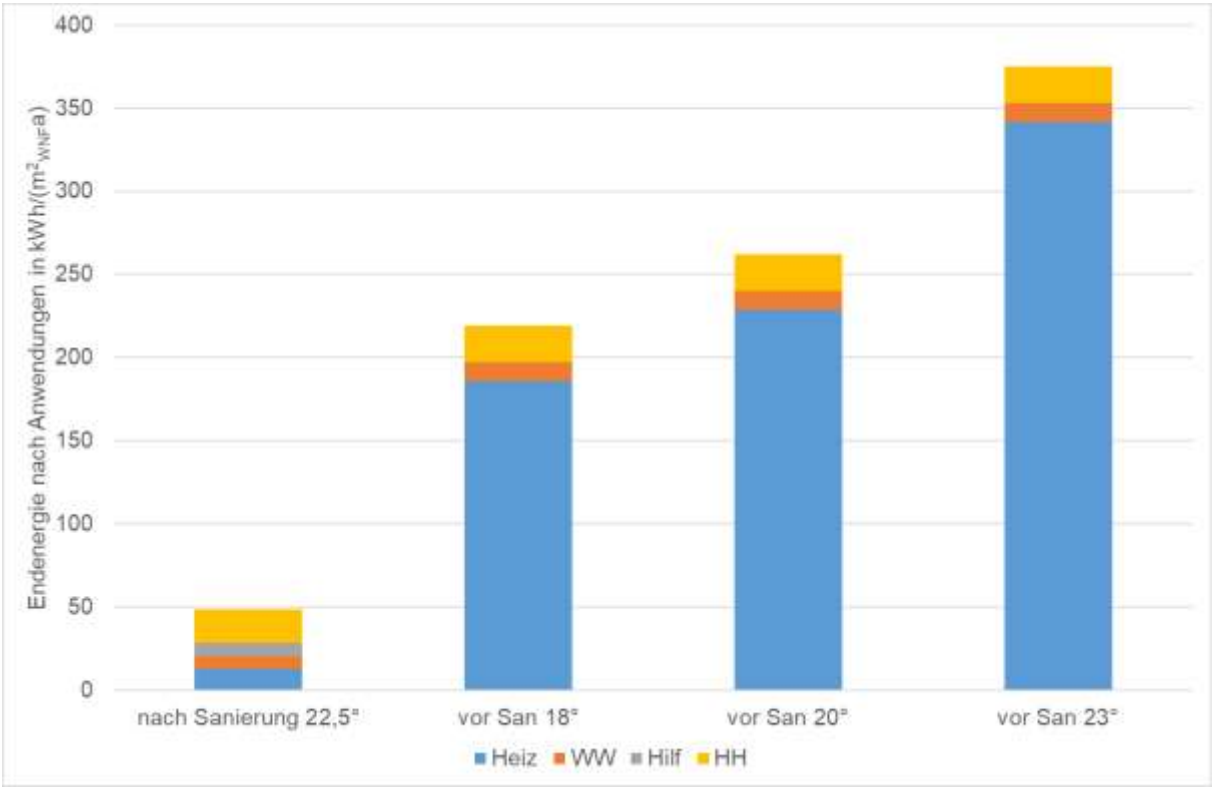

Abbildung 14: spezifischer Endenergiebedarf des großen Gebäudes vor und nach Sanierung gemäß PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung; Annahme einer rein elektrisch-direkten Beheizung vor Sanierung auf drei verschiedene mittlere Heizperioden-Raumlufttemperaturen

Wie die Abbildung zeigt, kann der Endenergiebedarf$_{gesamt}$ durch die Sanierung um den Faktor 4 bis 7 reduziert werden.

Das Ausmaß der Reduktion hängt von der Annahme für die Raumlufttemperatur vor Sanierung ab. Während für das sanierte Gebäude ein Wert von 22,5°C angenommen wurde, wurde der Verbrauch des Bestandes mit Temperaturen von 18°C, 20°C und 23°C abgeschätzt.

Spezifische Netto-Errichtungskosten

Die spezifischen Netto-Errichtungskosten[14] beider Gebäude sind in der folgenden Abbildung nach Haupt-Kostenkategorien gegliedert dargestellt. In den Kosten der meisten Maßnahmen ist der GU-Aufschlag enthalten.

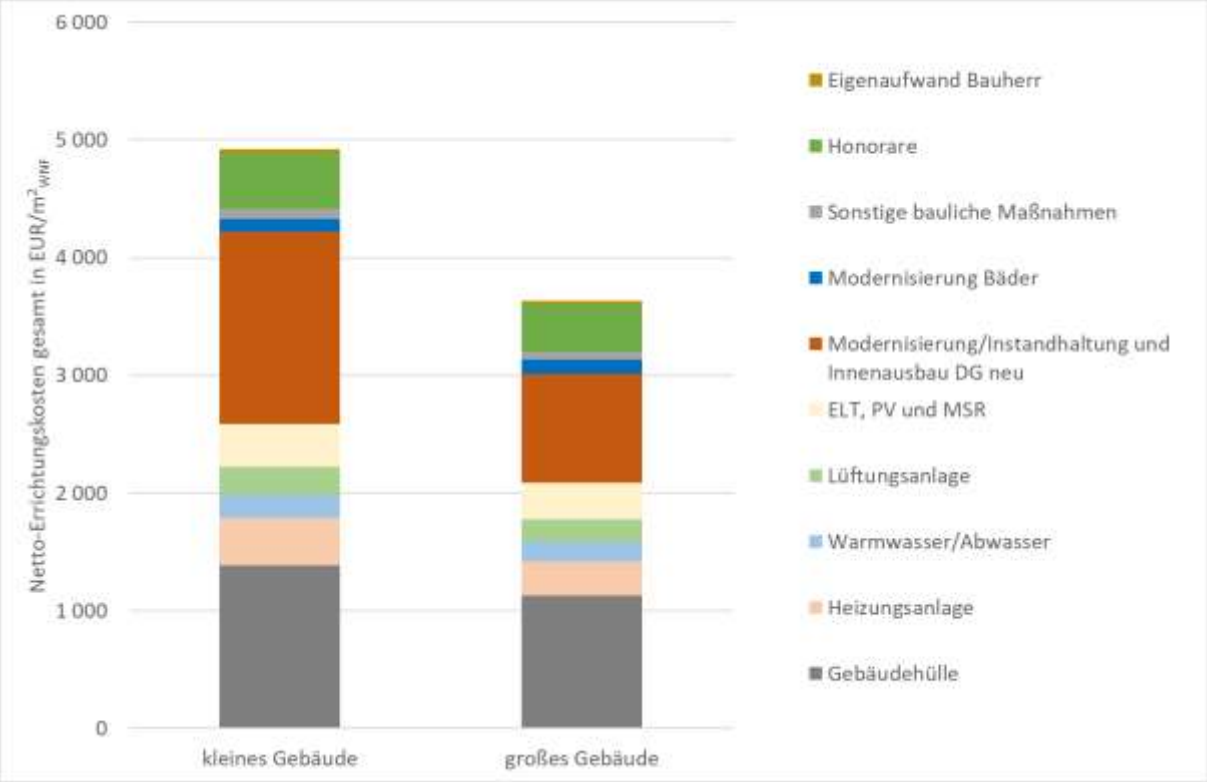

Abbildung 15: wohnflächenspezifische Netto-Errichtungskosten beider Gebäude nach Haupt-Kostenkategorien; Preisstand 1. Quartal 2023, Region Vorarlberg; inkl. GU-Aufschlag für den Großteil der Leistungen

Die Netto-Errichtungskosten der Gebäude für Instandhaltung, Modernisierung und Erweiterung sowie für alle energetischen Maßnahmen liegen bei 3.635 bzw. 4.821 EUR/m^2_{WNF}.

Ein großer Teil der Kosten ist auf den erheblichen Sanierungsstau zurückzuführen. Dieser Teil der Kosten ist den Kategorien Modernisierung/Instandhaltung sowie Modernisierung Bäder zugeordnet und wäre auch ohne energetische Maßnahmen entstanden.

[14] Die Errichtungskosten nach ÖNORM B 1801-1 entsprechen den Gesamtkosten ohne Kosten des Grundstücks. Da bei Sanierungsprojekten keine Grundstückskosten entstehen, handelt es sich um die Gesamtkosten aller Maßnahmen.

Die Kosten des großen Gebäudes liegen bei etwa 85% der Kosten für die Option Abriss und Ersatzneubau in gleicher Kubatur und gleicher energetischer und ökologischer Qualität, die des kleinen Gebäudes um knapp 10% über den Vergleichskosten[15].

Zur Einordnung der Kosten zeigt die folgende Abbildung die Kosten einiger energetisch hochwertiger Mehrfamilienhaussanierungen mit und ohne Erweiterung[16]. Ebenfalls dargestellt sind die Kosten der Modernisierung und Instandhaltung der Gebäude in der Südtirolersiedlung Bludenz zwischen 2016 und 2020. Alle Kosten wurden auf das 1. Quartal 2023 indexiert.

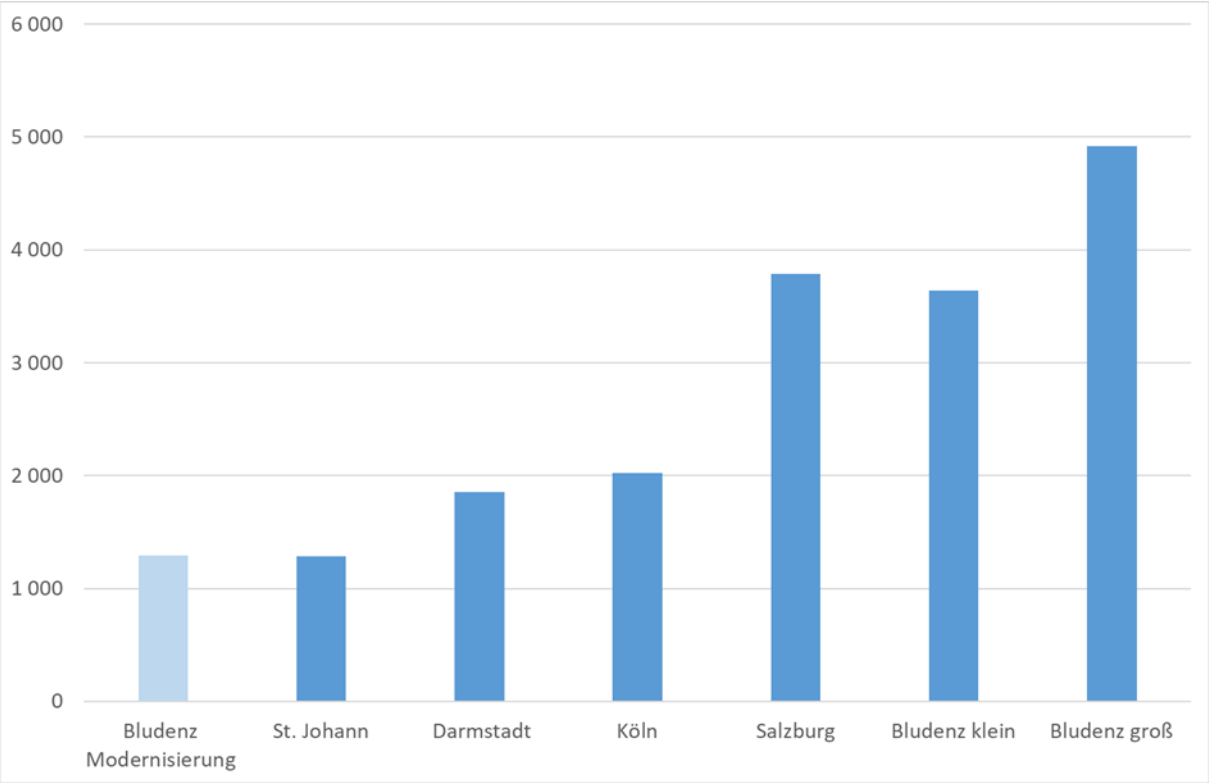

Abbildung 16: Vergleich der Netto-Errichtungskosten von Sanierungsprojekten mit und ohne Erweiterung mit denen der SüdSan Mustergebäude und den Kosten der Modernisierung und Instandhaltung der Südtirolersiedlung

Die Gegenüberstellung zeigt die große Spanne der Kosten der umfassenden Sanierungen: diese liegen zwischen knapp 1.300 und 4.900 EUR/m^2_{WNF}. Während die Kosten der Projekte

[15] Die Kostenangabe für die Option Abriss und Ersatzneubau beruht auf den mittleren Errichtungskosten aller gemeinnützigen Neubauten Vorarlbergs sowie einigen weiteren Positionen wie Abriss und Deponie sowie Aus- und Wiedereinzug sowie Miete für die Ersatzwohnung während der Bauzeit.

[16] Die nachfolgend dargestellten Kosten beziehen sich auf die Sanierung der in Kapitel 6.3 vorgestellten Projekte, die sich im Hinblick auf das Gebäudealter, den Allgemeinzustand, die Gebäudegröße, die Art der Sanierung (bewohnt/unbewohnt sowie konventionell/seriell…) unterscheiden.

ohne Erweiterung etwa 1.300 bis 2.020 EUR/m^2_{WNF} betragen, liegen die der Projekte mit Erweiterung bei 3.600 bis 4.900 EUR/m^2_{WNF}.

Deutlich wird auch, dass die Kosten der Modernisierung und Instandhaltung der Siedlung in Bludenz in den Jahren 2016 bis 2020 mit knapp 1.300 EUR/m^2_{WNF} sehr hoch lagen.

Auf eine tiefergehende Analyse wird an dieser Stelle verzichtet. Der Vergleich soll dazu dienen, die Notwendigkeit genauerer Analysen zum Thema der Kosten von Sanierungen aufzuzeigen, etwa, um Förderprogramme und die Höhe von Sanierungsrücklagen zielgerichteter justieren zu können.

Die Haupt-Kosteneinflussfaktoren von Sanierungen sind nachfolgend zusammengefasst.

Baujahr und baulicher Zustand

Der Vergleich der Sanierungskosten der Mustergebäude mit denen anderer, meist jüngerer Projekte zeigt, dass Baujahr und baulicher Zustand der größte Kosten-Einflussfaktor sind.

Während die spezifischen Kosten der nicht-energetischen Instandhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen der jüngeren Projekte bei etwa 300 bis 450 EUR/m^2_{WNF} liegen, liegen sie in den beiden Mustergebäuden bei etwa 1.500 bis 2.200 EUR/m^2_{WNF}. Eine genaue Abgrenzung zu den Kosten der energetischen Maßnahmen sowie zu denen des komplett neu errichteten Dachgeschosses ist nicht möglich. Auch die Erneuerung des Dachgeschosses kann als Instandhaltungsmaßnahme angesehen werden, da sie statisch erforderlich war.

Der Kosteneinfluss des Baualters und des baulichen Zustands liegt damit bei den im Rahmen des Projekts verglichenen Beispielgebäuden bei etwa 1.200 bis 1.750 EUR/m^2_{WNF}.

Verhältnis Hüllfläche zu Wohnnutzfläche

Die Kosten der Sanierung der Gebäudehülle sind u.a. abhängig von der Gebäudegröße, genauer gesagt vom Verhältnis der Hüllfläche zur Wohnnutzfläche: Während im kleinen Mustergebäude etwa 3,25 m^2 Hüllfläche pro m^2 Wohnnutzfläche gedämmt werden müssen, sind es beim großen nur 2,35 m^2, bei einem nochmals größeren, sechsgeschossigen Gebäude nur 1,45 m^2 Hüllfläche pro m^2 Wohnnutzfläche. Die folgende Abbildung verdeutlicht die Auswirkung dieser unterschiedlich großen Hüllfläche auf die wohnflächenspezifischen Kosten der Sanierung der Gebäudehülle.

Für den Vergleich wurden für alle drei Gebäude die gleichen Bauteilaufbauten und die im Projekt SüdSan bestimmten vergleichsweise hohen Einheitspreise angenommen, dabei wurde eine Ausführung der Außenwanddämmung als WDVS mit 20cm EPS angenommen.

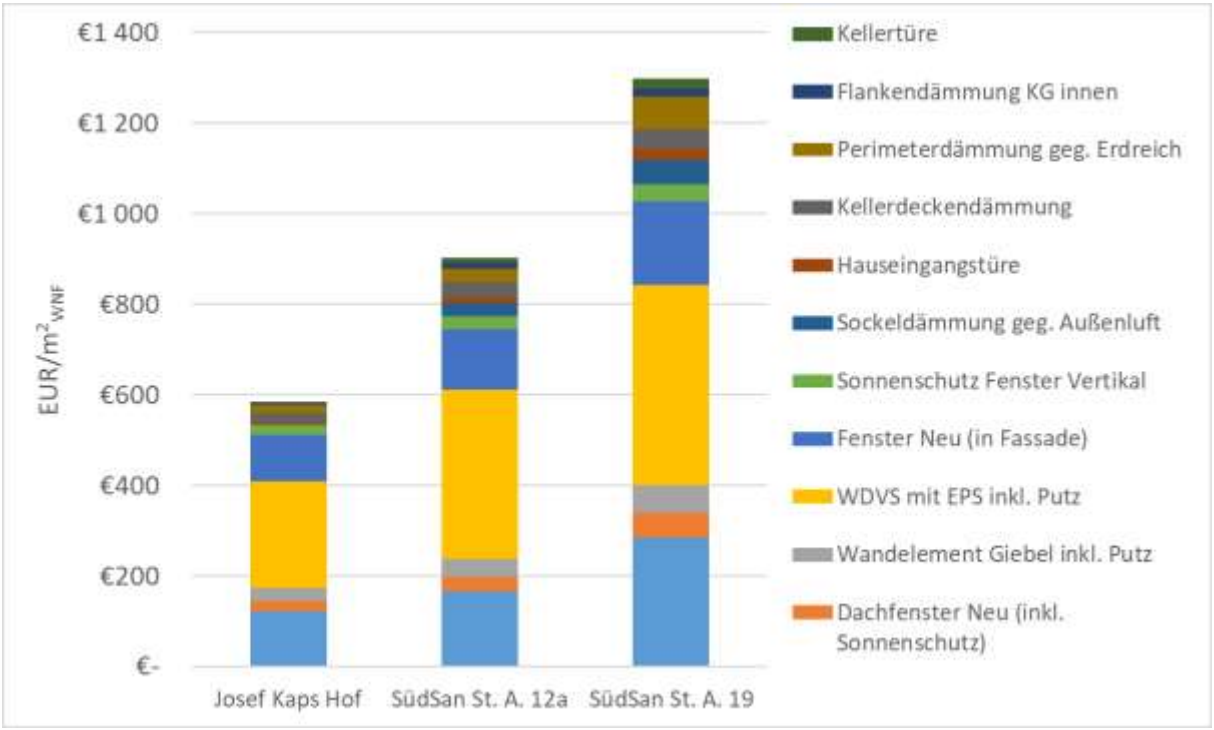

Abbildung 17: wohnflächenspezifische Netto-Kosten der Sanierung der Gebäudehülle der drei Gebäude

Wie die Abbildung verdeutlicht, liegen die wohnflächenspezifischen Kosten der Sanierung der Gebäudehülle des Gebäudes Josef Kaps Hof mit 583 EUR/m^2_{WNF} bei weniger als der Hälfte der Kosten im kleinen Mustergebäude in der Südtirolersiedlung mit 1.298 EUR/m^2_{WNF}.

Die Kosten des großen Mustergebäudes liegen zwischen den beiden genannten Werten.

Der Kosteneinfluss der Gebäudegröße bzw. des Verhältnisses der Hüllfläche zur Wohnnutzfläche liegt damit bei den Größenunterschieden zwischen den drei betrachteten Gebäuden bei etwa 700 EUR/m^2_{WNF}.

<u>Wärmeversorgungssystem vor Sanierung und Verfügbarkeit Nah/Fernwärme</u>

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Sanierungskosten von Mehrfamilienhäusern ist die Art des Wärmeversorgungssystems vor Sanierung sowie die Verfügbarkeit von Nah-/Fernwärme.

Verfügt ein Gebäude über einen zentralen Wärmeerzeuger, etwa einen Öl- oder Gaskessel und ist das Wärmeverteil- und Abgabesystem intakt, so reicht zur Dekarbonisierung der Austausch des Kessels. Kann dieser durch einen Nah-/Fernwärmeanschluss ersetzt werden, so entstehen Kosten in der Größenordnung von 50 - 60 EUR/m^2_{WNF}. Ist als Ersatz eine Sole-Wärmepumpe mit neuem Wärmespeicher vorgesehen, so liegen die Kosten bei etwa 200 EUR/m^2_{WNF}, wenn die Wärmeabgabeleistung der Bestands-Heizkörper auch mit den für Wärmepumpen wünschenswerten niedrigeren Vorlauftemperaturen ausreichend ist. Dies ist in der Regel der Fall, wenn die Gebäudehülle thermisch saniert wird.

Muss jedoch – wie bei den Mustergebäuden im Projekt SüdSan - nicht nur ein neuer Wärmeerzeuger installiert werden, sondern auch ein komplett neues Wärmeverteil- und -abgabesystem für Heizung und Warmwasser, so können die Kosten bei mehr als 600 EUR/m$^2_{WNF}$ liegen.

Der Kosteneinfluss des vorhandenen Wärmeversorgungssystems und der Verfügbarkeit von Nah/Fernwärme liegt damit im betrachteten Beispiel der Mustergebäude in einer Größenordnung von etwa 400 bis 550 EUR/m$^2_{WNF}$. Sind zusätzlich noch Instandhaltungs- und Erneuerungsmaßnahmen an der Haustechnik notwendig (Wasser/Abwasserversorgung, Elektroinstallation, Blitzschutz…), so können weitere spez. Mehrkosten in dreistelliger Höhe entstehen.

Energetisches und ökologisches Niveau der Gebäudehülle nach Sanierung

Die folgende Abbildung verdeutlicht den Einfluss des energetischen und ökologischen Niveaus der Gebäudehülle auf die wohnflächenspezifischen Sanierungskosten am Beispiel des großen Gebäudes im Projekt SüdSan.

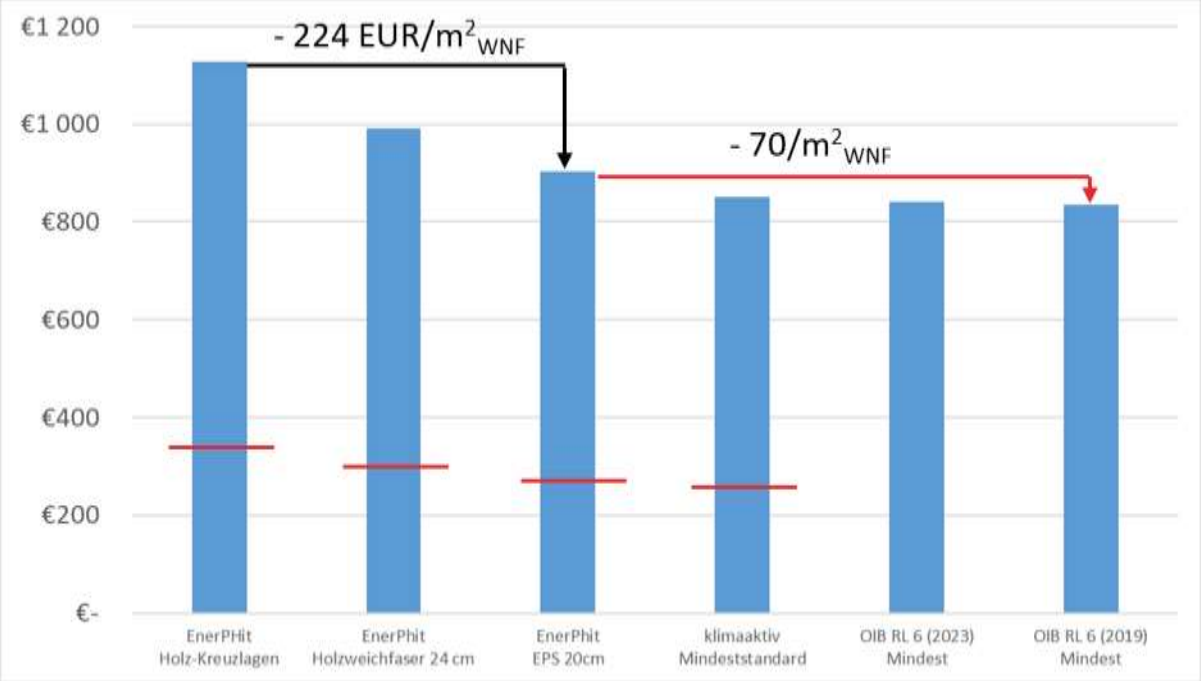

Abbildung 18: Einfluss der energetischen und ökologischen Qualität der Gebäudehülle auf die Kosten der Sanierung der Gebäudehülle des großen Gebäudes und auf die Bundesförderung 2024 für die thermische Sanierung (rote, waagrechtel Linien)

Während die wohnflächenspezifischen Kosten der Gebäudehülle für die im großen Gebäude realisierte Variante mit teil-vorgefertigten Holzelementen bei 1.128 EUR/m$^2_{WNF}$ liegen, könnten sie um 224 EUR/m$^2_{WNF}$ reduziert werden, wenn die Außenwand bei gleicher energetischer Qualität, jedoch ökologisch schlechter mit einem WDVS mit 20 cm EPS ausgeführt würde.

Würde zusätzlich die energetische Qualität der Gebäudehülle auf die Mindestanforderung der OIB RL 6 (2019) reduziert, so wäre eine Reduktion um weitere 70 EUR/m^2_{WNF} möglich.

Der Kosteneinfluss der energetischen Qualität der Gebäudehülle ist damit gering, der der ökologischen Baustoffauswahl größer.

Den geringen Mehrkosten der energetisch hochwertigen Gebäudehülle stehen deutlich reduzierte Energieverbräuche und –kosten gegenüber, so dass die hohe Hüllqualität wirtschaftlich ist. Die Mehrkosten der der Gebäudehülle bei Ausführung mit ökologisch vorteilhafteren Materialien konnten mit den Bundesförderungen[17] in etwa kompensiert werden.

Zwischenresumé

Die im April 2024 abgeschlossene Sanierung der beiden Mustergebäude zeigt, dass auch in baukulturell wertvollen Gebäuden sehr hohe energetische und ökologische Standards umgesetzt werden können.

Während die Luftdichtheitstests (n_{50} = 0,60 h^{-1} im größeren und 0,79 h^{-1} im kleineren Gebäude) eine hervorragende Ausführungsqualität der Gebäudehülle belegen und die Komfortlüftung mit WRG problemlos funktioniert, dauert die Optimierung des Wärmeversorgungssystems im Betrieb noch an. Hauptschwierigkeit ist die Beseitigung von Schnittstellenproblemen zwischen Mess- Steuerungs- und Regelungstechnik und Wärmeversorgungssystem. Einige Qualitätssicherungsmaßnahmen an den Haustechnikkomponenten wie der hydraulische Abgleich der Frischwasserstationen wurden erst mit deutlicher Verspätung ausgeführt.

Während die Mehrkosten der hohen energetischen Hüllqualität durch die Energiekosteneinsparungen kompensiert werden dürften, konnten die Mehrkosten der ökologischen Baumaterialien durch die Bundesförderungen für die Gebäudehülle in etwa ausgeglichen werden.

Obwohl die Mehrkosten der hohen energetischen Qualität relativ gering waren, hätten die Gebäude ohne eine hohe Sonderförderung des Landes nicht sozialverträglich saniert werden können, da die Errichtungskosten aufgrund des starken Sanierungsstaus in etwa Neubauniveau erreichten und die EVB-Konten zu Projektstart ein Minus aufwiesen.

Durch die hohe Sonderförderung des Landes konnte die „Warmmiete“ des großen Gebäudes inkl. Vorschreibung für Heizung und Warmwasserbereitung auf 9,76 EUR/(m^2_{WNF}) festgelegt

[17] Diese Aussage bezieht sich auf die Bundesförderungen der Jahre 2023 und 2024.

werden, die für das kleine Gebäude auf 9,80 EUR/(m^2_{WNF}a)[18]. Sie liegt damit in einer ähnlichen Größenordnung wie vor Sanierung. Die Aussagekraft der genannten Mieten ist jedoch ohne detaillierte Beschreibung der zugrundeliegenden Förderung ohne Aussagekraft. Dies gilt ebenso für die Mieten für den gemeinnützigen Neubau in Vorarlberg. Festzustellen bleibt, dass die Sanierung – selbst ohne jegliche energetische Maßnahme – bei weitem nicht sozialverträglich hätte umgesetzt werden können – bei einem negativen Stand der EVB-Konten ist dies keine Überraschung.

Das Projekt verdeutlicht ein grundsätzliches, strukturelles Problem bei der Sanierung gemeinnütziger Wohngebäude: die gesetzlichen Regelungen des WGG[19] zur Höhe und Verwendung der Sanierungsrücklagen (EVB) und zu den Möglichkeiten von Mieterhöhungen bzw. Erhöhungen des EVB lassen für viele Gebäude keine sozialverträgliche, umfassende Sanierung zu. Dies gilt vor Allem für kleinere, ältere Gebäude mit Sanierungsstau und ohne Wärmeverteil- und –abgabesystem[20]. Die beschriebenen strukturellen Probleme treten zunächst in Hochpreisregionen wie Vorarlberg auf, da die bundeseinheitlichen Sanierungsrücklagen die regionalen Preisunterschiede nicht berücksichtigen.

Ausblick

Im weiteren Projektverlauf werden u.a. die folgenden Aspekte vertieft betrachtet:

- ökologischer Vergleich der Optionen Sanierung sowie Abriss und Ersatzneubau
- Update der LZK-Berechnungen auf Grundlage der abgerechneten Kosten
- Übertragung der Ergebnisse auf weitere Bauabschnitte der Südtirolersiedlung Bludenz und ähnliche Gebäudetypen außerhalb der Siedlung
- Update der Studie zur Energieversorgung der Siedlung durch ein Nahwärmenetz
- Grundlagenstudien zu den Treibhausgasemissionen des österreichischen Verbraucherstrommix (update) sowie verschiedener Optionen der Wärmeerzeugung in Nah/Fernwärmenetzen, jeweils mit Differenzierung in monatliche Konversionsfaktoren

Die Ergebnisse werden Ende 2025 im publizierbaren Endbericht und weiteren schriftlichen Berichten dargestellt.

---

[18] In den genannten Werten sind die Kosten des Haushaltsstroms nicht enthalten, da sie nicht über den Vermieter abgerechnet werden.

[19] Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz

[20] Ähnliche Finanzierungsprobleme treten auch im Bereich von Eigentums-Wohnanlagen auf: auch hier sind die Sanierungsrücklagen in sehr vielen Fällen deutlich zu niedrig.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung 3

Inhaltsverzeichnis 27

1 Ausgangslage, Inhalt und Vorgehensweise 29

2 Vorstellung Südtirolersiedlung Bludenz und Mustergebäude 37

2.1 Relevanz der ausgewählten Gebäude 40

2.2 Randbedingungen für die Sanierung 42

3 Status Quo der Mustergebäude 48

3.1 Kellergeschoß 55

3.2 Oberirdische Außenwände und Fenster 59

3.3 Geschoßdecken 61

3.4 Dachgeschoß 61

3.5 Treppenhaus und Türen 63

3.6 Heizung und Warmwasser 63

3.7 Elektroinstallation 67

3.8 Bäder / Wasser und Abwasser 67

3.9 Thermische Behaglichkeit 67

3.10 Kaltmiete, Energieverbrauch und Energiekosten 70

4 Untersuchte Sanierungsvarianten 86

4.1 Entwurfsvarianten 86

4.2 Varianten der energetischen und ökologischen Hüllqualität 90

4.3 Haustechnikvarianten 93

5 Umgesetzte Sanierungsvarianten 99

5.1 Großes Gebäude 100

5.2 Kleines Gebäude 155

6 Kosten 204

6.1 Großes Gebäude 206

6.2 Kleines Gebäude 211

6.3 Einordnung der Errichtungskosten 216

6.4 Einordnung der Kosten von Bauteilen und Komponenten 223
6.5 Kosten - Einflussfaktoren 234
6.6 Vergleichskosten für die Option Abriss + Ersatzneubau 245
7 Zwischenresumé 248
8 Ausblick 249
9 Projektbeteiligte 250
10 Quellen 251

1 Ausgangslage, Inhalt und Vorgehensweise

Der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte in Vorarlberg für Raumklima, Warmwasser und Kochen stieg zwischen 1993 und 2023 auf 118% des Ausgangswerts [Gollner 2024-1][21]. Im österreichweiten Vergleich blieb der Endenergieverbrauch im selben Zeitraum hingegen konstant, sodass der Wert von 2023 dem von 1993 entspricht [Gollner 2024-2][22].

Dies bedeutet, dass der zusätzliche Verbrauch der seit 1993 errichteten Wohngebäude in Vorarlberg durch Abriss und energetische Sanierung nicht kompensiert werden konnte. Die Hauptursachen für diese Entwicklung sind das Bevölkerungswachstum, die steigende pro-Kopf-Wohnfläche, die im europäischen Vergleich hohe Neubaurate sowie eine zu geringe Sanierungsrate und die zu geringen mittleren energetischen Standards der bislang umgesetzten Gebäudesanierungen. Auch in Österreich konnte der absolute Energieverbrauch in 30 Jahren nicht gesenkt werden.

Sollen die auf EU-Ebene, auf nationaler und auf Landesebene beschlossenen Klimaschutzziele auch im Gebäudesektor erreicht werden, so muss zusätzlich zur Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung nicht nur die Sanierungsrate, sondern auch die mittlere Sanierungsqualität erhöht werden.

Die Bedeutung des Energiebedarfs der Wohngebäude für Raumheizung und Warmwasser für die Erreichung der Klimaziele ist aus zwei Gründen höher als ihr prozentualer Anteil am Gesamt-Endenergieverbrauch Österreichs von 22,5%[23]:

Der Endenergieverbrauch der Wohngebäude hat aufgrund der Dominanz des Heizenergieverbrauchs einen starken jahreszeitlichen Swing mit einem Verbrauchsmaximum im Winter. Folgende Abbildung verdeutlicht dies am Beispiel des Wohngebäudeparks Vorarlbergs.

[21] Die Zunahme des Endenergieverbrauchs liegt damit minimal unter dem Bevölkerungswachstum, das im gleichen Zeitraum auf 121% betrug [Stat. Austria 2024].

[22] Der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte für Raumklima, Warmwasser und Kochen stieg bis 2022 auch in Österreich an. Im Jahr 2023 sank der Wert – auch aufgrund der Sondereffekte des Ukraine-Krieges und der hohen Energiepreise – deutlich.

[23] Der Anteil der Energieanwendungen Heizung und Warmwasserbereitung am gesamten Endenergieeinsatz Österreichs lag gemäß Nutzenergieanalyse im Jahr 2023 bei etwa 32% [Gollner 2024-2]. Der größte Anteil des Energieeinsatzes für Heizung und Warmwasser entfällt mit 71% auf die privaten Haushalte (=Wohngebäude) gefolgt von den öffentlichen und privaten Dienstleistungen mit 19% und dem produzierenden Gewerbe mit etwa 7,5%. Der Anteil der Wohngebäude am Gesamt-Endenergieverbrauch beträgt damit 22,5%.

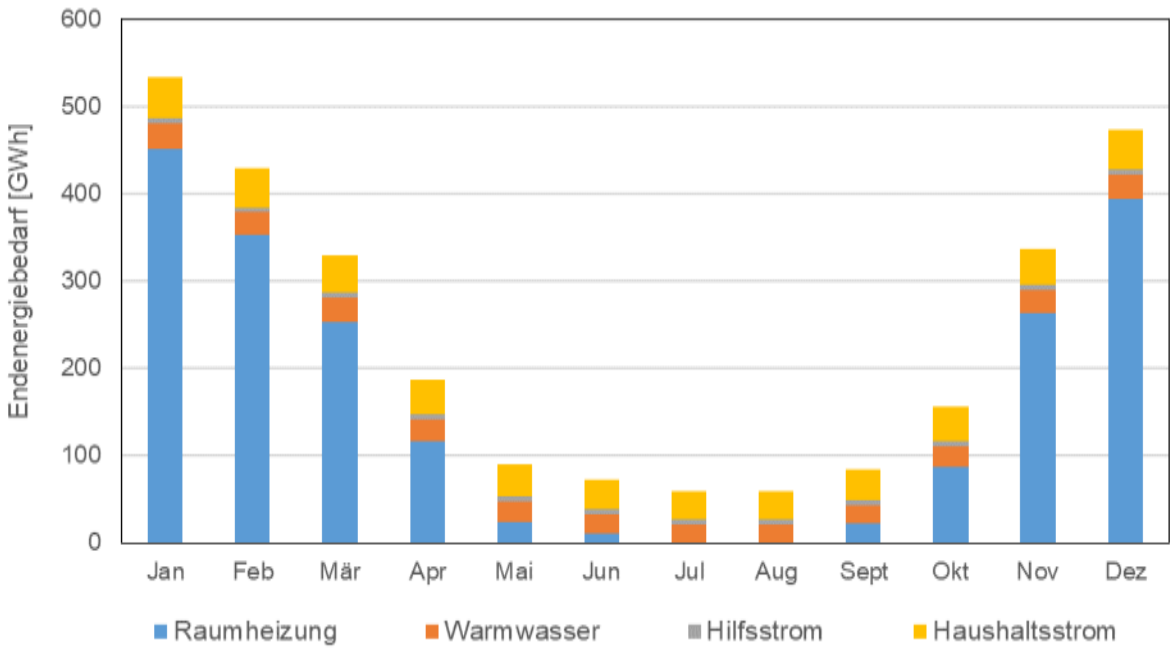

Abbildung 19: Endenergiebedarf des Wohngebäudeparks Vorarlberg im Jahr 2020 nach Anwendungen – Szenario Effizienz [Hatt 2019]

Die auf einem detaillierten Modell des Wohngebäudeparks basierenden Berechnungen zeigen, dass der Endenergiebedarf in Summe aller Energieanwendungen im Januar um den Faktor 8 höher ist als im Juli und August [Hatt 2019].

Ähnliche jahreszeitliche Verläufe und Schwankungen mit Verbrauchspeak im Winter zeigen sowohl Studien der TU Wien für ganz Österreich [Kranzl 2018] als auch der gemessene Gasverbrauch der Haushalts- und Gewerbekunden in Deutschland. Dieser lag im Mittel der Jahre 2018 bis 2021 im Jänner knapp 9-fach höher als im Juli [BNA 2024].

Hauptgrund für den im Winter vielfach höheren Energieverbrauch ist der sehr hohe Heizenergieverbrauch älterer, unsanierter Bestandsgebäude.

Der jahreszeitlich stark schwankende Energiebedarf des Gebäudesektors ist in fossil dominierten Energieversorgungssystemen kein Problem. Er stellt jedoch Versorgungssysteme mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien vor große Herausforderungen: Während der sommerliche Energiebedarf zukünftig in vielen europäischen Staaten leichter mit erneuerbarem Strom gedeckt werden kann (in Österreich: Wasserkraft, PV etc.), sind die Erträge aus diesen Energiequellen im Winter weitaus geringer und auch die Erträge aus Windkraft werden den winterlichen Bedarf nicht decken können. Zudem wird er Stromverbrauch im Winter steigen, wenn im Zuge der notwendigen Dekarbonisierung der Wärmeversorgung fossile Energieträger durch Wärmepumpen ersetzt werden. Zur Deckung des winterlichen Energiebedarfs müssen

daher sommerliche Stromüberschüsse aus Wasserkraft, Wind und PV jahreszeitlich bis in den Winter gespeichert werden, was mit hohen Verlusten und Kosten verbunden ist.

Ein Import regenerativen Stroms aus anderen europäischen Staaten ist im Winter nur bedingt möglich: Wie die folgende Abbildung am Beispiel von vier Staaten zeigt, ist die maximale Last schon heute im Winter höher als im Sommer. Diese Situation trifft auf 33 der 36 untersuchten Staaten Europas zu.

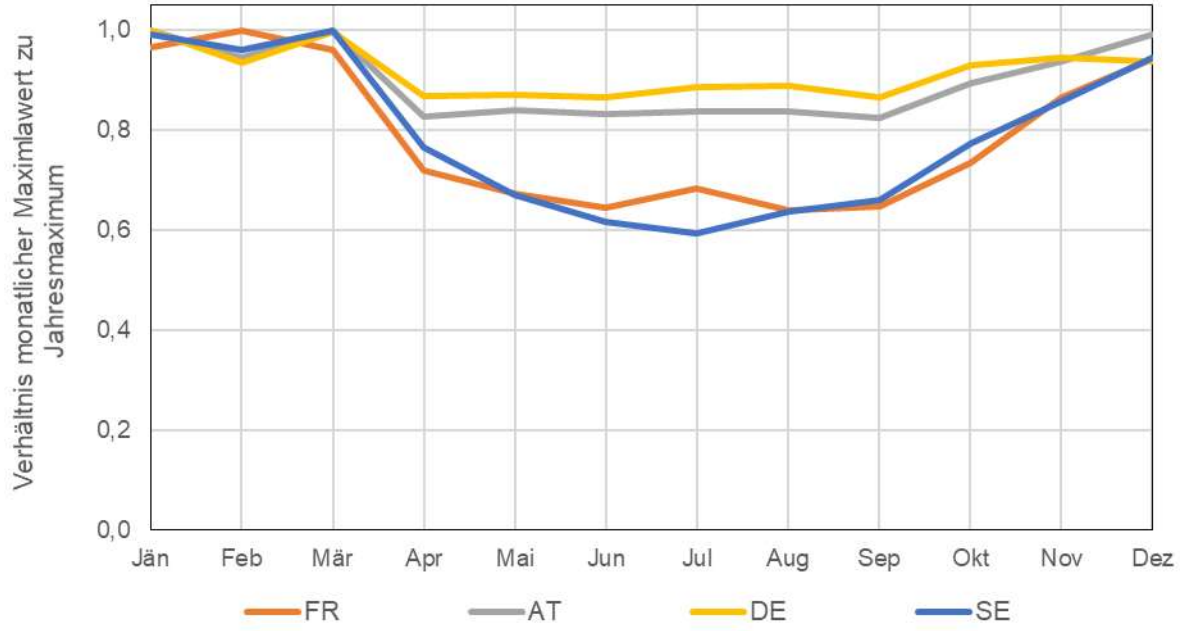

Abbildung 20: Verhältnis der maximalen Last im Mittel der Jahre 2018 und 2019 zur maximalen Last pro Monat in sechs europäischen Staaten [Büchele 2022]

In der Abbildung ist der monatliche Maximalwert der Last in den aufgeführten Staaten dem jeweiligen Jahreshöchstwert gegenübergestellt. Der Unterschied zwischen Winter und Sommer ist auf unterschiedliche Gründe zurückzuführen:

In Schweden sind die Winter beispielsweise kälter und länger und die Gebäude werden schon heute zu einem größeren Teil mit Wärmepumpe beheizt.

In Frankreich hingegen ist das Klima milder, dafür werden aber große Teile des Gebäudebestands mit ineffektiven Strom-Direktheizungen betrieben.

In Österreich sind mehr Wärmepumpen im Einsatz als in Deutschland, allerdings werden auch hier noch Elektro-Direktheizungen eingesetzt.

Wie Auswertungen des Energieinstitut Vorarlberg zeigen, schwanken die spezifischen Treibhausgasemissionen des österreichischen Verbraucherstrommix[24] jahreszeitlich sehr stark.

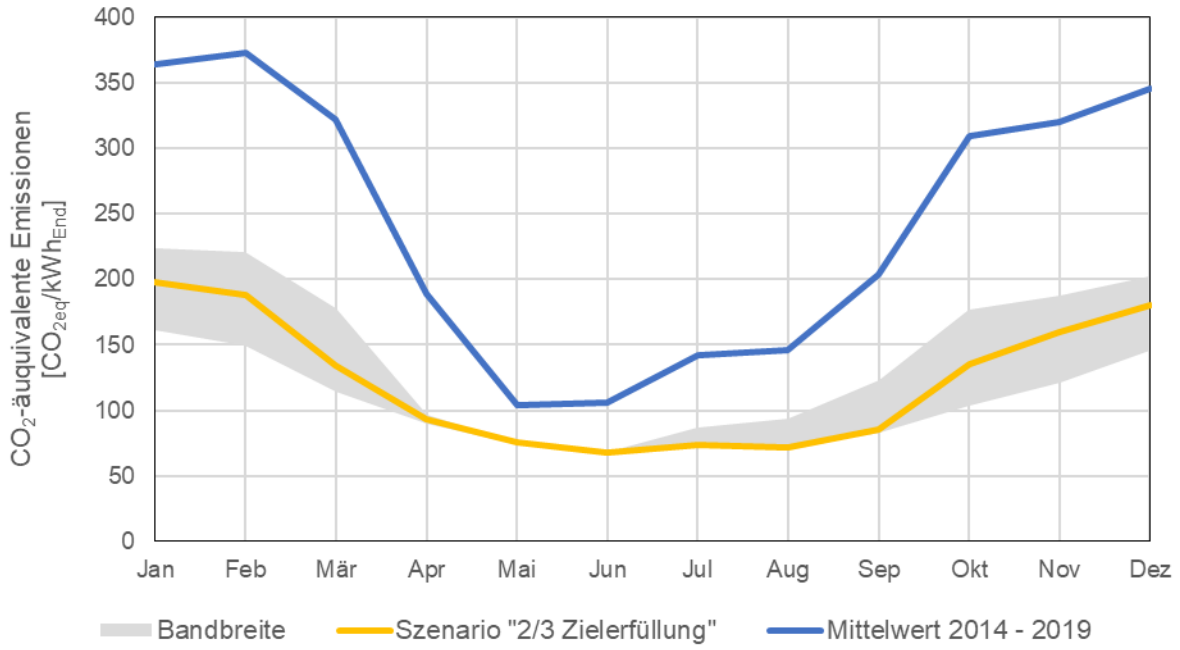

Abbildung 21: spezifische CO_{2eq}-Emissionen des Verbraucherstrommix Österreich für 2030 – Bandbreite, Szenario SG 5 (2/3 Zielerfüllung der Regierungsziele 2020 und Mittelwert 2014 – 2019 [Roßkopf-Nachbaur 2022]

Die blaue Kurve zeigt den Mittelwert für die Jahre 2014 bis 2019: Während die spezifischen Emissionen im Mai und Juni aufgrund des hohen Anteils der Wasserkraft am Strommix mit etwa 100 g CO_{2eq}/kWh sehr niedrig sind, liegen sie im Januar und Februar bei über 350g CO_{2eq}/kWh. Grund für die deutlich höheren spezifischen Emissionen ist der geringere Anteil erneuerbarer Quellen im Winter (weniger Wasserkraft, weniger PV…) bei gleichzeitig höherem Stromverbrauch. Die saisonale Speicherung von Sommerstrom bis in die Wintermonate ist mit hohen Verlusten behaftet und verursacht hohe Kosten. Im Winter muss daher ein größerer Anteil des Stroms durch fossile Kraftwerke erzeugt werden, dieser Strom wird zum Teil importiert.

Am prinzipiellen Jahresverlauf der spezifischen Emissionen wird sich in absehbarer Zeit wenig ändern: Der grau hinterlegte Bereich zeigt die Spannweite der spezifischen CO_{2eq}-Emissionen des Verbraucherstroms im Jahr 2030 für 9 untersuchte Szenarien. Die gelbe Linie zeigt eines

[24] Der Verbrauchermix beschreibt nicht wie der Erzeugungsmix die Emissionen der inländischen Stromerzeugung, er berücksichtigt darüber hinaus auch den Import und Export von Strom. Gerade im Winterhalbjahr ist Österreich darauf angewiesen, Strom aus Nachbarländern zu importieren.

dieser Szenarien, in dem – relativ optimistisch - davon ausgegangen wird, dass die ehrgeizigen Ausbauziele für die erneuerbare Stromerzeugung in Österreich und in Deutschland bis 2030 zu zwei Dritteln erreicht werden. Selbst unter dieser Annahme liegen die Emissionen im Jahr 2030 im Winter mit etwa 200g CO_{2eq}/kWh weiterhin erheblich höher als im Sommer.

Die Ausführungen zur Bedeutung des Gebäudesektors für den winterlichen Energiebedarf verdeutlichen die Notwendigkeit hoher energetischer Qualitäten auch und besonders bei Gebäudesanierungen.

Obwohl sich energetisch hochwertige Sanierungen – etwa im Standard EnerPHit[25] oder gemäß der Anforderungen für die Höchstbepunktung im klimaaktiv-Kriterienkatalog - in vielen Demonstrationsprojekten in Deutschland, Österreich und anderen Staaten seit mehr als 20 Jahren in der Praxis bewährt haben [Bastian 2022], [Ploss 2021], ist ihr Anteil an den umfassenden Sanierungen weiterhin sehr gering. Die gesetzlichen Mindeststandards lassen deutlich niedrigere energetische Qualitäten zu, auch die meisten Förderprogramme ermöglichen mittelmäßige Sanierungsqualitäten [Peter 2024].

Ein Grund für die niedrigen Anteile energetisch hochwertiger Sanierung ist, dass ihre Mehrkosten gegenüber Sanierungen in mittlerer energetischer Qualität bislang nicht systematisch erfasst und aufbereitet werden und von vielen Akteuren als sehr hoch eingeschätzt werden.

Auch nachvollziehbar aufbereitete, statistisch valide Angaben zu den Kosten „normaler“ Sanierungen sind kaum öffentlich verfügbar, da Kostendatenbanken wie die des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern (BKI) für Österreich nicht verfügbar bzw. für Österreich statistisch nicht gut abgesichert sind.

Das Thema der Sanierungskosten spielte auch in Forschungsprojekten in den vergangenen Jahren nur eine untergeordnete Rolle, detaillierte Angaben zu den abgerechneten Kosten finden sich nur für wenige Projekte.

Der Mangel an belastbaren Kostendaten für Sanierungen und die daraus resultierende Kosten-Unsicherheit ist ein Hemmnis für

- die Planung und energetisch-wirtschaftliche Optimierung der Sanierung von Einzelgebäuden
- die Entscheidung für eine der Optionen Sanierung oder Abriss und Ersatzneubau

[25] Der Standard EnerPHit beschreibt die Anforderungen an energetisch hochwertige Sanierungen mit Passivhauskomponenten. Diese entsprechen in etwa den Anforderungen für die Höchstpunktzahlen für die Energiekriterien des klimaaktiv Katalogs.

- die Erstellung von Portfolioanalysen und Sanierungsstrategien für große Gebäudebestände etwa der gemeinnützigen Bauvereinigungen
- die Erstellung von Kostenoptimalitätsstudien als Grundlage für die Festlegung der nationalen Mindestanforderungen an die Gebäudeeffizienz
- die Justierung von Systemen zur Rücklagenbildungen für Sanierungen wie dem Erneuerungs- und Verbesserungsbeitrag (EVB) im gemeinnützigen Wohnbau
- die Justierung von Förderprogrammen

Ziele und Inhalte

Das Projekt SüdSan zielt darauf ab, einige der Haupt-Hemmnisse bei der schnellen Markteinführung klimazielkompatibler Mehrfamilienhaussanierungen[26] zu beseitigen:

- Mangel an belastbaren Daten zu den Gesamtkosten von Sanierungen, zu den investiven Mehrkosten effizienter Sanierungen und zu den Haupt-Kosteneinflussfaktoren
- Fixierung auf Investitions- statt auf Lebenszykluskosten
- Unkenntnis über Methoden zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung
- Mangel an Praxisprojekten, die die Vereinbarkeit von Klimaschutz und Sozialverträglichkeit bei der Sanierung von Mehrfamilienhäusern demonstrieren

Projektinhalt ist die energetisch-wirtschaftlich und ökologisch optimierte Sanierung von zwei Mustergebäuden verschiedener Typen in der Südtirolersiedlung Bludenz. Diese sind repräsentativ für das Segment der kleineren Mehrfamilienhäuser der 20er bis 60er Jahre in ganz Österreich. Im Einzelnen hat das Projekt die folgenden Inhalte:

1. Planung, energetisch-wirtschaftliche Optimierung, Bau und Monitoring der Kosten, Behaglichkeit und der energetischen Performance von zwei sozialverträglich[27] und klimazielkompatibel sanierten kleineren Mehrfamilienhäusern.

[26] Begriffe wie „klimaneutrale Gebäude“, „klimapositive Gebäude“ und „Paris-kompatible Gebäude“ werden mit unterschiedlichen Definitionen verwendet. Im Projekt SüdSan wird auf die Definition des Begriffs „Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser“ zurückgegriffen, die in Kapitel 5.1.1 erläutert wird. Detailliertere Angaben zur Herleitung finden sich in [Ploss 2022], [Ploss 2024]. Synonym zum Begriff „Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser“ wird im Bericht auch der Begriff „klimazielkompatibel“ verwendet.

[27] Der Begriff „sozialverträglich“ wird im Zusammenhang mit der Errichtung oder Sanierung von Wohngebäuden häufig verwendet, ist aber kaum eindeutig zu definieren. Im Projekt SüdSan soll er Gebäudesanierungen beschreiben, deren Energiekonzept auf der Basis von Lebenszykluskostenberechnungen energetisch-wirtschaftlich optimiert und nicht ausschließlich auf Basis der Errichtungskosten festgelegt wird. Ob derartige energetisch-wirtschaftlich optimierte Gebäudesanierungen „sozialverträglich“ im Sinne von „leistbar“ sind, hängt von vielen Randbedingungen ab, so etwa dem allgemeinen Erhaltungszustand, der Höhe der Sanierungsrücklagen, den zur Verfügung stehenden Förderungen und dem verfügbaren Einkommen der Bewohner.

2. Bestimmung des kostenoptimalen Energieniveaus für die Sanierung der Gebäude mit und ohne Förderung durch detaillierte Planung, modulare Ausschreibung, Kostenauswertung, Energiebedarfsberechnungen und Lebenszykluskostenberechnungen für eine hohe Anzahl an Ausführungsvarianten mit unterschiedlichen Energieniveaus, Hüllkonstruktionen, Lüftungs-, Energieversorgungs- sowie Solarsystemen.
3. Übertragung der Ergebnisse des Energie- und Kostenmonitorings für die Mustergebäude auf die übrigen Gebäude der Siedlung unter Berücksichtigung der Aspekte Investitions- und Lebenszykluskosten, Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen im Betrieb und für die Herstellung, thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität sowie Erarbeitung einer Variantenstudie zur Energieversorgung auf Siedlungsebene.
4. Nutzung der Daten zu Investitions- und Lebenszykluskosten sowie zur energetischen Performance und zum Herstellungsenergieaufwand für einen Vergleich der Optionen Sanierung mit leichter Nachverdichtung sowie Abriss und Ersatzneubau mit und ohne Nachverdichtung als Grundlage für die städtebauliche Planung der Siedlung.
5. Erarbeitung von Planungsleitfäden für sozialverträgliche, klimazielkompatible Sanierungen kleinerer Mehrfamilienhäuser mit Beschreibung der Vorgehensweise, der Methodik zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung durch Variantenplanung und Lebenszykluskostenberechnung und Darstellung geeigneter Konzepte anhand der Ergebnisse des gegenständlichen Projekts und ähnlicher Sanierungsprojekte.

Vorgehensweise

Zur Durchführung des Forschungsprojekts wird die folgende, in mehreren Projekten des Energieinstitut Vorarlberg bewährte, auf die Sanierung angepasste Vorgehensweise gewählt:

- Analyse der Bestandssituation und der Randbedingungen der Sanierung
- Untersuchung der Nachverdichtungsmöglichkeiten in Entwurfsvarianten
- Detaillierte Planung möglicher Sanierungsvarianten in unterschiedlichen energetischen und ökologischen Qualitäten der thermischen Hülle sowie mit unterschiedlichen Wärmeversorgungs-, Lüftungs- und Solarsystemen
- Modulare Ausschreibung der o.g. Sanierungsvarianten
- Berechnung des Endenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen der untersuchten Varianten im Betrieb und für die Herstellung
- Bestimmung der Errichtungs- und Lebenszykluskosten auf Basis der Angebotskosten
- Auswahl der Ausführungsvariante für beide Gebäude – bewusste Umsetzung unterschiedlicher Teilkonzepte für die beiden Gebäude
- Sanierung der Gebäude
- Ermittlung der abgerechneten Kosten

- Monitoring der Energieverbräuche und der Effizienz der technischen Systeme sowie der thermischen Behaglichkeit und der Raumluftqualität
- Berechnung der Lebenszykluskosten auf Basis der abgerechneten Kosten und der tatsächlichen Energiekosten
- Empfehlungen für die Ausführung der folgenden Bauabschnitte in der Südtirolersiedlung Bludenz auf Basis der Investitions- und der Lebenszykluskosten, des realen Energieverbrauchs im Betrieb, des Herstellungsenergiebedarfs sowie der thermischen Behaglichkeit
- Vergleich der empfohlenen Sanierungsvariante mit der Option Abriss und Ersatzneubau
- Zielgruppenspezifische Aufbereitung der Projektergebnisse

Ausgewähltes Marktsegment

Da sich etwa 55% der Wohneinheiten in Österreich und 52% in Vorarlberg in Mehrfamilienhäusern befinden [o.A. 2023], da die Sanierungsrate in Vorarlberg gerade in diesem Segment seit mehr als 10 Jahren sehr gering ist und da belastbare Kostendaten für Mehrfamilienhaussanierungen ebenso wie Monitoringdaten für hocheffiziente Sanierungen kaum verfügbar sind, wird die Untersuchung im Marktsegment der Mehrfamilienhäuser durchgeführt. Ausgewählt wurden zwei Gebäude unterschiedlicher Baujahre und Größe in der Südtirolersiedlung Bludenz.

2 Vorstellung Südtirolersiedlung Bludenz und Mustergebäude

Die Südtirolersiedlung in Bludenz mit ihren 397 Wohnungen wird aktuell von etwa 650 Personen bewohnt und ist im Besitz der Alpenländischen Gemeinnützigen WohnbauGmbH. Die Gesamt-Wohnfläche der Siedlung beträgt etwa 24.000 m^2, die Gesamt-Grundstücksfläche knapp 62.000 m^2.

Abbildung 22 und 23 zeigen Lagepläne der Siedlung und die Lage der beiden Mustergebäude, Abbildung 24 ein Luftbild und ein Foto eines Teilbereichs der Siedlung.

Abbildung 22: Lageplan der Siedlung mit Lage der beiden Mustergebäude; ohne Maßstab; Quelle: Stadt Bludenz

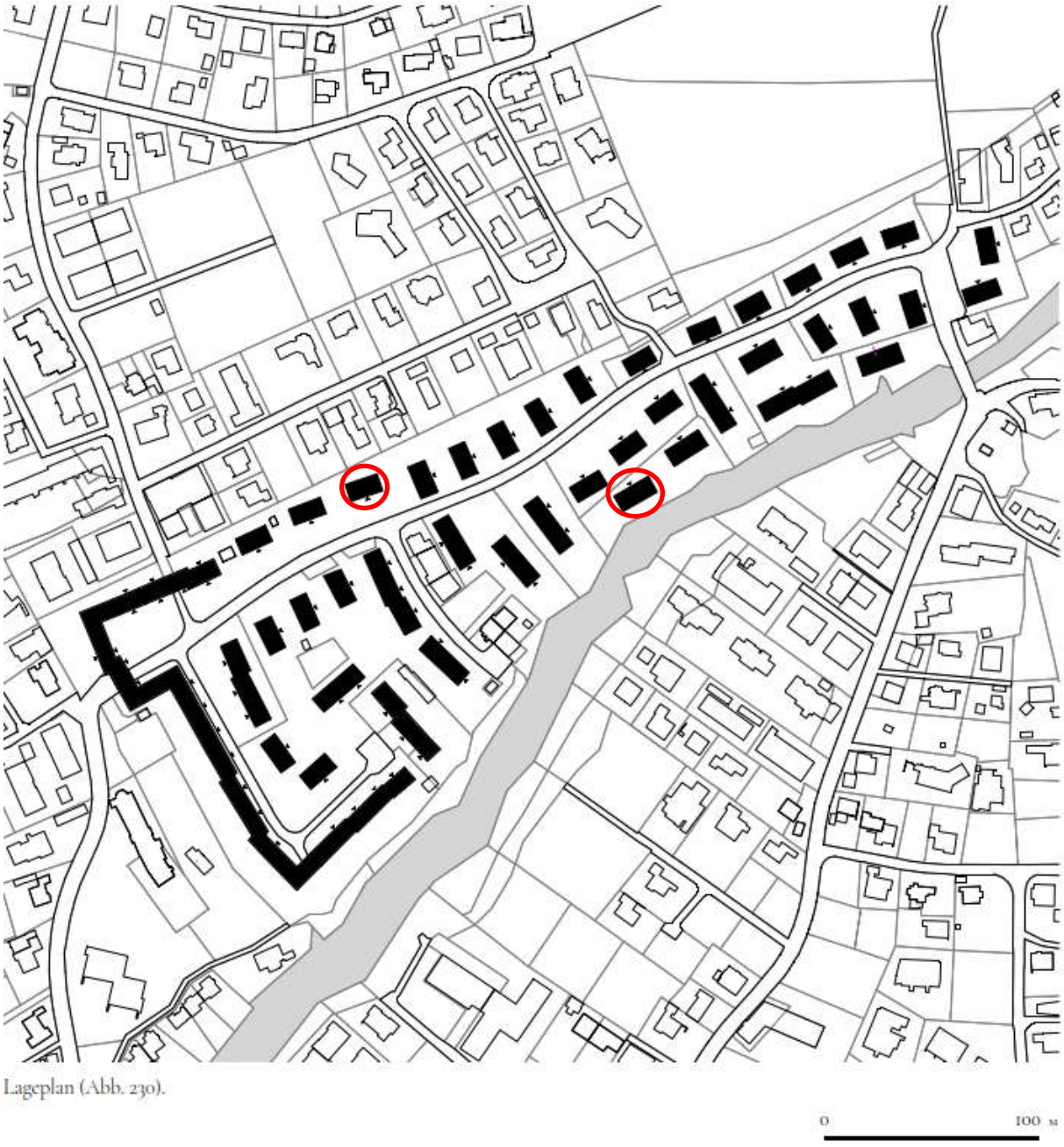

Abbildung 23: Lageplan der Siedlung mit Hervorhebung der Gebäude, ohne Maßstab; Quelle: [Sark 2024]

Abbildung 24: Luftbild der Siedlung (Quelle: *https://pid.volare.vorarlberg.at/o:116498*); Teilansicht St. Antoniusstraße (Foto: Energieinstitut Vorarlberg)

Die überwiegend kleinen Mehrfamilienhäuser wurden zwischen 1942 und 1962 fertiggestellt. Im Rahmen der Erhaltungsarbeiten im Allgemeinteil der Gebäude wurden bislang nur untergeordnete Arbeiten durchgeführt, u.a. wurden dabei Hauseingangs und Kellereingangstüren sowie Klingel- und Briefkastenanlagen erneuert und einige Spenglerarbeiten durchgeführt. Die Gebäude sind daher baulich bis auf die in den 80er Jahren erneuerten Fenster nahezu im Originalzustand. Der Wärmeschutz ist dementsprechend sehr schlecht.

Die Beheizung erfolgt dezentral durch Einzelöfen (Stückholz, Pelletöfen, Öl- und, vereinzelt Gasöfen) oder direkt-elektrische Heizsysteme (Infrarot, Nachtspeicheröfen…). Die Warmwassererzeugung erfolgt durch Elektroboiler.

Als Mustergebäude für das Projekt SüdSan wurden die zwei folgenden Gebäude ausgewählt:

Abbildung 25: Kleines und großes Gebäude; Fotos: Energieinstitut - links, Johannes Kaufmann und Partner GmbH - rechts

Das kleine Gebäude mit zwei Vollgeschossen wurde 1942 fertiggestellt und hat fünf Wohneinheiten inkl. einer Wohnung im Dachgeschoss. Mit 25 nahezu identischen, freistehenden Gebäuden ist dieser Typ mit Wohnflächen von 285 bis 323 m^2 der häufigste Gebäudetyp in der Siedlung. Bis auf wenige Ausnahmen wurden alle Gebäude dieses Typs zwischen 1942 und 1945 fertiggestellt.

Das 1959 fertiggestellte große Gebäude mit drei Vollgeschossen hat 10 Wohneinheiten inkl. einer Wohnung im Dachgeschoß. Der Gebäudetyp kommt in der Siedlung drei Mal freistehend vor, zwei weitere gleichartige Gebäude sind aneinander angebaut.

Beide Gebäude sind unterkellert.

2.1 Relevanz der ausgewählten Gebäude

Die ausgewählten kleineren Mehrfamilienhaustypen aus den 40er und 50er Jahren kommen sowohl in den Südtiroler- und Kanaltalersiedlungen in ganz Österreich, als auch außerhalb dieser Siedlungen als Einzelgebäude vor. Baulich sehr ähnliche Gebäude gibt es auch in Arbeitersiedlungen aus den 20er und 40er Jahren [Rainer 2021]. Fast gleichartige Gebäude wurden auch noch in den 60er Jahren errichtet.

Die Relevanz der ausgewählten Gebäude wird nachfolgend dargestellt. Dabei wird zunächst ihr zahlenmäßiger Anteil am Gesamt-Wohngebäudebestand Österreichs und Vorarlbergs analysiert.

Wohnungen in Südtiroler- und Kanaltalersiedlungen

Insgesamt wurden als Folge des Hitler-Mussolini-Abkommens von 1939 in 128 Gemeinden Österreichs so genannte „Südtirolersiedlungen“ mit ca. 13.500 Wohneinheiten für die etwa 75.000 Optanten aus Südtirol errichtet[28]. Ähnliche Gebäude und Siedlungen wurden auch für etwa 5.700 Optanten aus dem Kanaltal gebaut [Mitterer 2022].

Die Südtirolersiedlung in Bludenz ist mit ihren 397 Wohneinheiten die zweitgrößte der 17 Siedlungen in Vorarlberg[29]. Diese haben in Summe 2.333 Wohneinheiten [Sark 2024] und werden aktuell von knapp 3.600 Bewohner mit Hauptwohnsitzmeldung bewohnt.

[28] Eine umfassende Darstellung der Südtirolersiedlungen ist ohne geschichtliche Einordnung nicht möglich, sind sie doch Beispiele für die (Zwangs)Umsiedlung großer Teile der deutsch- und ladinischsprachigen Bevölkerung Südtirols und wurden im Krieg u.a. von Zwangsarbeitern errichtet. Eine ausführliche Einordnung findet sich in [Sark 2024].

[29]

Marktsegment der kleineren Mehrfamilienhäuser der Baujahre zwischen 1919 und 1970

Die beiden im SüdSan-Projekt sanierten Gebäude sind repräsentativ für große Teile des Segments der kleineren Mehrfamilienhäuser der Bauperiode zwischen 1919 und 1970, da bis in die 60er Jahre – besonders im gemeinnützigen Wohnbaus - ähnliche Gebäudetypen errichtet wurden [Sark 2024].

Bauperiode des Gebäudes (Ebene +2)	1 Wohnung	2 Wohnungen	3 bis 5 Wohnungen	6 bis 10 Wohnungen	11 bis 20 Wohnungen	21 und mehr Wohnungen	Summe
Vor 1919	189 036	92 816	91 134	117 358	181 288	105 768	**777 400**
1919 bis 1944	107 948	38 944	44 988	55 962	63 707	22 691	**334 240**
1945 bis 1960	155 971	78 170	44 378	74 004	95 886	39 255	**487 664**
1961 bis 1970	175 167	108 162	42 476	81 617	126 396	92 746	**626 564**
1971 bis 1980	213 789	119 128	44 152	57 840	98 239	131 673	**664 821**
1981 bis 1990	217 870	87 082	37 339	74 333	67 272	56 623	**540 519**
1991 bis 2000	193 259	39 648	35 036	96 064	66 145	50 430	**480 582**
2001 bis 2010	198 602	37 564	39 857	81 107	67 567	58 528	**483 225**
2011 und später	154 959	17 870	30 711	68 590	101 873	140 392	**514 395**
Summe	**1 606 601**	**619 384**	**410 071**	**706 875**	**868 373**	**698 106**	**4 909 410**

Tabelle 4: Anzahl der Wohneinheiten je Bauperiode und Anzahl der Wohneinheiten – Österreich [o.A. 2023]

Das Segment der Wohngebäude der Bauperioden 1919 bis 1970 mit 3 bis 20 Wohneinheiten (grün hinterlegter Bereich) bestand im Jahr 2021 österreichweit aus etwa 629.400 Wohneinheiten. Dies entspricht einem Anteil von etwa 13% am Gesamtbestand von etwa 4,9 Mio. Wohneinheiten.

Bauperiode des Gebäudes	1 Wohnung	2 Wohnungen	3 bis 5 Wohnungen	6 bis 10 Wohnungen	11 bis 20 Wohnungen	21 und mehr Wohnungen	Summe
Vor 1919	7 822	6 474	6 160	2 464	870	230	**24 020**
1919 bis 1944	2 743	2 072	3 448	1 590	280	134	**10 267**
1945 bis 1960	6 057	4 460	2 963	2 426	530	337	**16 773**
1961 bis 1970	7 597	5 824	3 014	3 287	2 390	1 734	**23 846**
1971 bis 1980	8 181	5 170	3 048	3 419	5 105	3 897	**28 820**
1981 bis 1990	9 188	3 408	2 578	4 850	2 534	831	**23 389**
1991 bis 2000	9 460	2 254	2 738	6 454	3 139	844	**24 889**
2001 bis 2010	9 575	2 062	3 318	6 989	4 872	1 163	**27 979**
2011 und später	6 672	1 056	2 033	7 822	7 767	2 383	**27 733**
Summe	**67 295**	**32 780**	**29 300**	**39 301**	**27 487**	**11 553**	**207 716**

Tabelle 5: Anzahl der Wohneinheiten je Bauperiode und Anzahl der Wohneinheiten – Vorarlberg [o.A. 2023]

In Vorarlberg entfallen knapp 20.000 Wohneinheiten auf das Segment. Dies entspricht einem Anteil von 9,6% am Gesamtbestand von knapp 208.000 Wohneinheiten.

Die für Österreich und Vorarlberg aufgeführten Zahlen beziehen sich auf die Gebäude der genannten Größen, die in der Periode zwischen 1919 bis 1970 errichtet wurden und 2021 noch bestanden. Der Anteil der Gebäude und Wohneinheiten, die bereits energetisch saniert wurden, ist nicht bekannt.

Die aufgeführten Anteile der kleineren Mehrfamilienhäuser der Baujahre 1919 bis 1970 belegen ihre Relevanz für die Wärmewende im Gebäudesektor.

Die Bedeutung des Marktsegments ist jedoch aus zwei Gründen größer als sein Marktanteil:

- Ein erheblicher Teil der kleineren Mehrfamilienhäuser der Baujahre 1919 bis 1970 gehört zu den Gebäuden mit den höchsten spezifischen Verbräuchen, d.h. zu den „Worst Performing Buildings“ gemäß der 2024er-Novelle der Europäischen Gebäuderichtlinie [EPBD 2024]. Diese gibt vor, dass der durchschnittliche Primärenergieverbrauch des Gebäudebestandes bis 2030 um 16% und bis 2035 um 20-22% gegenüber 2020 reduziert werden soll und dass mindestens 55% der dazu notwendigen Reduktion in den Worst Performing Buildings erzielt werden muss. Als Worst Performing Buildings bezeichnet die EPBD die 43% des Wohngebäudebestandes mit dem höchsten Energieverbrauch.
- In älteren Mehrfamilienhäusern leben überdurchschnittlich viele Personen mit geringen finanziellen Mitteln, die von Energiearmut betroffen oder zumindest Energiearmuts-gefährdet sind [o.A. 2024]. Der Anteil der Personen, die ihre Wohnung oder ihr Haus aus finanziellen Gründen nicht angemessen warmhalten können, liegt in Österreich deutlich unter dem EU-Mittelwert, stieg aber von 2022 bis 2023 auf 3,9% an [Eurostat 2024]. Dies bedeutet, dass mehr als 350.000 Personen betroffen sind.

2.2 Randbedingungen für die Sanierung

Die wichtigsten Randbedingungen für die Sanierung werden nachfolgend erläutert.

Stand der Sanierungsrücklagen / der EVB-Konten

Die Sanierungsrücklagen für die Siedlung (d.h. die Summe der Guthaben der EVB[30]-Konten) lagen bei Projektstart mit knapp einer Mio. EUR im Minus. Dies entspricht Rücklagen von etwa - 40 EUR/m^2_{WNF}. Das EVB-Konto war also erheblich überzogen, obwohl nur knapp über die Hälfte der Wohnungen in den etwa 15 Jahren vor Projektstart modernisiert wurden und die Siedlung einen starken Sanierungsstau aufwies.

[30] EVB = Erneuerungs- und Verbesserungsbeitrag: Im Wohnungs-Gemeinnützigkeitsgesetz (WGG) geregelte Rücklagen im gemeinnützigen Wohnbau.

Diese Situation – leere EVB-Konten trotz Sanierungsstau - ist kein Spezifikum der Siedlung in Bludenz. Die ungenügende Deckung auch nur der Instandhaltungskosten[31] durch die Rücklagen des EVB ist typisch für viele ältere Einzelgebäude und Siedlungen gemeinnütziger Bauvereinigungen.

Da die Maximalwerte des EVB in §14d Abs. 2 WGG bundeseinheitlich geregelt sind, können die gemeinnützigen Wohnbauvereinigungen keine höheren Sanierungsrücklagen einheben. Die o.g. Finanzierungsprobleme tauchen zuerst in den Regionen mit hohem Baupreisniveau auf.

Die nachfolgende Gegenüberstellung der maximal einhebbaren EVB-Mittel mit den tatsächlichen Ausgaben für die Wohnungsmodernisierung und die Instandhaltung und Modernisierung eines Teils der Südtirolersiedlung Bludenz vor Beginn des Projekts SüdSan soll eine erste Einschätzung der Finanzierungsproblematik bei der Sanierung im gemeinnützigen Wohnbau ermöglichen:

Würden für eine Wohnanlage 30 Jahre lang die im Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz vorgegebenen Maximalbeträge des EVB eingezahlt, so stünden ohne jegliche Ausgaben und bei konservative Anlage der Einnahmen etwa 450 EUR/m^2_{WNF} zur Verfügung.

Diesen maximal zur Verfügung stehenden Sanierungsrücklagen stehen Kosten für Instandhaltung und Modernisierung gegenüber:

In der Südtirolersiedlung Bludenz wurden in den Jahren 2016 bis 2020 sechzig Wohnungen modernisiert. Indexiert man die Kosten dieser Wohnungsmodernisierungen auf den Preisstand 1. Quartal 2023 (den Preisstand der Sanierung der beiden Mustergebäude), so liegen die mittleren spezifischen Netto-Kosten der Wohnungsmodernisierung bei 1.054 EUR/m^2_{WNF}. Dies

[31] Begriffe wie (energetische) Sanierung, Modernisierung, Erneuerung, Verbesserung, Instandhaltung etc. werden im allgemeinen Sprachgebrauch und in verschiedenen Rechtsmaterien in unterschiedlichen Definitionen gebraucht. In diesem Bericht werden - wenn nicht anders spezifiziert - wie folgt verwendet:

Als Instandhaltung werden Maßnahmen bezeichnet, die zur Aufrechterhaltung eines guten Zustands von Bauteilen und Komponenten dienen – Beispiel: der Austausch der Dacheindeckung.

Der Begriff Modernisierung wird im Zusammenhang mit Maßnahmen wie dem Einbau neuer Bäder verwendet.

Als energetische Sanierung werden Maßnahmen bezeichnet, die der Verbesserung der energetischen Qualität und/oder der Haustechniksysteme sowie zur Reduktion der Treibhausgasemissionen dienen. Die im Wohnungseigentumsgesetz verwendeten Begriffe der Erneuerung und Verbesserung werden nur im Zusammenhang mit diesem Gesetz verwendet.

entspricht 64.077 EUR pro Wohneinheit. Der Großteil der genannten Kosten entfiel auf die Gewerke Sanitär, Fliesen, Bodenleger, Tischler und Elektro.

Zusätzlich fielen von 2016 bis 2020 in der Gesamtsiedlung weitere Kosten für die Instandhaltung außerhalb der Wohnungen an. Indexiert man diese Kosten ebenfalls auf den Preisstand 1. Quartal 2023 und legt die Kosten der allgemeinen Instandhaltung auf die Wohnfläche der Gesamtsiedlung um, so betragen die spezifischen Instandhaltungskosten 241 EUR/m^2_{WNF}.

Die Gesamtkosten für Wohnungsmodernisierung und Instandhaltung liegen damit im Mittel der Jahre 2016 bis 2020 bei 1.295 EUR/m^2_{WNF}.

Sie sind damit mehr als 2,8-fach so hoch, wie der Stand eines EVB-Kontos, auf das über 30 Jahre maximal eingezahlt worden wäre ohne dass Ausgaben getätigt worden wären.

Baukulturelle Bedeutung der Siedlung

Zum Zeitpunkt der Bewilligung des Forschungsprojekts hatte die Siedlung keinen Schutzstatus. Das Bundesdenkmalamt war bei einer Begehung im März 2021 auf Anfrage der Alpenländischen erstmals mit der Siedlung konfrontiert und kam zu dem Ergebnis, dass ein völliger Abriss und Neubau der Wohnungen aus Sicht der Denkmalpflege und des Ortsbildschutzes keinesfalls vorstellbar sei. Veränderungen und/oder Weiterentwicklungen seien allenfalls in den oberen Randbereichen nach Osten zu prüfen [BDA 2021].

Kurz nach Bewilligung des Forschungsprojekts wurde die Siedlung vom Wohnbauförderungsbeirat Vorarlberg als „erhaltenswert“ eingestuft[32].

Um die baukulturellen Aspekte in der Planung zu berücksichtigen, wurde das Bundesdenkmalamt von Projektstart an in beratender Funktion in das Projektteam aufgenommen.

Gemäß Wunsch des Bundesdenkmalamts wurde entschieden, die Gebäudesanierung mit Putzfassaden auszuführen. Die im Vorfeld erwogene Option einer Sanierung mit seriell vorgefertigten Fassadenelementen wurde daher planerisch in mehreren Varianten untersucht, aber

[32] Die vom Wohnbauförderungsbeirat vorgenommene Einstufung von Gebäuden oder Siedlungen als „Erhaltenswert“ bedeutet kein Abrissverbot. Unmittelbare Folge ist, dass die Landesförderung in Form eines zinsgünstigen Kredits um 100 EUR/m^2_{NF} höher ist, als ohne den Status erhaltenswert. Eine weitere Folge ist, dass die Förderung gewährt wird, ohne dass die energetischen Anforderungen der Wohnhaussanierungsrichtlinie gelten. Die energetischen Anforderungen der Bautechnikverordnung Vorarlberg sind einzuhalten.

In der Wohnhaussanierungsrichtlinie 2025/2026 wird für Gesamtsanierungen erhaltenswerter Gebäude ein Förderungskredit von 1.800 EUR/m^2 Nutzfläche, max. jedoch 90% der anerkannten Sanierungskosten gewährt [WBF 2025].

nicht zur Ausführung ausgeschrieben. Derartige Fassadenelemente wären nach übereinstimmender Einschätzung von Architekt und GU wirtschaftlich sinnvoll inklusive vorgefertigter Holzschirme und nicht mit verputzten Fassaden ausgeführt worden. Auch die folgenden Anregungen des Bundesdenkmalamtes wurden berücksichtigt:

- Auswahl rein schwarzer PV-Module
- Fensterteilungen mit Wiener Sprossen
- Geringe Kniestockhöhe, um die Proportionen des Gebäudes zu erhalten

Im Jahr 2024 begann das Bundesdenkmalamt eine Schutzwürdigkeitsprüfung gemäß § 1 Denkmalschutzgesetz für die Siedlung. In dieser Prüfung werden die folgenden Bedeutungskategorien untersucht [BDA o.J.].:

- Geschichtliche Bedeutung
- Künstlerische Bedeutung
- Kulturelle Bedeutung

Die Ergebnisse der Schutzwürdigkeitsprüfung werden voraussichtlich Ende des ersten Quartals 2025 vorliegen.

Leerstand und prognostizierte Bevölkerungsentwicklung

Im Gegensatz zu einigen ähnlichen Siedlungen in anderen Bundesländern war der Leerstand in der Siedlung bei Projektbeginn sehr gering, so standen im Juni 2021 nur 8 der 397 Wohnungen leer.

Zur Einschätzung der Entwicklung der Wohnungsnachfrage am Standort zeigt die folgende Abbildung die prognostizierte Bevölkerungsentwicklung für Vorarlberg und seine vier Bezirke [ÖROK 2021].

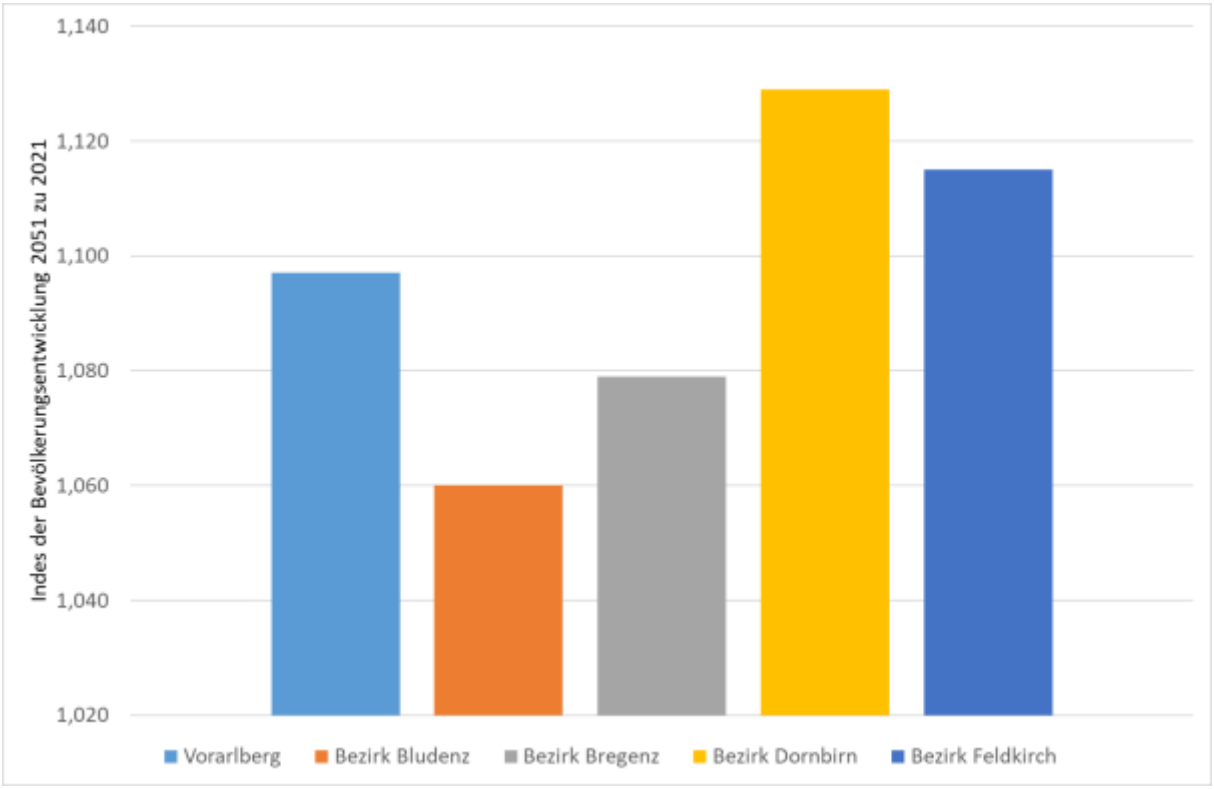

Abbildung 26: Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung für Vorarlberg und seine vier Bezirke [ÖROK 2021]

Für den Bezirk Bludenz wird für 2051 ein Anstieg der Bevölkerung auf 106% des Ausgangswerts von 2021 vorhergesagt. Das Bevölkerungswachstum wäre damit etwas geringer als im Landesdurchschnitt und in den drei anderen Vorarlberger Bezirken.

Für die Bevölkerungsgruppe der Altersklasse 65+ wird für den Bezirk Bludenz – ähnlich wie für den Rest des Landes - ein Anstieg auf 160% des Ausgangswerts von 2021 prognostiziert.

Aus diesen Daten kann geschlossen werden, dass in der Region Bludenz auch zukünftig ein Bedarf an kostengünstigen Mietwohnungen bestehen wird.

Sanierung im bewohnten Zustand

Die Sanierung wurde auf Wunsch des Eigentümers im bewohnten Zustand durchgeführt. Ein Grund für diese Entscheidung war die Tatsache, dass in der Siedlung und in der näheren Umgebung nicht genügend Ausweichwohnungen verfügbar waren, um die Gebäude mit Leerzug sanieren zu können.

Sanierung mit Generalunternehmer

Die Sanierung wurde auf Wunsch des Eigentümers über einen Generalunternehmer abgewickelt.

Wärmeversorgungsinfrastruktur

In der Nähe der Siedlung war bei Projektstart kein Nah- oder Fernwärmenetz vorhanden. Mittelfristig ist ein Fernwärmenetz Bludenz/Bürs geplant, an dessen Rand die Siedlung läge. Als möglicher Zeitpunkt zum Ausbau des Netzes bis zur Siedlung wurde vom potentiellen Betreiber das Ende der 2020er Jahre genannt.

3 Status Quo der Mustergebäude

Die wichtigsten Kenndaten der beiden Mustergebäude vor und nach Sanierung sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

	kleines Gebäude St. Antoniusstraße 19		großes Gebäude St. Antoniusstraße 12a	
Fertigstellung	1942		1959	
Standort Seehöhe	Bludenz 631 m		Bludenz 643 m	
Mitteltemperatur Oktober bis März	4,4 °C Quelle: Meteonorm-Klimadatensatz Bludenz, neuere Periode, d.h. 2000 bis 2019			
	Bestand	nach Sanierung	Bestand	nach Sanierung
Anzahl Wohnungen	5	6	10	11
Anzahl Geschosse	E + 1 + 1 DG-Wohnung	E + 1 + 2 DG-Wohnungen	E + 2 + 1 DG-Wohnung	E + 2 + 2 DG-Wohnungen
Anzahl Bewohner	10	12	10	11
BGF	448 m^2	553,6 m^2	745 m^2	906,6 m^2
WNF	315,2 m^2	348,7 m^2	571,8 m^2	639,9 m^2
Energiebezugs-fläche PHPP	326,3 m^2	360,9 m^2	609,4 m^2	648 m^2
WNF pro Person	31,5 m^2	29,9 m^2	57,2 m^2	58,2 m^2
A/V	0,59	0,52	0,51	0,44
A/WNF		3,25 m^2 / m^2		2,35 m^2 / m^2
Brandschutzklasse	3		4	

Tabelle 6: Kenndaten der Mustergebäude vor und nach Sanierung

Wie die Tabelle verdeutlicht, haben beide Gebäude nach Sanierung eine Wohnung mehr als vorher. Die Wohnfläche steigt im kleinen Haus um 11%, im Großen um 12%.

Abbildungen 27 und 28 zeigen Außen- und Innenansichten des kleinen Gebäudes vor Sanierung.

Abbildung 27: kleines Gebäude, Außenansichten (Fotos: Walser Fotografie, Hohenems)

Abbildung 28: kleines Gebäude, Treppenhaus, Dachgeschoßwohnung und unbeheizter Teil Dachgeschoß (Fotos: Walser Fotografie, Hohenems)

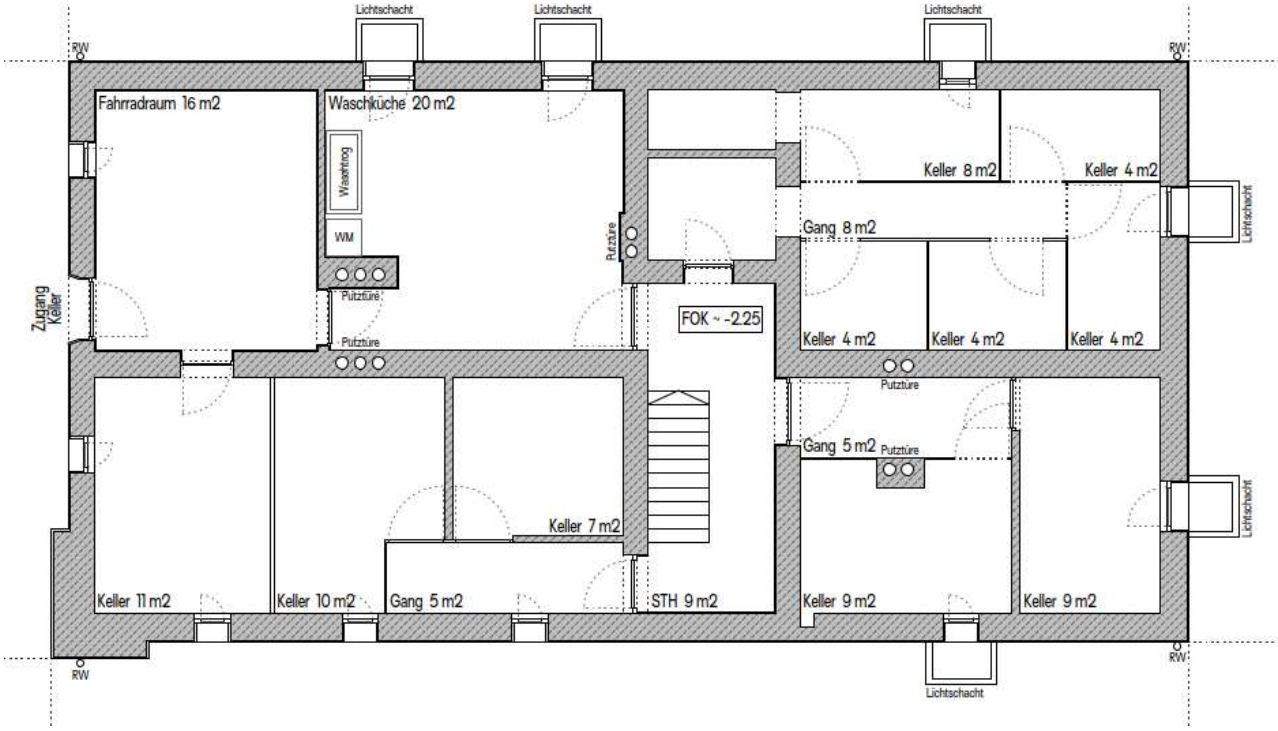

Abbildung 29: kleines Gebäude, Grundriss KG, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Aufgrund der Hanglage kann das Kellergeschoß ebenerdig von außen erschlossen werden. Da alle Wohnungen dezentral beheizt werden, gibt es keinen Heizkeller, ein Fahrradraum ist nicht vorhanden.

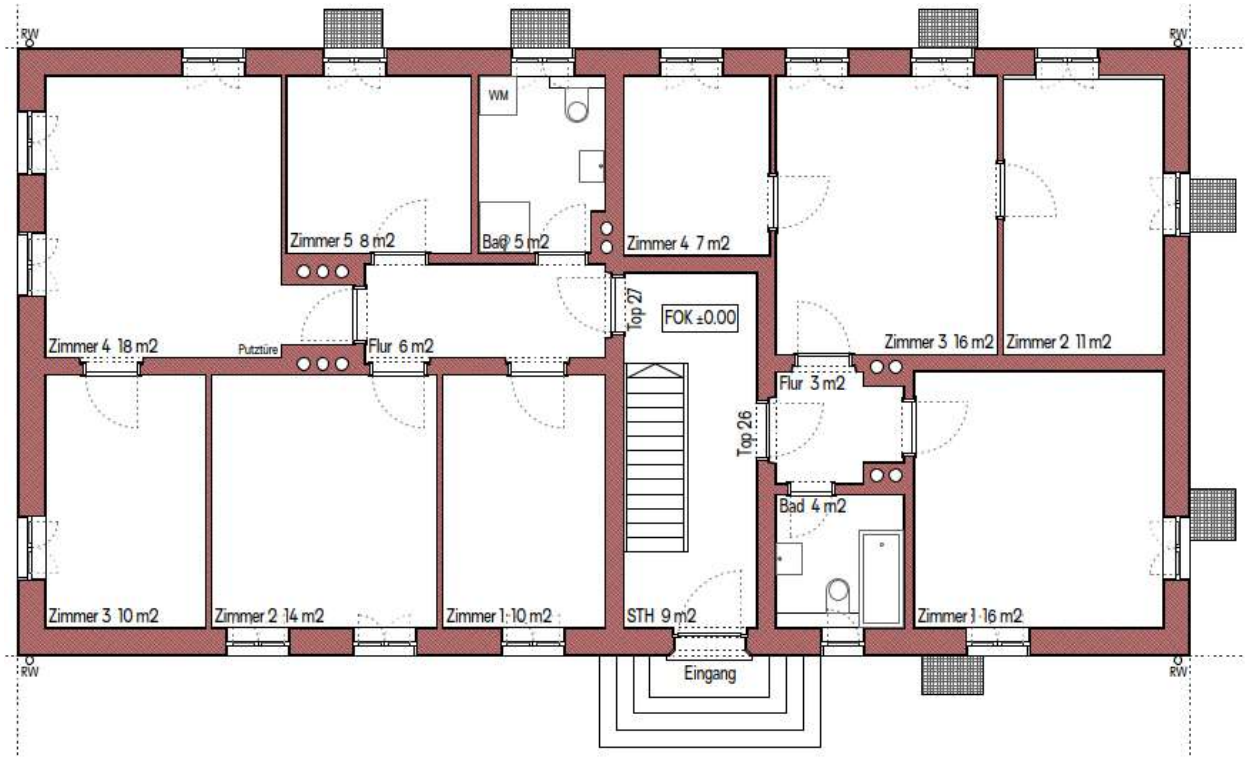

Abbildung 30: kleines Gebäude, Grundriss Erdgeschoß, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Beim kleinen Gebäudetyp handelt es sich um einen Zweispänner mit je einer 3-Zimmer-Wohnung und einer 4-Zimmer-Wohnung im Erdgeschoß und im 1. Obergeschoß. Die größeren Wohnungen haben eine Wohnfläche von 71m^2, die kleineren von 57m^2.

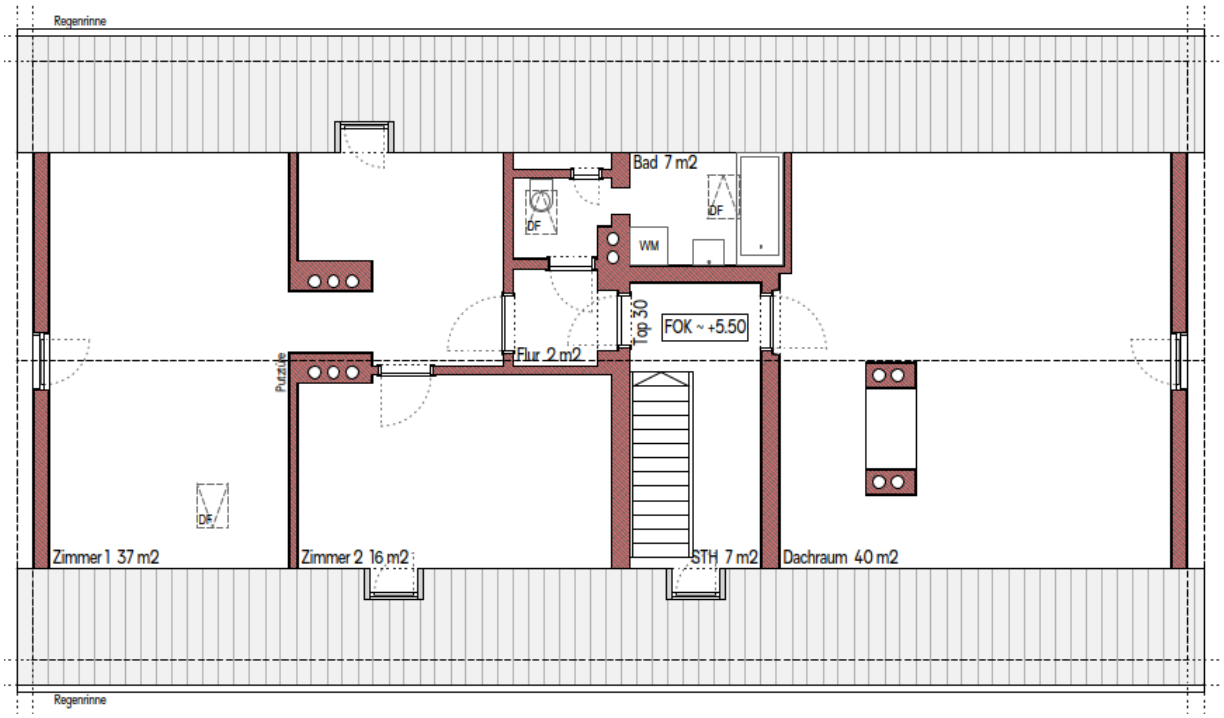

Abbildung 31: kleines Gebäude, Grundriss Dachgeschoß, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Die DG-Wohnung hat eine Wohnfläche von 64 m^2. Der Rest des DG ist unbeheizt.

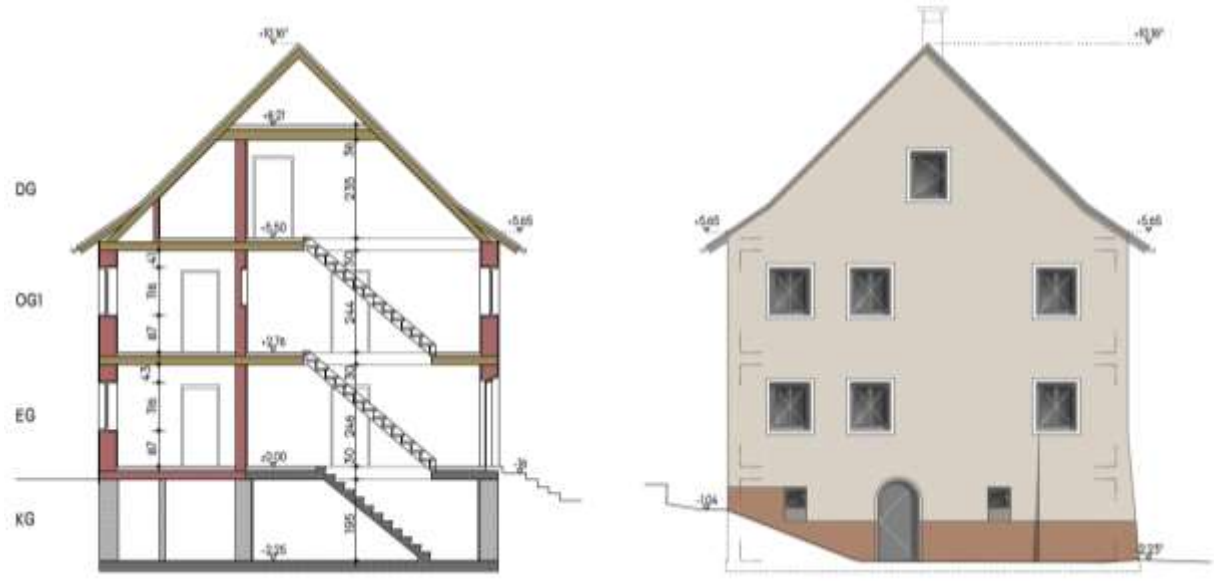

Abbildung 32: kleines Gebäude, Schnitt und Ansicht West, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Die Dächer haben aufgrund der Aufschieblinge einen markanten „Knick“. Die Gebäudeecken sind leicht ausgestellt und dadurch akzentuiert.

Da das Fluchtniveau der DG-Wohnung bei weniger als 7 m liegt, wird das Gebäude gemäß Gutachten in Brandschutzklasse 3 eingestuft [Künzle 2021].

Abbildungen 33 und 34 zeigen das große Gebäude vor Sanierung von außen und innen.

Abbildung 33: großes Gebäude, Außenansichten (Fotos: Walser Fotografie, Hohenems)

Vier der 10 Wohnungen verfügen über einen kleinen Balkon.

Abbildung 34: Gebäudetyp groß, Treppenhaus, Dachgeschoßwohnung und unbeheizter Teil des Dachgeschosses (Fotos: Walser Fotografie, Hohenems)

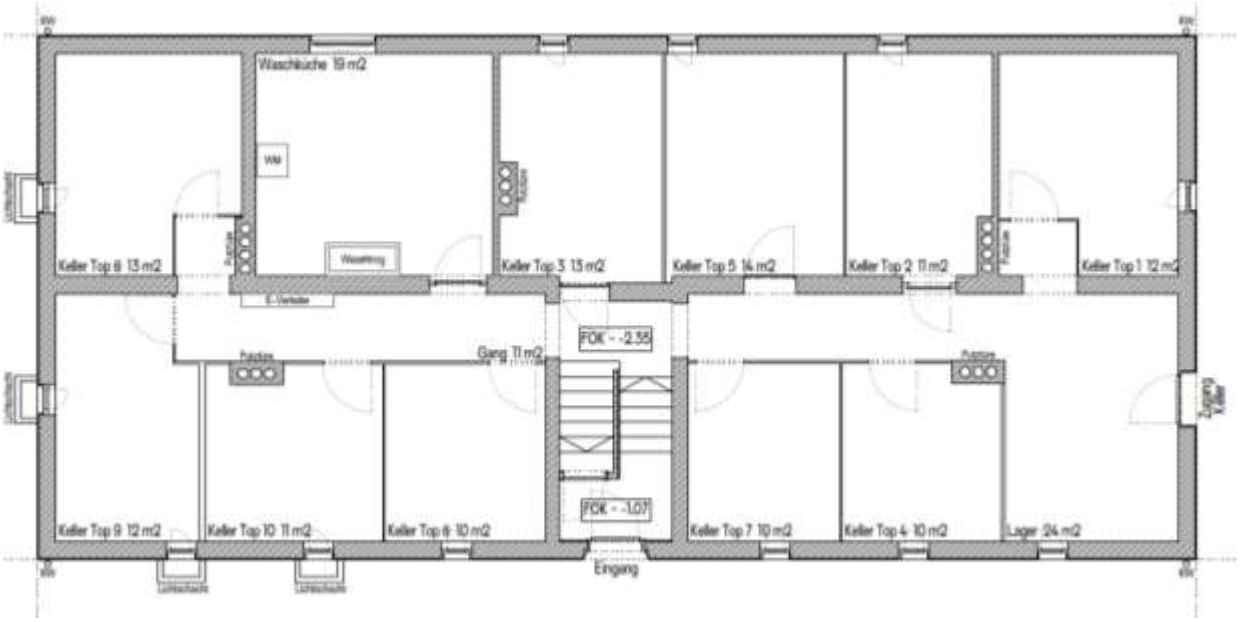

Abbildung 35: großes Gebäude, Grundriss KG, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Der Zugang zum Gebäude befindet sich aufgrund der Hanglage des Gebäudes im Kellergeschoss.

Da alle Wohnungen dezentral beheizt werden, gibt es keinen Heizkeller. Jede Wohnung verfügt über ein relativ großes Kellerabteil, ein Fahrradraum ist nicht vorhanden.

Abbildung 36: großes Gebäude, Grundriss EG, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Beim großen Gebäude handelt es sich um einen Dreispänner mit jeweils drei 2-Zimmer-Wohnung im Erdgeschoß, im 1. und 2. OG mit Wohnflächen von 56m^2 bzw. 57m^2.

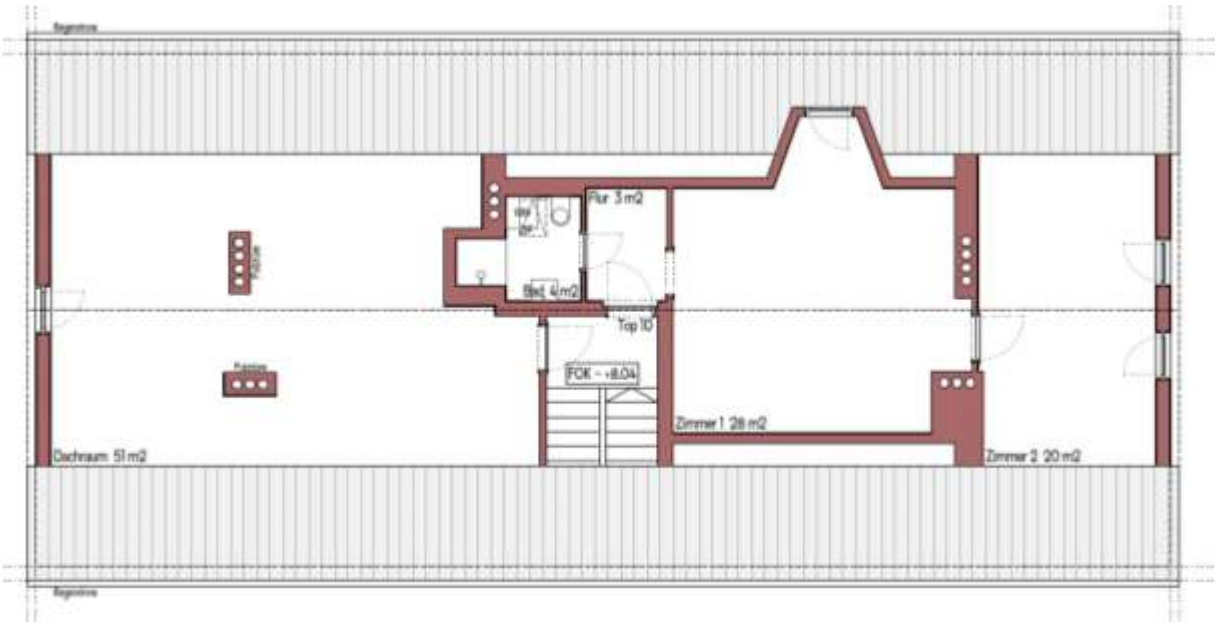

Abbildung 37: großes Gebäude, Grundriss DG, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Die Dachgeschoßwohnung hat eine Wohnfläche von 55 m^2. Der Rest des Dachgeschosses ist unbeheizt.

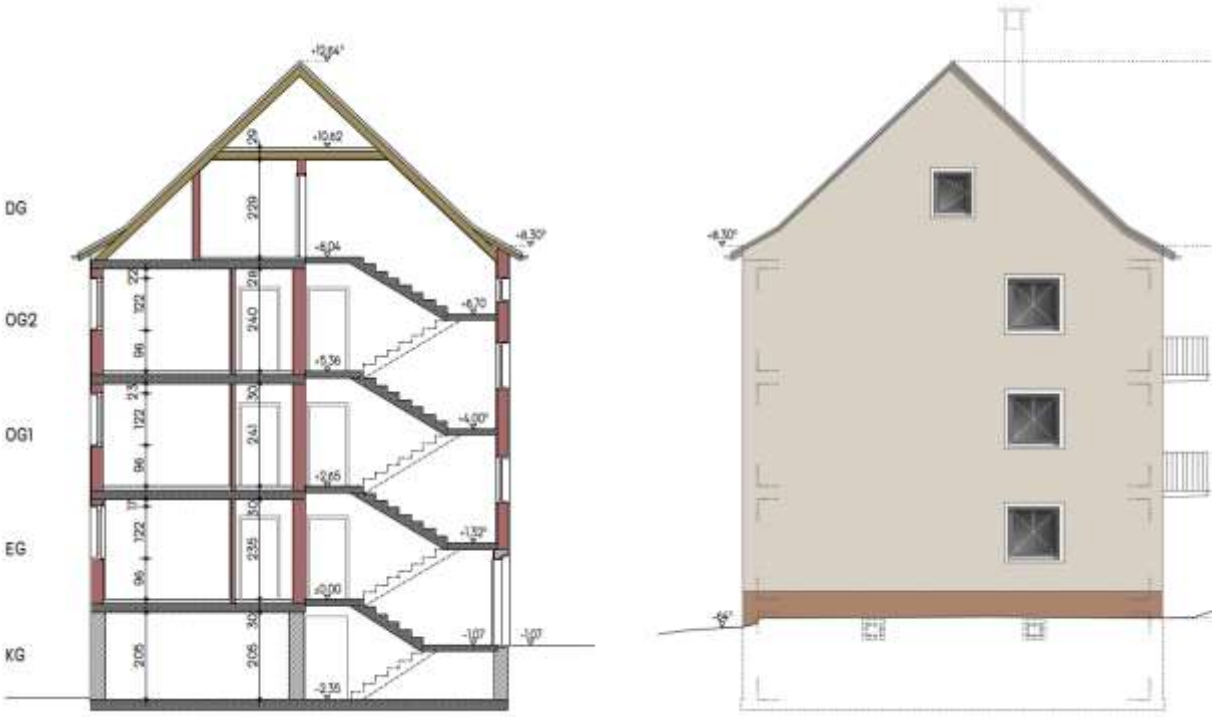

Abbildung 38: großes Gebäude, Schnitt + Ansicht Ost, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Auch die Dächer des großen Gebäudes haben aufgrund der Aufschieblinge einen markanten „Knick“.

Da das Fluchtniveau der DG-Wohnung bei mehr als 7 und weniger als 11 m liegt, wird das Gebäude gemäß Gutachten in Brandschutzklasse 4 eingestuft [Künzle 2021].

Der Status-Quo der Gebäudestruktur wurde vor-Ort von mehreren Gutachtern erhoben, dabei wurden u.a. die Aspekte Statik, Brandschutz und Bauphysik berücksichtigt.

Der Status Quo der Wärmeversorgung wurde vom Energieinstitut Vorarlberg in allen Wohnungen detailliert erhoben, da die Raumwärmeversorgung und Warmwasserbereitung in jeder Wohnung individuell erfolgt.

Die folgenden Abbildungen vermitteln einen Eindruck vom baulichen Zustand der Gebäude vor Sanierung. Die Abbildungen wurden zum weit überwiegenden Teil in den beiden Mustergebäuden, zum Teil in baugleichen Gebäuden in der Siedlung aufgenommen.

3.1 Kellergeschoß

Wie die folgenden Abbildungen verdeutlichen, weisen die Stampfbeton-Kelleraußenwände in Teilen Feuchte- und Schimmelschäden auf. Dies trifft vor allem auf das kleinere Gebäude zu. Laut Gutachten ist die Beseitigung dieser Schäden durch Trockenlegung und Abdichtung/Drainierung eine Grundvoraussetzung für jegliche Investition in die Gebäude [Schneider 2021].

Abbildung 39: Kellergeschoss im kleinen und im großen Gebäudetyp, Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 40: Kellergeschoss im kleinen Gebäude – links und im großen Gebäude, Fotos: Rhomberg Bau GmbH Bau GmbH

Abbildung 41: Kellerboden im großen Gebäude – links und im kleinen Gebäude, Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Der Kellerboden besteht laut Gutachten teilweise aus Beton, teilweise aus Erdreich.

Abbildung 42: Kellerfenster und Kellerdecke, Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Im kleinen Gebäude ist die Kellerdecke als Stahl-Steindecke (System Pfeiffer) ausgeführt, im Großen als Stahlbetondecke. In beiden Gebäuden ist die lichte Höhe der Keller mit etwa 2,00 bis 2,08 sehr gering. Im Bauphysikgutachten wird daher angeregt, eine Bodenabsenkung statisch zu überprüfen [Weithas 2021]. Ohne eine solche Absenkung sind aufgrund der geringen lichten Höhe nur dünne Dämmungen der Kellerdecke möglich, so dass in diesem Fall Materialien mit sehr guter Wärmeleitfähigkeit notwendig wären.

Die Kellerfenster sind zum Teil noch im Originalzustand (einfachverglaste Stahlfenster), zum Teil wurden diese durch zweifachverglaste Fenster ersetzt.

Kellergrundrisse und -nutzbarkeit

In beiden Gebäuden sind individuelle Kellerabteile vorhanden. Diese sind im kleineren Gebäude recht klein. Beide Gebäude haben eine Waschküche, in der Waschmaschinen und Trockner aufgestellt werden können. Die Abstellmöglichkeiten für Fahrräder und Kinderwagen im allgemein zugänglichen Lagerraum sind begrenzt und schlecht nutzbar. Da die Beheizung beider Gebäude wohnungsweise erfolgt, sind keine Heizungskeller vorhanden.

Abbildung 43: Keller im kleinen (links) und im großen Gebäude (Fotos: Walser Fotografie, Hohenems)

Abbildung 44: Fahrradabstellmöglichkeiten im Kellergeschoß beider Gebäude; Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 45: Holzlagerung im kleinen Gebäudetyp, Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Da viele Wohnungen zumindest teilweise mit Holz beheizt wurden, waren einige Kellerabteile vor Allem als Holzlager genutzt.

3.2 Oberirdische Außenwände und Fenster

Abbildung 46: Status Quo der oberirdischen Außenwände im kleinen Gebäude – links, Foto Walser Fotografie, Hohenems und in einem weiteren Gebäude, Foto: Energieinstitut Vorarlberg

Während die Außenwände des kleineren Mustergebäudes aus Vollziegeln bestehen, wurden die des größeren Gebäudes – anders als in den Gutachten angenommen - nicht aus Vollziegeln, sondern aus Splittbetonsteinen errichtet.

Der Zustand der Außenwände beider Gebäude war dem Alter entsprechend gut. Putzschäden sind in der Siedlung nur an wenigen Stellen zu erkennen, in den beiden Mustergebäuden kaum.

Abbildung 47: Dübelausziehversuche an der Außenwand des größeren Gebäudes; Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Um die Eignung der Außenwand des größeren Gebäudes für die Befestigung der teilvorgefertigten Holz-Fassadenelemente zu überprüfen, wurden Dübelausziehversuche durchgeführt.

Die Fenster beider Gebäude wurden in den 80er Jahren ausgetauscht, die ursprünglichen, einfachverglasten Fenster wurden durch Holzfenster mit Rahmenprofil IV 68 und luftgefüllter-Zweifachverglasung ersetzt.

Abbildung 48: Fenster ohne außenliegenden Sonnenschutz im kleinen Gebäude – links, Foto: Energieinstitut Vorarlberg und mit Sonnenschutz im großen Gebäude, Foto: Rhomberg Bau GmbH

Im kleinen Gebäude hat nur die Dachgeschoßwohnung einen außenliegenden Sonnenschutz. Im großen Gebäude verfügen alle Wohnungen über Rollläden, die beim Fensteraustausch in den 80er Jahren nachgerüstet wurden.

3.3 Geschoßdecken

Abbildung 49: kleines Gebäude: Geschoßdecke zwischen den Wohnungen, Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Die Geschoßdecken des kleinen Gebäudes wurden als Holzbalkendecken ausgeführt, die unterseitig auf Schilfmatten verputzt wurden. Oberseitig wurde ein Riemenboden direkt auf den Balken befestigt, die Balkenzwischenräume erhielten Schlacke-Schüttungen. Das Schwingungsverhalten wird im Bauphysik-Gutachten als gut bezeichnet, der Schallschutz als mangelhaft. Die Decken des großen Gebäudes über dem Erdgeschoß und dem 1. Obergeschoß wurden in Stahlbeton ausgeführt.

3.4 Dachgeschoß

Die oberste Geschoßdecke des kleinen Gebäudes ist als Holzbalkendecke ausgeführt.

Abbildung 50: oberste Geschoßdecke im kleinen Gebäude (links), Foto Rhomberg Bau GmbH; Sparren und oberste Geschoßdecke im kleinen Gebäude, Foto Energieinstitut Vorarlberg

Die Geschoßdecke über dem 2. Obergeschoß des kleinen Gebäudes war nicht, wie zunächst vermutet, aus Stahlbeton, sondern als Ziegeldecke ausgeführt. Gemäß Gutachten sind die obersten Geschoßdecken je nach Nutzung statisch zu verstärken.

Die Dachstühle wurden gemäß Statik-Gutachten als verschiebliche Kehlbalkendächer mit Sparrendimensionen von 5 * 18 cm und einem Sparrenabstand von ca. 70 cm ausgeführt [Brugger 2021].

Abbildung 51: Dachstuhl großes Gebäude, Fotos: Energieinstitut Vorarlberg (links), Rhomberg Bau GmbH

Die Abbildungen vermitteln einen Eindruck vom statischen System und der sehr materialsparenden Dimensionierung. Laut Gutachten ist der Dachstuhl jedenfalls zu erneuern und sollte nur auf die Außenwände und tragfähige Mittelwände ablasten.

Abbildung 52: Dachstuhl großes Gebäude, Fotos: Energieinstitut Vorarlberg (links), Rhomberg Bau GmbH

Die sehr materialsparende Dimensionierung der Sparren ist auch in Abbildung 31 erkennbar. Wie auf dem rechten Foto erkennbar, ist auch die Dachdeckung in einem schlechten Zustand.

Die Giebelwände im DG sind wie die Wände der darunterliegenden Geschosse ausgeführt.

3.5 Treppenhaus und Türen

Abbildung 53: Treppenhaus im kleinen Gebäude – links, Foto: Rhomberg Bau GmbH und im großen Gebäude Foto: Walser Fotografie, Hohenems

Die Treppe im kleineren Gebäude wurde als eingestemmte Holztreppe ausgeführt, die des größeren Gebäudes als Massivtreppe.

Die Wohnungen verfügen zum größeren Teil über Holz-Eingangstüren ohne definierte Feuerwiderstandsklasse. Gemäß Brandschutz-Gutachten sollten diese – sofern sie erneuert werden – durch Feuerschutztüren EI_2 30-C bzw. EI_2 30 ersetzt werden. Die Treppenhäuser sollten durch Feuerschutztüren EI_2-C vom Keller getrennt werden [Künzle 2021].

3.6 Heizung und Warmwasser

Die Beheizung beider Mustergebäude erfolgt wie die aller anderen Gebäude der Siedlung wohnungsweise. Dabei wurden sehr viele unterschiedliche Systeme eingesetzt, da die Auswahl des Heizsystems individuell durch die jeweiligen Mieter erfolgte. In vielen Wohnungen werden mehrere unterschiedliche Heizsysteme kombiniert. Zur Warmwasserbereitung werden in allen Wohneinheiten Elektro-Boiler eingesetzt. Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch einige der eingesetzten Heizsysteme sowie einen Elektro-Warmwasserboiler.

Abbildung 54: Beispiele der eingesetzten Heizsysteme sowie Elektro-Warmwasserboiler (Foto: Energieinstitut Vorarlberg)

Die Status-quo-Analyse der Heizsysteme erfolgte wohnungsweise, im Rahmen der Analyse wurde auch die Platz-Verfügbarkeit für Heizkörper an Außen- und Innenwänden raumweise überprüft. Abbildung 55 zeigt die anonymisierte Darstellung des Status Quo für die Heizung einer Wohnung im kleinen Gebäude.

SüdSan - Bestandsaufnahme

Gebäude	19
Top	

Heizung

Wärmebereitstellung Heizung

#	Auswahl	bzw. Sonstiges	Raum	Position	Größe (B/H/T) [cm]	Nennleistung [kW]
HZ1	Nachtspeicherofen	-	Zimmer 3	Innenwand Zimmer 3 zu Stiegenhaus	105/60/25	nicht ersichtlich
HZ2	Infrarotpaneel	-	Zimmer 3	Innenwand Zimmer 3 zu Stiegenhaus	2x 60/90	nicht ersichtlich
HZ3	Nachtspeicherofen	-	Zimmer 2	Innenwand Zimmer 2 zu Zimmer 3	85/60/25	nicht ersichtlich
HZ4	Nachtspeicherofen	-	Zimmer 1	Außenwand Zimmer 1 Südost	65/60/25	nicht ersichtlich
HZ5	Infrarotpaneel	-	Bad	Innenwand Bad zu Zimmer 1	60/60	nicht ersichtlich

Platzverfügbarkeit Heizkörper außen (12a) bzw. Heizwände innen (19)

#	Raum	Geplante Position möglich?	Beschreibung eventueller Einschränkungen	Alternativposition	Abstand zu Wand links/Decke [cm]	Platzverfügbarkeit (B/H/T) [cm]	Platz für Zuluftventil unterhalb möglich?
HW1	Küche	ja				50/240/10	innenliegende Heizwand
HW2	Zimmer 3	ja				65/240/10	innenliegende Heizwand
HW3	Zimmer 2	ja				80/240/10	innenliegende Heizwand
HW4	Zimmer 1	ja				80/240/10	innenliegende Heizwand
HW5	Bad	nein	Bad wird saniert, Dusche kommt an diese Position.	Innenwand Bad zu Stiegenhaus	155/10	60/240/10	innenliegende Heizwand

Platzverfügbarkeit Deckenheizung kritische Räume

Keine kritischen Räume

Abbildung 55: Status Quo-Erhebung der Wärmebereitstellung Heizung einer Wohnung im kleinen Gebäude sowie Platzverfügbarkeit für Heizkörper an Außen- und Innenwänden (Energieinstitut Vorarlberg)

Bei der Status Quo-Analyse konnten im kleinen Gebäude vier der fünf Wohneinheiten, im Großen 8 von 10 Wohneinheiten aufgenommen werden.

In der folgenden Aufstellung sind die Systeme zur Beheizung der Wohnungen beider Gebäude beschrieben, zur Anonymisierung wurden den einzelnen Wohnungen die Namen von Baumarten zugeordnet.

Kleines Gebäude:

Linde (1 Bewohner): 3 Elektrospeicheröfen (Zimmer 1 bis 3) + Strom (Infrarot), Zimmer 3 und Bad

Weide (3 Bewohner): Stückholz, Aufstellort Zimmer 4; sonstige Zimmer nur indirekt beheizt

Pappel (2 Bewohner): Strom (Infrarot) in allen Räumen außer Bad

Douglasie (4 Bewohner): Strom (Infrarot) in allen Räumen inkl. Bad

In zwei der vier aufgenommenen Wohnungen war das Bad nicht direkt beheizt.

Großes Gebäude

Ahorn (1 Bewohner): Stückholzofen, Kohle; Aufstellort: Küche/Wohnen

Eiche (1 Bewohner): Stückholzofen, Aufstellort: Zimmer 1, zusätzlich Infrarot im Bad

Birke (1 Bewohner): Stückholzofen, Aufstellort Küche/Wohnen; zusätzlich: Strom (Radiatoren), Strom (Infrarot) in Zimmer 1, Zimmer 2 und Bad

Tanne (1 Bewohner): Pelletofen, Aufstellort Zimmer 2, Strom (Radiatoren), Strom (Infrarot) im Bad

Fichte (1 Bewohner): zwei Elektro-Speicherheizungen Aufstellorte: Kochen/Wohnen sowie Zimmer 1, Elektroradiator in Zimmer 2

Esche (1 Bewohner): Pelletofen, Aufstellort Küche/Wohnen, Strom (Radiator) in Zimmer 2

Buche (1 Bewohner): Stückholz, Strom (Radiatoren)

Kastanie (1 Bewohner): Stückholz, Aufstellort Zimmer 1, Strom (mobiler Radiator) in Zimmer 2, Strom (mobiles Infrarotpanel) in Küche/Wohnen

Erle (3 Bewohner): Stückholzofen Aufstellort Zimmer 2, in Eigenregie errichtetes Verteilsystem mit Heizkörpern in Zimmer 1, Zimmer 2, Flur und Bad; zusätzliches Infrarotpanel im Bad

Einige Zimmer, vor allem bei den Wohnungen mit Einzelraumöfen mit Stückholz, Kohle oder Pellets wurden nur indirekt über die angrenzenden Zimmer geheizt.

In fünf der acht aufgenommenen Wohnungen war das Bad nicht direkt beheizt.

Die Anteile der einzelnen Heizsysteme in den Mustergebäuden sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

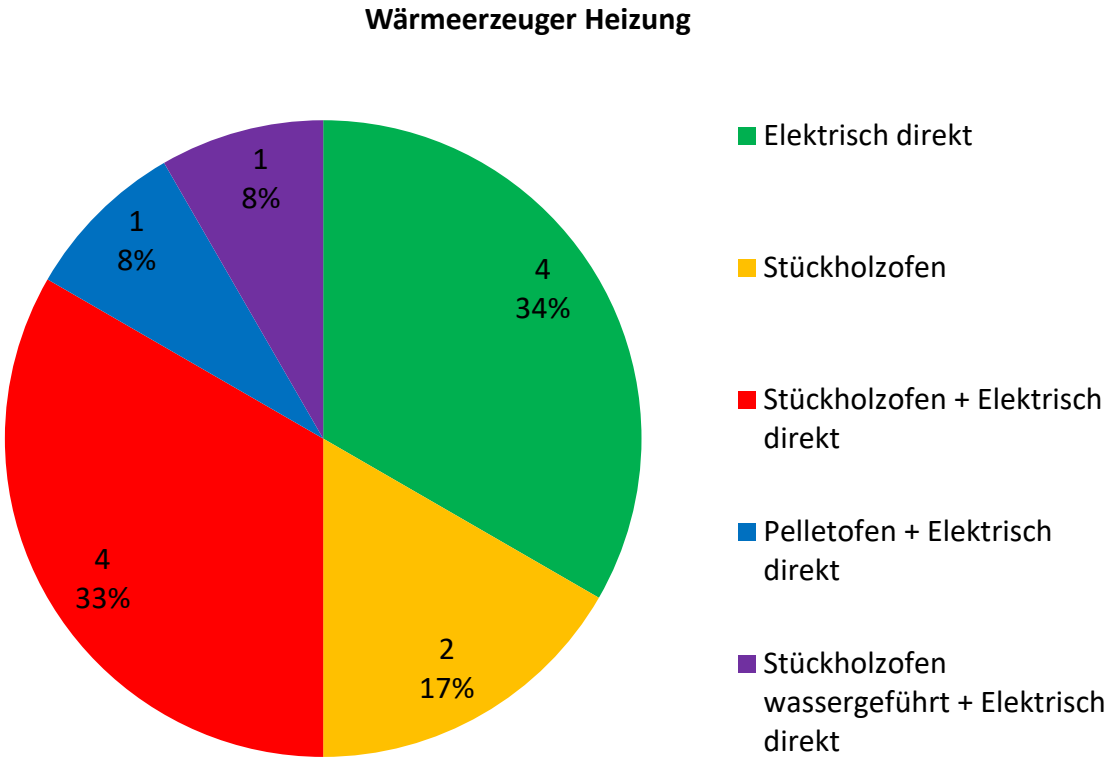

Abbildung 56: Status Quo der Wärmebereitstellung Heizung in den 12 aufgenommenen Wohnungen im kleinen und im großen Gebäude (Energieinstitut Vorarlberg)

In der Gesamtsiedlung gibt es nach einer Aufstellung der Alpenländischen über die bereits dargestellten Beheizungsmöglichkeiten hinaus u.a. die folgenden Systeme:

- Ölradiator
- Ölradiator + Kohleofen
- Ölradiator + Elektroradiator / Infrarot-Paneel
- Ölradiator + Stückholzofen
- Gasöfen (ca. 6 Wohneinheiten)

Zur Warmwasserbereitung wurden in allen Wohnungen beider Mustergebäude elektrische Boiler eingesetzt. Der Speicherinhalt lag im kleinen Gebäude bei 80, 100 oder 120 Litern pro Bad, die Nennleistung bei 1,8 bis 3,2 kW.

Im großen Gebäude lag die Speichergröße wo erkennbar zwischen 106 und 120 Litern, die Nennleistung bei 2 bis 3,2 kW.

3.7 Elektroinstallation

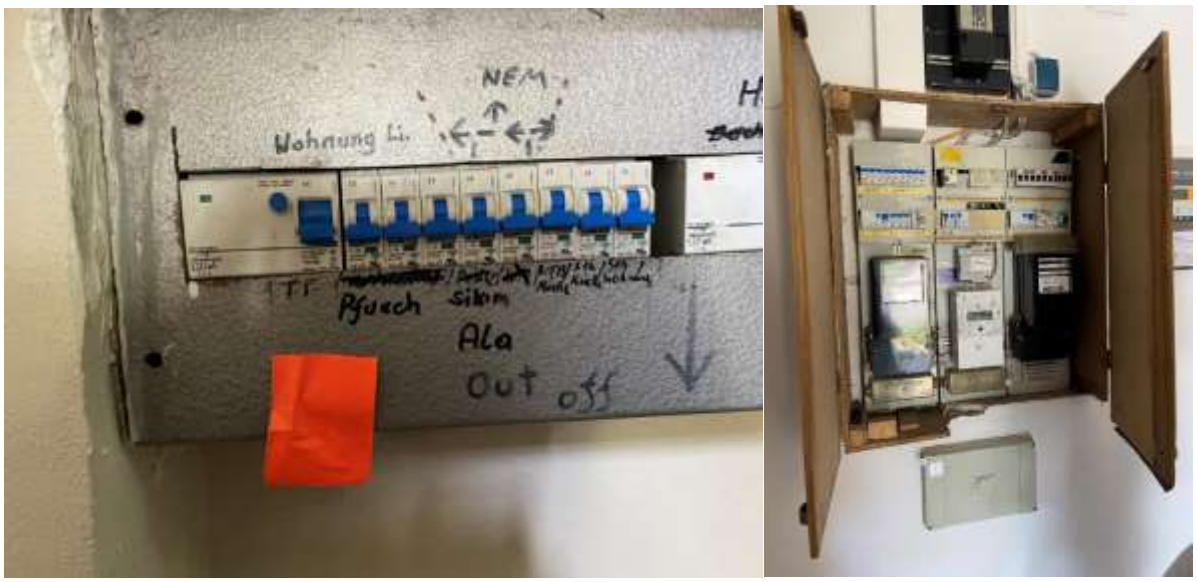

Abbildung 57: Impressionen vom Zustand der Elektroinstallation – Haus St. Antoniusstraße 34 – links und kleineres Mustergebäude (Fotos: Energieinstitut Vorarlberg, links und Rhomberg Bau GmbH, rechts)

Der Zustand der Elektroinstallation ist im kleineren Gebäude schlecht, lediglich in den (teil)sanierten Wohnungen wurde sie modernisiert.

3.8 Bäder / Wasser und Abwasser

Im kleineren Gebäude waren in den Wohnungen im Erdgeschoß und 1. Obergeschoß je 2 Bäder saniert und unsaniert.

Im größeren Gebäude waren die Bäder in 4 von 9 der Wohnungen unsaniert während sie in den anderen Wohnungen zwischen 2007 und 2017 saniert worden waren.

Die Wasser- und Abwasserleitungen beider Häuser wurden in Teilen bereits saniert, Teile waren noch im Originalzustand.

3.9 Thermische Behaglichkeit

Zur Einordnung der Energieverbräuche, der thermischen Behaglichkeit und der Raumluftqualität nach Sanierung wurden diese Aspekte im Rahmen eines Monitorings von September 2022 bis Mai 2023 an den unsanierten Gebäuden untersucht.

Die Ergebnisse sind in einem eigenen Bericht detailliert dargestellt [Wörl 2024] und werden nachfolgend kurz zusammengefasst. Auch die Ergebnisse der Mieterbefragung vor Sanierung werden kurz zusammengefasst.

Thermische Behaglichkeit des größeren Gebäudes

- Die mittlere Raumlufttemperatur von Oktober 2022 bis März 2023 liegt bei 17,9°C. Die Mittelwerte der einzelnen Wohnungen differieren in der genannten Periode stark und liegen in den meisten Wohnungen bei 16,5 bis 23,0°C. Zwei Wohnungen sind offensichtlich über längere Perioden unbewohnt und haben Mittelwerte von 13 bzw. 13,5°C.
- Die Raumluft-Temperaturen der Wohnung mit Elektrospeicherheizung sind während der gesamten Heizperiode relativ gleichmäßig.
- Die Raumluft-Temperaturen in den Wohnungen mit Einzelöfen liegen nach dem Anheizen im Aufstellraum bei bis zu 32°C und fallen aufgrund des sehr schlechten Wärmeschutzes schnell auf Stundenmittelwerte bis etwa 15°C ab. Die Temperaturen der zum Teil nur indirekt beheizten Räume liegen niedriger.
- Die thermische Behaglichkeit in den Wohnungen mit Einzelöfen ist schlecht, es treten sehr viele Stunden mit deutlich zu hohen Raumlufttemperaturen und ebenfalls viele mit zu niedrigen Temperaturen auf.

Exemplarisch zeigt die folgende Abbildung den Verlauf der Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern des größeren Gebäudes während einer repräsentativen Winterwoche, in der die Außenlufttemperaturen zwischen etwa 5 und -6° lagen.

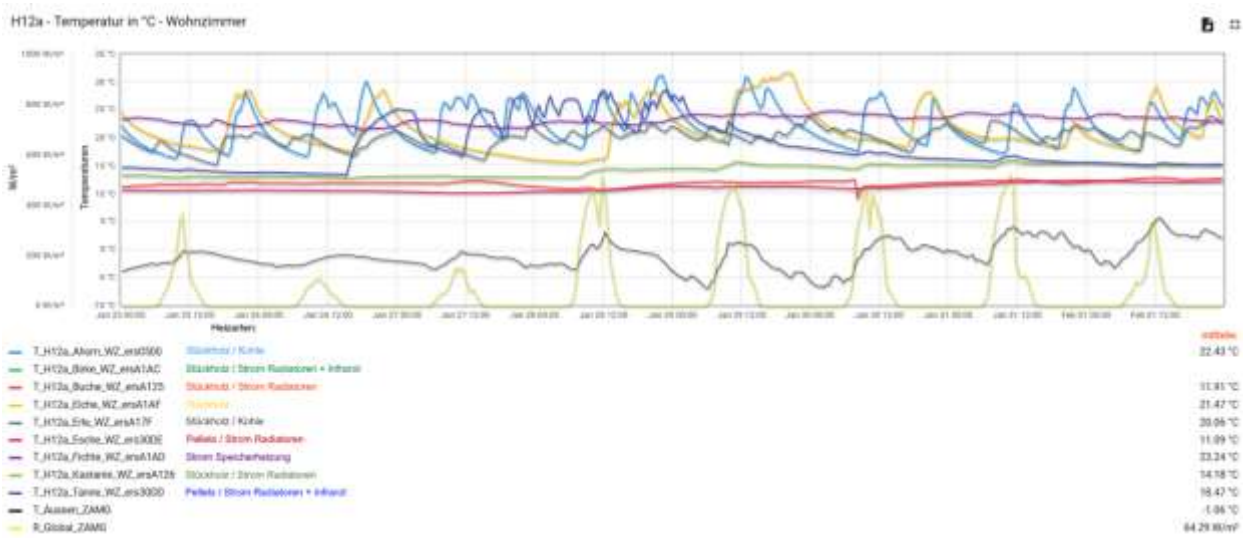

Abbildung 58: Großes Gebäude - Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern, typische Woche Winter 2022/23, Halbstundenmittelwerte [Wörl 2024]

Erkennbar ist der relativ konstante Temperaturverlauf der mit Elektrospeicherheizungen beheizten Wohnung (Fichte – lila Kurve). Im Gegensatz dazu weisen die Wohnungen mit Stückgutheizungen (Eiche (gelb) und Ahorn (hellblau)) deutlich ausgeprägtere Temperaturschwankungen auf. Diese werden in der folgenden Abbildung separat dargestellt.

Erkennbar ist auch, dass drei Wohnungen während der betrachteten Woche vermutlich unbewohnt waren. In diesen Wohnungen stellten sich Raumlufttemperaturen um etwa 10°C ein.

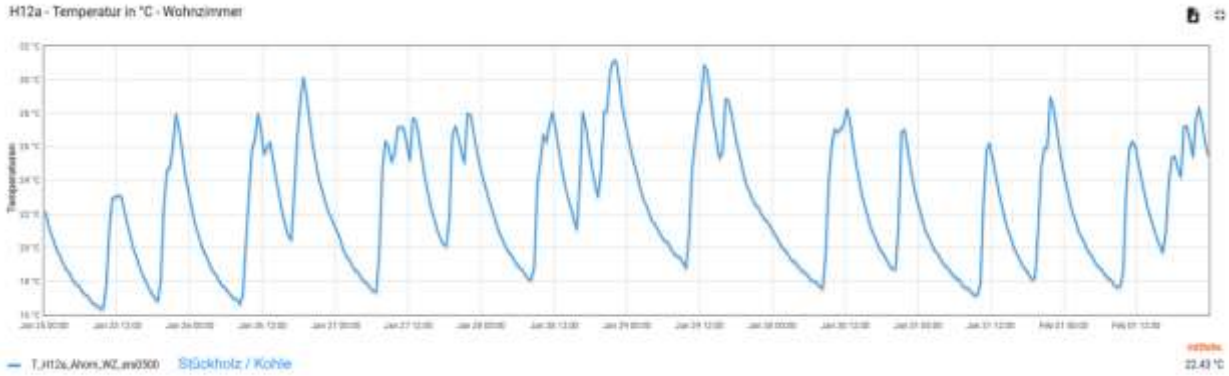

Abbildung 59: Großes Gebäude - Raumlufttemperatur im Wohnzimmer der Wohnung Ahorn, typische Winterwoche Ende Januar/Anfang Februar 2023, Halbstundenmittelwerte [Wörl 2024]

Nach dem Anheizen des Ofens am Vormittag steigt die Raumlufttemperatur im Aufstellraum rasch auf Werte von bis zu 31°C an. Da in den kleinen Räumen nicht oft nachgelegt wird, sinkt die Raumlufttemperatur innerhalb weniger Stunden auf Werte bis zu 16°C ab. Das signifikante Absinken der Raumtemperatur innerhalb eines solch kurzen Zeitraums ist auf die sehr schlechte energetische Qualität der ungedämmten Gebäudehülle zurückzuführen.

Da die übrigen Räume der Wohnung nur indirekt beheizt werden, liegen die Minimaltemperaturen dort nochmals niedriger als im Aufstellraum des Ofens.

Thermische Behaglichkeit des kleineren Gebäudes

- Die mittlere Raumlufttemperatur von Oktober 2022 bis März 2023 liegt mit 21,6°C deutlich höher als im größeren Gebäude.
- Die Mittelwerte der einzelnen Wohnungen differieren in der genannten Periode stark: In zwei der strombeheizten Wohnungen liegen sie in den Wohnzimmern meist in einem Bereich zwischen 22 und 25°C, in der dritten strombeheizten Wohnung bei 17 bis 18°C. In der Wohnung mit Stückholzheizung ist die Raumlufttemperatur über den gesamten dargestellten Zeitraum extrem hoch, so liegen etwa die Monatsmittelwerte für Januar und Februar bei mehr als 25 bzw. 28°C.
- Die Raumluft-Temperaturen in den Wohnungen mit Elektrospeicherheizung und Infrarotpanelen sind während der gesamten Heizperiode relativ gleichmäßig.
- Die Raumluft-Temperaturen in der Wohnung mit Einzelöfen liegen nach dem Anheizen im Aufstellraum bei bis zu 37°C und fallen aufgrund des sehr schlechten Wärmeschutzes schnell auf Stundenmittelwerte bis zu etwa 17°C ab.

- Die thermische Behaglichkeit in der Wohnung mit Einzelöfen ist schlecht, es treten sehr viele Stunden mit deutlich zu hohen Raumlufttemperaturen und ebenfalls viele mit zu niedrigen Temperaturen auf, da die Wärmeabgabe und –verteilung nicht regelbar ist.
- Sehr kritisch sind die hohen relativen Feuchten im Keller im Sommer mit Werten von bis zu 77%. Bei derartigen Werten besteht die Gefahr von Schimmelschäden.

Die Messwerte der Raumlufttemperaturen bestätigen das Ergebnis der Bewohnerbefragung vor Sanierung, in der ¾ der Bewohner die thermische Behaglichkeit im Winter als schlecht bezeichneten. Die thermische Behaglichkeit im Sommer wurde von 2/3 der Bewohner als schlecht bewertet.

3.10 Kaltmiete, Energieverbrauch und Energiekosten

Die monatliche Miete lag vor Sanierung bei 6,18 EUR/m^2_{WNF} für Mieter mit befristeten Mietverträgen und bei 4,18 EUR/m^2_{WNF} für Mieter mit unbefristeten Verträgen [Alp 2022]. In diesem Betrag sind der Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrag (EVB) sowie die Betriebskosten (außer den Energiekosten für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom) enthalten. In den beiden Mustergebäuden hatten nur noch zwei Mietparteien unbefristete Verträge.

Energieverbrauch und Energiekosten vor Sanierung

Im Zuge der Mieterbefragung vor Sanierung wurden auch die Stromverbräuche und die Energiekosten für Strom und Holz erfragt. Auf Basis der Angaben der Mieter konnten aus den folgenden Gründen keine belastbaren Abschätzungen des Endenergieverbrauchs für die verschiedenen Anwendungen vorgenommen werden:

- Ein großer Teil der Wohnungen verfügte über mehrere Heizsysteme - meist Biomasse in Kombination mit verschiedenen Arten elektrischer Heizsysteme.
- Der Stromverbrauch je Wohnung wird nur über einen Zähler gemessen, so dass keine Differenzierung nach Energieanwendung möglich war.
- Die Dachgeschoßwohnungen waren zum Zeitpunkt der Befragung schon leergezogen.
- Angaben zu Strom- und Holzverbrauch wurden nicht von allen Mietern zur Verfügung gestellt.
- Eine Interpretation der vorhandenen Verbrauchsdaten hat ohne Kenntnis des Nutzerverhaltens (Warmwasserverbrauch, mittlere Raumlufttemperaturen in der Heizperiode, längere Abwesenheiten der Mieter während der Heizperiode…) nur eine begrenzte Aussagekraft.

Eine Abschätzung des Endenergieverbrauchs auf Basis des Monitorings vor Sanierung ist nachfolgend dargestellt. Die Abschätzung wurde als PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung durchgeführt und bezieht sich auf die Gebäude inkl. je einer Dachgeschoßwohnung.

Sie stützt sich auf die folgenden Eingabegrößen, Monitoringergebnisse und Annahmen:

- U-Werte der Bauteile der Gebäudehülle

	größeres Gebäude	kleineres Gebäude
Bauteil	U-Wert	U-Wert
	W/(m²K)	W/(m²K)
AW Bestand	1,69	1,34
AW Giebel	1,69	1,81
oberste Geschoßdecke	2,24	0,66
Schrägdach über Wohnung	0,66	0,67
Fenster	2,89	2,89
Kellerdecke	1,25 (kleine Fläche: 0,49)	0,91
Hauseingangstüre	2,00	2,00

Tabelle 7: U-Werte der Bauteile der Gebäudehülle vor Sanierung – beide Gebäude

Angegeben sind jeweils die U-Werte der Hauptflächen jedes Bauteils, in den Berechnungen sind die U-Werte der Teilflächen unterschiedlicher energetischer Qualität separat berücksichtigt. Der U-Wert der Außenwand des größeren Gebäudes wurde sowohl rechnerisch, als auch durch U-Wert-Messung vor Ort ermittelt. Das Ergebnis der Messung vor Ort liegt mit 1,58 W/m²K geringfügig unter dem rechnerischen Wert.

- Mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode im kleinen Gebäude 21,6°, im Großen 18°C. Diese Werte entsprechen den Messwerten von Oktober 2022 bis März 2023.
- Die Anzahl der Bewohner lag inkl. der Dachgeschosswohnung bei 10 im kleineren und 10 im größeren Gebäude. Dies entspricht pro-Kopf-Wohnflächen von 57,2 m² im größeren und von 31,5 m² im kleineren Gebäude.
- Die mittlere Luftwechselrate (Fensterlüftung + Infiltration) wurde mit 0,26 h^{-1} angenommen. Dieser Wert stützt sich auf Messergebnisse zur Fensterlüftung in Mehrfamilienhäusern ohne mechanische Lüftungsanlage, für die in [Peper 2008] Werte zwischen 0,15 und 0,26 h^{-1} ermittelt wurden. Da das Monitoring vor Sanierung für die beiden SüdSan-Mustergebäude relativ niedrige CO_2-Konzentrationen in der Raumluft zeigt, wurde der obere in [Peper 2008] genannte Wert angenommen.
- Der pro Kopf-Warmwasserverbrauch wurde mit dem PHPP-Standardwert von 25 Liter/Tag (60°C) angenommen. Dieser Wert ist für Bestandsgebäude statistisch gut abgesichert [PHI 2015]. Aufgrund der unterschiedlichen Belegungsdichte der Wohnungen ergibt sich daraus ein unterschiedlicher flächenspezifischer Bedarf.

- Der spezifische Haushaltsstrombedarf wurde in Anlehnung an [Bittermann 2018] mit 22 kWh/(m^2_{WNF}a) im Großen und 26 kWh/(m^2_{WNF}a) im kleinen Gebäude angesetzt. Bei der Ermittlung wurde die dichtere Personenbelegung des kleinen Gebäudes berücksichtigt.

Energieverbrauch vor Sanierung - größeres Gebäude

In der folgenden Abbildung werden die Ergebnisse der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen für das größere Gebäude dargestellt, in denen zunächst der Heizwärmebedarf für drei mittlere Heizperioden-Raumlufttemperaturen berechnet wurde:

- 18°C (gemessenes, flächengewichtetes Heizperiodenmittel aller Wohnungen: 17,9°C)
- 20°C (Standardannahme PHPP)
- 23°C (Messwert einer rein elektrisch beheizten „Sandwichwohnung“, d.h. einer Wohnung, die links, rechts, oben und unten an andere Wohnungen grenzt und nur eine Außenfassade als Verlustfläche hat)

Bei den genannten mittleren Heizperioden-Raumlufttemperaturen ergeben sich die folgenden Werte des Heizwärmebedarfs:

- 18°C: 182 kWh/(m^2_{WNF}a)
- 20°C: 224 kWh/(m^2_{WNF}a)
- 23°C: 302 kWh/(m^2_{WNF}a)

Auf Basis der Werte des Heizwärmebedarfs wurde der $Endenergieverbrauch_{Heizung}$ für die folgenden Fälle ermittelt:

- Beheizung aller Wohnungen elektrisch direkt
- Beheizung aller Wohnungen mit Holzöfen

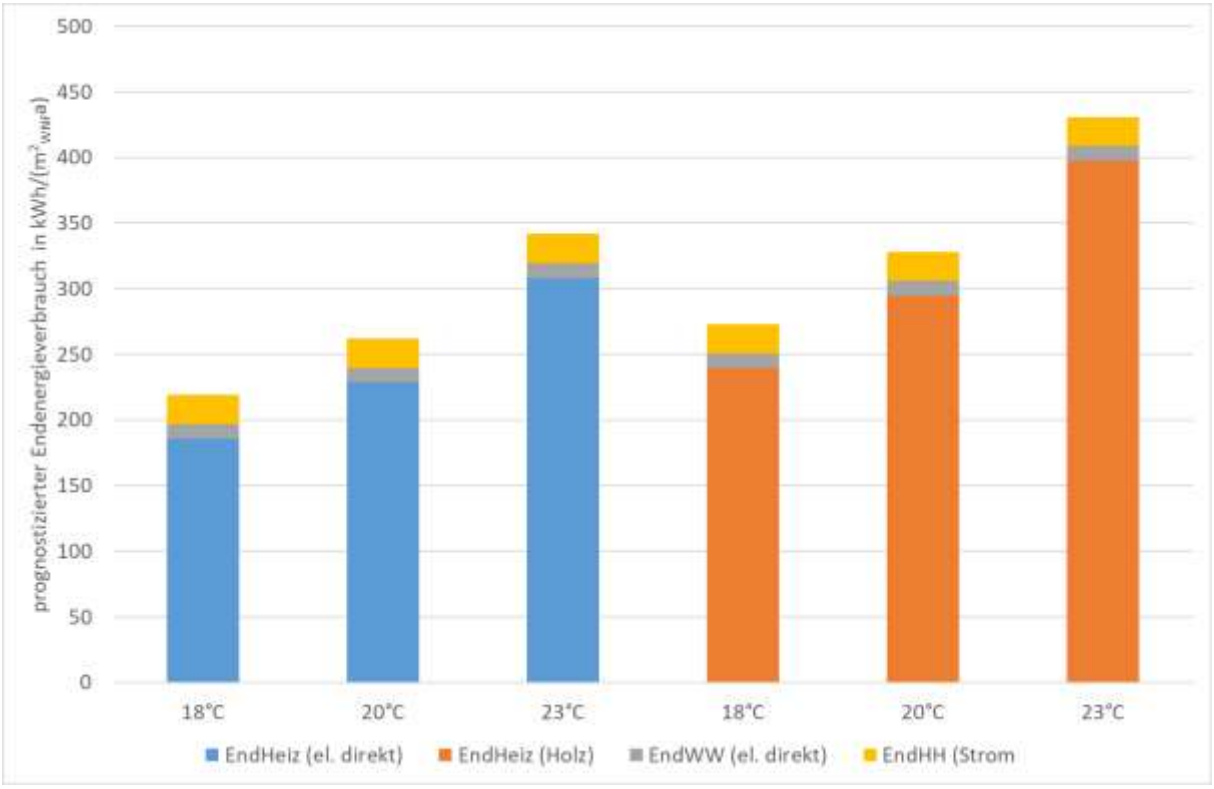

Abbildung 60: spezifischer Endenergieverbrauch des großen Gebäudes vor Sanierung gemäß Verbrauchsprognoseberechnungen PHPP unter Annahme unterschiedlicher Mittelwerte der Raumlufttemperatur in der Heizperiode für eine direkt-elektrische Beheizung aller Wohnungen und eine Beheizung aller Wohnungen über Holzöfen

Unter der Annahme, dass alle Wohnungen elektrisch direkt auf die gemessene mittlere Heizperioden-Raumlufttemperatur von 18°C beheizt würden, läge der Endenergieverbrauch-$_{Heizung}$ des größeren Gebäudes bei 186 kWh/(m^2_{WNF}a), bei einer Beheizung auf 20°C bei 229 kWh/(m^2_{WNF}a).

Würden alle Wohnungen elektrisch direkt auf die in der „Sandwichwohnung“ gemessene Temperatur von 23°C beheizt, so betrüge der Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ 308 kWh/(m^2_{WNF}a).

Würden die gleichen Temperaturniveaus mit Holzofenheizungen bereitgestellt, so läge der Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ bei 18°C bei 239 kWh/(m^2_{WNF}a), bei 20°C bei 295 kWh/(m^2_{WNF}a) bzw. bei 397 kWh/(m^2_{WNF}a) bei Annahme einer mittleren Raumlufttemperatur von 23°C.

Geht man von einer mittleren Temperatur von 20°C und einer Beheizung hälftig elektrisch direkt und mit Holz aus, so betrüge der Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ 261 kWh/(m^2_{WNF}a).

Der Endenergieverbrauch$_{Warmwasser}$ liegt bei der Belegung des Gebäudes mit 10 Personen bei etwa 11 kWh/(m^2_{WNF}a). Damit ergibt sich ein Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser von 261 + 11 = **272 kWh/(m^2_{WNF}a).**

Der Haushaltsstrombedarf kann bei der o.g. Personenbelegung auf 22 kWh/(m^2_{WNF}a) abgeschätzt werden.

Wie Vergleichsberechnungen für eine „Sandwichwohnung“ zeigen, weichen die Verbräuche der einzelnen Wohnungen lagebedingt erheblich von den genannten Mittelwerten ab: Der Endenergieverbrauch der Sandwichwohnung liegt im Vergleich zum Wert des Gesamtgebäudes bei etwa 1/3 [Wörl 2024].

Energieverbrauch vor Sanierung – kleineres Gebäude

In der folgenden Abbildung werden die Ergebnisse der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen für das kleinere Gebäude dargestellt, in denen zunächst der Heizwärmebedarf für die folgenden mittleren Heizperioden-Raumlufttemperaturen berechnet wurde:

- 18°C
- 20°C (Standardannahme PHPP)
- 21,6°C (gemessener, flächengewichteter Heizperioden-Mittelwert aller Wohnungen)

Bei den genannten mittleren Heizperioden-Raumlufttemperaturen ergeben sich die folgenden Werte des Heizwärmebedarfs:

- 18°C: 176 kWh/(m^2_{WNF}a)
- 20°C: 217 kWh/(m^2_{WNF}a)
- 21,6°C: 256 kWh/(m^2_{WNF}a)

Auf Basis der Werte des Heizwärmebedarfs wurde der $Endenergieverbrauch_{Heizung}$ für die folgenden Fälle ermittelt:

- Beheizung aller Wohnungen elektrisch direkt
- Beheizung aller Wohnungen mit Holzöfen

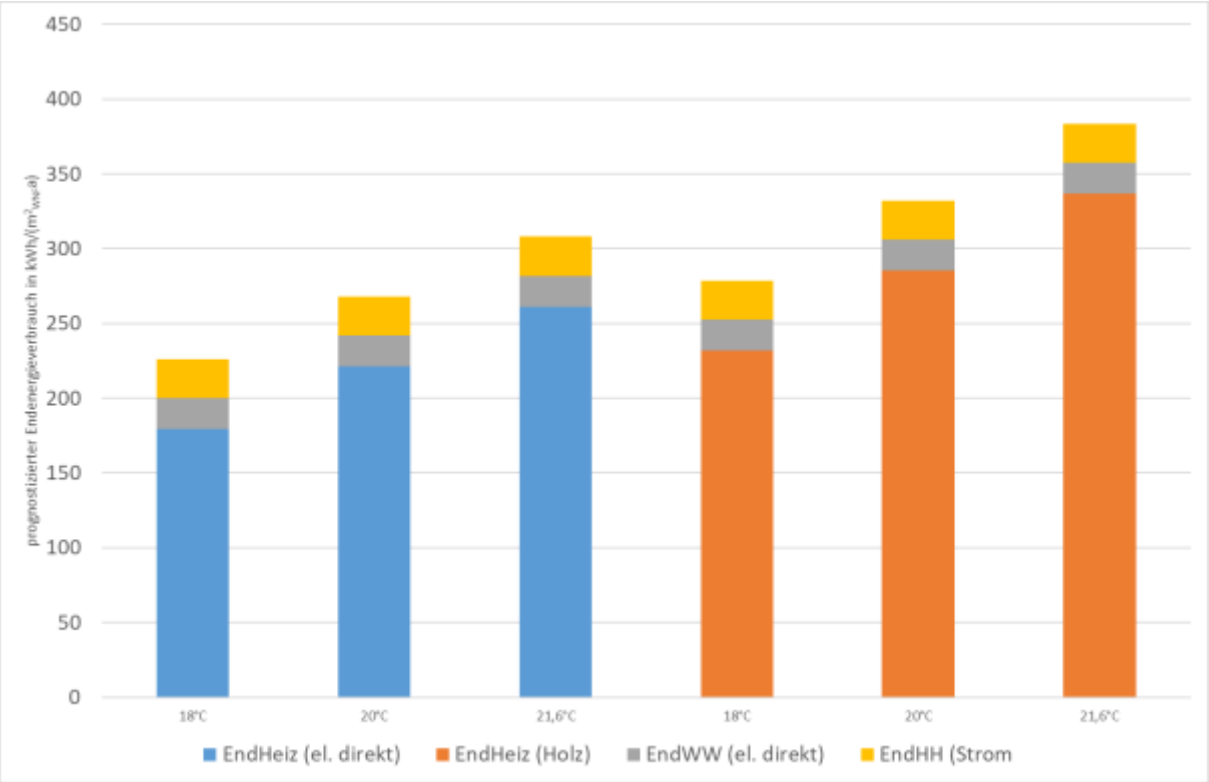

Abbildung 61: spezifischer Endenergieverbrauch des kleinen Gebäudes vor Sanierung gemäß Verbrauchsprognoseberechnungen PHPP unter Annahme unterschiedlicher Mittelwerte der Raumlufttemperatur in der Heizperiode für eine direkt-elektrische Beheizung aller Wohnungen und eine Beheizung aller Wohnungen über Holzöfen

Der Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ des kleineren Gebäudes liegt geringfügig unter dem des größeren Gebäudes, u.a., da die oberste Geschoßdecke teilweise gedämmt war.

Unter der Annahme, dass alle Wohnungen elektrisch direkt auf eine mittlere Heizperioden-Temperatur von 18°C beheizt würden, läge der Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ des kleineren Gebäudes bei 180 kWh/(m$^2_{WNF}$a), bei Beheizung auf 20°C bei 221 kWh/(m$^2_{WNF}$a)

Würden alle Wohnungen elektrisch direkt auf die vor Sanierung gemessene mittlere Heizperioden-Temperatur aller Wohnungen von 21,6°C beheizt, so wäre ein spezifischer Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ von 261 kWh/(m$^2_{WNF}$a) zu erwarten.

Würden die gleichen Temperaturen mit Holzofenheizungen bereitgestellt, so läge der Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ bei 18°C bei 232 kWh/(m$^2_{WNF}$a), bei 20°C bei 286 kWh/(m$^2_{WNF}$a) bzw. bei 21,6°C bei 337 kWh/(m$^2_{WNF}$a).

Geht man von einer mittleren Temperatur von 20°C und einer Beheizung hälftig elektrisch direkt und mit Holz aus, so betrüge der Endenergieverbrauch$_{Heizung}$, so läge der Endenergieverbrauch$_{Heizung}$ bei 253 kWh/(m$^2_{WNF}$a).

Der $Endenergieverbrauch_{Warmwasser}$ liegt bei der Belegung der Wohnungen mit 10 Personen bei etwa 21 kWh/(m^2_{WNF}a).

Der Endenergieverbrauch $_{Heiz+WW}$ liegt damit unter den o.g. Randbedingungen bei 253 + 21 = **274 kWh/(m^2_{WNF}a).**

Der Haushaltsstrombedarf kann bei der o.g. Personenbelegung auf 26 kWh/(m^2_{WNF}a) abgeschätzt werden.

Einordnung der Energieverbräuche

Zur Einordnung der Verbräuche der beiden Mustergebäude vor Sanierung werden diese nachfolgend mit gemessenen Endenergieverbräuchen für Heizung und Warmwasser größerer Mehrfamilienhausbestände in Vorarlberg und Deutschland verglichen.

Bei den Vergleichswerten handelt es sich ausnahmslos um Verbräuche von Gebäuden, deren Beheizung und Warmwasserbereitung über ein gemeinsames zentrales System erfolgt.

Die folgende Abbildung zeigt den gemessenen Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser von 359 gemeinnützigen Wohnanlagen in Vorarlberg mit insgesamt 6.560 Wohneinheiten. Es handelt sich um Mittelwerte der Verbräuche der Jahre 2018 bis 2020.

In allen Anlagen erfolgt die Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasserbereitung) zentral, dabei werden die Energieträger Öl, Erdgas, Fernwärme und Pellet eingesetzt.

Die Wohnanlagen wurden in den Jahren 1956 bis 2017 errichtet, der überwiegende Teil der älteren Gebäude ist zumindest teilsaniert.

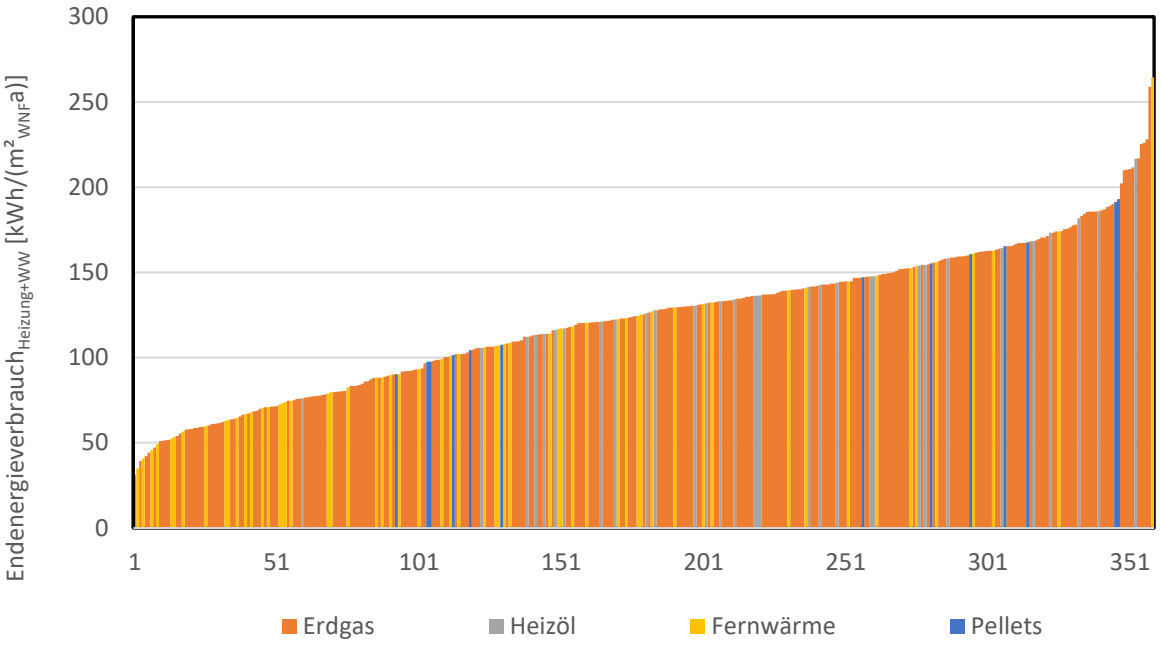

Abbildung 62: spezifischer Endenergieverbrauch$_{Heiz+WW}$ von 359 gemeinnützigen Wohnanlagen in Vorarlberg als Mittelwert der Jahre 2018 bis 2020 in kWh/(m$^2_{WNF}$a) [Roßkopf-Nachbaur 2022]

Die Endenergieverbräuche der 359 gemeinnützigen Wohnanlagen für Heizung und Warmwasserbereitung liegen zwischen etwa 35 und knapp 270 kWh/(m$^2_{WNF}$a).

Etwa 30% der Wohnanlagen haben Verbräuche von weniger als 100 kWh/(m$^2_{WNF}$a), ein großer Teil liegt im Bereich zwischen 100 und 150, etwa 25% darüber. Der flächengewichtete Mittelwert des Verbrauchs der Jahre 2018 bis 2020 liegt bei 121 kWh/(m$^2_{WNF}$a).

Der Endenergieverbrauch der beiden SüdSan-Mustergebäude liegt vor Sanierung mit knapp über 270 kWh/(m$^2_{WNF}$a) in der gleichen Größenordnung wie der Wert des schlechtesten zentralbeheizten Gebäudes im dargestellten Gebäudepark.

Die folgende Abbildung zeigt die von einem Energiekosten-Abrechnungsunternehmen ausgewerteten spezifischen Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser von 110.000 öl- und gasbeheizten Mehrfamilienhäusern in Deutschland über ihrem Baujahr [Greller 2010].

Die Linienzüge bezeichnen die Werte der schlechtesten 2%, der schlechtesten 10%, des Medians und der besten 10% des untersuchten Bestandes.

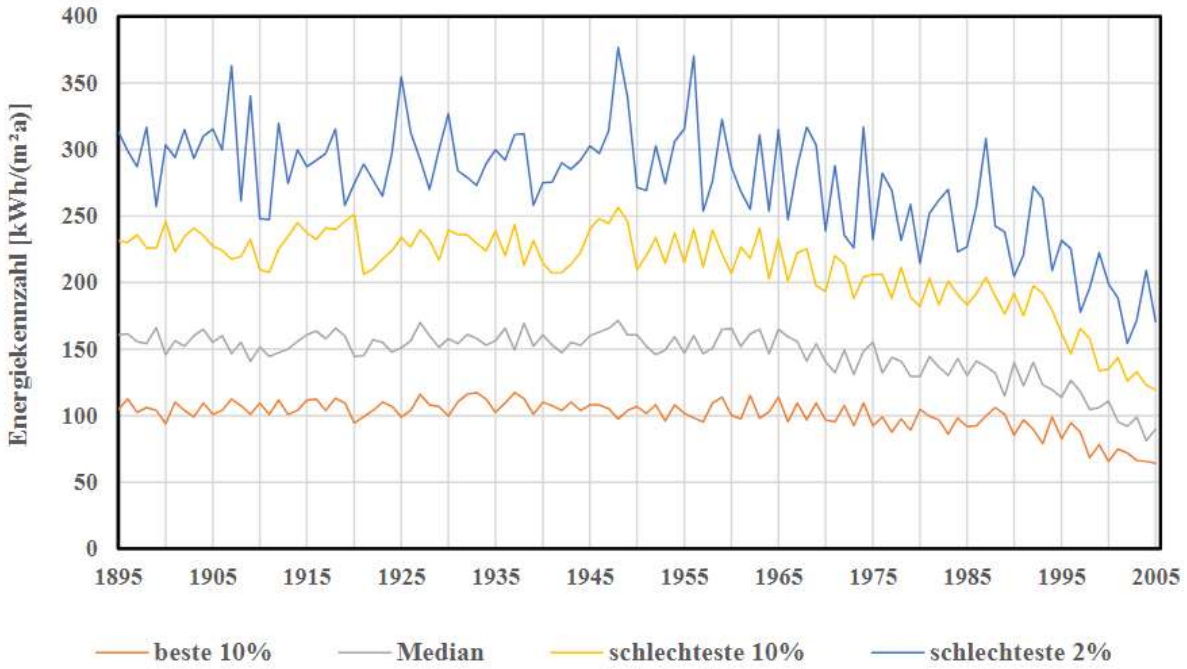

Abbildung 63: spezifischer Endenergieverbrauch$_{Heiz+ww}$ von 110.000 Mehrfamilienhäusern in Deutschland nach dem Gebäudebaujahr in kWh/(m$^2_{WNF}$a) [Greller 2010], grafische Bearbeitung: Energieinstitut Vorarlberg

Wie zu erkennen liegt der Median der gemessenen Endenergieverbräuche der Gebäude der Baujahre 1900 bis Mitte der 60er Jahre bei etwa 155 kWh/(m$^2_{WNF}$a).

Die Werte der schlechtesten 10% des dargestellten Bestandes liegen für die angegebenen Baujahre bei etwa 210 bis 250 kWh/(m$^2_{WNF}$a), die der schlechtesten 2% in einem Bereich von etwa 300 kWh/(m$^2_{WNF}$), Gebäude der unmittelbaren Nachkriegszeit auch merklich darüber.

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse einer weiteren statistisch gut abgesicherten Auswertung der realen Endenergieverbräuche von Mehrfamilienhäusern. Dargestellt ist die Häufigkeitsverteilung des spezifischen Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser von 78.400 Mehrfamilienhäusern mit knapp 1 Mio. Wohneinheiten in ganz Deutschland. Ausgewertet wurden Gebäude mit Öl-, Erdgas-, oder Fernwärmeheizung, die über eine gekoppelte Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser verfügen [Techem 2017].

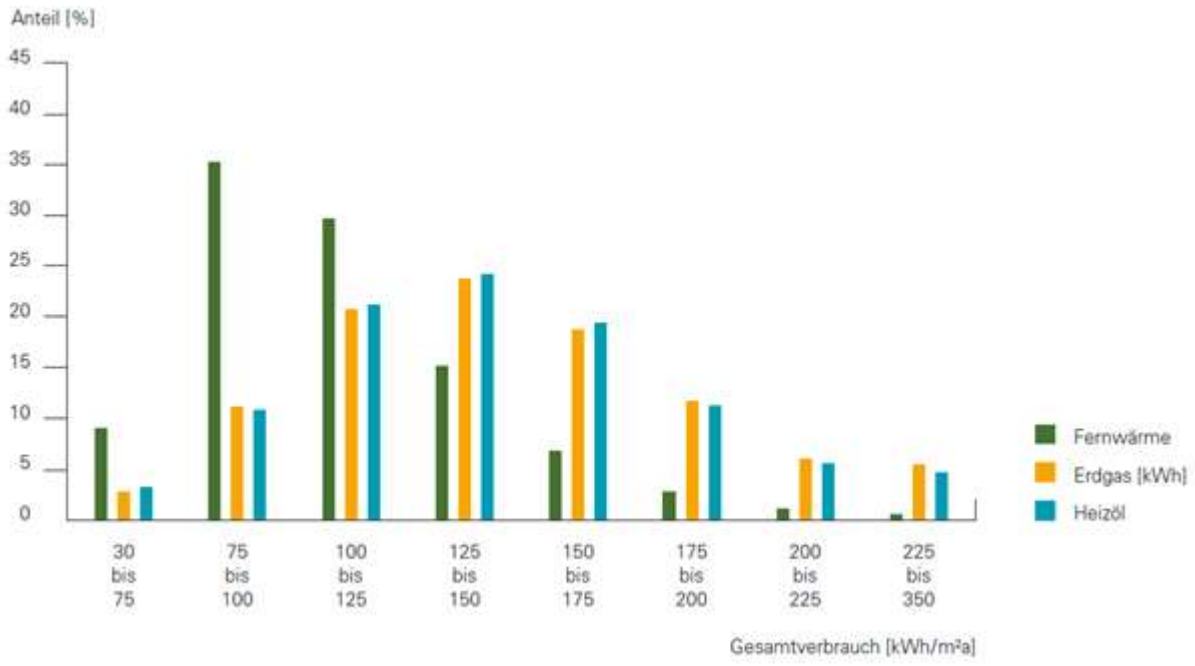

Abbildung 64: Häufigkeitsverteilung des spezifischen Endenergieverbrauchs$_{Heiz+WW}$ von 78.400 Mehrfamilienhäusern in Deutschland in kWh/(m^2_{WNF}a) [Techem 2017]

Wie zu erkennen, hat ein großer Teil der Mehrfamilienhäuser spezifische Verbräuche zwischen 100 und 175 kWh/(m^2_{WNF}a). Nur ein kleiner Anteil verzeichnet Verbräuche von weniger als 75 kWh/(m^2_{WNF}a). Etwa 10% bis 12% der gas- oder ölbeheizten Gebäude verbrauchen mehr als 200 kWh/(m^2_{WNF}a).

Im Mittel der analysierten Gebäude betrug der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser:

- ca. 140 kWh/(m^2_{WNF}a) für öl- oder gasbeheizte Gebäude
- ca. 105 kWh/(m^2_{WNF}a) für fernwärmeversorgte Gebäude

Die etwas geringeren Verbräuche der fernwärmebeheizten Gebäude sind damit zu begründen, dass nur die ans Gebäude übergebene Wärme abgerechnet wird, so dass Erzeugerverluste und Verluste außerhalb des Gebäudes nicht enthalten sind.

Wie der Vergleich mit den Verbrauchswerten der drei Samples mit hohen Anzahlen an Mehrfamilienhäusern zeigt, gehören die beiden Mustergebäude in der Südtirolersiedlung Bludenz mit ihrem Endenergieverbrauch$_{Heizung + WW}$ von etwa 270 kWh/(m^2_{WNF}a) zu den energetisch schlechtesten Mehrfamilienhäusern im deutschsprachigen Raum

Energiekosten vor Sanierung – großes Gebäude

Die folgende Abbildung zeigt die monatlichen Brutto-Energiekosten des größeren Gebäudes, die sich für die beiden untersuchten Beheizungsarten aus den o.g. Endenergieverbräuchen bei den drei unterschiedlichen Heizperioden-Mittelwerten der Raumlufttemperatur ergeben[33].

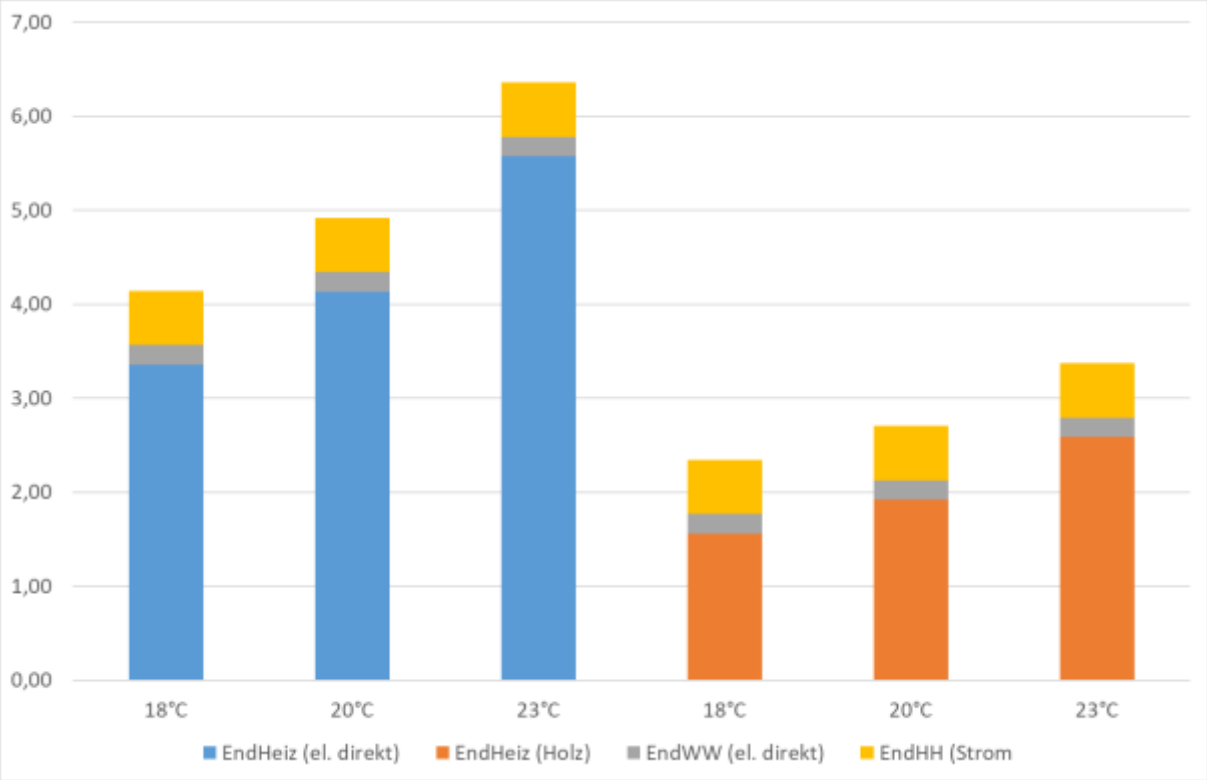

Abbildung 65: flächenspezifische, monatliche Brutto-Energiekosten des großen Gebäudes vor Sanierung gemäß Verbrauchsprognoseberechnungen PHPP unter Annahme unterschiedlicher Mittelwerte der Raumlufttemperatur in der Heizperiode für eine direkt-elektrische Beheizung aller Wohnungen und eine Beheizung aller Wohnungen über Holzöfen (in EUR/m²$_{WNF}$ pro Monat)

Die spezifischen Energiekosten des größeren Gebäudes liegen auch unter der Annahme einer mittleren Raumlufttemperatur von 18°C sehr hoch.

Selbst mit den vergleichsweise günstigen Strompreisen in Vorarlberg ergeben sich monatliche spezifische Kosten von 3,36 EUR/m²$_{WNF}$ für die elektrisch-direkte Beheizung, 0,21 EUR/m²$_{WNF}$ für die elektrisch-direkte Warmwasserbereitung und 0,58 EUR/m²$_{WNF}$ für den Haushaltsstrom.

[33] Die Angabe erfolgt in EUR/m²$_{WNF}$ pro Monat. In den Berechnungen wurde das aktuelle Energiepreisniveau in Vorarlberg zugrunde gelegt. Der Arbeitspreis für Strom beträgt inkl. aller Abgaben 21,7 ct/kWh (brutto), der Preis für Brennholz liegt inkl. Lieferung bei etwa 7,8 ct/kWh (brutto).

In Summe betragen die flächenspezifischen Energiekosten damit 4,14 EUR/m^2_{WNF} brutto pro Monat.

Unter Annahme einer mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur von 20°C betrügen die monatlichen Gesamt-Energiekosten 4,92 EUR/m^2_{WNF}, bei einer Temperatur von 23°C – wie sie in der „Sandwichwohnung“ gemessen wurde - lägen sie bei 6,36 EUR/m^2_{WNF}.

Würden die Wohnungen nur über Holzöfen beheizt, so ergäben sich monatliche flächenspezifische Gesamt-Energiekosten von 2,34 EUR/m^2_{WNF} bei 18°C, von 2,70 EUR/m^2_{WNF} bei 20°C und von 3,37 EUR/m^2_{WNF} bei 23°C.

Geht man von einer mittleren Raumlufttemperatur von 20°C und einer Beheizung jeweils hälftig elektrisch direkt und mit Holz aus, so betrügen die wohnflächenspezifischen, monatlichen Gesamt-Energiekosten 3,81 EUR/m^2_{WNF}.

Energiekosten vor Sanierung – kleines Gebäude

Die folgende Abbildung zeigt die monatlichen Brutto-Energiekosten des kleinen Gebäudes, die sich für die beiden untersuchten Beheizungsarten aus den o.g. Endenergieverbräuchen bei den drei unterschiedlichen Heizperioden-Mittelwerten der Raumlufttemperatur ergeben.

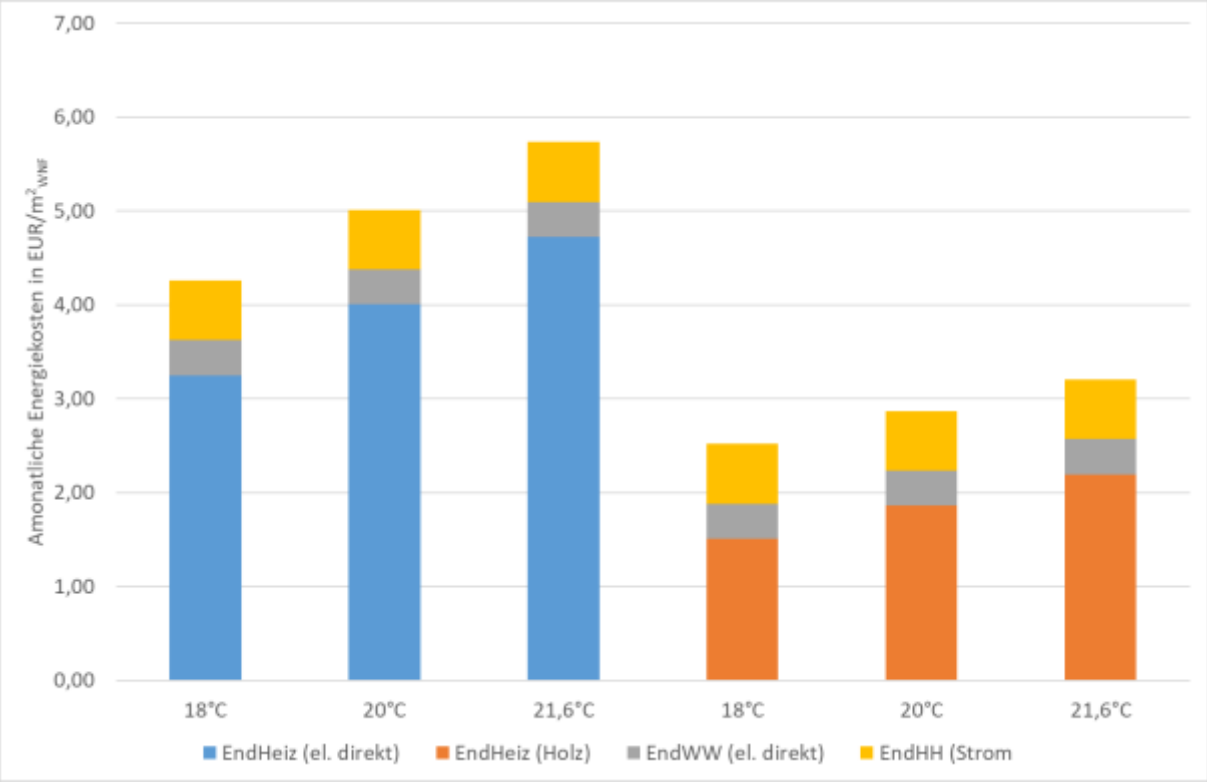

Abbildung 66: flächenspezifische, monatliche Brutto-Energiekosten des kleinen Gebäudes vor Sanierung gemäß Verbrauchsprognoseberechnungen PHPP unter Annahme unterschiedlicher Mittelwerte der Raumlufttemperatur in der Heizperiode für eine direkt-elektrische Beheizung aller Wohnungen und eine Beheizung aller Wohnungen über Holzöfen

Die spezifischen Energiekosten des kleineren Gebäudes liegen unter der Annahme einer mittleren Raumlufttemperatur von 18°C sehr hoch. Selbst mit den vergleichsweise günstigen Stromtarifen in Vorarlberg ergeben sich monatliche spezifische Kosten von 3,25 EUR/m^2_{WNF} für die elektrisch-direkte Beheizung, 0,37 EUR/m^2_{WNF} für die elektrisch direkte Warmwasserbereitung und 0,63 EUR/m^2_{WNF} für den Haushaltsstrom.

In Summe ergeben sich monatliche, flächenspezifische Energiekosten von 4,25 EUR/m^2_{WNF}.

Unter der Annahme einer mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur von 20°C lägen die Energiekosten in Summe aller Anwendungen bei 5,01 EUR/m^2_{WNF}, bei einer Temperatur von 21,6°C – wie im Mittel aller Wohnungen gemessen - bei 5,73 EUR/m^2_{WNF}.

Würden die Wohnungen nur über Holzöfen beheizt, so ergäben sich monatliche, spezifische Gesamt-Energiekosten von 2,52 EUR/m^2_{WNF} bei 18°C, von 2,87 EUR/m^2_{WNF} bei 20°C und von 3,20 EUR/m^2_{WNF} bei 21,6°C

Geht man von einer mittleren Raumlufttemperatur von 20°C und einer Beheizung jeweils hälftig elektrisch direkt und mit Holz aus, so betrügen die spezifischen, monatlichen Gesamt-Energiekosten 4,10 EUR/m^2_{WNF}.

„Warmmiete“ großes Gebäude inkl. Haushaltsstrom

Die folgende Abbildung zeigt die Warmmiete[34] des großen Gebäudes vor Sanierung für Mieter mit unbefristeten Verträgen in Abhängigkeit von der Art der Beheizung unter Annahme einer mittleren Raumlufttemperatur von 20°C.

Zum Vergleich ist ein Bereich für die Warmmiete gemeinnütziger Neubauten in Vorarlberg inkl. Haushaltsstrom dargestellt.

[34] Als Warmmiete wird im Folgenden die Miete inkl. der Kosten aller Energieanwendungen, d.h. inkl. des Haushaltsstroms bezeichnet. Die Einbeziehung der Kosten des Haushaltsstroms ist sinnvoll, da diese nach Sanierung durch die Nutzung von PV-Strom reduziert werden sollen.

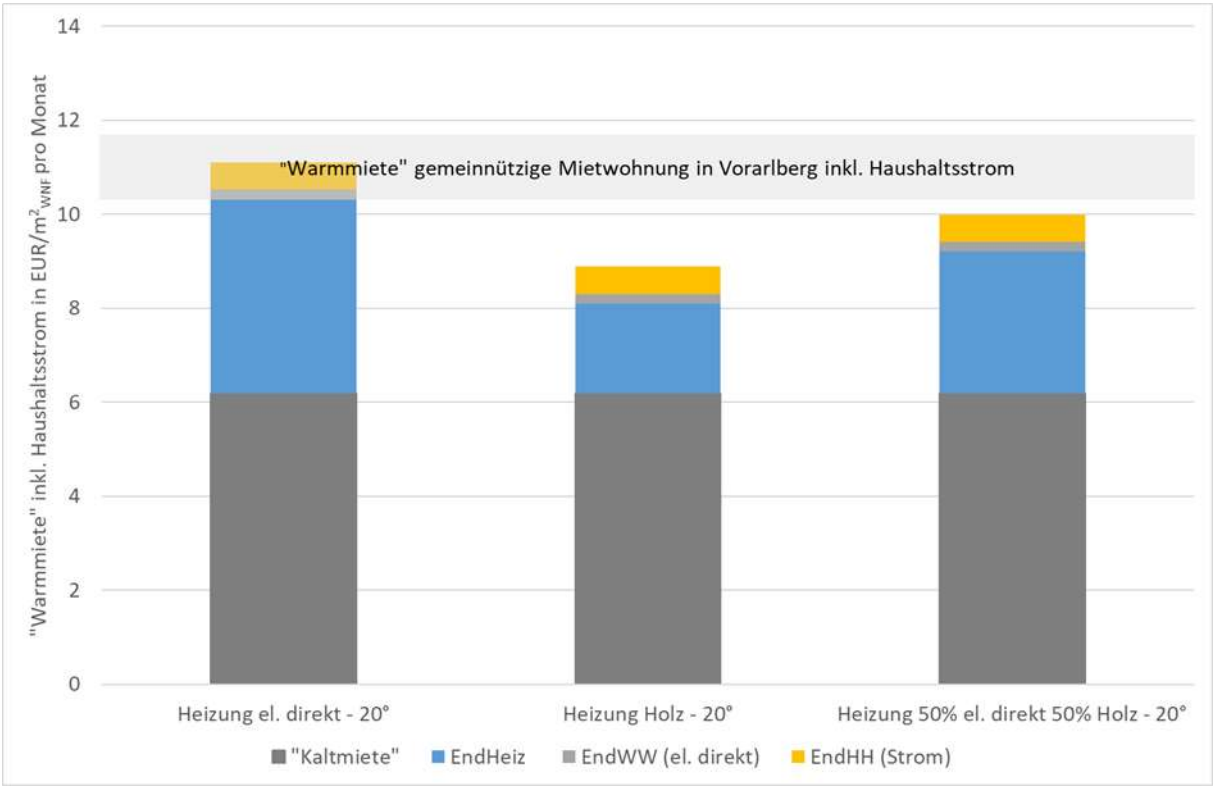

Abbildung 67: monatliche Warmmiete inkl. Haushaltsstrom für Mieter mit befristetem Mietvertrag in Abhängigkeit von der Art der Beheizung und unter Annahme einer mittleren Heizperioden-Raumluft-temperatur von 20°C – großes Gebäude; Vergleichskosten für gemeinnützige Neubauten in Vorarlberg

Die mittlere monatliche Warmmiete inkl. Haushaltsstrom läge für Mieter des großen Gebäudes mit befristeten Verträgen bei 11,10 EUR/m^2_{WNF}, wenn alle Wohnungen elektrisch direkt auf 20°C beheizt würden.

Für den Fall einer Beheizung aller Wohnungen über Holzöfen läge sie bei 8,88 EUR/m^2_{WNF}, unter der Annahme einer Beheizung zu 50% über Holzöfen und zu 50% elektrisch direkt bei 9,99 EUR/m^2_{WNF}.

Für die wenigen Mieter mit unbefristeten Verträgen lägen die Warmmiete um 2 EUR/m^2_{WNF} niedriger, d.h. bei 9,10 EUR/m^2_{WNF}a (el. direkt), 6,88 EUR/m^2_{WNF}a (Holz) bzw. 7,99 EUR/m^2_{WNF} (50% Holz/50% el. Direktheizung). Grund ist die niedrigere „Kaltmiete"".

Die Warmmiete inkl. Haushaltsstrom liegt damit für Mieter des großen Gebäudes mit befristeten Verträgen nur geringfügig unter dem Vergleichswert von Mietern in neu errichteten, gemeinnützigen Wohnanlagen in Vorarlberg. Im Fall der direkt-elektrischen Beheizung der unsanierten Gebäude liegen die Warmmieten inkl. Haushaltsstrom sogar gleich hoch wie im Neubau.

„Warmmiete“ kleines Gebäude inkl. Haushaltsstrom

Die folgende Abbildung zeigt die Warmmiete des kleinen Gebäudes vor Sanierung für Mieter mit unbefristeten Verträgen in Abhängigkeit von der Art der Beheizung unter Annahme einer mittleren Raumlufttemperatur von 20°C. Zum Vergleich ist ein Bereich für die Warmmiete gemeinnütziger Neubauten in Vorarlberg inkl. Haushaltsstrom dargestellt.

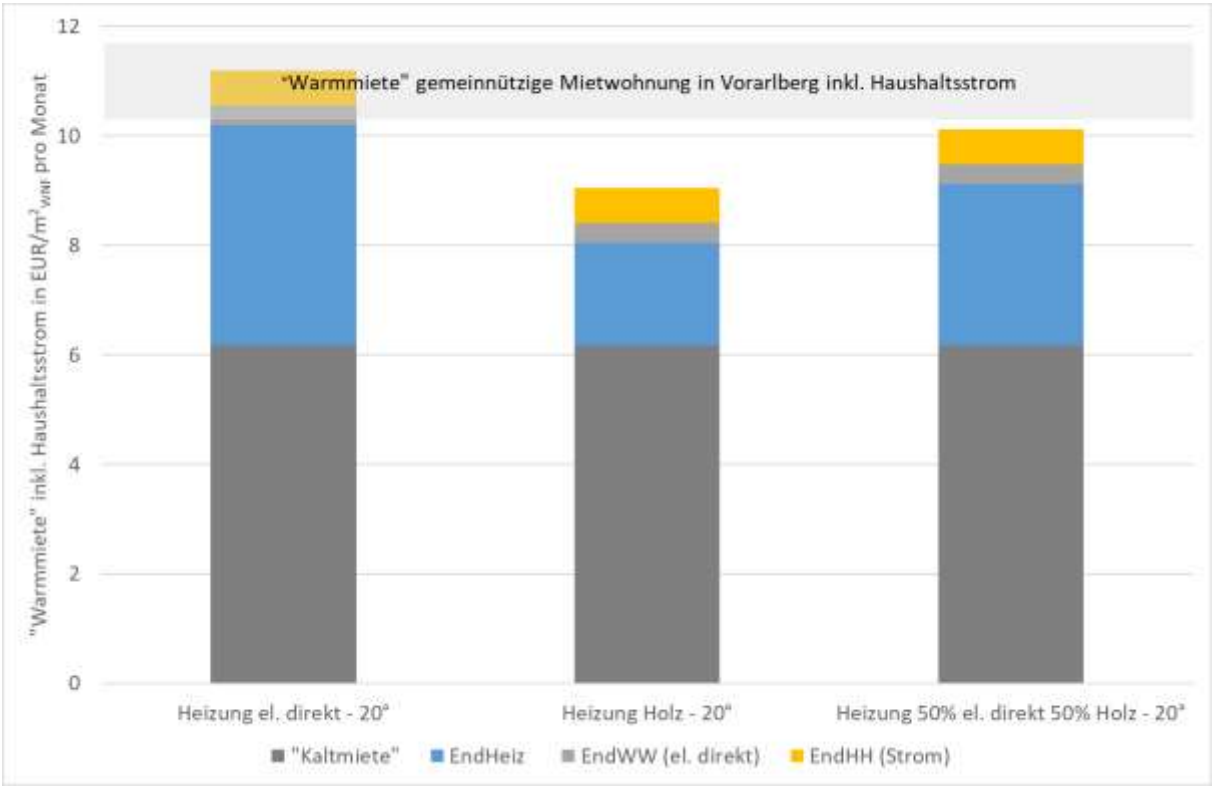

Abbildung 68: monatliche Warmmiete inkl. Haushaltsstrom für Mieter mit befristetem Mietvertrag in Abhängigkeit von der Art der Beheizung und unter Annahme einer mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur von 20°C – kleines Gebäude; Vergleichskosten für gemeinnützige Neubauten in Vorarlberg

Die mittlere monatliche Warmmiete inkl. Haushaltsstrom läge für Mieter des kleinen Gebäudes mit befristeten Verträgen bei 11,19 EUR/m$^2_{WNF}$, wenn alle Wohnungen elektrisch direkt auf 20°C beheizt würden.

Für den Fall einer Beheizung aller Wohnungen über Holzöfen läge sie bei 9,05 EUR/m$^2_{WNF}$, unter der Annahme einer Beheizung zu 50% über Holzöfen und zu 50% elektrisch direkt bei 10,12 EUR/m$^2_{WNF}$.

Für die wenigen Mieter mit unbefristeten Verträgen lägen die Werte um 2 EUR/m$^2_{WNF}$ niedriger, d.h. bei 9,19 EUR/m$^2_{WNF}$a (elektrisch direkt), 7,05 EUR/m$^2_{WNF}$a (Holz) bzw. 8,12 EUR/m$^2_{WNF}$ (50% Holz/50% elektrisch direkt). Grund ist die niedrigere „Kaltmiete“.

Die Warmmiete inkl. Haushaltsstrom liegt damit für Mieter des kleinen Gebäudes mit befristeten Verträgen im Bereich typischer Vergleichswerte für gemeinnützige Wohnanlagen in Vorarlberg oder relativ knapp darunter.

4 Untersuchte Sanierungsvarianten

Als Grundlage für die Planung der weiteren Siedlungsentwicklung wurden für beide Mustergebäude zunächst eine Vielzahl an Entwurfsvarianten verglichen. Nach der Entscheidung für die Entwurfsvarianten für beide Gebäude wurden Varianten in unterschiedlichen Energieniveaus und in unterschiedlicher ökologischer Qualität sowie mit unterschiedlichen Wärmeversorgungs-, Lüftungs- und Solarkonzepten detailliert geplant, modular ausgeschrieben und im Hinblick auf ihre Errichtungs- und Lebenszykluskosten sowie auf ihren Energiebedarf und ihre Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus verglichen.

Die Variantenuntersuchung dient der Beantwortung der folgenden Fragen:

- Wie hoch sind die Investitions- und Lebenszykluskosten der Sanierungsvarianten
- Welche Haupt-Kosteneinflussfaktoren können identifiziert werden?
- Wie hoch ist der Kosteneinfluss der energetischen und ökologischen Qualität?
- Wie hoch sind die Vergleichskosten der Variante Abriss und Ersatzneubau?

4.1 Entwurfsvarianten

Angesichts der hohen Nachfrage nach bezahlbarem Wohnraum wurde bei Projektstart entschieden, die Dachgeschosse beider Gebäude vollständig auszubauen und mit je zwei Wohnungen zu belegen. Eine Aufstockung der Gebäude kam aus gestalterischen Gründen nicht in Frage.

In Abstimmung mit dem Bundesdenkmalamt wurde eine Vielzahl an Entwurfsvarianten für die Dachgeschosse entwickelt, die sich in folgenden Aspekten unterschieden:

- mit und ohne Aufschiebling
- mit verschiedenen Formen und Größen von Gauben, ohne Gauben sowie mit unterschiedlichen Anzahlen und Platzierungen von Dachflächenfenstern
- mit verschieden hohen Kniestöcken oder ohne Kniestock
- mit verschiedenen Varianten der Dachgeschoss-Grundrisse und unterschiedlichen Fensterausbildungen in den Giebelwänden

Bei der Entscheidungsfindung wurden u.a. die folgenden Aspekte berücksichtigt:

- Gestaltung (Erhalt der Proportionen der Gebäude…)
- Nutzbarkeit der besser orientierten Dachhälfte für eine groß dimensionierte PV-Anlage
- Nutzbarkeit und Möblierbarkeit der Dachgeschoßwohnungen
- Auswirkungen auf die absoluten und die wohnflächenspezifischen Kosten

Die folgende Abbildung vermittelt einen Eindruck von der Systematik der Variantenuntersuchung für die Gestaltung des Dachgeschosses.

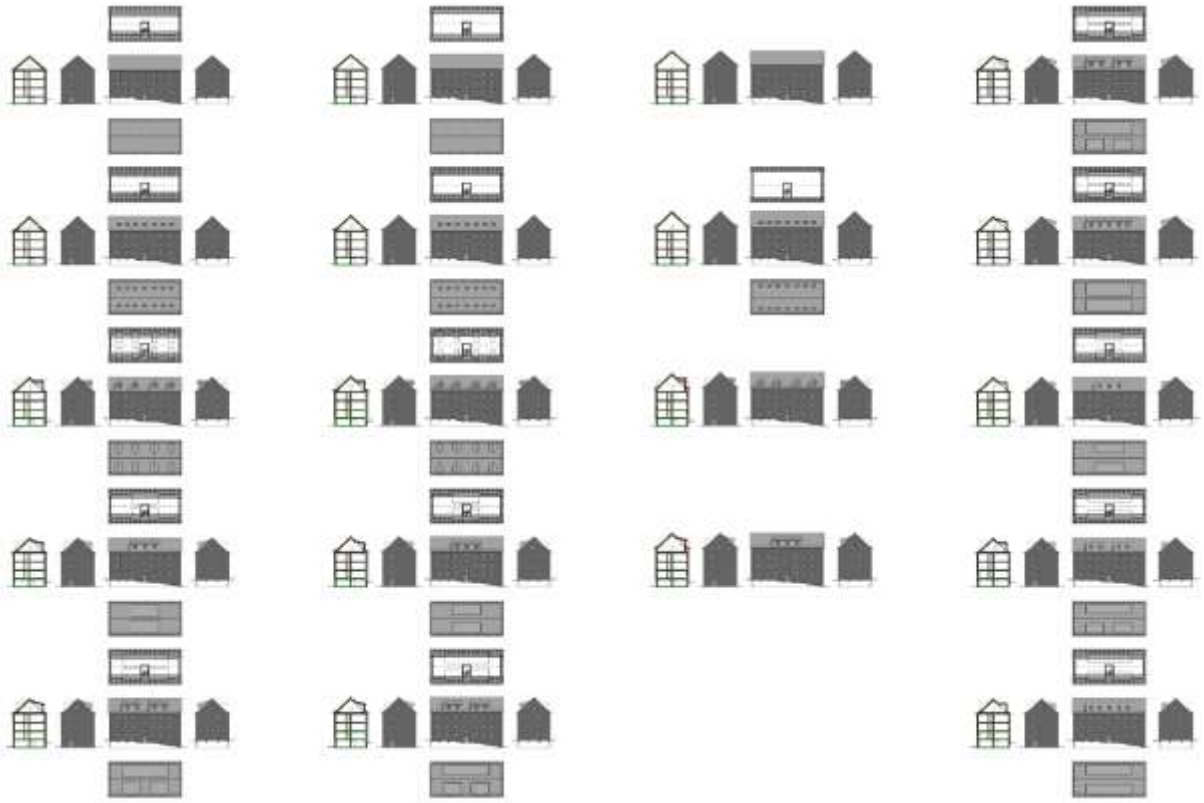

Abbildung 69: Entwurfsvarianten Dachgeschoß des großes Gebäude; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch einige Entwurfsvarianten mit und ohne Aufschiebling, mit verschiedenen Höhen des Kniestocks, mit und ohne Gaube sowie mit verschiedenen Gestaltungen der Fenster der Giebelseite.

Abbildung 70: Entwurfsvarianten Dachgeschoß großes Gebäude ohne Kniestock, mit und ohne Aufschiebling; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

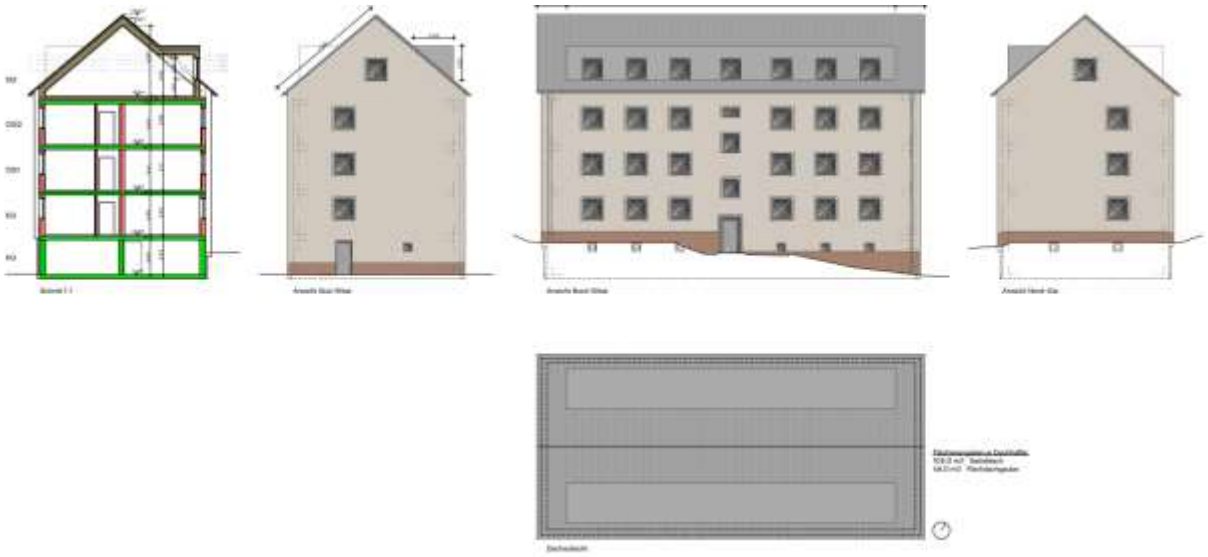

Abbildung 71: Entwurfsvarianten Dachgeschoß großes Gebäude ohne Aufschiebling und mit großer Flachdachgaube; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

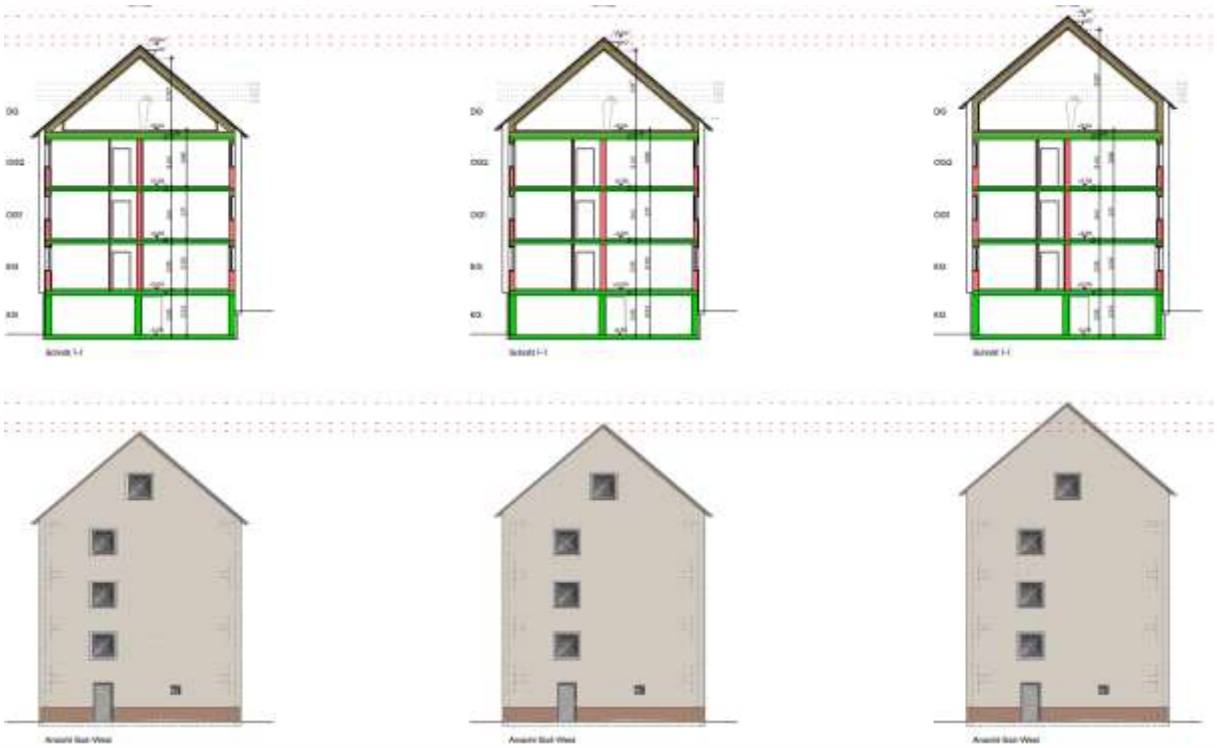

Abbildung 72: Entwurfsvarianten Dachgeschoß großes Gebäude ohne Aufschiebling, ohne Kniestock sowie mit zwei Kniestockhöhen; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Abbildung 73: Entwurfsvarianten für das Dachgeschoß des größeren Gebäudes ohne Aufschiebling, ohne Kniestock sowie mit zwei Kniestockhöhen; Johannes Kaufmann Architekten

In Abwägung der o.g. Kriterien fiel die Entscheidung für eine Ausführung des Dachgeschosses ohne Aufschiebling, mit niedrigem Kniestock, ohne Gauben, mit wenigen Dachflächenfenstern in der günstiger orientierten Dachhälfte sowie mit relativ großen Fenstern in den Giebelwänden.

Nach Auswertung der Angebote wurde durch den GU überprüft, ob ein Verzicht auf den Dachausbau (Dachraum unbeheizt, Dämmung über oberster Geschoßdecke) kostengünstiger realisierbar wäre. Die Überprüfung ergab, dass die wohnflächenspezifischen Kosten ohne Dachausbau nicht unter denen mit Dachausbau lägen.

4.2 Varianten der energetischen und ökologischen Hüllqualität

Nach der Entscheidung für die Entwurfsvarianten wurden für beide Gebäude zahlreiche Varianten der Ausführung der Gebäudehülle geplant und modular ausgeschrieben. Diese unterscheiden sich im Hinblick auf ihre energetische und ökologische Qualität.

Die energetische Qualität der Gebäudehülle wurde in mehreren Stufen zwischen der Mindest-HWB-Anforderung der OIB RL 6 (2019) für größere Renovierungen und den Anforderungen des Standards EnerPHit (Passivhaus für Bestandsgebäude) variiert[35]. Abbildung 74 zeigt die Werte des $HWB_{Ref,RK}$ der Realisierungsvarianten bei Berechnung nach OIB RL 6 (2019) im Vergleich zu den Mindestanforderungswerten einiger der untersuchten Standards.

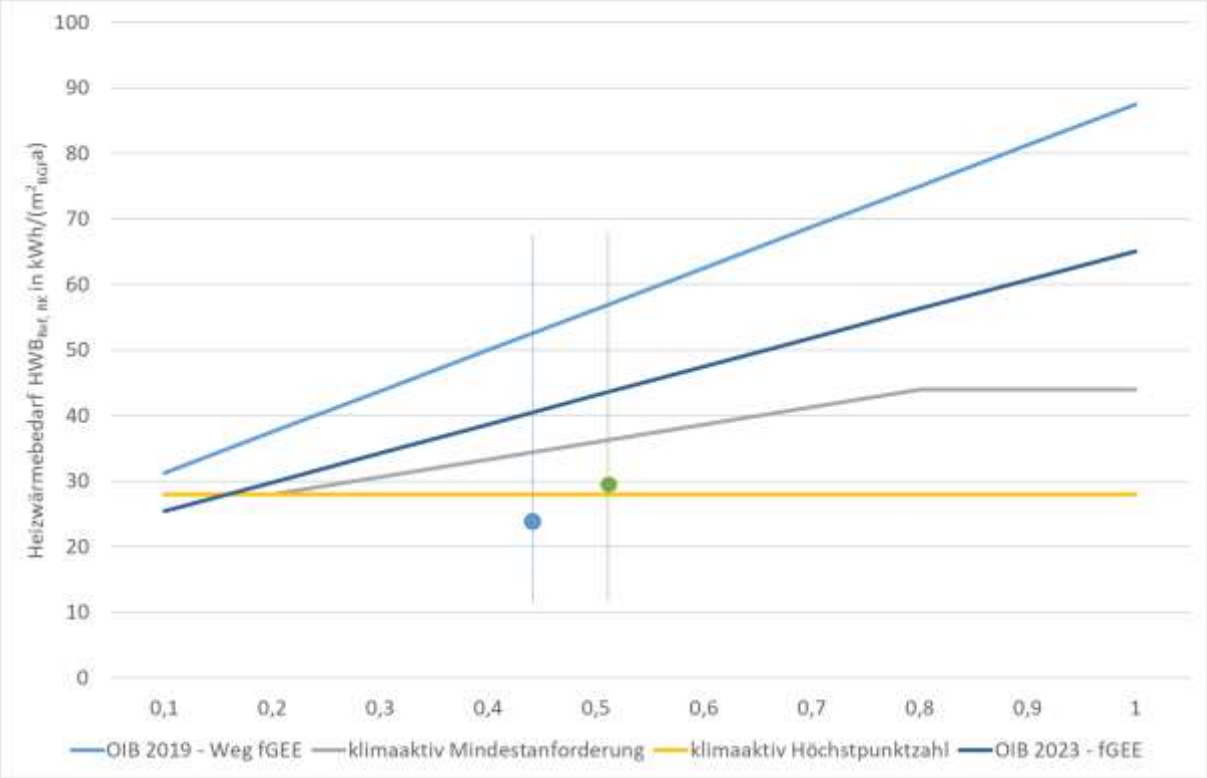

Abbildung 74: Werte des $HWB_{Ref, RK}$ der Realisierungsvarianten der zwei Mustergebäude im Vergleich zu den Mindestanforderungen einiger der untersuchten Standards bei Berechnung nach OIB RL 6 (2019)

[35] Die Anforderung des Standards EnerPHit an den Heizwärmebedarf beträgt 25 kWh/(m^2_{EBF}a) bei Berechnung mit PHPP. Das U-Wert-Ensemble wurde daher in PHPP-Berechnungen festgelegt. Zum Vergleich mit den anderen Standards wurde der Heizwärmebedarf $HWB_{REf, RK}$ der Variante in einem zweiten Schritt nach OIB RL 6 (2019) ermittelt.

Wie die Abbildung verdeutlicht, unterscheiden sich die A/V-abhängigen Mindestanforderungen der dargestellten Standards an den $HWB_{Ref, RK}$ sehr stark:

Für das große Gebäude mit einem A/V-Verhältnis von 0,44 liegt die Mindestanforderung der OIB Richtlinie 6 (2019) auf dem Nachweisweg f_{GEE} bei 52,5 kWh/(m^2_{BGF}a), die der OIB Richtlinie 6 (2023) bei 40,4 kWh/(m^2_{BGF}a). Die Mindestanforderung des klimaaktiv Kriterienkatalogs 2020 liegt bei 34,4 kWh/(m^2_{BGF}a), der Wert für die Höchstbepunktung im klimaaktiv-Katalog bei 28 kWh/(m^2_{BGF}a). Die Ausführungsvariante des Gebäudes erreicht 23,7 kWh/(m^2_{BGF}a).

Die Mindestanforderung gemäß der in der Abbildung nicht dargestellten Bautechnikverordnung Vorarlberg liegen mit 37,1 kWh/(m^2_{BGF}a) zwischen dem Anforderungsniveau der OIB RL 6 (2023) und dem der Mindestanforderung des klimaaktiv-Kriterienkatalogs. Die Anforderung der Wohnhaussanierungsrichtlinie Vorarlberg liegt bei 32,5 kWh/(m^2_{BGF}a) und damit zwischen klimaaktiv Mindestanforderung und der Anforderung für die klimaaktiv- Höchstbepunktung.

Die folgende Tabelle zeigt die U-Wert-Ensembles zum Erreichen der untersuchten Anforderungen im Vergleich mit dem Ensemble der Ausführungsvariante des größeren Gebäudes.

	OIB RL 6 (2019) 25er Linie	OIB RL 6 (2023) 21er Linie	klimaaktiv 2020 Mindestanforderung	Ausführungsvariante SüdSan
Bauteil	U-Wert	U-Wert	U-Wert	U-Wert
	W/(m^2K)	W/(m^2K)	W/(m^2K)	W/(m^2K)
AW Bestand	0,347	0,262	0,176	0,125
AW Giebel neu	0,116	0,116	0,116	0,083
Schrägdach	0,138	0,138	0,138	0,131
Fenster	Uw: 1,39	Uw: 1,29	Uw: 1,29	Uw: 0,9
Dachflächenfenster	Uw: 1,39	Uw: 1,22	Uw: 1,29	Uw: 0,9
Kellerdecke	0,42	0,355	0,355	0,24
Hauseingangstüre	1,5	1,5	1,5	1,5
$HWB_{Ref, RK max}$	52,5	40,4	34,4	23,7

Tabelle 8: U-Wert-Ensembles zum Erreichen der verschiedenen Energieniveaus – großes Gebäude

Bei der Festlegung der U-Werte mussten folgende Randbedingungen beachtet werden:

- Die Sparrenhöhe beträgt gemäß Statik u.a. aufgrund der hohen Schneelast 28 cm. Dies führt in allen Varianten zu sehr guten U-Werten des Schrägdachs.
- Aufgrund der geringen lichten Höhe des Kellers besteht nur ein geringer Spielraum bezüglich der Dicke der unterseitigen Dämmung der Kellerdecke. Die maximale Dicke ist auf 8 cm beschränkt. Die Dämmstoffdicke wurde daher nur zwischen 4 und 8 cm gewählt. Aufgrund der geringen Dicken wurde ein PIR-Dämmung angenommen.

Zur Erfüllung der unterschiedlichen HWB-Anforderungen konnten daher fast ausschließlich die U-Werte der Bauteile Außenwand und Fenster variiert werden. Für das große Gebäude wurden eine Variante mit teil-vorgefertigten Fassadenelementen sowie zwei Varianten mit komplett vorgefertigten Fassadenelementen untersucht.

Für das kleine Gebäude mit einem A/V-Verhältnis von 0,52 liegt die Mindestanforderung der OIB Richtlinie 6 (2019) auf dem Nachweisweg f_{GEE} bei 57,5 kWh/(m^2_{BGF}a), die der OIB Richtlinie 6 (2023) bei 43,9 kWh/(m^2_{BGF}a). Die Mindestanforderung des klimaaktiv Kriterienkatalogs 2020 liegt bei 36,5 kWh/(m^2_{BGF}a), der Wert für die Höchstbepunktung bei 28 kWh/(m^2_{BGF}a). Die Ausführungsvariante des Gebäudes hat einen $HWB_{Ref, RK}$ von 29,3 kWh/(m^2_{BGF}a).

Die Mindestanforderung gemäß der in der Abbildung nicht dargestellten Bautechnikverordnung Vorarlberg ist mit 41,0 kWh/(m^2_{BGF}a) etwas strenger als die der OIB RL 6 (2023) und weniger streng als die Mindestanforderung des klimaaktiv Kriterienkatalogs. Die Mindestanforderung der Wohnhaussanierungsrichtlinie Vorarlberg liegt bei 35,8 kWh/(m^2_{BGF}a) und damit minimal strenger als die Mindestanforderung nach klimaaktiv Kriterienkatalog 2020.

Die folgende Tabelle zeigt die U-Wert-Ensembles zum Erreichen der untersuchten Anforderungen im Vergleich mit dem Ensemble der Ausführungsvariante des kleinen Gebäudes.

	OIB RL 6 (2019) 25er Linie	OIB RL 6 (2023) 21er Linie	klimaaktiv 2020 Mindestanforderung	Ausführungsvariante SüdSan
Bauteil	U-Wert	U-Wert	U-Wert	U-Wert
	W/(m^2K)	W/(m^2K)	W/(m^2K)	W/(m^2K)
AW Bestand	0,342	0,25	0,15	0,14
AW Giebel neu	0,412	0,314	0,21	0,09
Schrägdach	0,14	0,14	0,13	0,13
Fenster	Uw: 1,36	Uw: 0.9	Uw: 0,90	Uw: 0,90
Dachflächenfenster	Uw: 1,36	Uw: 0.9	Uw: 0,90	Uw: 0,90
Kellerdecke	0,412	0,354	0,354	0,25
Hauseingangstüre	1,5	1,5	1,5	1,5
$HWB_{Ref, RK max}$	57,5	43,9	36,5	29,3

Tabelle 9: U-Wert-Ensembles zum Erreichen der verschiedenen Energieniveaus - kleines Gebäude

Wie im großen Gebäude konnten die U-Werte des Schrägdachs nur minimal variiert werden, da sich aufgrund der statisch erforderlichen hohen Sparren in allen Varianten hohe Dämmstoffdicken ergeben. Auch die Dicke der Kellerdeckendämmung konnte nur in geringem Umfang variiert werden. Die Varianten unterscheiden sich daher vor Allem bezüglich der energe-

tischen Qualität der Fenster (Zweifachverglasung im Standard OIB RL 6 (2019) und Dreifachverglasung in den anderen Standards) sowie der Bestands-Außenwand. Für diese liegen die U-Werte zwischen 0,34 W/(m^{2}K) für den Standard OIB RL 6 (2019) und 0,14 W/(m^{2}K) für die Ausführungsvariante. Dies entspricht bei Annahme eines WDVS mit Holzweichfaserplatten Dämmstoffdicken zwischen 8 und 24 cm.

Zusätzlich wurden Konstruktionen in unterschiedlicher ökologischer Qualität geplant und ausgeschrieben. So wurden für den Standard OIB RL 6 (2019) und die Ausführungsvariante Wärmedämmverbundsystemen mit den Dämmstoffen EPS, Holzweichfaser und Stroh berücksichtigt. Für die beiden Mustergebäude wurden bewusst unterschiedliche Ausführungen für die Dämmung der Außenwände gewählt: Wärmedämm-Verbundsysteme mit unterschiedlichen Materialien für das kleine Gebäude und eine teil-vorgefertigte Holzkonstruktion mit Brandschutz- und Putzträgerplatte sowie Putz für das große Gebäude.

4.3 Haustechnikvarianten

Zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung wurden für beide Gebäude zahlreiche Haustechnikvarianten geplant und modular ausgeschrieben. Die Auslegung der Wärmeversorgungssysteme erfolgte für die Ausführungsvarianten mit sehr hoher Hüllqualität und Komfortlüftung mit WRG. Die Heizlast wurde in PHPP-Berechnungen für die Gesamtgebäude und in dynamischen Gebäudesimulationen mit IDA ICE raumweise ermittelt. Mit PHPP-Standard-Randbedingungen ergeben sich die folgenden Werte:

- Großes Gebäude: 8,4 kW = 13 W/m$^2_{EBF}$
- Kleines Gebäude: 6,8 kW = 19 W/m$^2_{EBF}$

Die folgende Tabelle zeigt die Matrix der untersuchten Varianten für das große Gebäude.

	Wärmeerzeuger	Wärmeverteilung und -abgabe				PV
		Heizung			WW	
		EG bis OG2	DG	Zusatz		
Variante 1	Luft-Wärmepumpe	AWH	FBH	IR	WS	ohne
Variante 2	Fernwärme	AWH	FBH	IR	BWP	25,5 kWp Indach
Variante 3		AWH	FBH	IR	E-Boiler	
Variante 4		AWH	FBH	DH	WS	
Variante 5		AWH	FBH	DH	BWP	
Variante 6		AWH	FBH	DH	E-Boiler	
Variante 7		HK			WS	
Variante 8		HK			E-Boiler	
Anzahl	2	8				2

Tabelle 10: Variantenmatrix Haustechnik – großes Gebäude; AWH: Außenwandheizung, FBH:

Fußbodenheizung; HK: Heizkörper; IR: Infrarot-Zusatzheizung im Bad; DH: Decken-Zusatzheizung im Bad; WS: Wohnungsstation; BWP: Brauchwasserwärmepumpe

Wie zu erkennen ist, wurden die Haustechniksysteme des größeren Gebäudes hinsichtlich der Wärmeerzeuger, des Wärmeverteil- und Abgabesystems, der Art der Warmwasserbereitung sowie bezüglich der PV-Anlage differenziert.

Als Wärmeerzeuger wurden die Systeme Luft-Wärmepumpe und Fernwärme untersucht.

Da das Gebäude im Bestand kein hydraulisches Wärmeabgabesystem besaß, wurden verschiedene Wärmeabgabesysteme im Niedertemperaturbereich untersucht, die wärmepumpenoptimiert betrieben werden können:

- In einer Hauptvariante wird die Wärme über Niedertemperatur-Heizkörper eingebracht, die an der Innenseite der Außenwände platziert und über ein vertikales Verteilnetz in der Dämmebene der Außenwand erschossen werden. [36]
- In der zweiten Hauptvariante wird die Wärme in den Wohnungen im EG, im 1. OG und im 2. OG durch ein neues System einer Außenwandheizung eingebracht [37], die in der Dämmebene der Außenwände installiert wird während die neuen Wohnungen im Dachgeschoß über Fußbodenheizungen beheizt werden.
- Da detaillierte dynamische Gebäudesimulationen zeigten, dass die Außenwandheizung aufgrund der geringen Außenwandfläche der Bäder die notwendigen Heizleistungen nicht immer zur Verfügung stellen kann, wurden zwei Subvarianten mit unterschiedlichen Zusatz-Heizsystemen für die Bäder untersucht:
    - Infrarot-Paneele
    - wassergeführte Deckenheizung[38]

[36] Da die Wärmeabgabeleistungen von Niedertemperatur-Heizkörpern nur bis 45° veröffentlicht werden, wurde die Werte für Temperaturen noch niedrigere Temperaturen bis 30° im Rahmen des Projekts SüdSan messtechnisch für verschiedene Heizkörpertypen bestimmt. Download: https://www.energieinstitut.at/forschung-und-projekte/suedsan-beispielhafte-sanierung-von-2-gebaeuden-der-suedtirolersiedlung-bludenz

[37] Das System ist in Kapitel 5.1 dargestellt. Eine detaillierter Bericht zur Simulation und Ausführung des Systems sowie zu ersten Monitoringergebnissen kann auf der SüdSan Projekt-Homepage heruntergeladen werden: https://www.energieinstitut.at/forschung-und-projekte/suedsan-beispielhafte-sanierung-von-2-gebaeuden-der-suedtirolersiedlung-bludenz

[38] Im Rahmen des Projekts wurde eine Marktübersicht über Flächenheizsysteme für die Gebäudesanierung erstellt. Der Bericht kann von der SüdSan Projekt-Homepage heruntergeladen werden: https://www.energieinstitut.at/forschung-und-projekte/suedsan-beispielhafte-sanierung-von-2-gebaeuden-der-suedtirolersiedlung-bludenz

Für die Trinkwarmwasserbereitung wurden die Varianten Wohnungsübergabestationen (WS), dezentrale Brauchwarmwasser-Wärmepumpen (BWP) oder E-Boiler direkt in den einzelnen Wohnungen. Bei den Brauchwasser-Wärmepumpen wurde ein System berücksichtigt, das als Wärmequelle den Heizkreis der Fußbodenheizung nutzt, so dass die Heizungs-Wärmepumpe und die dezentralen Wärmepumpen für Warmwasser kaskadenartig betrieben werden: Die zentrale Heizungs-Wärmepumpe erwärmt in der Heiz- und Übergangssaison das Wasser im Heizkreis auf etwa 35 bis 40°C, so dass die wohnungsweisen Warmwasser-Wärmepumpen nur einen Temperaturhub von der Temperatur im Heizkreis zur Temperatur im wohnungsweisen Speicher von etwa 55°C bewältigen müssen.

Insgesamt ergeben sich 8 Varianten der Wärmeverteilung und –abgabe. In Kombination mit den zwei Wärmeerzeugungsvarianten (Luft-Wärmepumpe oder Fernwärme) und den beiden PV-Varianten (ohne PV oder südliche Dachhälfte nahezu vollflächig mit PV belegt = 25,5 kW_p als Indach-Anlage) wurden damit insgesamt 32 Haustechnikvarianten untersucht.

Zur Auswahl der Indach-PV-Anlage wurden in einem ersten Schritt fünf Systeme verschiedener Anbieter bezüglich ihrer technischen Eigenschaften, der gestalterischen Qualität und der Systemkosten analysiert.

Die folgende Tabelle zeigt die Matrix der untersuchten Varianten für das kleine Gebäude.

	Wärmeerzeuger	Wärmeverteilung und -abgabe		PV
		Heizung	WW	
Variante 1	Erdreich-Wärmepumpe	HK	WS	ohne
Variante 2	Fernwärme		E-Boiler	16,2 kWp
Anzahl	2	1	2	2

Tabelle 11: Variantenmatrix Haustechnik – kleines Gebäude; HK: Heizkörper; WS: Wohnungsstation;

Für das kleine Gebäude wurden die Wärmeerzeuger Erdreich-Wärmepumpe und Fernwärme berücksichtigt.

Als Wärmeabgabesystem wurden Niedertemperatur-Heizkörper vorgesehen, die nicht wie im großen Gebäude in der Dämmebene der Außenwand erschlossen werden, sondern über vorhandene Kamine und Schächte im Gebäudeinneren.

Für die Warmwasserbereitung wurden die Optionen Wohnungsstation sowie E-Boiler berücksichtigt, für die PV-Anlage die Option ohne PV sowie mit 16,2 kW_p Aufdach-Anlage.

Insgesamt wurden damit 8 Haustechnikvarianten geplant und ausgeschrieben.

Exkurs: Auswahl der Haustechnik-Realisierungsvariante nach Lebenszykluskosten

Zur Auswahl der Realisierungsvariante der Haustechnik wurde ein vom Energieinstitut Vorarlberg entwickeltes Verfahren eingesetzt, bei dem der zu erwartende Endenergieverbrauch und die Lebenszykluskosten einer hohen Anzahl an Varianten automatisiert ermittelt werden. Die Auswahl der Realisierungsvariante erfolgte auf Basis der Angebotskosten.

Da die Lebenszykluskostenberechnungen derzeit auf Basis der abgerechneten Kosten und veränderter Energiekosten sowie mit aktualisierten Monatswerten der spezifischen CO_2eq-Emissionen des österreichischen Verbraucherstroms aktualisiert werden, dienen die nachfolgenden Ausführungen eher zur Erläuterung der Vorgehensweise. Die aktualisierten Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung werden in einem eigenen Bericht im Sommer 2025 veröffentlicht.

Die folgende Abbildung visualisiert die prinzipielle Vorgehensweise bei der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung und der Auswahl der Realisierungsvariante.

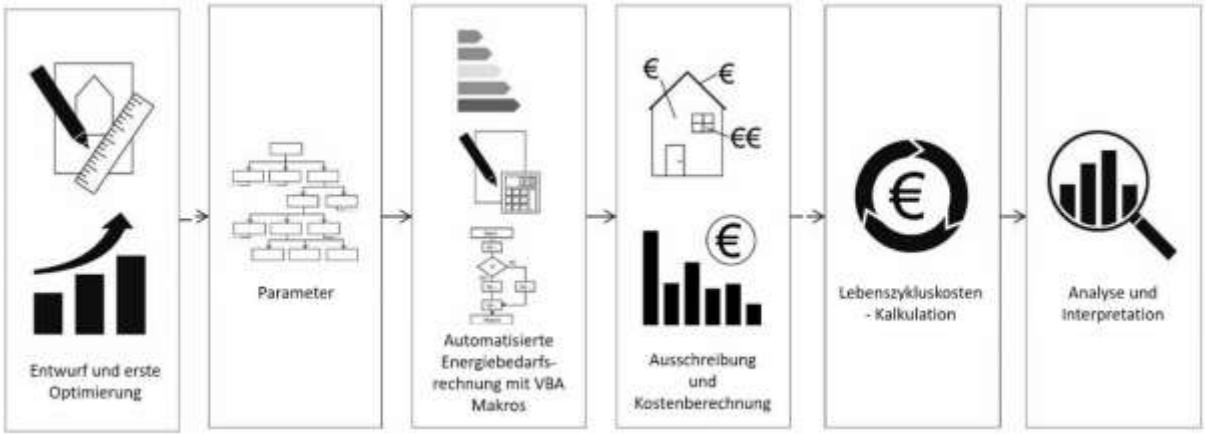

Tabelle 12: Vorgehensweise bei der energetisch-wirtschaftlichen Gebäudeoptimierung und der Auswahl der Realisierungsvariante nach den Lebenszykluskosten

In einem ersten Schritt erfolgt die energetisch-wirtschaftliche Optimierung des Entwurfs. Für den ausgewählten Entwurf werden anschließend die zu untersuchenden Varianten festgelegt. In einem weiteren Schritt wird der Energiebedarf aller Varianten mit VBA Makros und dem Rechenkern PHPP als Verbrauchsprognoseberechnung ermittelt[39].

Um die Investitionskosten aller Varianten zu ermitteln, werden modulare Ausschreibungen erarbeitet. Auf Basis der Angebotskosten, der Ergebnisse der Energiebedarfsberechnungen und

[39] Zur Abschätzung des PV-Eigenverbrauchs ist ein von der Universität Innsbruck entwickeltes Tool in das Programm PHPP integriert (PVecon, Version 1.0; Universität Innsbruck im Rahmen von outphit – Deep retrofits made faster, cheaper and more reliable)

einiger Annahmen und Randbedingungen werden automatisierte Lebenszykluskostenberechnungen durchgeführt. Für die wichtigsten Annahmen wie Zinssätze und Energiepreissteigerungen werden mehrere Sensitivitäten berücksichtigt. Im letzten Schritt wird die Ausführungsvariante bestimmt. Dies kann entweder ausschließlich auf Basis der Lebenszykluskosten (LZK) oder in Abwägung der LZK mit anderen Kriterien wie den Investitionskosten erfolgen.

Die folgende Abbildung zeigt die Investitionskosten der 32 in Tabelle 10 dargestellten möglichen Ausführungsvarianten der Wärmeversorgung inkl. PV-Anlage für das große Gebäude über ihren spezifischen THG-Emissionen. Alle Varianten sind auf den Energiebedarf und die Heizlast des Gebäudes mit der ausgeführten, energetisch hochwertigen Gebäudehülle sowie mit Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung dimensioniert.

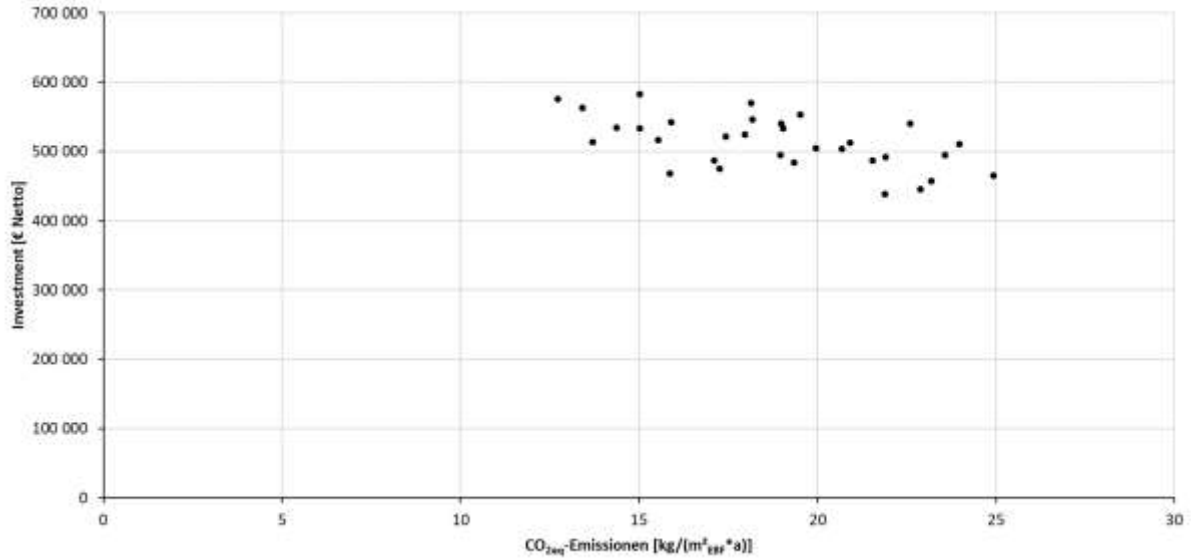

Abbildung 75: Netto-Investitionskosten der 32 Haustechnikvarianten für das große Gebäude über ihren spezifischen CO_{2eq}-Emissionen

Es zeigt sich, dass die Netto-Investitionskosten mit steigender Gebäudeeffizienz, d.h. geringeren CO_{2eq}-Emissionen, ansteigen. Es wird deutlich, dass sich die CO_{2eq}-Emissionen mit geringen investiven Mehrkosten um mehr als die Hälfte verringern lassen.

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch die annuitätischen Kosten für die 32 untersuchten Haustechnikvarianten, die sich mit den Annahmen der Grund-Sensitivität ergeben.

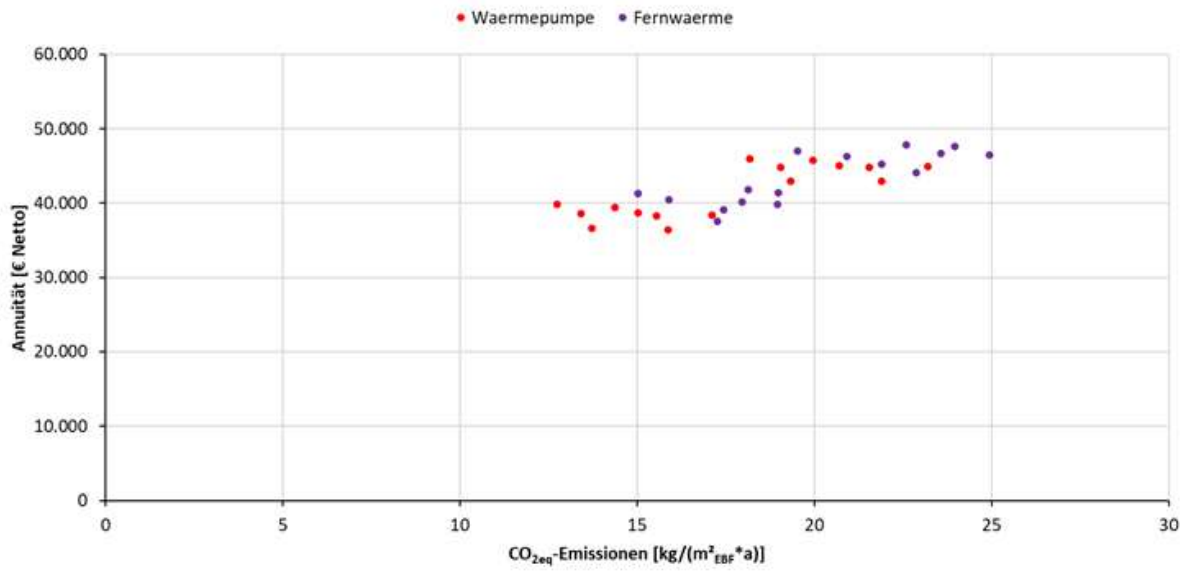

Abbildung 76: Annuitätische Kosten der 32 Haustechnikvarianten für das große Gebäude über ihren CO_{2eq}-Emissionen – eingefärbt nach Wärmerzeuger

Wie die Abbildung zeigt, ergibt sich wie in vielen vom Energieinstitut Vorarlberg begleiteten Neubauprojekten ein sehr flach ausgeprägtes wirtschaftliches Optimum. Der kostenoptimale Bereich liegt bei spezifischen CO_{2eq}-Emissionen zwischen etwa 13 und 16 kg/(m^2_{EBF}a) in Summe aller Energieanwendungen (Heizung, Trinkwarmwasserbereitung, Hilfs-, Haushalts- und Allgemeinstrom abzüglich PV-Eigennutzung)[40].

Die roten Punkte zeigen die Varianten mit Wärmepumpe, die violetten Punkte die Varianten mit Fernwärme. Die Varianten mit Wärmepumpe sind etwas wirtschaftlicher und erreichen geringere CO_{2eq}-Emissionen als die Varianten mit Fernwärme.

Die wirtschaftlichsten Wärmeverteilungsvarianten sind die mit Heizkörper und Wohnungsstation bzw. E-Boiler für die Trinkwarmwasserbereitung

Die Variante mit Frischwasserstationen für die Trinkwarmwasserbereitung verursacht jedoch deutlich geringere CO_{2eq}-Emissionen (13,7 statt 15,9 kg/(m^2_{EBF}a)) bei annähernd gleicher Annuität und wurde daher zur Ausführung ausgewählt.

[40] Die spezifischen Emissionen wurden mit den vom Energieinstitut Vorarlberg bestimmten Monatswerten der spezifischen CO_{2eq}-Emissionen des Verbraucherstrommix Österreich bzw. mit den von der Universität Innsbruck bestimmten Werten für ein städtisches Fernwärmenetz bestimmt, das einen Mix aus erneuerbaren Energien, Kraft-Wärme-Kopplung und Gas umfasst.

5 Umgesetzte Sanierungsvarianten

Wie in nahezu jedem Sanierungsprojekt wurden bei der Sanierung der beiden Mustergebäude ohnehin notwendige Instandhaltungs- und Modernisierungsarbeiten mit Maßnahmen zur energetischen und ökologischen Optimierung kombiniert.

Da die Ohnehin-Maßnahmen angesichts des schlechten baulichen und technischen Zustand des Gebäudes eine große Rolle spielen, ist es sinnvoll, eine Differenzierung in Ohnehin-Maßnahmen und Maßnahmen zur energetischen und ökologischen Optimierung vorzunehmen.

Dazu werden in der folgenden Tabelle der Befund der Bestandsanalyse, die ohnehin notwendigen Maßnahmen zur Instandsetzung und Modernisierung sowie die zusätzlichen Maßnahmen zur energetischen und ökologischen Optimierung für die wichtigsten Bauteile und Komponenten beschrieben.

Bauteil	Befund	ohnehin notwendige, bauliche bzw. haustechnische Maßnahmen	energetische und ökologische Optimierung
Kellerwand	Feuchteschäden, Schimmel, fehlende Abdichtung, fehlende Drainage	Aufgraben bis Sohle, Trockenlegung, Abdichtung, Drainage, Mindestwärmeschutz	verbesserter Wärmeschutz, Flankendämmung Innenseite Außenwände
Kellerdecke	kalte Fußböden im Erdgeschoß, Schimmel	Mindestwärmeschutz	verbesserter Wärmeschutz
Kellerboden	Mangelnde Abdichtung	Abriss Kellerboden und teilweise Einbringen eines neuen Bodens	keine
Kellerräume	Keine Kellerabteile, Waschküche, Fahrrad- und Technikraum	Grundrissänderungen (Haustechnikraum, Fahrradraum, neue Kellerabteile)	keine
Heizung und Warmwasser-bereitung	Wohnungsweise Wärmeerzeuger (Holz/Kohle, el. Nachtspeicher, IR) + Elektroboiler	Zentralheizung (Wärmepumpe o. Fernwärme) + Verteilleitungen + Heizkörper/Deckenheizung	optimierte Wärmepumpe, verbesserte Leitungsdämmung, Wandheizung außen
Bäder	6 von 13 Wohnungen (ohne DG) unsaniert	Sanierung der 6 bislang unsanierten Bäder + je zwei neue Bäder in den DG-Wohnungen	verbesserte Leitungsdämmung
Elektro	ca. 50% unsaniert	restliche 50% sanieren	keine
Fenster	undicht, kein außenliegender Sonnenschutz in Haus St. Antoniusstraße 19	Mindestqualität Fenster + außenliegender Sonnenschutz	3-WSV + außenliegender Sonnenschutz
Fassade	schlechter U-Wert, Putzschäden in kleineren Bereichen	Mindestwärmeschutz	verbesserter Wärmeschutz
Oberste Geschossdecke	statisch nicht für Ausbau des Dachgeschosses geeignet	statische Ertüchtigung, Verbesserung Schallschutz	keine
Dach	statisch unterdimensioniert, Ziegeldeckung z.T. defekt	neuer Dachstuhl + Mindestwärmeschutz	verbesserter Wärmeschutz
Zwischendecke – und -wände	Schlechter Schallschutz	keine Maßnahme technisch/wirtschaftlich möglich	keine

Tabelle 13: Überblick über bauliche und haustechnische Maßnahmen, die im Rahmen der umfassenden Sanierung der Mustergebäude durchgeführt wurden (Auszug)

Wie die Abbildung verdeutlicht, war ein Großteil der durchgeführten Maßnahmen aufgrund des fortgeschrittenen Gebäudealters und des schlechten Allgemeinzustands beider Gebäude ohnehin notwendig. Es bestand ein erheblicher Sanierungsstau. Beim Großteil der Bauteile und Komponenten waren typische Werte der technischen Lebensdauern und Austauschzyklen bereits weit überschritten.

In beiden Mustergebäuden waren vor allem die folgenden Maßnahmen notwendig:

- umfangreiche Trockenlegung und Abdichtung des Kellergeschosses
- statische Ertüchtigung der obersten Geschoßdecke
- Abriss des bestehenden Dachstuhls aus statischen Gründen und Errichtung eines neuen Dachstuhls

Nachfolgend werden die umgesetzten Instandsetzungs-, Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen beschrieben. Da für einige Bauteile und Komponenten bewusst unterschiedliche Sanierungskonzepte gewählt wurden, erfolgt die Darstellung für die beiden Mustergebäude getrennt. Dabei wird die folgende Struktur gewählt:

- Für jedes Gebäude werden zunächst die gestalterischen Eingriffe dargestellt.
- Im Anschluss wird das Energiekonzept erläutert und die energetische Qualität anhand der Energiekennwerte beschrieben.
- Abschließend werden die energetischen Maßnahmen an Gebäudehülle und Haustechnik anhand von Fotos und Plänen detailliert dargestellt. Dabei wird die enge Verzahnung mit den ebenfalls dargestellten ohnehin erforderlichen Maßnahmen zu Instandhaltung und Modernisierung sowie zur Neuerrichtung des Dachgeschosses deutlich.

5.1 Großes Gebäude

Der Grundriss des Kellergeschosses wurde stark verändert. Abbildung 77 zeigt den Grundriss nach Sanierung, Abbildung 78 zusätzlich die Veränderungen gegenüber dem Bestand.

Abbildung 77: Sanierung großes Gebäude, Grundriss KG, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Im Rahmen der Sanierung wurde ein Abstellraum für Fahrräder und Kinderwagen neu geschaffen. Aufgrund der Zentralisierung der Wärmeversorgung wurde ein Technikraum notwendig, in dem auch das zentrale Komfortlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung steht. Außerdem wurde ein Trockenraum geschaffen und jede Wohnung erhielt ein neues Kellerabteil.

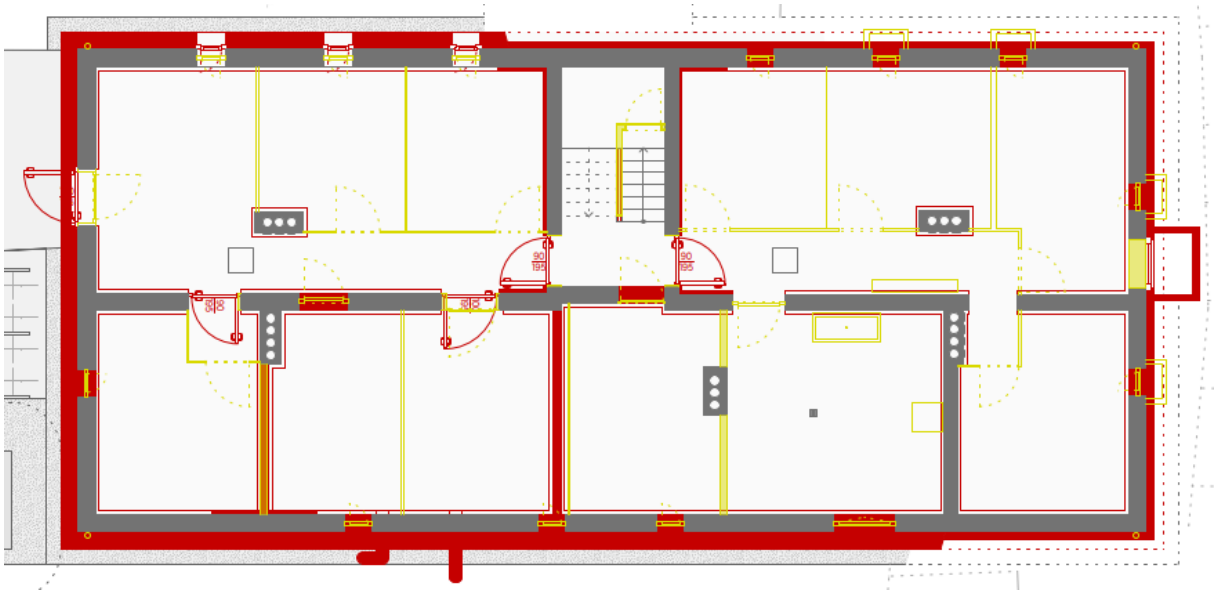

Abbildung 78: großes Gebäude, Grundriss KG, Änderungen gegen Bestand, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH; gelb: Abriss, rot: neues Bauteil, neue Bauteilschicht/Komponente, grau: Bestand

Der Abbildung verdeutlicht die tiefen Eingriffe in den Grundriss des Kellergeschosses.

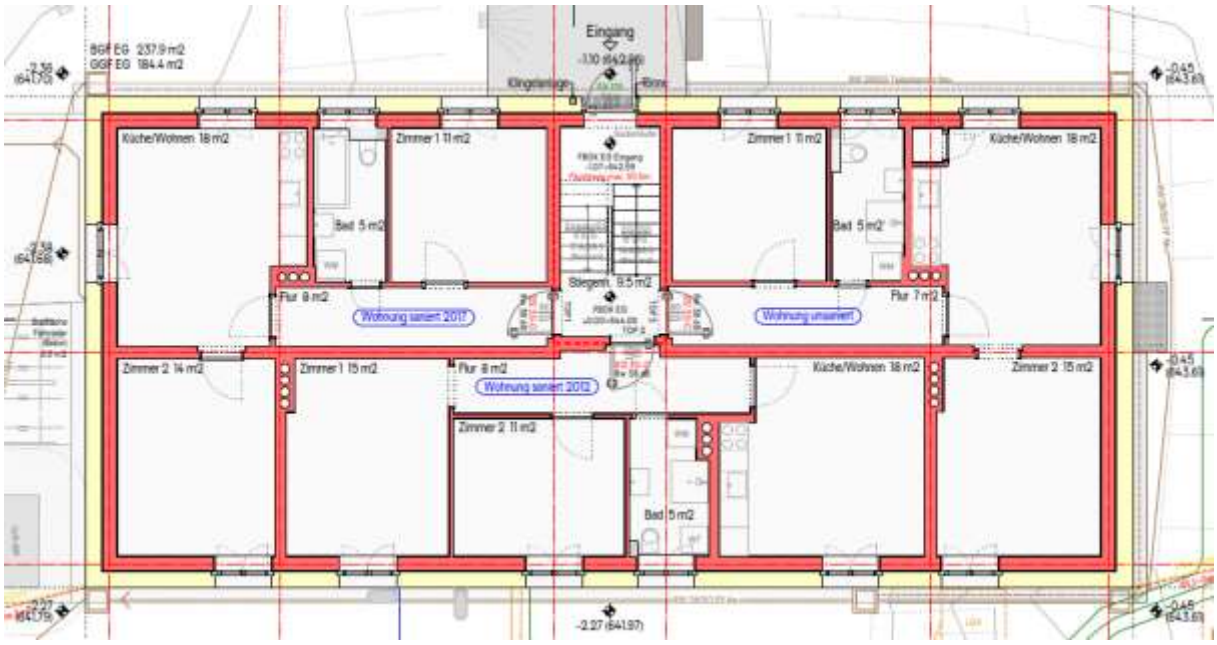

Abbildung 79: großes Gebäude, Grundriss EG, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

In den noch nicht sanierten Wohnungen wurden die Bäder modernisiert. Der Umfang der dazu notwendigen Arbeiten war von Wohnung zu Wohnung unterschiedlich.

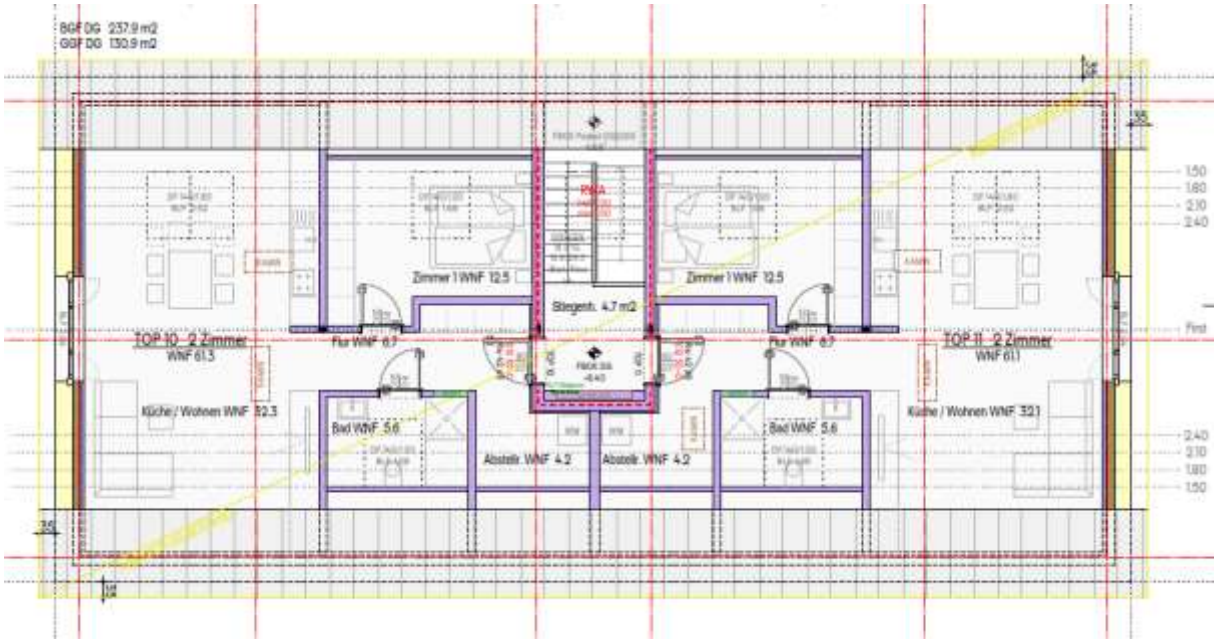

Abbildung 80: großes Gebäude, Grundriss DG, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Abbildung 81: großes Gebäude, Schnitte, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Um die Möglichkeiten zur Nachverdichtung der Siedlung ohne weitere Flächenversiegelung aufzuzeigen, wurde entschieden, den bislang nur teilgenutzten Dachraum für zwei statt für eine Wohnung zu nutzen. Aus statischen Gründen wurde der Bestands-Dachstuhl abgerissen, ebenso die Giebelwände und die Innenwände im DG. Die oberste Geschoßdecke musste aus statischen Gründen aufgedoppelt werden. Die Dachwohnungen wurden in Holzbauweise mit vorgefertigten Elementen komplett neu errichtet. Um die Nutzbarkeit der Wohnungen zu verbessern, wurde ein Kniestock errichtet. Dieser wurde auf Wunsch des Bundesdenkmalamts jedoch sehr niedrig ausgeführt um die Gebäudeproportionen nicht zu stark zu verändern. Die Dachgeschoßwohnungen werden über große giebelseitige Fenster sowie über Dachflächenfenster belichtet.

Abbildung 82: großes Gebäude nach Sanierung; Fotos: Walser Fotografie, Hohenems

Die an einzelnen Wohnungen vorhandenen Balkone wurden aus Kostengründen abgerissen und nicht ersetzt, da Balkone keine typischen Stilelemente in der Siedlung sind und da die Wohnungen über große Grünflächen verfügen, die von den Mietern genutzt werden können.

Abbildung 83: großes Gebäude nach Sanierung; Fotos: Walser Fotografie, Hohenems

Putzstruktur und Fassadenfarbe wurden in Abstimmung mit dem Bundesdenkmalamt dem Bestand angepasst. Die Fenster erhielten wie im Zustand vor Sanierung Faschen und wurden mit Wiener Sprossen ausgeführt.

Angestrebte energetische Qualität und Energiekonzept

Ziel der Sanierung beider Gebäude ist es, ein Energieniveau zu erreichen, das kompatibel zum Pariser Klimaziel ist. Die Anforderungen an Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser wurden in einem Forschungsprojekt – zunächst für den Neubau - aus dem globalen Treibhausgasbudget hergeleitet [Ploss 2022]. Dazu wurde stufenweise zunächst aus dem Globalbudget das nationale Treibhausgasbudget für Österreich bestimmt, daraus das Teilbudget für den Gebäudesektor und daraus der Anforderungswert für einzelne Mehrfamilienhäuser.

Analog wurden in Folge Anforderungen an die Sanierung von Mehrfamilienhäusern hergeleitet und als Diskussionsgrundlage veröffentlicht [Ploss 2024].

Nach dieser Herleitung können Sanierungen von Mehrfamilienhäusern als kompatibel zum Pariser Klimaziel gelten, wenn ihre spezifischen Treibhausgasemissionen bei maximal 3,75 bis 7,5 kg/(m^2_{WNF}a) liegen. Die genannten Werte müssen nicht mit den Emissionen aus dem heutigen Verbraucherstrommix Österreichs[41] berechnet werden, sondern mit denen des für 2030 zu erwartenden Mix. Die o.g. Grenzwerte der Emissionen wurden mit monatlichen Konversionsfaktoren bestimmt[42], so dass die deutlich höheren Emissionen des winterlichen Strombezugs berücksichtig werden.

Aus den o.g. maximalen Emissionen wurden Anforderungswerte für den maximalen gemessenen Energieverbrauch Paris-kompatibler Mehrfamilienhaus-Sanierungen bestimmt.

Der Nachweis kann nur für Gebäude mit den zukunftsfähigen Energieträgern Strom (d.h. in der Regel mit dem Wärmeversorgungssystem Wärmepumpe) sowie (erneuerbare) Fern- bzw. Nahwärme geführt werden.

Die Anforderungen an den Endenergieverbrauch werden für diese beiden Versorgungsalternativen getrennt definiert. Die folgende Tabelle fasst die Anforderungen für beide Wärmeversorgungssysteme zusammen.

[41] Als Verbraucherstrommix wird hier der Strommix inkl. Stromimporten verstanden.

[42] Das Energieinstitut Vorarlberg ermittelt diese monatlichen Konversionsfaktoren seit einigen Jahren auf Basis der Stromerzeugungsdaten verschiedener europäischer Staaten. Ein Update dieser Studie wird im Rahmen des SüdSan-Projekts durchgeführt und im Sommer 2025 veröffentlicht.

	Strom - Wärmepumpe (monoelektrische Gebäude)	Nah- und Fernwärme
Endenergieverbrauch Heizung + Warmwasser	Gesamt max. 55 kWh/(m^2_{WNF} a)	max. 65 kWh/(m^2_{WNF}a)
Endenergieverbrauch Hilfs-, Allgemein- und Haushaltsstrom		max. 30 kWh/(m^2_{WNF}a)
Erzeugung PV-Strom	min. 60 kWh/ ($m^2_{\text{überbaute Fläche}}$ a)	
Alternativnachweis für Wärmepumpe	Netzbezug gesamt max. 45 kWh/(m^2_{WNF}a)	Kein Alternativnachweis

Tabelle 14: Anforderungen an Paris-kompatible Sanierungen von Mehrfamilienhäusern in Abhängigkeit der Heizungsart

Für Gebäude mit Wärmeversorgung durch Strom (i.d.R. Wärmepumpen) soll der Endenergieverbrauch Gesamt, d.h. in Summe aller Energieanwendungen inkl. des Haushaltsstomverbrauchs bei maximal 55 kWh/(m^2_{WNF}a) liegen.

Die PV-Strom Erzeugung soll mindestens 60 kWh/($m^2_{\text{überbaute Fläche}}$a) betragen.

Alternativ kann der Nachweis für Gebäude mit Wärmepumpe auch über einen $\text{Netzbezug}_{gesamt}$ (= $\text{Endenergieverbrauch}_{gesamt}$ abzgl. eigengenutzter PV-Strom) von 45 kWh/(m^2_{WNF}a) geführt werden.

Zur Einordnung der Anforderung an den $\text{Endenergieverbrauch}_{gesamt}$ zeigt die folgende Abbildung die gemessenen Werte einiger der besten wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhaus-Sanierungen im deutschsprachigen Raum.

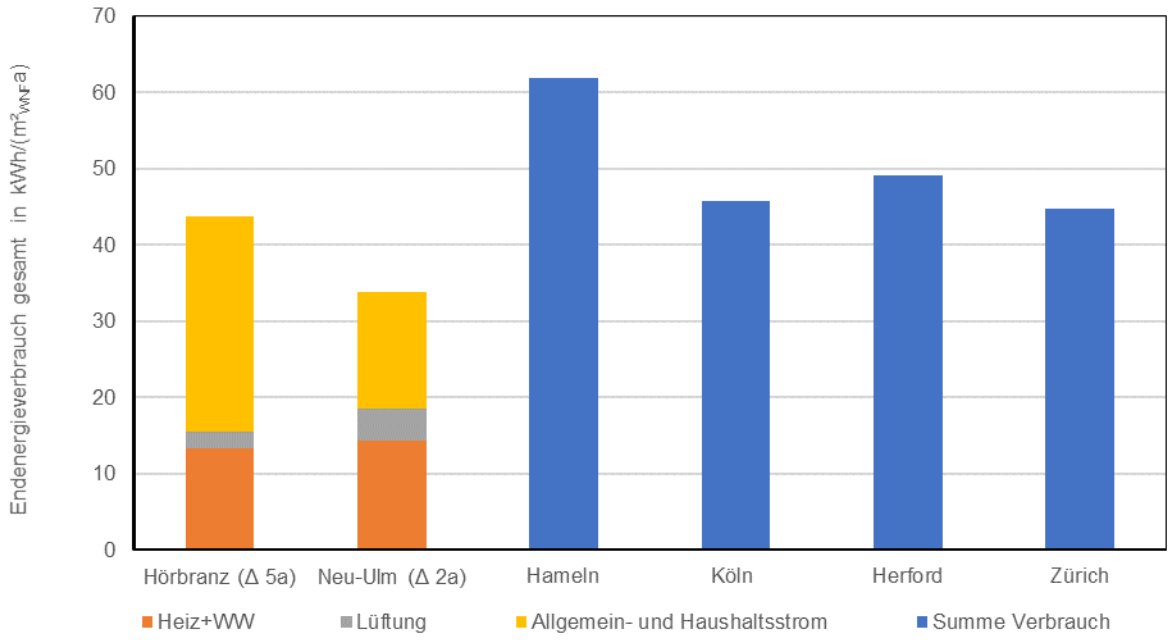

Abbildung 84: Endenergieverbrauch$_{gesamt}$ innovativer Sanierungen von Mehrfamilienhäusern im deutschsprachigen Raum [Ploss 2024]

Wie die Abbildung zeigt, liegt der spezifische Endenergieverbrauch$_{gesamt}$ der dargestellten, innovativen Mehrfamilienhaus-Sanierungen zwischen 34 und 62 kWh/(m$^2_{WNF}$a). Fünf der 6 Gebäude erfüllen damit den o.g. Anforderungswert von 55 kWh/(m$^2_{WNF}$a). Das Gebäude mit dem etwas höheren spezifischen Gesamtverbrauch kann den Nachweis durch den Alternativnachweis eines Netzbezugs$_{gesamt}$ von max. 45 kWh/(m$^2_{WNF}$a) führen.

Der Anteil des Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser der effizientesten Projekte (Hörbranz und Neu-Ulm) liegt bei 13 bis 15 kWh/(m$^2_{WNF}$a). Beide Projekte wurden umfassend im leergezogenen Zustand saniert. Im Projekt in Neu-Ulm wurde zusätzlich der Haushaltsstromverbrauch reduziert, indem marktbeste Elektrogeräte und LED-Beleuchtungen eingesetzt wurden. Der Haushaltsstromverbrauch des Projekts liegt bei etwa 15 kWh/(m$^2_{WNF}$a) und damit in der gleichen Größenordnung, wie der Verbrauch für Heizung und Warmwasser.

Wie niedrig der Gesamtverbrauch der dargestellten Projekte liegt, zeigt der Vergleich mit dem mittleren Haushaltsstromverbrauch: Dieser liegt in Österreich und Deutschland in der Größenordnung von knapp 30 kWh/(m²$_{WNF}$a) [Bittermann 2018]. Der Gesamtverbrauch des effizientesten Projekts liegt damit in Summe aller Anwendungen nur knapp über dem durchschnittlichen Haushaltsstromverbrauch.

Die Anforderung eines spezifischen, auf die überbaute Fläche bezogenen PV-Ertrag von min. 60 kWh/(m$^2_{überbaute\ Fläche}$ a) erreichen alle Projekte außer dem Gebäude in Hörbranz, das keine

PV-Anlage, sondern eine thermische Solaranlage hat. Die übrigen Projekte übertreffen den Anforderungswert zum Teil deutlich.

Analysiert man die dargestellten Projekte, so entsprechen sie in etwa dem Standard EnerPHit oder erreichen einen energetischen Standard, der den Anforderungen für die Höchstbepunktung der Energiekriterien im klimaaktiv Kriterienkatalog 2020 entspricht.

Gebäudehülle

Die Gebäudehülle wurde in einer sehr guten energetischen Qualität saniert. Besonderheit ist die teilvorgefertigte Fassadenkonstruktion aus Kreuzlagenhölzern, die außenseitig mit einer Holzweichfaserplatte als Putzträgerplatte versehen wurde und in die sowohl die Wärme- und die Zuluftverteilung, als auch die Wärmeabgabe in Form einer Wandheizung integriert ist, siehe Folgekapitel. Die Fenster wurden mit Holzrahmen IV 90 mit einer guten Dreifachverglasung ausgeführt und erhielten Wiener Sprossen. Das Schrägdach wurde aus statischen Gründen ebenso wie die Giebelwände komplett neu errichtet. Die Kelleraußenwände konnten außenseitig bis zur Sohle gedämmt werden, da das Kellergeschoß ohnehin aufgegraben werden mussten, um gegen Feuchte abgedichtet zu werden. Der Sockelbereich gegen Außenluft und der oberste Teil der Dämmung der Kelleraußenwände wurde deutlich dicker gedämmt. Zusätzlich wurde der obere Teil der Kelleraußenwand innenseitig mit einer Flankendämmung aus EPS versehen. Die Kellerdecke konnte wegen der geringen lichten Höhe nur 8 cm dickgedämmt werden. Aufgrund ihrer niedrigen Wärmeleitfähigkeit wurden PIR-Platten gewählt.

Die Wärmebrücken – etwa an den Fensteranschlüssen und am Anschluss der Kellerdecke - wurden bestmöglich minimiert. Der mittlere, gewichtete U-Wert der Gebäudehülle inkl. der Fenster und inkl. Wärmebrücken bei 0,24 W/(m^2K), der Mittelwert der opaken Bauteile der Gebäudehülle liegt bei 0,167 W/(m^2K).

Das Gebäude erreichte im Luftdichtheitstest einen hervorragenden n_{50}-Wert von 0,6 h^{-1}. Der Fensterflächenanteil liegt inkl. der neuen, großen Fenster in den Giebelwänden und der Dachflächenfenster bei 14,6% der Wohnnutzfläche.

Die wichtigsten Kennwerte der Gebäudehülle sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst, einen Überblick über die Ausführung der Hülle und der sonstigen Bauteile zeigt der konstruktive Schnitt in Abbildung 85. Detailliertere Beschreibungen der einzelnen Bauteile und Anschlüsse mit Plänen und Fotos aus der Bauphase finden sich in den Folgekapiteln.

U-Wert Außenwand nach Sanierung	W/(m^2K)	0,127
U-Wert Giebelwand	W/(m^2K)	0,08
U-Wert Schrägdach	W/(m^2K)	0,13
U-Wert Kellerdecke	W/(m^2K)	0,26
Fenster (U_W-Wert / Ug / g-Wert (Normmaßbezug)	W/(m^2K) / -	0,90 / 0,50 / 0,50
Wärmebrückenzuschlag	W/(m^2K)	0,025
mittlerer, gewichteter U-Wert inkl. Fenstern (inkl. Wärmebrücken)	W/(m^2K)	0,24
mittlerer, gewichteter U-Wert opak (inkl. Wärmebrücken)	W/(m^2K)	0,167
Messwert der Luftdichtheit n_{50}	h^{-1}	0,6
Fensterflächenanteil (Fensterfläche/WNF)	%	14,6%

Tabelle 15: Energierelevante Kennwerte der Gebäudehülle – großes Gebäude

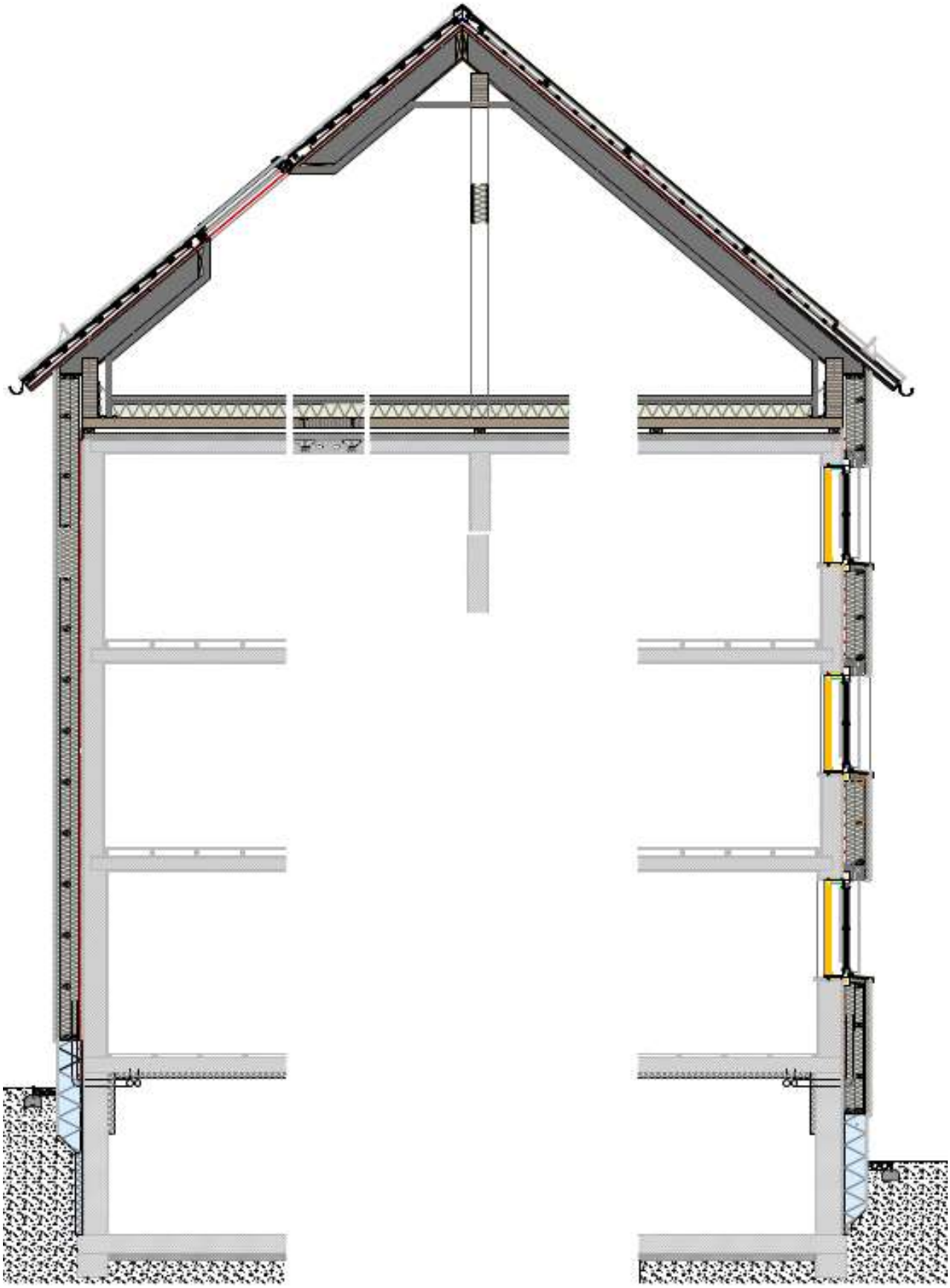

Abbildung 85; konstruktiver Schnitt, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Energierelevante Haustechnik

Das Gebäude hat eine zentrale Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung. Das Lüftungsgerät steht im Keller, die Horizontalverteilung der Luft erfolgt unter der Kellerdecke und auf der obersten Geschoßdecke, die Vertikalverteilung in der neuen Fassade. Die Abluft wird über vorhandene Kamine und Schächte in den Keller geführt, so dass in den Wohnungen keine Lüftungsleitungen notwendig sind. Der Luftwechsel ist auf 0,40 h^{-1} ausgelegt.

Die Raumluftfeuchte des Kellers wird über eine separate Abluftanlage geregelt. Im Trockenraum im KG steht zusätzlich ein Entfeuchtungsgerät.

Abbildung 86 zeigt ein vereinfachtes Haustechnikschema.

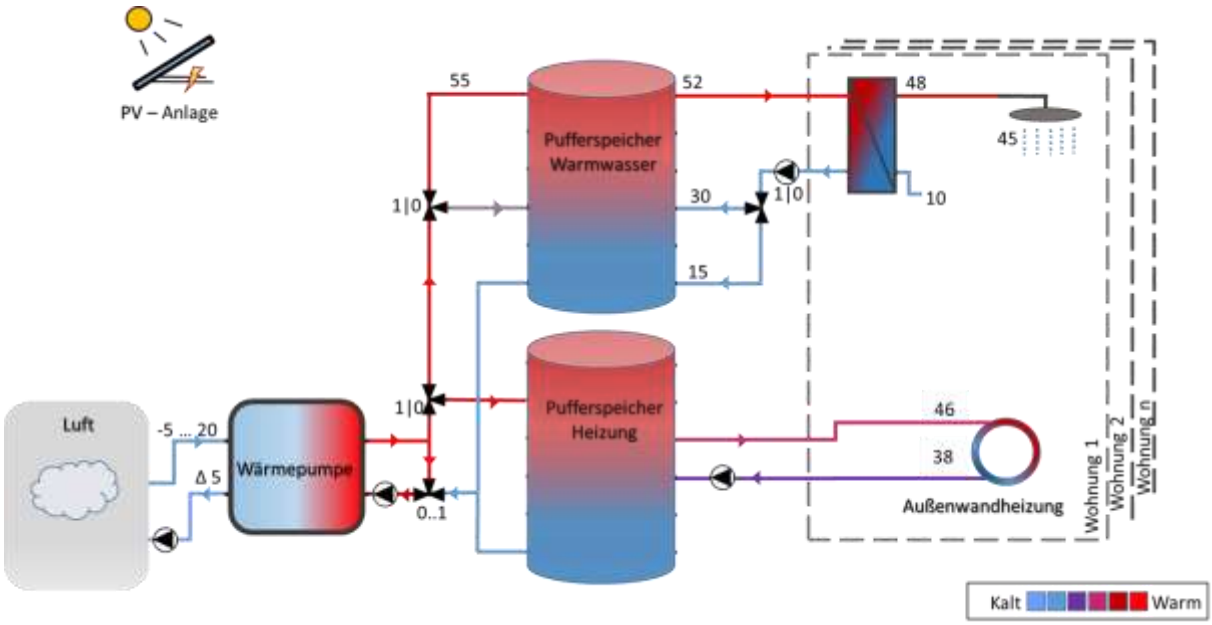

Abbildung 86: vereinfachtes Haustechnikschema großes Gebäude; Energieinstitut Vorarlberg

Die Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser erfolgt durch eine Luft-Wärmepumpe. Gewählt wurde ein sehr effizientes, modulierendes Gerät mit Kältemittel Propan. Die Wärmepumpe konnte klein dimensioniert werden, da das Gebäude aufgrund des sehr guten Wärmeschutzes und der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung eine sehr niedrige maximale Heizlast hat. Diese wurde in der Berechnung mit PHPP-Standardannahmen zu 13 W/m^2_{EBF} bestimmt.

Die Wärmepumpe gibt ihre Wärme an zwei in Reihe geschaltete Pufferspeicher mit jeweils 1.000 Liter ab. Der Großteil des Speichervolumens steht für die Warmwasserbereitung zur Verfügung, der untere Teil eines Speichers für die Heizung. Aus dem Speicher wird die Wärme über ein Vierleitersystem mit wohnungsweisen Frischwasserstationen verteilt.

Besonderheit des Projekts ist ein erstmals eingesetztes Wandheizungssystem, bei dem die Wärme für die Wohnungen des EG, des 1. OG und des zweiten OG ausschließlich über eine Flächenheizung auf der Außenseite der Bestands-Außenwand eingebracht wird. Neben der Wärmeabgabe ist auch die Wärmeverteilung in die neuen Fassaden aus teilvorgefertigten Kreuzlagenhölzern integriert. Der Systemaufbau ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

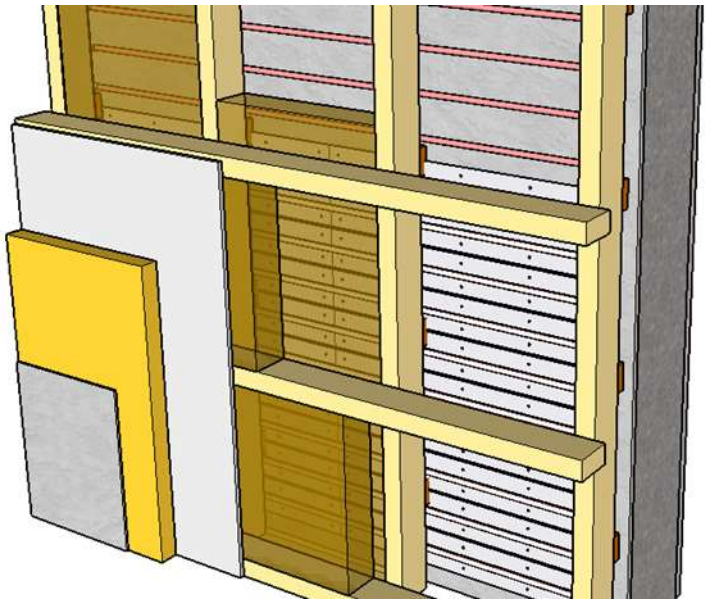

Abbildung 87: Schematischer Aufbau der Außenwand mit Bauteilaktivierung und teil-vorgefertigten Holz-Fassadenelementen; Energieinstitut Vorarlberg

Das System wurde in dynamischen Gebäude- und Anlagensimulationen in zahlreichen Varianten untersucht und optimiert.

Die Simulationen zeigten, dass aufgrund des von Raum zu Raum unterschiedlichen Verhältnisses von Außenwandfläche (= Heizfläche) zu Wohnnutzfläche und den raumweise unterschiedlichen Heizlasten eine Einzelraumregelung sinnvoll ist.

Die folgende Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Außenwandfläche und wohnflächenspezifischer Abgabeleistung der Wandheizung am Beispiel dreier Räume.

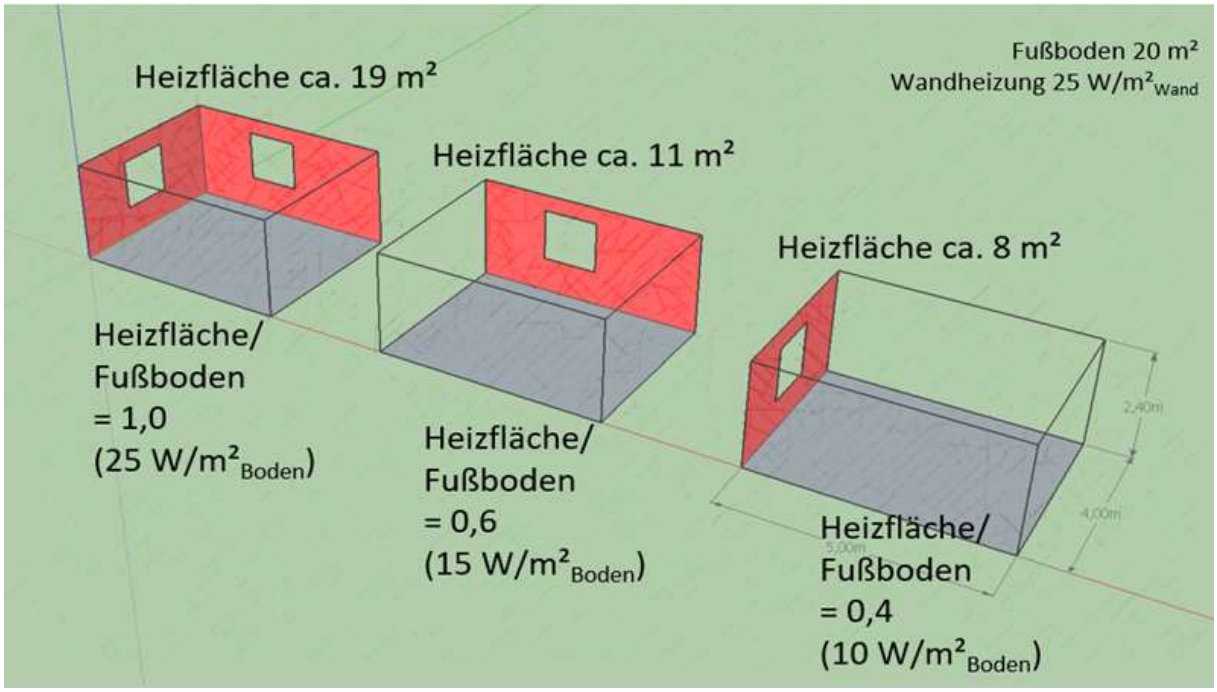

Abbildung 88: Wärmeabgabefläche der Wandheizung im Verhältnis zur Fußbodenfläche verschiedener Räume (4 x 5 m = 20 m²; Höhe 2.4 m, spezifische Wärmeabgabeleistung der Wandheizung 25 W/m²Wand)

Konzeption und Simulation des Systems sind in einem eigenen Bericht detailliert erläutert [43].

Die Wohnungen im DG werden über eine Fußbodenheizung versorgt. Zur Beheizung ist gemäß dynamischer Gebäudesimulation eine außentemperaturabhängige Vorlauftemperatur von maximal 46°C notwendig. Diese, für eine Flächenheizung relativ hohe Temperatur ist notwendig, um auch in den Räumen mit relativ geringer Außenwandfläche (= Heizfläche, siehe vorherige Abbildung) die notwendige Wärmeleistung einbringen zu können. Das Warmwasser wird über wohnungsweise Frischwasserstationen mit ca. 32-50 kW Leistung (50/40°C) - je nachdem ob mit Badewanne oder Dusche - erwärmt. Die Warmwasser-Vorlauftemperatur ist auf etwa 55°C, die Warmwasser-Zapftemperatur auf 45°C ausgelegt. Höhere Temperaturen zur Legionellen-Prophylaxe sind nicht erforderlich, da es sich aufgrund der wohnungsweisen Frischwasserstationen um ein dezentrales System handelt.

Da die Bäder über eine geringe Außenwandfläche verfügen, so dass die Außenwandheizung nur eine geringe Leistung zur Verfügung stellen kann, ist gemäß Simulation eine klein dimensionierte Zusatzheizung notwendig. Auf diese wurde derzeit verzichtet, da sie nur einen sehr

[43] Download: https://www.energieinstitut.at/forschung-und-projekte/suedsan-beispielhafte-sanierung-von-2-gebaeuden-der-suedtirolersiedlung-bludenz

geringen Teil der Wärmeabgabe übernehmen müsste. Sollten die Temperaturen in den Bädern durch die indirekte Beheizung aus den Nachbarräumen nicht ausreichen, werden klein dimensionierte Infrarot-Paneele mit Zeitschaltuhr nachgerüstet.

Im größeren Gebäude wurde eine vorgefertigte, monokristalline Indach-PV-Anlage mit einer Leistung von 25,5 kW_p auf der etwa 14° von der Südrichtung abweichenden Dachhälfte installiert. Die Dachneigung beträgt 47°. Der PV-Strom soll für alle Energieanwendungen inkl. Haushaltsstrom genutzt werden. Ein Batteriespeicher ist nicht vorgesehen.

Wie in allen Neubau-Wohnanlagen der Alpenländischen wurde in dieser Sanierung eine MSR installiert.

Die wichtigsten Kennwerte der Haustechniksysteme sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Detailliertere Beschreibungen der einzelnen Haustechnikkomponenten mit Plänen und Fotos aus der Bauphase finden sich in den Folgekapiteln.

Lüftungssystem und Luftwechselrate	zentrale Komfortlüftung mit WRG	0,40 h^{-1}	
Heizlast PHPP (20°C)	8,4 kW	13 W/m^2_{EBF}	
Wärmeerzeuger Heizung und Warmwasser (Typ, absolute und spezifische Leistung)	Luftwärmepumpe IDM Aero ALM 10 -24	10 - 24 kW	15 - 37 W/m^2_{EBF}
Wärmespeicher Typ und Größe	Pufferspeicher	2 * 1.000 Liter	
Wärmeverteilsystem	Vierleiter mit wohnungsweisen Frischwasserstationen		
Wärmeabgabesystem Typ und Temperaturniveau	Außenwandheizung (EG, 1. OG, 2. OG) Fußbodenheizung (DG)	45°C / 38°C	
Solarthermie Fläche absolut und spezifisch	-	-	-
PV-Leistung absolut und spezifisch	25,5 kW_p	28 W/m^2_{BGF}	39 W/m^2_{EBF}
Batteriespeicher absolut und spezifisch	-	-	-

Tabelle 16: Energierelevante Kennwerte der Haustechniksysteme – großes Gebäude

Energiekennwerte

Zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung wurden PHPP-Verbrauchsprognose-berechnungen, zur Auslegung der technischen Systeme und zur Optimierung der thermischen Behaglichkeit zusätzlich dynamische Gebäude- und Anlagensimulationen mit IDA ICE durchgeführt. Die baurechtlich notwendigen Nachweise – Energieausweisberechnungen nach OIB RL 6 (2019) - wurden mit GEQ geführt.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Ergebnisse der PHPP-Berechnungen sowie die zugrundeliegenden Annahmen und Randbedingungen zusammengestellt. Die linke Spalte zeigt die Ergebnisse der Berechnungen mit PHPP-Standardrandbedingungen, die rechte die der Verbrauchsprognoseberechnungen mit projektspezifisch angepassten Annahmen und Randbedingungen.

		PHPP	
		Standard-Randbedingungen	Verbrauchsprognose
Annahmen und Randbedingungen			
Anzahl Personen	Zahl	17,8	12
mittlere Raumlufttemperatur Heizperiode	°C	20	22,5
mittlerer pro Kopf-WW-Bedarf	Liter pro Person (Tag) bei 60°	25	32,5
temporäre Verschattung Heizperiode	Faktor	0,9	0,9
Luftwechselrate Heizperiode	h^{-1}	0,407	0,407
Ergebnisse			
Heizlast	W/m^2_{EBF}	13,0	14,9
Heizwärmebedarf PHPP	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	22,9	31,8
Endenergie Heizung	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	10,2	12,9
Endenergie Warmwasser	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	8,9	7,8
Endenergie Heizung + Warmwasser	**$kWh/(m^2_{EBF}a)$**	**19,1**	**20,7**
Hilfs- und Allgemeinstrom	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	7,7	7,9
Haustechnik gesamt	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	26,8	28,6
Haushalts- und Allgemeinstrom	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	26,1	20,0
Endenergie gesamt	**$kWh/(m^2_{EBF}a)$**	**52,9**	**48,6**
PV-Erzeugung	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	42,4	42,4
PER Bedarf	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	63	k.A.
PER Erzeugung	$kWh/(m^2_{überbaute\ Fläche}a)$	115,6	115,6

Tabelle 17: Energiekennwerte PHPP mit Standardrandbedingungen und als Verbrauchsprognose-berechnung

Der Heizwärmebedarf gemäß PHPP-Berechnung mit Standard-Randbedingungen liegt bei 22,9 $kWh/(m^2_{EBF}a)$. Das Gebäude erreicht damit den Anforderungswert des Standards Ener-PHit von 25 $kWh/(m^2_{EBF}a)$.

In der Verbrauchsprognoseberechnung mit einer Raumlufttemperatur von 22,5°C liegt der Heizwärmebedarf bei 31,8 $kWh/(m^2_{EBF}a)$.

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf des Heizwärmebedarfs des sanierten Gebäudes unter Annahme einer mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur von 22,5°.

Zum Vergleich ist in der übernächsten Abbildung der Verlauf für die unsanierten Gebäude unter Annahme einer mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur von 20° dargestellt.

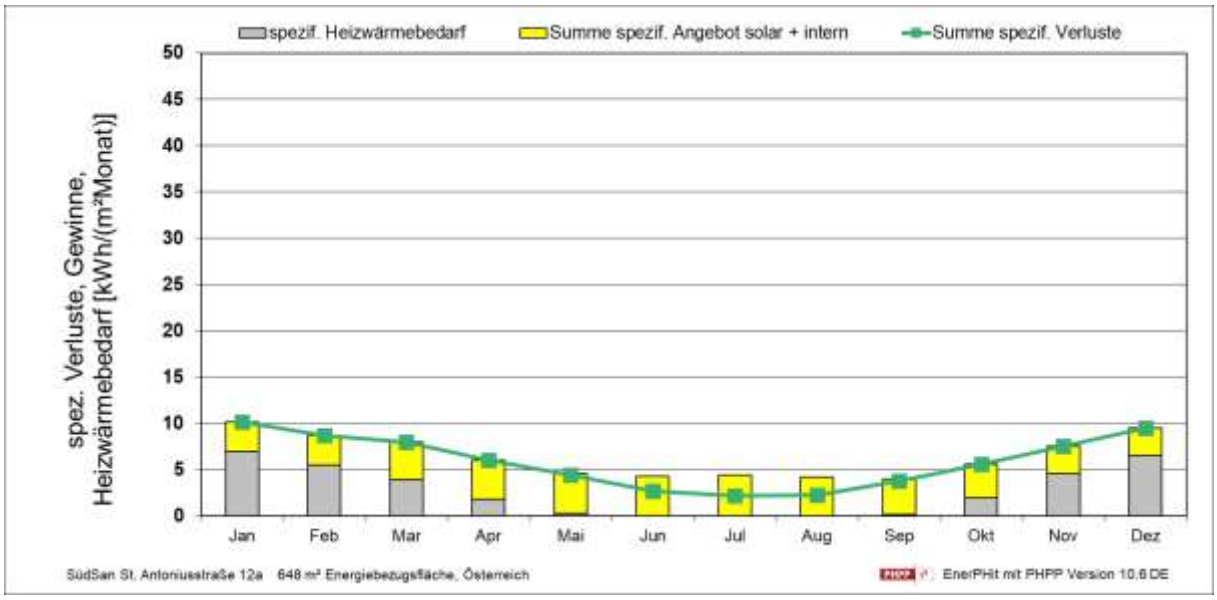

Abbildung 89: Jahresverlauf der spezifischen Verluste und Gewinne sowie des Heizwärmebedarfs – großes Gebäude nach Sanierung; PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung mit 22,5°C Raumlufttemperatur

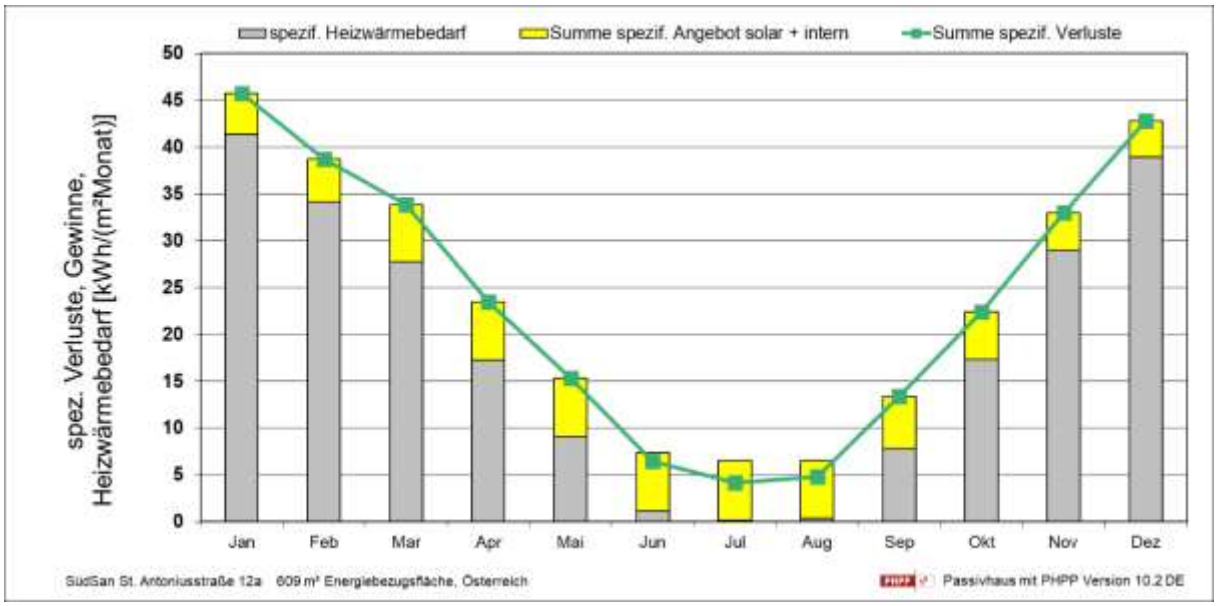

Abbildung 90: Jahresverlauf der spezifischen Verluste und Gewinne sowie des Heizwärmebedarfs – großes Gebäude vor Sanierung; PHPP-Berechnung mit 20°C Raumlufttemperatur

Die beiden Abbildungen visualisieren die Effekte der starken Verbesserung der Hüllqualität und der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung. Der Heizwärmebedarf (graue Balken) kann beispielsweise im Januar in etwa um den Faktor 7 reduziert werden, die Heizperiode wird stark verkürzt.

Der Endenergiebedarf für Heizung beträgt gemäß PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung 12,9 kWh/(m^2_{EBF}a). Er stimmt gut mit dem Wert gemäß dynamischer Gebäude- und Anlagensimulation überein: Bei vergleichbaren Annahmen (Solltemperatur Heizung: 22,5°C, Bad 24°C)

ist gemäß Simulation ein spezifischer Endenergieverbrauch von 13,3 kWh/(m^2_{EBF}a) über die Wärmepumpe zzgl. 4,4 kWh/(m^2_{EBF}a) für die elektrisch direkte Zusatzheizung der Bäder zu erwarten.

Der prognostizierte Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser beträgt gem. PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung 20,7 kWh/(m^2_{EBF}a), der gesamte Haustechnik-Stromverbrauch inkl. Hilfsstrom 28,6 kWh/(m^2_{EBF}a). Der in der Verbrauchsprognose ermittelte Endenergiebedarf$_{gesamt}$ liegt bei etwa 49,0 kWh/(m^2_{EBF}a). Dies entspricht für das große Gebäude einem auf die Wohnnutzfläche bezogenen Wert von 49,6 kWh/(m^2_{WNF}a).

Würde dieser Wert in der Praxis erreicht, so hätte das Gebäude die Anforderungen an Pariskompatible Gebäude von 55 kWh/(m^2_{WNF}a) erreicht.

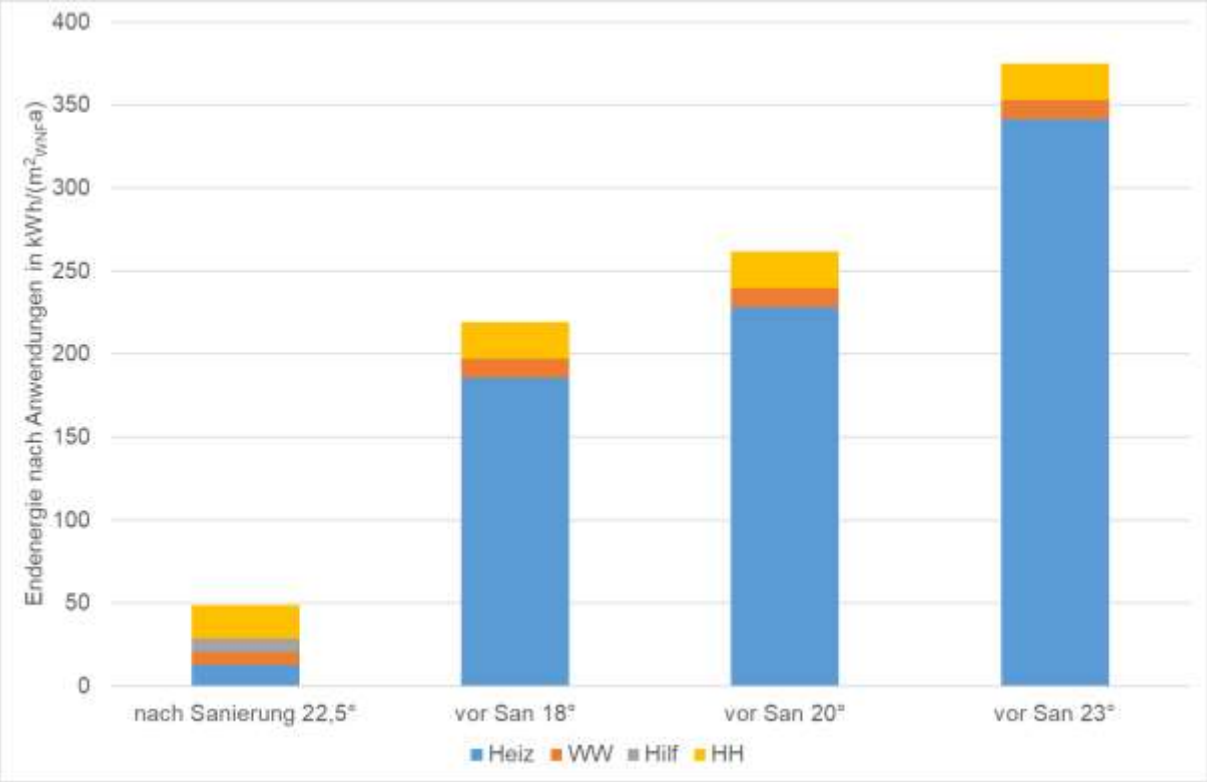

Abbildung 91: Vergleich des spezifischen Endenergiebedarfs/verbrauchs des großen Gebäudes vor und nach Sanierung nach Anwendungen; Annahme: Alle Wohnungen vor Sanierung elektrisch direkt beheizt; Verbrauch vor Sanierung in Abhängigkeit von der mittleren Raumlufttemperatur in der Heizperiode

Die Abbildung verdeutlicht den Unterschied zwischen dem in der Verbrauchsprognoseberechnung ermittelten Endenergieverbrauch$_{gesamt}$ nach Sanierung (Annahme: 22,5°) mit Wärmepumpe mit dem Verbrauch vor Sanierung unter der Annahme einer elektrisch-direkten Beheizung aller Wohnungen. Je nach angenommener Raumlufttemperatur vor Sanierung liegt die Reduktion zwischen dem Faktor 4,5 und 7,7.

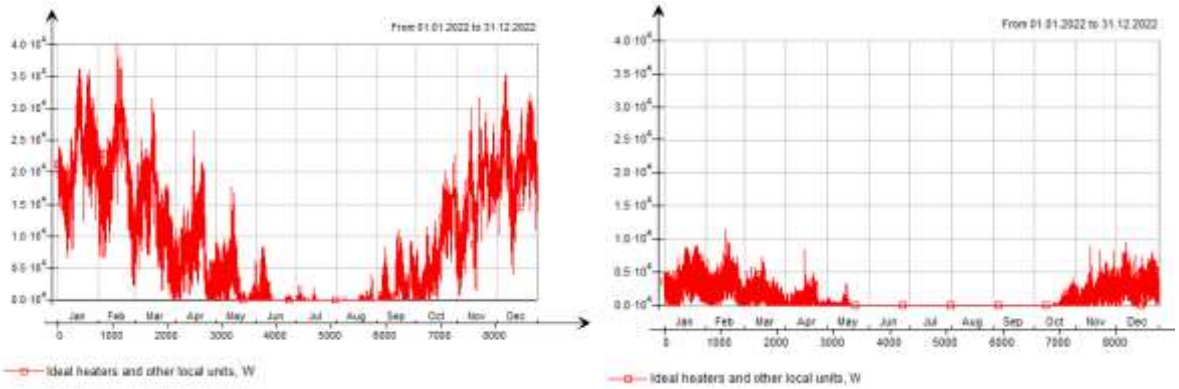

Abbildung 92: Leistungsaufnahme idealer Heizelement im größeren Gebäude vor und nach Sanierung als Ergebnis der dyn. Simulation mit IDA ICE

Abbildung 93 verdeutlicht die Auswirkung der Sanierung auf den Verlauf der Heizlast (genauer: der Leistungsaufnahme idealer Heizelemente). Während die maximale Last vor Sanierung ca. 35 kW, kurzzeitig bis 40 kW beträgt, liegt sie nach Sanierung bei etwa 9 kW, kurzzeitig bei maximal 12 kW.

Wie auch die Jahresdauerlinie in Abbildung 94 zeigt, wird die Heizperiode deutlich verkürzt.

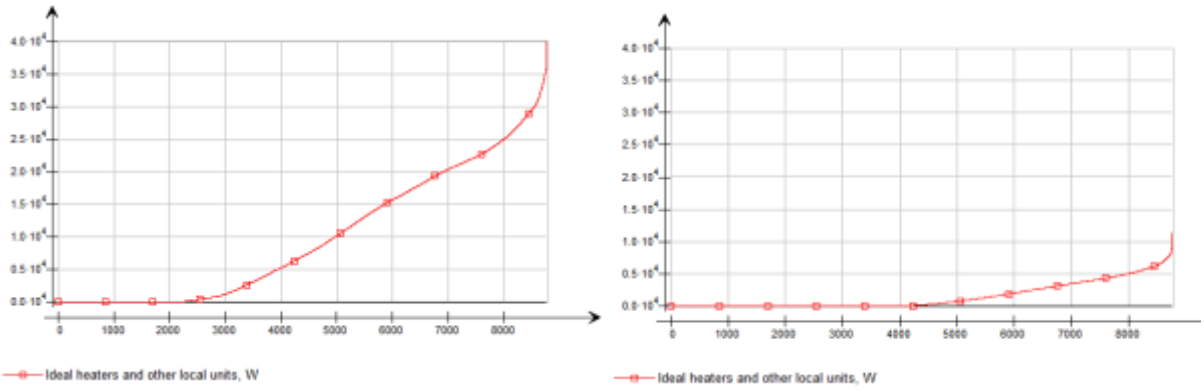

Abbildung 93: Jahresdauerlinie idealer Heizelemente des größeren Gebäudes vor und nach Sanierung als Ergebnis der dynamischen Gebäudesimulation mit IDA ICE

Während im unsanierten Gebäude etwa 2.300 Stunden ohne Heizlast auftreten, sind es nach Sanierung über 4.200 Stunden.

Während im unsanierten Zustand an 1.760 h eine Last von 20 kW und mehr auftritt, liegt die Last, die in 1.760 h auftritt bei knapp über 3 kW.

Die Ergebnisse der Energieausweisberechnung (Stand: Fertigstellung) nach OIB RL 6 (2019) sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

BGF	m^2_{BGF}	906,6
Heizwärmebedarf $HWB_{Ref, RK}$	kWh/(m^2_{BGF}a)	23,7
Heizwärmebedarf $HWB_{Ref, SK}$	kWh/(m^2_{BGF}a)	28,5
Heizwärmebedarf HWB_{SK}	kWh/(m^2_{BGF}a)	16,5
Primärenergiebedarf PEB_{SK}	kWh/(m^2_{BGF}a)	52,0
CO_2-Emissionen $CO_{2eq, SK}$	kg/(m^2_{BGF}a)	7,2
$f_{GEE,SK}$	-	0,52
HEB_{SK}	kWh/(m^2_{BGF}a)	21,7
HEB_{SK} absolut	kWh/a	19 673

Abbildung 94: Wichtigste Energiekennwerte der Energieausweisberechnung gem. OIB RL 6 (2019) – großes Gebäude

Die genannten Energiekennwerte gemäß Energieausweis sind zum Teil merklich besser, als die Anforderungen des klimaaktiv Kriterienkatalogs 2020 für Wohngebäude. Dies führt dazu, dass das Gebäude in der klimaaktiv-Fertigstellungsdeklaration die Höchstpunktzahl in Kategorie B „Energie und Versorgung“ erreicht.

Aus dem verringerten Endenergiebedarf resultieren niedrigere Treibhausgasemissionen im Betrieb. Diese werden im Endbericht dargestellt, da im Rahmen des Projekts SüdSan zunächst realistische, monatsweise Konversionsfaktoren für die CO_{2eq}-Emissionen des Verbraucherstrommix Österreich ermittelt werden.

Kellergeschoß

Der Schwerpunkt der Arbeiten im Kellergeschoß lag neben der Anpassung des Grundrisses auf der Behebung der Feuchteschäden. Da die Außenwände zur Behebung der Feuchteschäden ohnehin vollständig aufgegraben werden mussten, konnten sie außenseitig bis zur Sohle mit 8 cm XPS gedämmt werden.

Die Dämmung der Kellerwände gegen Außenluft wurde wie die des Sockels mit 30 cm EPS ausgeführt. Diese Dicke hat keine bauphysikalischen, sondern gestalterische Gründe: die Dämmung wurde so dick ausgeführt, um den Versatz zur Außenkante der Erdgeschoss-Außenwände gering zu halten. Die Dämmstärke von 30 cm wurde bis etwa 80 cm unter Gelände geführt, darunter verjüngt sich die Kellerdämmung.

Die folgende Abbildung zeigt einen konstruktiven Schnitt des Kellergeschosses.

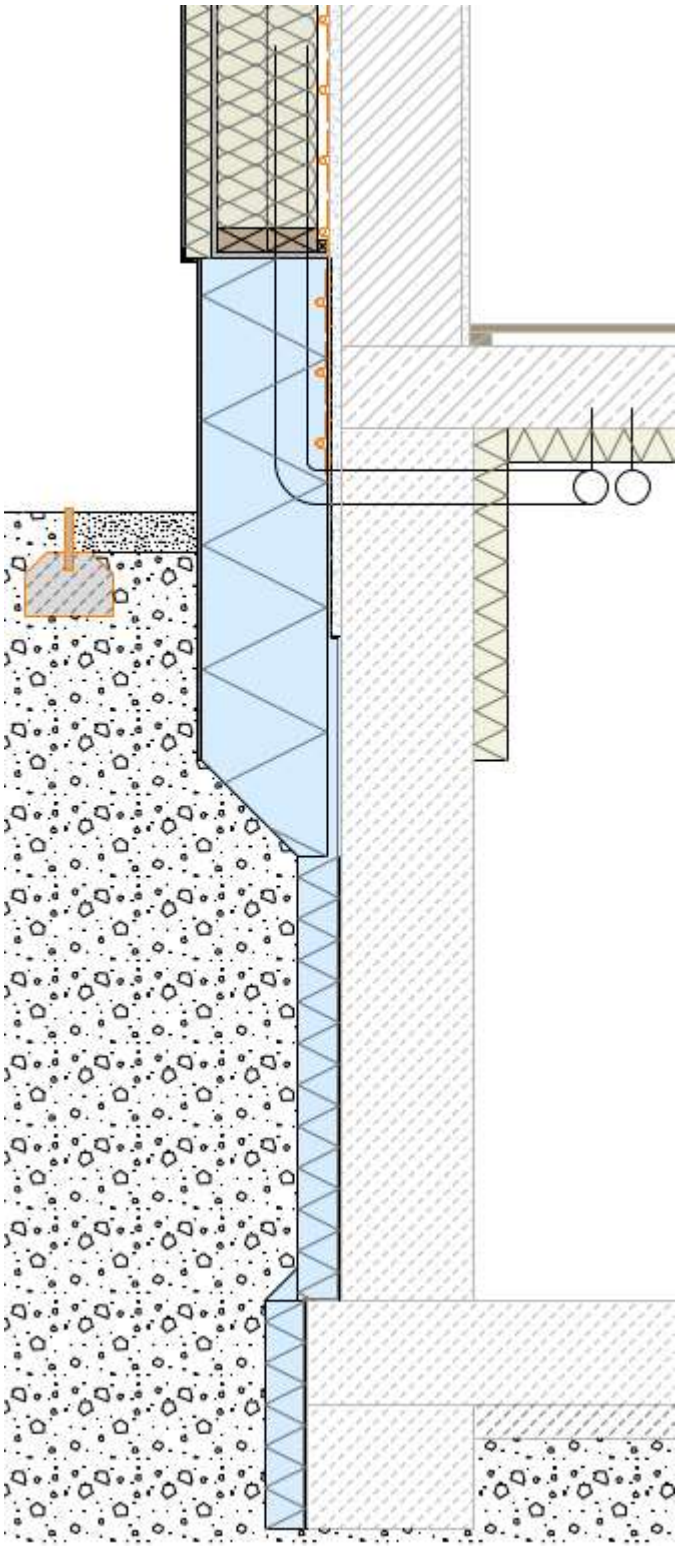

Abbildung 95: konstruktiver Schnitt KG mit Anschluss Kellerdecke und Außenwand EG; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Die Dämmung wurde anders als dargestellt nicht bis zum Fuß des Fundaments, sondern bis zur Sohle der Außenwand ausgeführt.

Die umfangreichen Eingriffe im Kellergeschoß sind in den folgenden Fotos dokumentiert.

Abbildung 96: Aufgraben der Kelleraußenwände – großes Gebäude; Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 97: Abdichtung der Kelleraußenwände – großes Gebäude; Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Da der Feuchteschutz der Kellerwände ungenügend war, wurde der Keller bis zur Sohle aufgegraben, so dass eine zweilagige, bituminöse Abdichtung angebracht werden konnte. In Teilbereichen mit besonders starken Feuchteschäden wurde die Kelleraußenwand innenseitig mit Sanierputz verputzt.

Die Kellerwände wurden bis zur Sohle außenseitig gedämmt (nächste Fotos).

Abbildung 98: Dämmung der Kelleraußenwände bis zur Sohle – großes Gebäude; Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 99: Verfüllung mit Schotter; verstärkte Dämmung im Sockelbereich – großes Gebäude; Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 100: Verfüllung mit Schotter; verstärkte Dämmung im Sockelbereich; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Um die Wärmebrücke am Anschluss der Kellerdecke an die Keller-Außenwand zu entschärfen wurde auf der Innenseite der Keller-Außenwände – bis 80 cm unter Unterkante Kellerdecke - eine Flankendämmung aus 8 cm EPS angebracht. Die Kellerdecke wurde mit 8 cm PIR-Dämmung gedämmt – siehe folgende Abbildungen.

Abbildung 101: Flankendämmung im oberen Bereich der Außenwand KG; Dämmung der Kellerdecke, Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 102: Schwachstellen in der Flankendämmung im oberen Bereich der Keller-Außenwand und Dämmung der Kellerdecke, Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Wegen des mangelnden Feuchteschutzes wurde der Kellerboden in Teilen beider Gebäude entfernt und neu ausgeführt. Alle bestehenden Kellerböden wurden kugelgestrahlt.

Abbildung 103: Arbeiten am Kellerboden; Fotos: Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 104: Arbeiten am Kellerboden; Fotos: Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 105: Neue Kellerfenster und Leitungsführung unter der Kellerdeckendämmung bzw. in der Dämmebene; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Die zum Teil noch einfachverglasten Kellerfenster wurden durch neue Fenster ersetzt.

Die neuen Wärmeverteilrohre sowie Lüftungsrohre wurden wo möglich unter der Kellerdecken-dämmung geführt.

In Teilen mussten sie wegen der geringen lichten Höhe jedoch in der Dämmebene geführt werden.

Abbildung 106: Neue Kellerabteile im größeren Gebäude; Foto: J. Walser Fotographie, Hohenems

Abbildung 106 zeigt die neuen Kellerabteile im größeren Gebäude. Die umfangreichen Grundrissänderungen in den Kellergeschossen beider Gebäude wurden bereits in Abbildungen 77 und 78 dargestellt.

Außenwände oberirdisch und Fenster

In beiden Gebäuden wurden bewusst unterschiedliche Ausführungen für die Dämmung der Außenwand gewählt: das kleine Gebäude erhielt ein Wärmedämm-Verbundsystem mit 24 cm Holzweichfaserplatten, das große eine teil-vorgefertigte Fassadenkonstruktion aus Kreuzlagenhölzern, die außenseitig mit einer Brandschutzplatte geschlossen und mit 6 cm Holzweichfaserplatte als Putzträgerplatte versehen wurde – siehe folgende Abbildung.

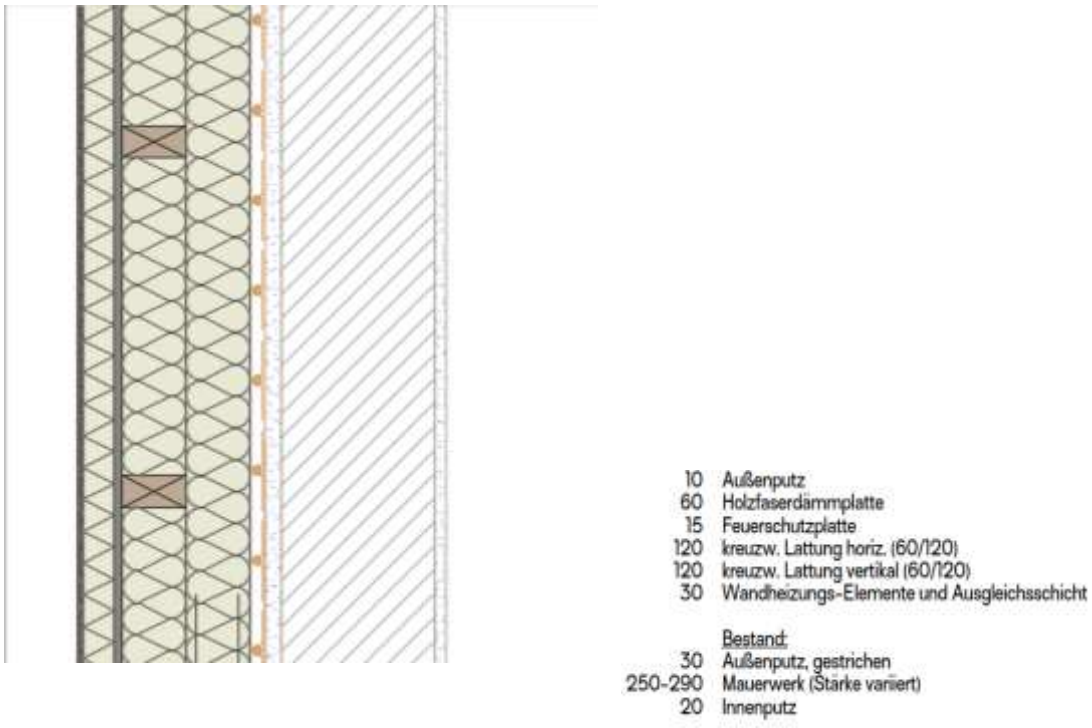

Abbildung 107: Aufbau Außenwand großes Gebäude, ohne Maßstab

Besonderheit der Fassadenkonstruktion aus Kreuzlagenhölzern ist, dass erstmals ein neu entwickeltes Wandheizsystem auf der Außenseite der Bestandsaußenwand eingesetzt und in die Konstruktion integriert wurde. Die Montage des Systems und der teil-vorgefertigten Fassadenkonstruktion aus Kreuzlagenhölzern wird nachfolgend dokumentiert, das technische System der Außenwandheizung in Kapitel 5.1.6 dargestellt.

Ein ausführlicher Bericht zur Auslegung des Systems findet sich auf der SüdSan Projekt-Homepage[44].

In beiden Gebäuden wurden die Zuluftleitungen für die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung in der Dämmebene geführt.

Abbildung 108 zeigt einen konstruktiven Schnitt durch die Außenwand des größeren Gebäudes mit den Fensteranschlüssen und der Ausbildung der Traufe. Die Ausführung ist in den darauffolgenden Abbildungen dokumentiert.

[44] https://www.energieinstitut.at/forschung-und-projekte/suedsan-beispielhafte-sanierung-von-2-gebaeuden-der-suedtirolersiedlung-bludenz

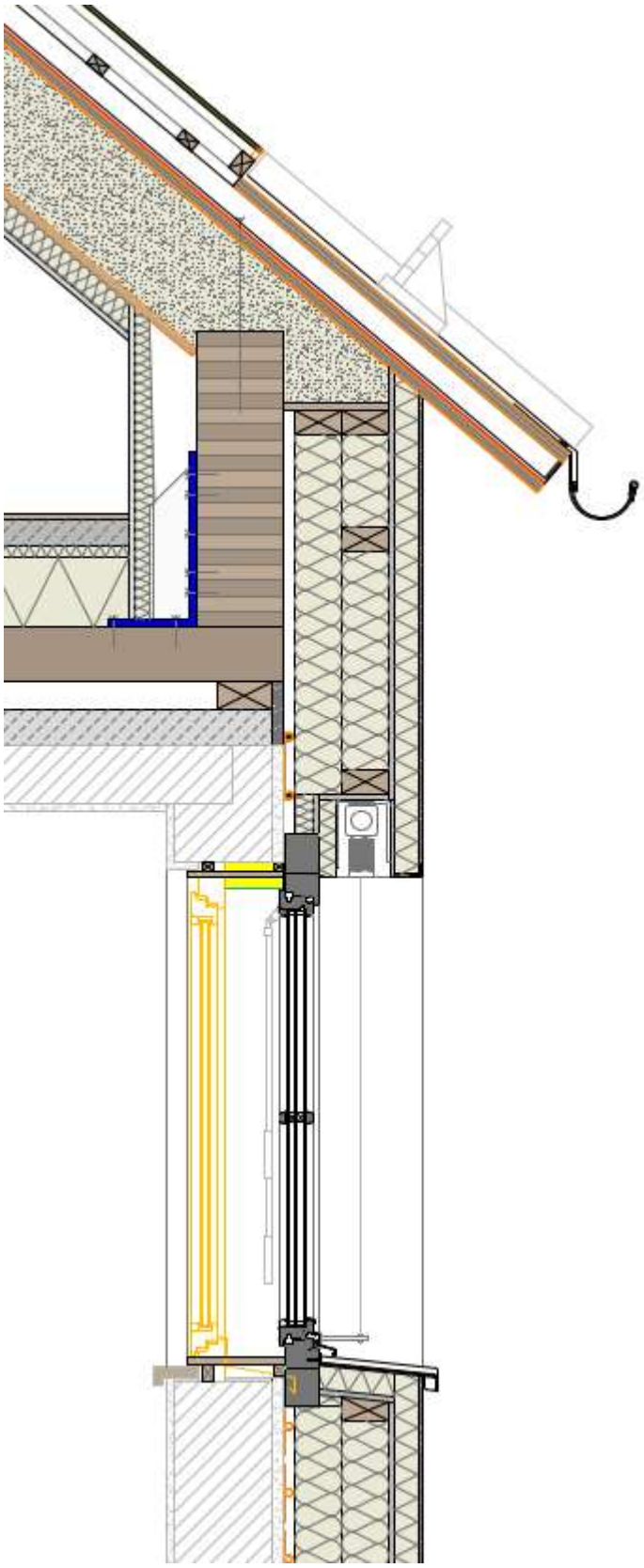

Abbildung 108: großes Gebäude: Schnitt Außenwand mit Fensteranschlüssen und Anschluss Traufe; ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Abbildung 109: großes Gebäude: Wandheizelemente und Zuluftrohre – links; vorgefertigte Kreuzlagenelemente; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 110: großes Gebäude: vorgefertigte Kreuzlagenelemente; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 111: großes Gebäude: teil-vorgefertigte Kreuzlagenelemente; Foto: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 112: großes Gebäude: erste und zweite Lage Mineralwolldämmung; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Die Dämmung der 2 * 12 cm dicken Kreuzlagen wurde mehrschichtig aus Mineralwolle ausgeführt. Wandseitig wurde eine weichere Matte gewählt, da diese sich besser an die Wandheizung anschmiegt.

Abbildung 113: großes Gebäude: Putzträgerplatte Holzweichfaser, Grundputz; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Da das Gebäude in Gebäudeklasse 4 eingestuft ist, musste die Holzkonstruktion außenseitig durch eine Brandschutzplatte geschlossen werde (nicht im Bild).

Den äußeren Abschluss bildet eine 6 cm Holzweichfaserplatte als Putzträgerplatte für den zweilagigen Mittelschichtputz.

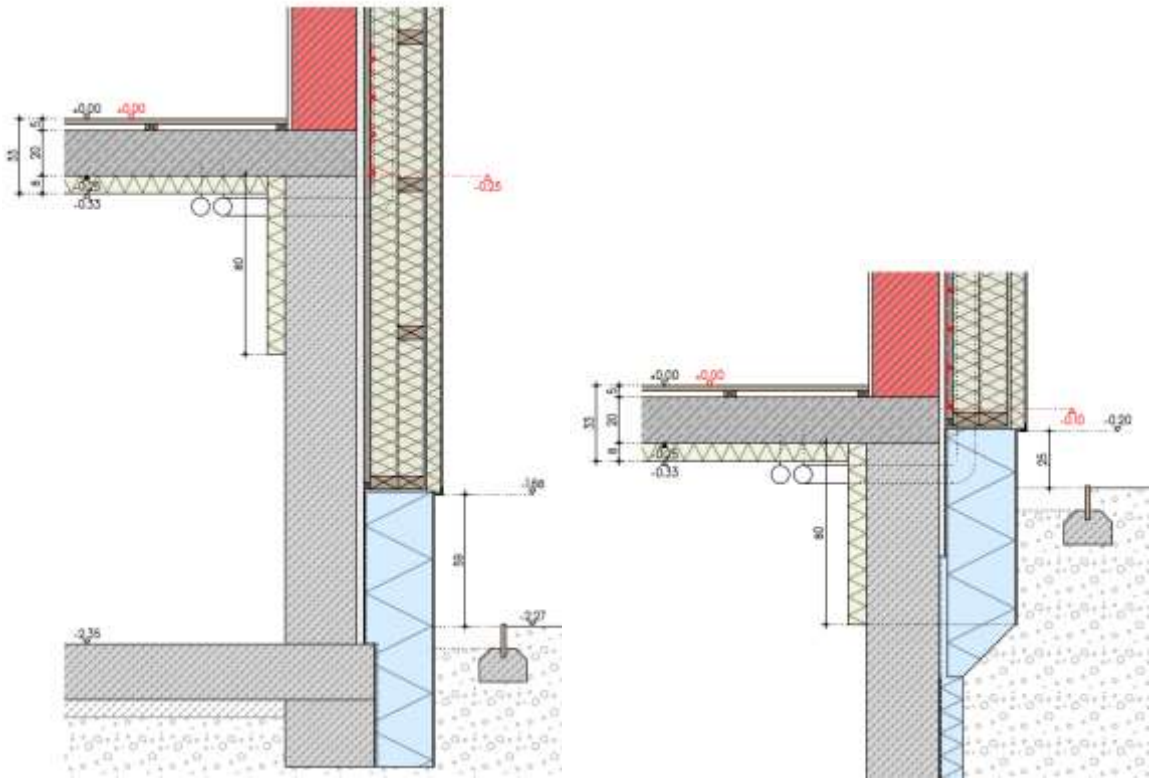

Abbildung 114: großes Gebäude: Übergang Außenwand Erdgeschoß zu Kellergeschoß mit Anschluss Kellerdecke, Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Aufgrund der Hanglage ergaben sich zwei unterschiedliche Anschlüsse der Erdgeschoß-Wandelemente an die Sockeldämmung.

Abbildung 115: großes Gebäude: unterer Abschluss der Fassadenelemente mit Metallwinkeln als Auflager für die Schwelle; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 116: Glattstrich als Grundlage für das Verkleben der Fenster in der Dämmebene; eingebautes Fenster mit Holzrahmen und Wiener Sprosse; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Die Fenster wurden anders als zunächst geplant aus Kostengründen einflügelig ausgeführt und erhielten Wiener Sprossen.

Abbildung 117: abgeklebte Fenster und Wandheizelemente; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Geschoßdecken

Da die Sanierung im bewohnten Zustand durchgeführt wurde, wurden keine Maßnahmen an den Geschossdecken über dem EG und über dem 1. OG durchgeführt.

Dachgeschoß

Da die oberste Geschoßdecke anders als zunächst vermutet nicht als Stahlbetondecke, sondern als Stahl-Steindecke (System Pfeifer) ausgeführt und statisch nicht für den vorgesehenen Ausbau des Dachgeschosses geeignet war, wurde eine neue, lastabtragende Massivholzdecke aus 14 cm BSH über der bestehenden Decke montiert.

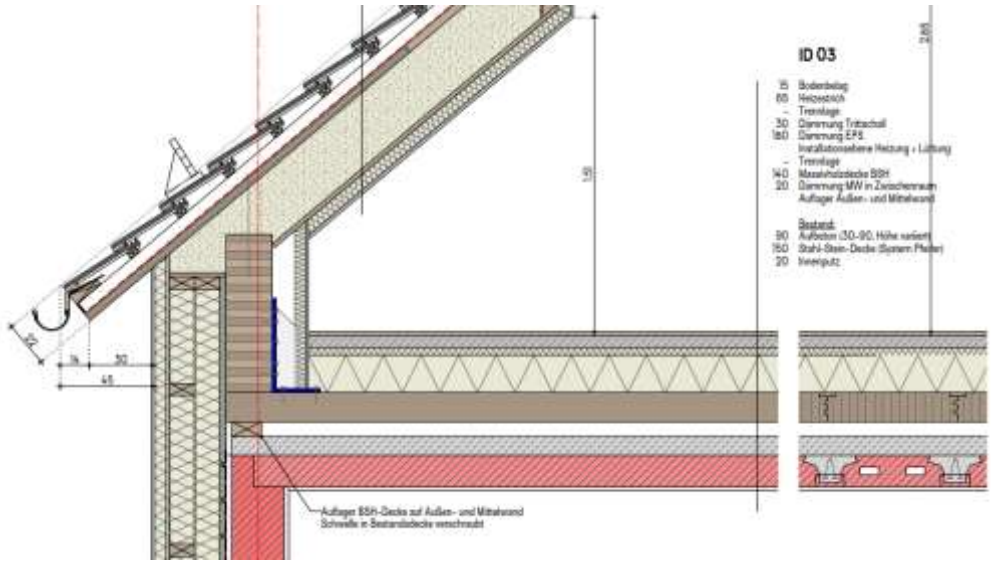

Abbildung 118: Aufbau oberste Geschoßdecke und Anschluss an Außenwand und Kniestock; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Abbildung 119: Neue lastabtragende BSH-Massivholzdecke im DG des großen Gebäudes; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Über der Massivholzdecke dient eine 18 cm Schicht aus EPS-Schüttung als Installationsebene für Heizung und Lüftung, darüber liegen Trittschalldämmung, Heizestrich und Parkettboden.

Der Kniestock wurde in Form einer hohen BSH-Pfette ausgeführt, die tragenden Innenwände als beidseitig doppelt beplankte Holzrahmenwände, die Giebelwände als vorgefertigte Holzrahmenelemente mit Installationsebene und außenliegender Brandschutzplatte sowie einer 6 cm Holzweichfaserplatte als Putzträgerplatte, siehe folgende Abbildung.

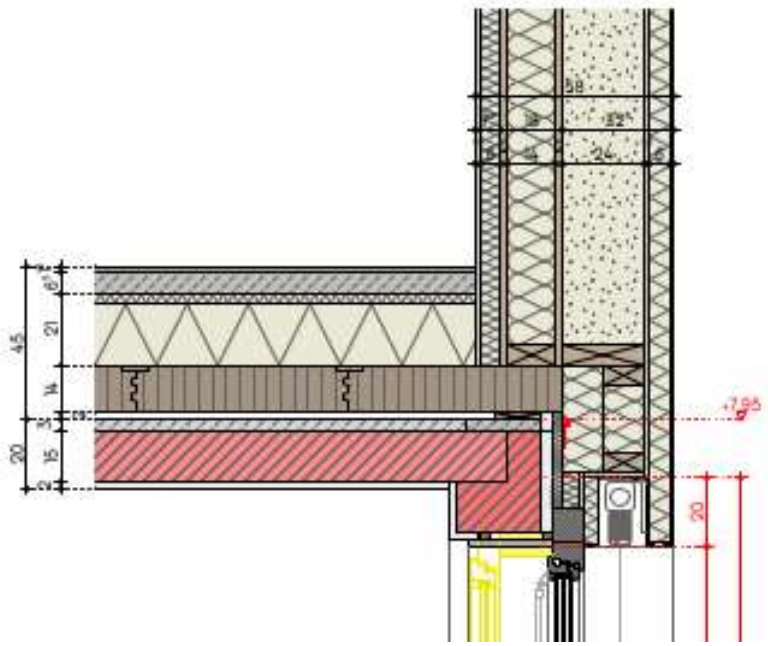

Abbildung 120: Anschluss Giebelwand an oberste Geschoßdecke; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Das Dach besteht aus vorgefertigten, unterseitig mit OSB 3-Platten und oberseitig mit 4 cm Holzfaserdämmplatte beplankten, zellulosegedämmten Elementen mit BSH-Sparren. Diese wurden auf 28/12 cm dimensioniert.

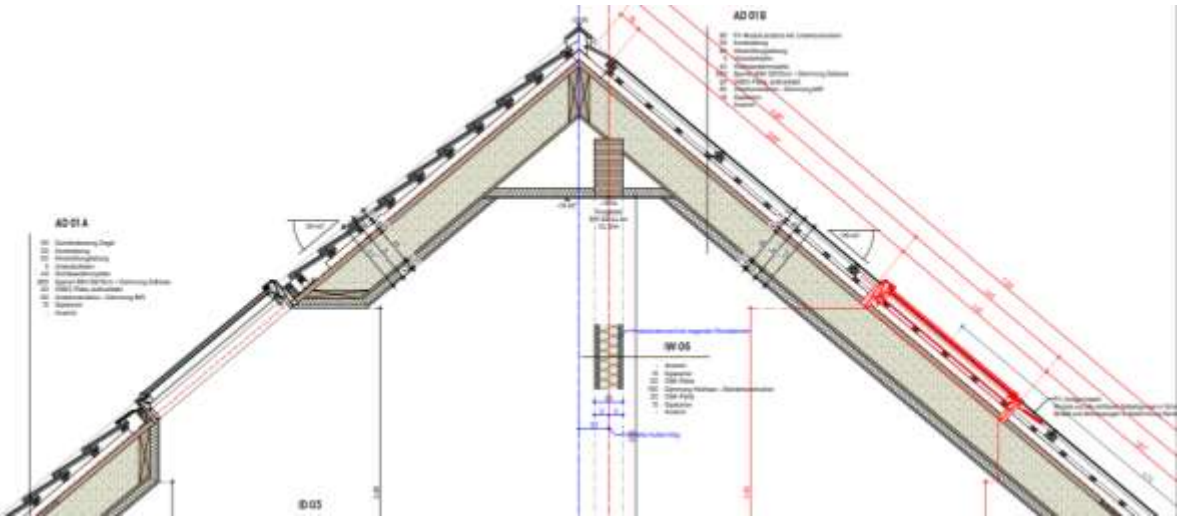

Abbildung 121: Schrägdach mit Ziegeldeckung und dachintegrierter PV-Anlage; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Wie die Abbildung zeigt, liegen die Dachelemente nicht symmetrisch auf der Firstpfette: die Mittelwand des Gebäudes steht außermittig.

Die nordseitige Dachhälfte wurde mit Ziegeldeckung ausgeführt, die Südhälfte fast vollständig mit einer separat von der eigentlichen Dachkonstruktion vorgefertigten, dachintegrierten PV-Anlage. Diese wird in Kapitel 5.1.9 vorgestellt.

Die folgende Abbildung zeigt das Ortgang-Detail.

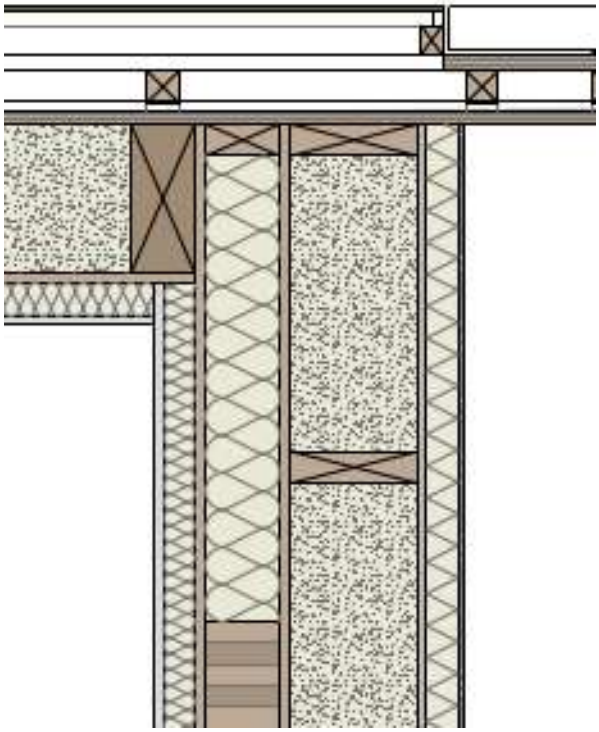

Abbildung 122: Detailausbildung Ortgang; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Treppenhaus und Türen

Das große Gebäude erhielt eine neue Außentüre und neue Türen zum Kellergeschoß. Außerdem musste die Treppe zum Dachgeschoß an die höhere Konstruktion der obersten Geschoßdecke angepasst und ein neues Geländer im DG angebracht werden. Darüber hinaus wurden im Treppenhaus Malerarbeiten durchgeführt.

Abbildung 123: Treppenhaus im großen Gebäude während und nach Sanierung; Fotos: links: Rhomberg Bau GmbH; rechts: Walser Fotografie, Hohenems

Heizung und Warmwasser

Die folgende Abbildung zeigt den Kellergrundriss mit Haustechnikraum und außen aufgestellter Luft-Wärmepumpe. Zu erkennen ist auch die Lage der Außenwandheizungs-Verteiler, die über ein relativ langes Wärmeverteilnetz angebunden sind sowie die Leitungsführung zu den alten Kaminen, die zur Anbindung der Frischwasserstationen genutzt wurden.

Abbildung 124: Grundriss KG mit neuem Haustechnikraum und Luft-Wärmepumpe; Planungsteam E-Plus

Abbildung 125: Luft-Wärmepumpe des großen Gebäudes; Foto: Walser Fotografie, Hohenems

Die klein dimensionierte, modulierende Luft-Wärmepumpe wurde in unmittelbarer Nähe des Gebäudes platziert.

Die folgende Abbildung zeigt die zwei Schichtenspeicher mit jeweils 1.000 Liter ungedämmt und im eingebauten Zustand.

Abbildung 126: Schichtenspeicher ohne Dämmung und im eingebauten Zustand; Fotos: Rhomberg Bau GmbH (links), Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Die horizontale Wärmeverteilung erfolgt unter der Kellergeschoßdecke, die vertikale in der gedämmten Fassade. Die Wärmeabgabe in den Bestandsgeschossen erfolgt über die Außenwandheizung, in den beiden neuen Dachgeschoßwohnungen über eine Fußbodenheizung.

Wie die dynamischen Gebäudesimulationen zeigen, ist zur Anpassung der Wärmeabgabe an die unterschiedlichen Heizlasten der Räume sowie aufgrund des raumweise unterschiedlichen Verhältnisses der Außenwandfläche (= Heizfläche) zur Wohnnutzfläche eine Einzelraumregelung sinnvoll. Jeder Raum hat daher einen eigenen Heizkreis und Einzelraumregelung. Der Durchfluss wird pro Kreis mit hydraulischem Abgleich separat eingestellt.

Die Außenwand-Heizkreisverteiler wurden außerhalb der Wohnungen platziert, so dass sie auch ohne Anwesenheit der Bewohner zugänglich sind. Sie wurden zum Teil im Kellergeschoß, zum Teil im Treppenhaus DG platziert – siehe folgende Abbildung.

Die Unterverteiler der Dachgeschoßwohnungen mit Fußbodenheizung liegen in den Wohnungen.

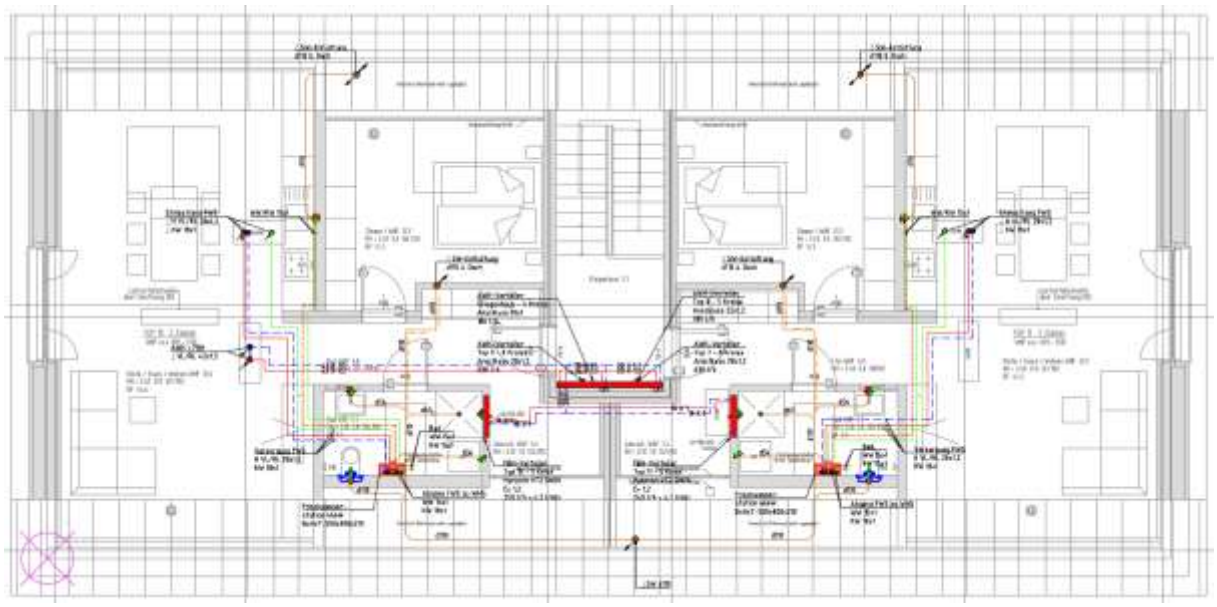

Abbildung 127: Grundriss DG mit Lage der Außenwandheizungs-Heizkreisverteiler, der Unterverteiler in den DG-Wohnungen sowie der Horizontalverteilung im DG; Planungsteam E-Plus

Abbildung 128: Außenwandheizungs-Heizkreisverteiler im Treppenhaus DG (links), Foto: Rhomberg Bau GmbH und im Kellergeschoß, Foto: Energieinstitut Vorarlberg

Auf Basis der Ergebnisse der dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation wurde die Heizkurve außentemperaturabhängig wie folgt in der MSR hinterlegt.

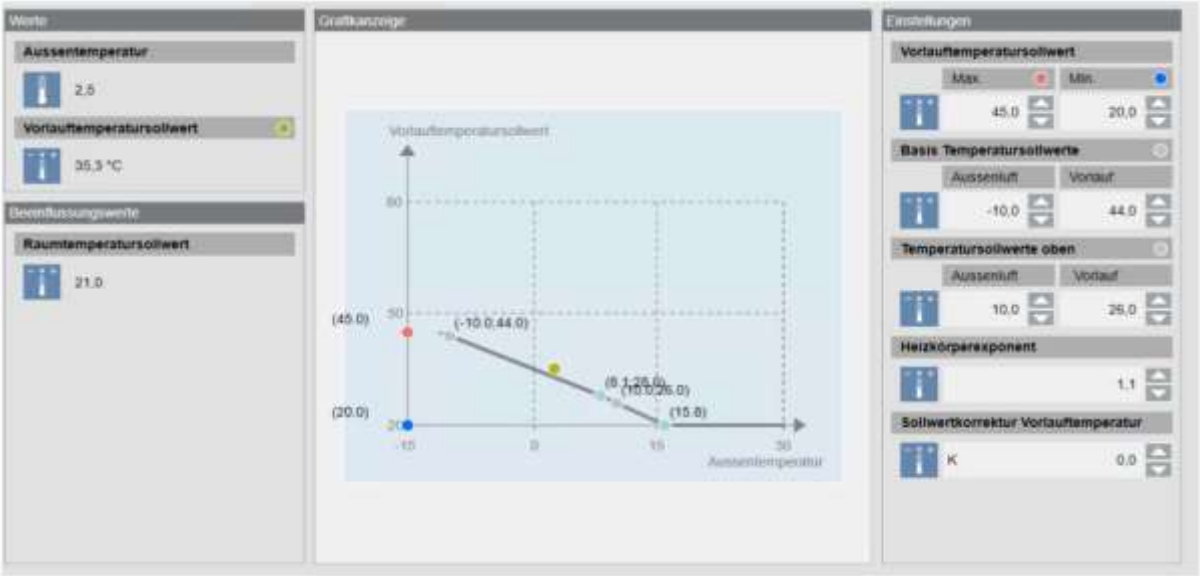

Abbildung 129: Heizkurve großes Gebäude in Abhängigkeizt von der Außenlufttemperatur; screenshot MSR

Die Vorlauftemperatur wurde auf 44°C bei einer Außentemperatur und 26°C bei einer Außenlufttemperatur von + 10°C eingestellt.

Lüftung

Alle 11 Wohnungen werden über eine im Keller aufgestellte, zentrale Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung belüftet. Die folgenden Abbildungen zeigen das Lüftungsgerät und die Anschlüsse der Luftverteilleitungen.

Abbildung 130: zentrales Komfortlüftungsgerät mit WRG im KG; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Die horizontale Verteilung erfolgt großteils unter der Kellerdecke, wie die folgende Abbildung zeigt. Die Luftmengen werden im Kellergeschoß raumweise über Irisblenden einreguliert. Wegen der geringen lichten Höhe sind deutlich längere Leitungslängen notwendig.

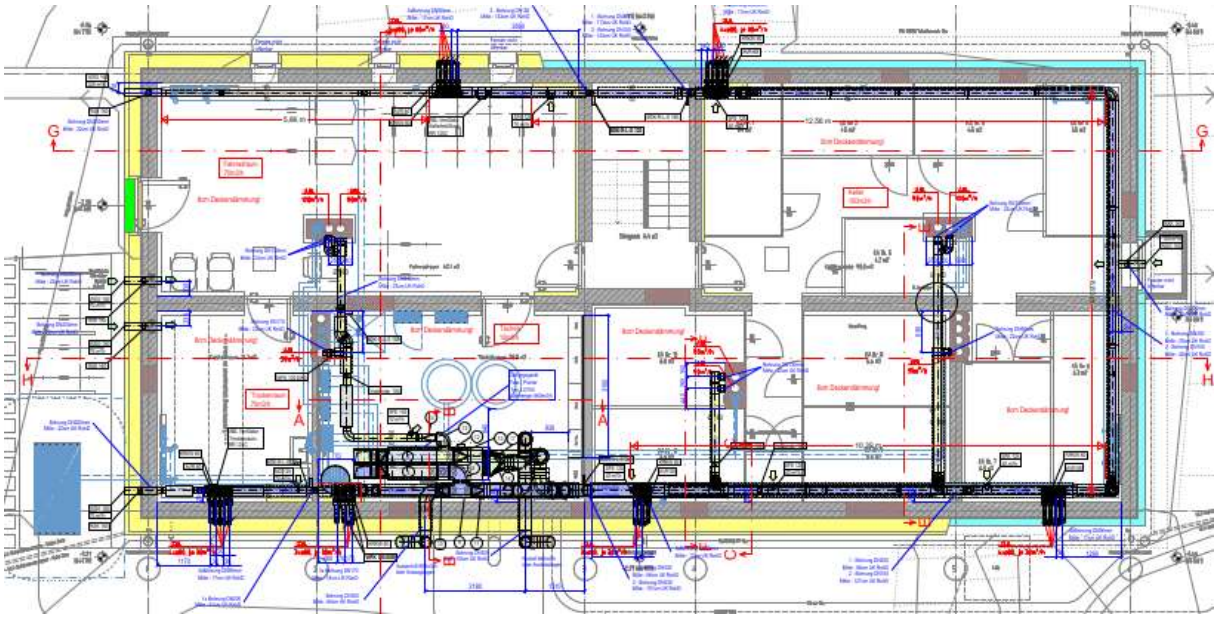

Abbildung 131: Ausführungsplan des Wärmeverteilnetzes der Komfortlüftung mit WRG im KG; Planungsteam E-Plus; kranz luft-klima-technik gmbh

Die Außenluftansaugung erfolgt im Sockelbereich unterhalb der Höhe der Kellerdecke, die Außenluft wird elektrisch frostfrei gehalten. Die Fortluft wird im Sockelbereich ausgeblasen.

Die horizontale Verteilung der Zuluft erfolgt unter der Kellerdecke, die Vertikalverteilung raumweise in den gedämmten Fassadenelementen.

Die Zuluftventile sitzen auf der Innenseite der Außenwände, die Abluft wird in Küche und Bad abgesaugt und über vorhandene Kamine bis in den Keller geführt. Dort wird sie unter der Kellerdecke zum Lüftungsgeräte geführt. Durch diese Luftführung sind innerhalb der Wohnungen keine Leitungen notwendig, was die Sanierung im bewohnten Zustand sehr erleichterte.

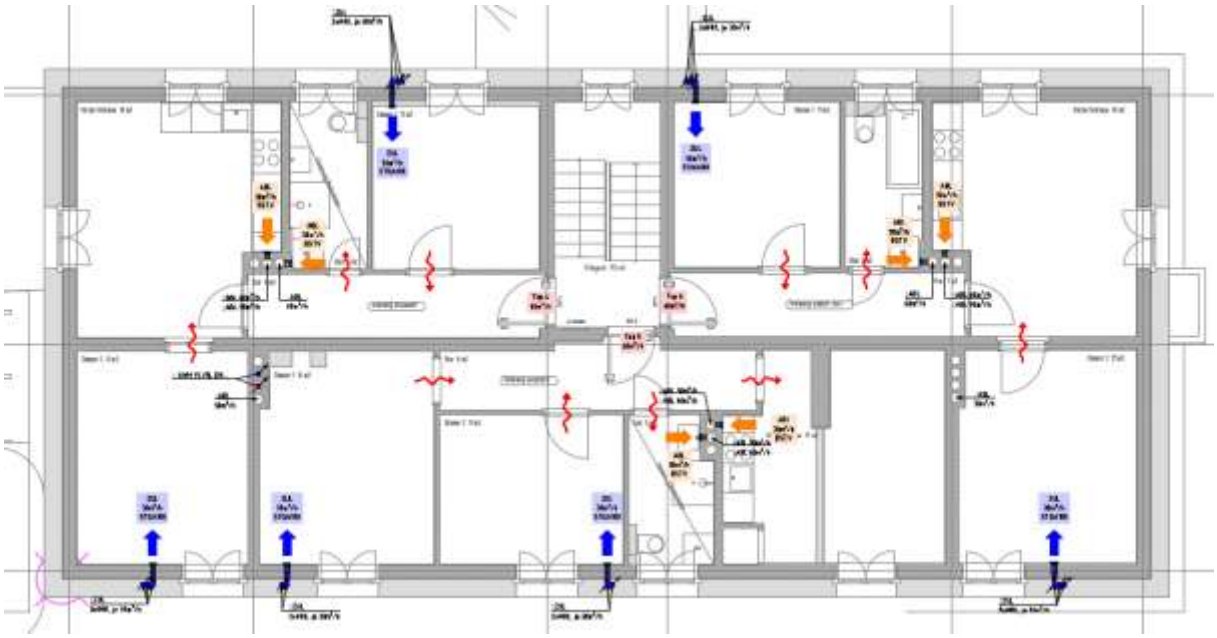

Abbildung 132: Ausführungsplan Lüftung, EG ; Planungsteam E-Plus

Für die neuen Wohnungen im Dachgeschoß sind kurze Horizontalverteilungen notwendig, diese sind in der Installationsebene oberhalb der neuen Massivholzdecke untergebracht.

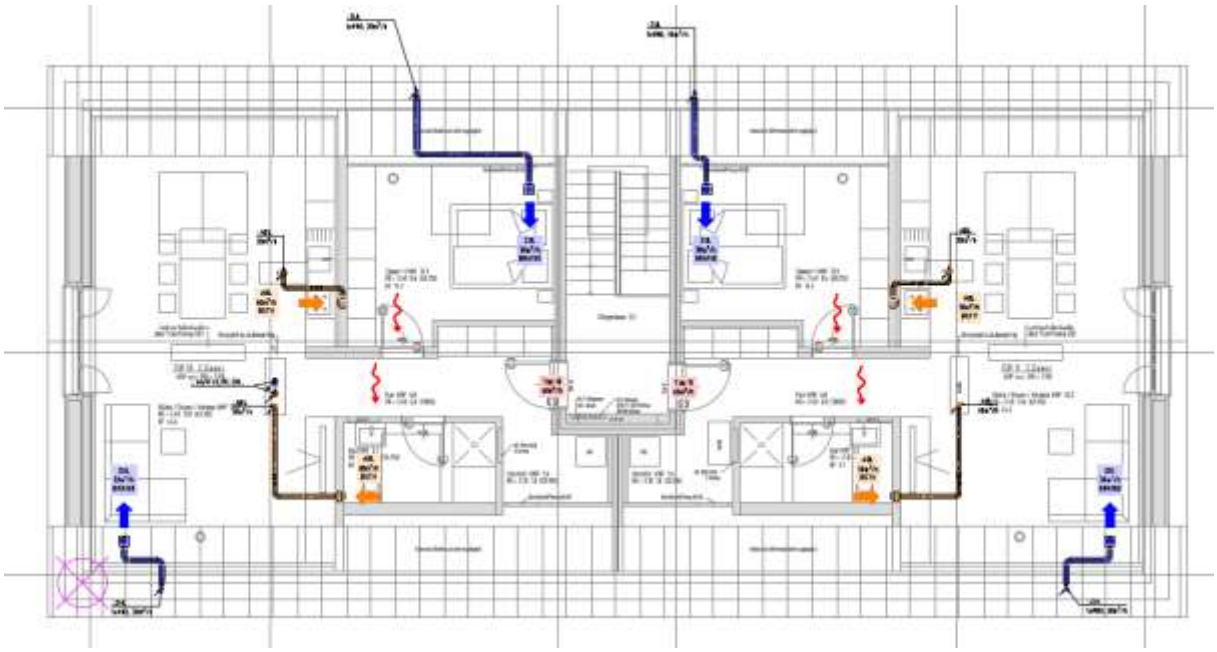

Abbildung 133: Ausführungsplan Lüftung, DG ; Planungsteam E-Plus

Abbildung 134: Zuluftventil an der Außenwand eines Raumes; raumweise Vertikalverteilung der Zuluft in der Ebene der Fassadenelemente; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 135: Außenluftansaugung und Fortluftausblasung im Sockelbereich; Wanddurchführungen der Zuluftrohre in Höhe Unterkante Kellerdecke; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 136: Überdämmung der Zuluftrohre in der teil-vorgefertigten Außenfassade; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Das Kellergeschoß ist nicht in die Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung für die Wohnungen eingebunden. Der aus hygienischen Gründen notwendige Luftwechsel aller Kellerräume wird über eine separate Abluftanlage gewährleistet. Die relative Feuchte im Trockenraum wird zusätzlich über einen Raumentfeuchter bedarfsgesteuert begrenzt.

Abbildung 137: Abluftanlage und Raumentfeuchter im Trockenraum; Foto: Energieinstitut Vorarlberg

PV und Elektroinstallation

Im großen Gebäude wurde eine separat von der eigentlichen Dachkonstruktion vorgefertigte Indach-PV-Anlage mit einer Leistung von 25,5 kW_p auf der etwa 14° von der Südrichtung abweichenden Dachhälfte installiert. Die Dachneigung beträgt 47°.

Abbildung 138: Indach-PV-Anlage im großen Gebäude; Foto: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 139: Indach-PV-Anlage im großen Gebäude; Foto: Energieinstitut Vorarlberg

Die fast südorientierte Dachhälfte sollte – mit Ausnahme der beiden Dachflächenfenster – vollflächig mit PV versehen werden. Da jedoch zum Zeitpunkt der Planung Ende 2022 Unsicherheit bezüglich der Randabstände gemäß der kurz zuvor novellierten OVE Richtlinie R11-1 (2022) bestand, wurde die Modulfläche in Abstimmung mit der Brandverhütungsstelle merklich verkleinert.

In Abs. 4.2 der Richtlinie ist festgelegt: „PV-Generatorfelder an oder auf Gebäuden, ausgenommen Gebäude der GK 1 und Reihenhäuser der GK 2, sind mit einem Mindestabstand von 1 m zum Ortgang, Traufenkante oder Attika anzuordnen, damit für die Einsatzkräfte eine Begehung der baulichen Anlage möglich ist."

Beide Dachgeschoßwohnungen sind über die großen Fenster in den Giebelwänden sowie über die Dachflächenfenster der Nord-Dachhälfte zugänglich.

Abbildung 140: Ortganganschluss der PV-Anlage; Foto: Energieinstitut Vorarlberg

Die Ertragsprognose des Anbieters liegt bei ca. 30.950 kWh/a, was einem spezifischen Ertrag von 1.197 kWh/kW_p entspricht.

Die überschlägliche Ertragsprognose mit PHPP liegt bei 27.453 = 1.077 kWh/kW_p

Der PV-Strom soll für alle Energieanwendungen inkl. Haushaltsstrom genutzt werden, Batteriespeicher wurden nicht ausgeführt.

Im Rahmen der Sanierung wurde auch ein neuer Blitzschutz installiert, außerdem wurde die Elektroinstallation im Keller und im Treppenhaus erneuert.

Abbildung 141: Elektrozähler im Kellergeschoß; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Die Elektroinstallation im Dachgeschoß wurde neu errichtet.

Bäder / Wasser und Abwasser

Die vier bislang nicht sanierten Bäder in den Wohnungen im EG, im 1. und im 2. OG wurden modernisiert, die Bäder der beiden DG-Wohnungen wie das gesamte Dachgeschoß neu errichtet.

Abbildung 142: Badsanierung; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Außenanlagen

Abbildung 143: Außenanlagen großes Gebäude, Foto: Rhomberg Bau GmbH

Beim großen Gebäude war der Umfang der Arbeiten an den Außenanlagen relativ gering.

5.2 Kleines Gebäude

Im Kellergeschosses des kleinen Gebäudes wurden einige nicht tragende Wände und die Abtrennungen der Kellerabteile abgerissen und durch neue Innenwände und Kellerabteile ersetzt. Abbildung 144 zeigt den Kellergrundriss nach Sanierung, Abbildung 145 die Veränderungen gegenüber dem Bestand.

Im neu gestalteten Keller entstanden neben den individuellen Kellerabteilen größere Abstellräume für Fahrräder und Kinderwagen, ein Technikraum, ein Raum für die Zähler sowie ein Trockenraum.

Einige Kellerfenster wurden zugemauert, da die Lüftung des Kellers nach Sanierung über eine feuchtegeregelte, separate Abluftanlage erfolgt. Grund für diese Änderung war, dass die relative Feuchte im Keller vor der Sanierung aufgrund der Fensterlüftung im Sommer sehr hoch war, so dass Schimmel entstand.

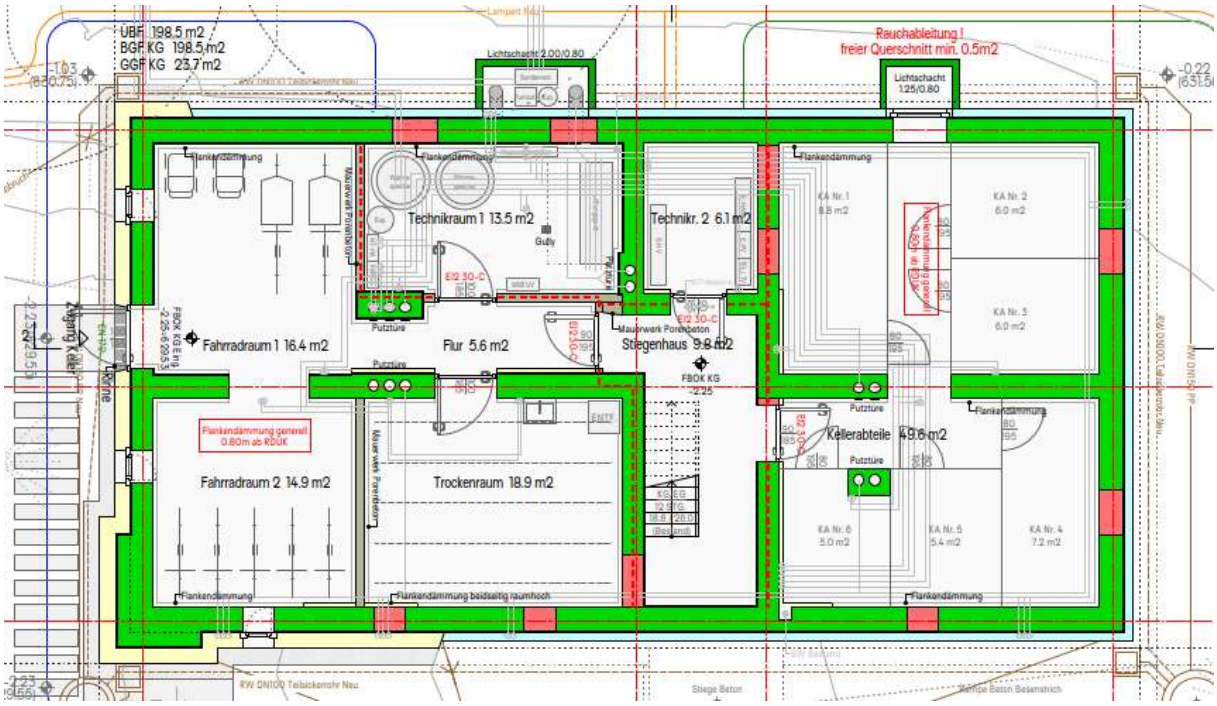

Abbildung 144: kleines Gebäude, Grundriss KG, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

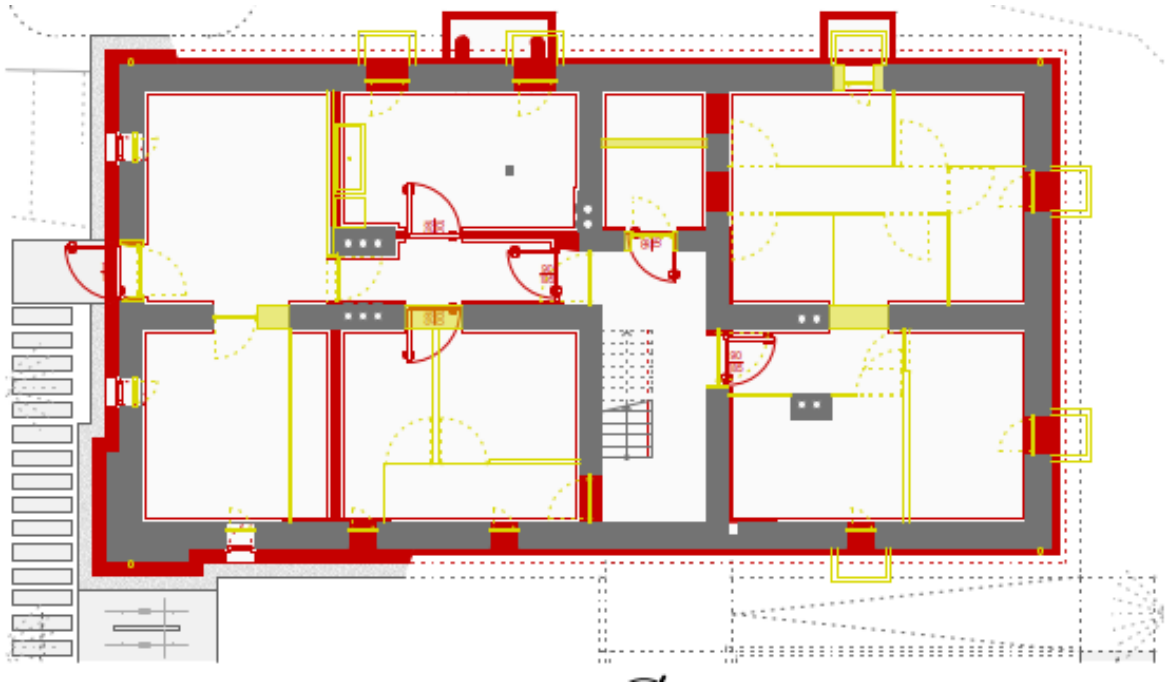

Abbildung 145: kleines Gebäude, Grundriss KG, Veränderungen gegenüber Bestand, ohne Maßstab; gelb: Abriss, rot: neues Bauteil, neue Bauteilschicht/Komponente, grau: Bestand; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Wie zu erkennen wurde das Treppenhaus im Kellergeschoß durch Türen abgetrennt.

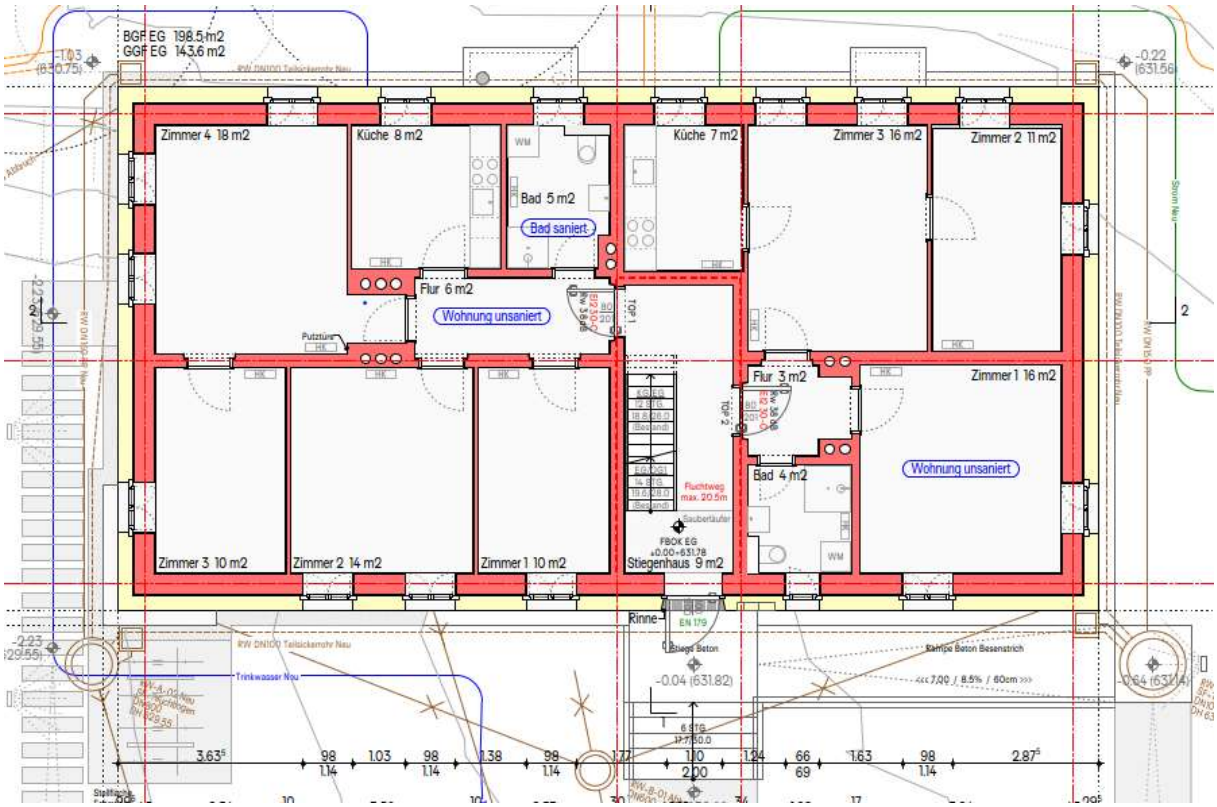

Abbildung 146: kleines Gebäude, Grundriss EG, Veränderungen gegenüber Bestand, ohne Maßstab; gelb: Abriss, rot: neues Bauteil, neue Bauteilschicht/Komponente, grau: Bestand; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Die Wohnungsgrundrisse im Erdgeschoß und im 1. Obergeschoß wurden nicht geändert. Im Rahmen der Sanierung wurden die Bäder modernisiert, wo dies noch nicht erfolgt war.

Das Gebäude erhielt eine neue Außentreppe sowie eine Rampe, um den Zugang zu den Erdgeschoßwohnungen barrierefrei zu ermöglichen.

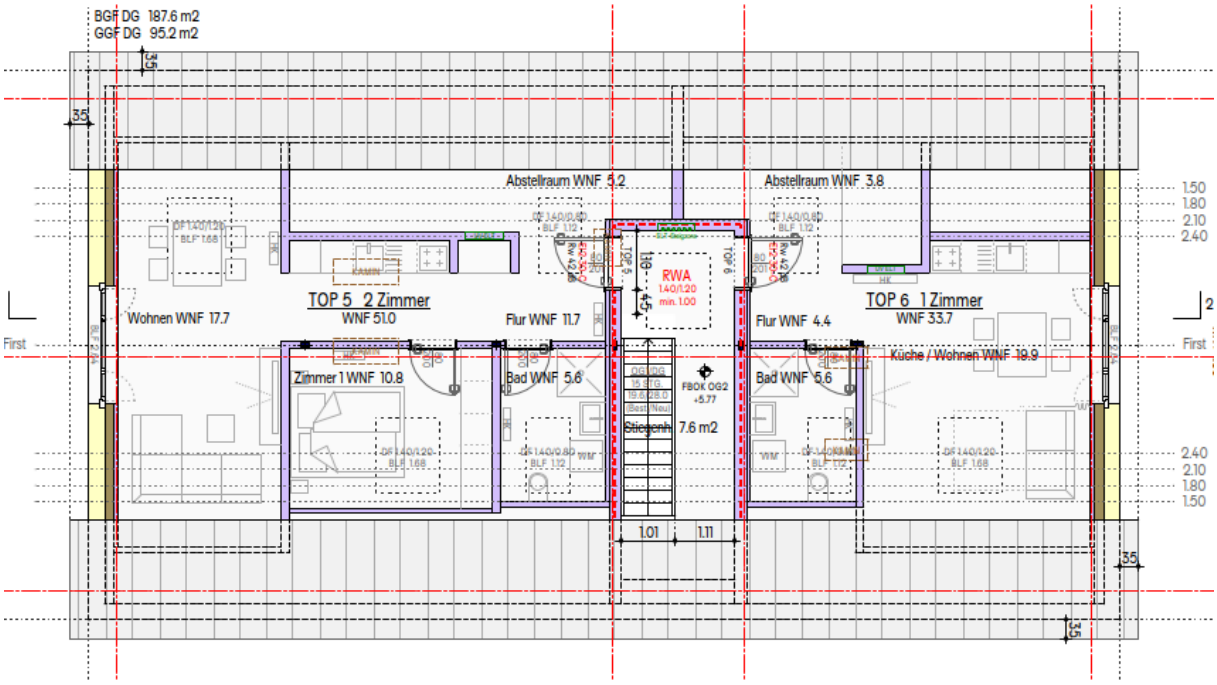

Abbildung 147: kleines Gebäude, Grundriss DG, Veränderungen gegenüber Bestand, ohne Maßstab; gelb: Abriss, rot: neues Bauteil, neue Bauteilschicht/Komponente, grau: Bestand; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Wie für das große Gebäude wurde entschieden, den bislang nur teilgenutzten Dachraum für zwei statt für eine Wohnung zu nutzen.

Wegen der statischen Mängel wurde der Bestands-Dachstuhl abgerissen, ebenso die Giebelwände und die Innenwände. Die Dachwohnungen wurden auf der statisch verstärkten obersten Geschoßdecke in Holzbauweise mit vorgefertigten Elementen komplett neu errichtet.

Um die Nutzbarkeit der Wohnungen zu verbessern, wurde ein Kniestock errichtet. Um die Proportionen des Gebäudes nicht zu stark zu verändern, wurde dieser auf Wunsch des Bundesdenkmalamts sehr niedrig ausgeführt.

Die Dachgeschoßwohnungen werden über große giebelseitige Fenster sowie über Dachflächenfenster belichtet.

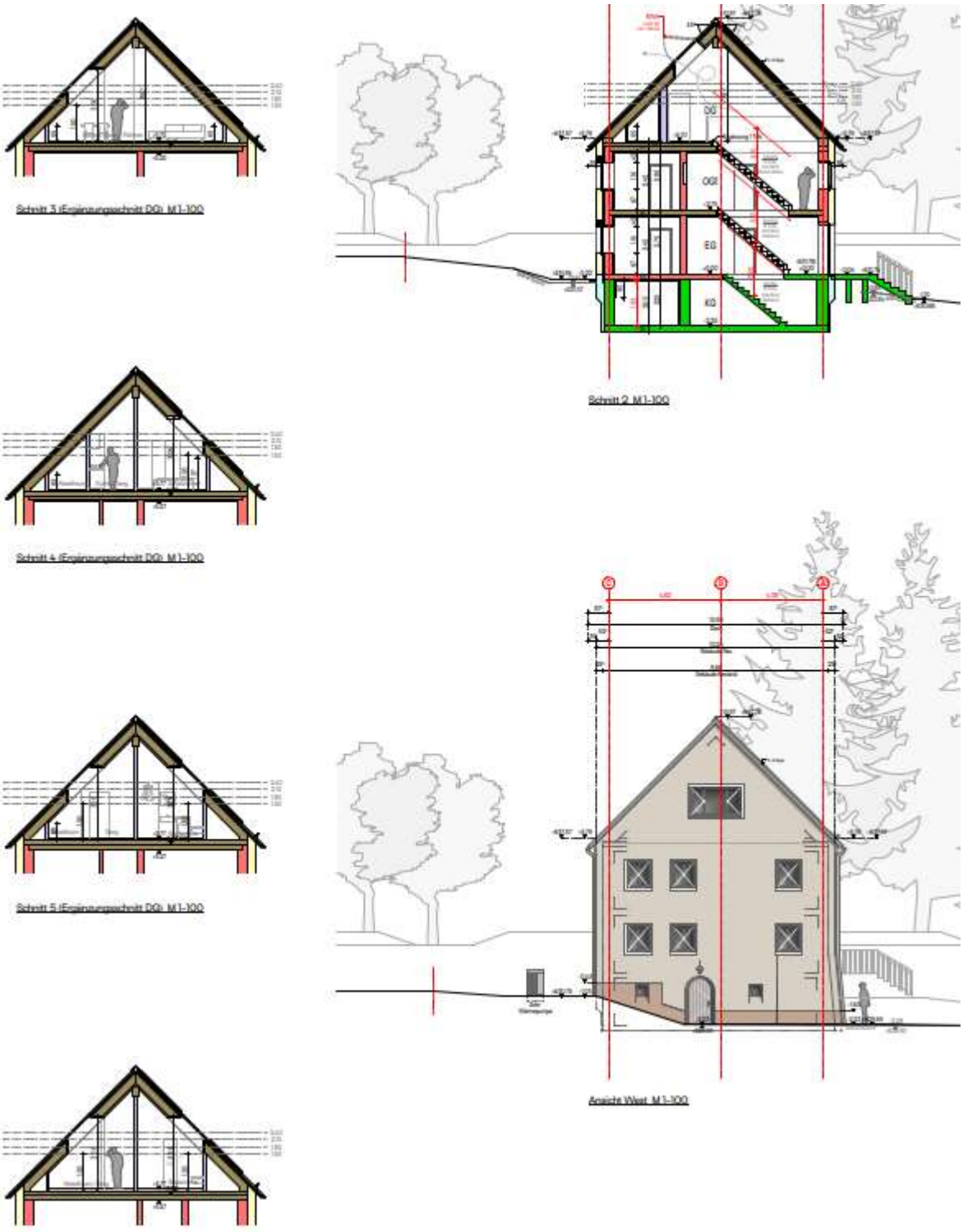

Abbildung 148: kleines Gebäude, Schnitte und Ansicht West, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Abbildung 149: Kleines Gebäude nach Sanierung; Fotos: Walser Fotografie, Hohenems

Abbildung 150: Kleines Gebäude nach Sanierung; Fotos: Walser Fotografie, Hohenems

Die Form der Kellereingangstür wurde beibehalten. Um die Erdgeschosswohnungen barrierefrei zu gestalten, wurde zusätzlich zur neuen Außentreppe eine Rampe errichtet.

Angestrebte energetische Qualität und Energiekonzept

Wie in Kapitel 5.1.1 beschrieben ist das Ziel der Sanierung beider Gebäude, ein Energieniveau zu erreichen, das kompatibel zum Pariser Klimaziel ist.

Dies entspricht für Sanierungen mit Wärmepumpenheizungen einem $Endenergieverbrauch_{gesamt}$, von max. 55 kWh/($m^2_{WNF}$a) in Summe aller Energieanwendungen inkl. Haushaltsstrom sowie einer PV-Stromerzeugung von mindestens 60 kWh/($m^2_{\text{überbaute Fläche}}$ a).

Gebäudehülle

Die Gebäudehülle wurde in einer sehr guten energetischen Qualität saniert. Die Außenwand erhielt ein WDVS mit 24 cm Holzweichfaserplatten, die Fenster wurden mit Holzrahmen IV 90 und einer guten Dreifachverglasung ausgeführt und erhielten Wiener Sprossen.

Das Schrägdach wurde aus statischen Gründen wie die Giebelwände komplett neu errichtet. Die Kelleraußenwände konnten außenseitig bis zur Sohle gedämmt werden, da das Kellergeschoß ohnehin aufgegraben werden mussten, um abgedichtet zu werden. Der Sockelbereich gegen Außenluft und der oberste Teil der Dämmung der Kelleraußenwände wurde mit 20 cm deutlich dicker gedämmt. Zusätzlich wurde der obere Teil der Kelleraußenwand innenseitig mit einer Flankendämmung aus 8 cm EPS gedämmt.

Die Kellerdecke konnte wegen der geringen lichten Höhe nur mit 8 cm gedämmt werden. Aufgrund ihrer sehr guten Wärmeleitfähigkeit wurden PIR-Platten gewählt.

Die Wärmebrücken – etwa an den Fensteranschlüssen und am Anschluss der Kellerdecke - wurden bestmöglich minimiert. Der mittlere, gewichtete U-Wert der Gebäudehülle inkl. der Fenster und inkl. Wärmebrücken bei 0,262 W/(m^{2}K), der mittlere Wert der opaken Bauteile der Gebäudehülle bei 0,192 W/(m^{2}K). Das Gebäude erreichte im Luftdichtheitstest einen sehr guten n_{50}-Wert von 0,79 h^{-1}. Der Fensterflächenanteil liegt inkl. der neuen, großen Fenster in den Giebelwänden und der Dachflächenfenster bei 17,3% der Wohnnutzfläche. Die wichtigsten Kennwerte der Gebäudehülle sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst, einen Überblick über die Ausführung der Gebäudehülle und der sonstigen Bauteile zeigt der konstruktive Schnitt in Abbildung 151. Detailliertere Beschreibungen der einzelnen Bauteile und Anschlüsse mit Plänen und Fotos aus der Bauphase finden sich in den Folgekapiteln.

U-Wert Außenwand nach Sanierung	W/(m^{2}K)	0,144
U-Wert Giebelwand	W/(m^{2}K)	0,08
U-Wert Schrägdach	W/(m^{2}K)	0,13
U-Wert Kellerdecke	W/(m^{2}K)	0,249
Fenster (U_W-Wert / Ug / g-Wert (Normmaßbezug)	W/(m^{2}K) / -	0,90 / 0,53 / 0,53
Wärmebrückenzuschlag	W/(m^{2}K)	0,025
mittlerer, gewichteter U-Wert inkl. Fenstern (inkl. Wärmebrücken)	W/(m^{2}K)	0,262
mittlerer, gewichteter U-Wert opak (inkl. Wärmebrücken)	W/(m^{2}K)	0,192
Messwert der Luftdichtheit n_{50}	h^{-1}	0,79
Fensterflächenanteil (Fensterfläche/WNF)	%	17,3%

Tabelle 18: Energierelevante Kennwerte der Gebäudehülle – kleines Gebäude

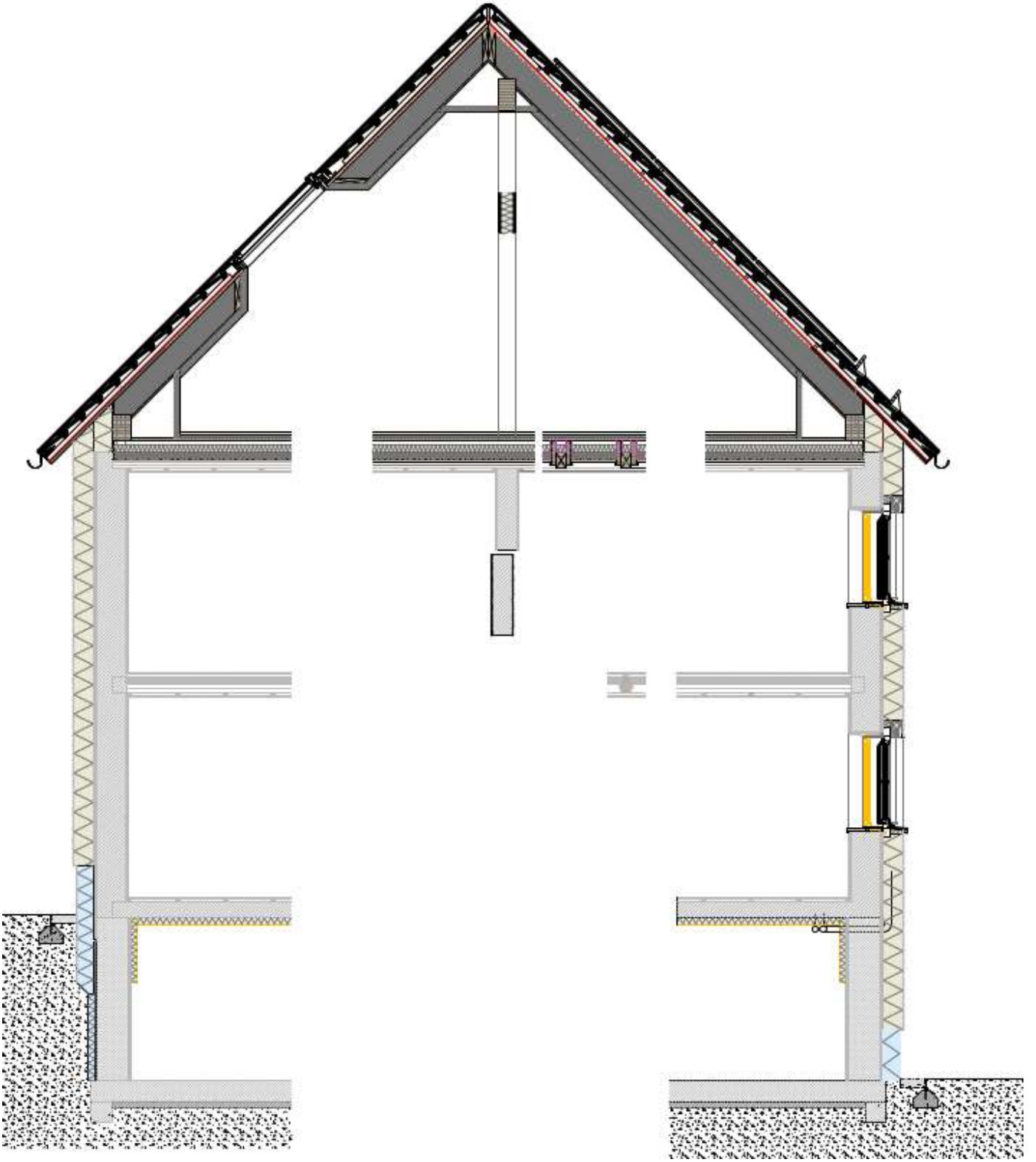

Abbildung 151: konstruktiver Schnitt, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Energierelevante Haustechnik

Das Gebäude wurde mit einer zentralen Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Das Lüftungsgerät steht im Keller, die Horizontalverteilung der Luft erfolgt unter der Kellerdecke und auf der obersten Geschoßdecke, die Vertikalverteilung in der neuen Fassade. Die Abluft wird über vorhandene Kamine und Schächte in den Keller geführt, so dass in den Wohnungen keine Lüftungsleitungen notwendig sind. Der Luftwechsel ist wegen der deutlich höheren Belegungsdichte mit 0,48 h^{-1} höher ausgelegt als im großen Gebäude. Die Raumluftfeuchte des Kellers wird über eine separate Abluftanlage geregelt. Zusätzlich wurde im Trockenraum im KG ein Entfeuchtungsgerät installiert. Die folgende Abbildung zeigt ein vereinfachtes Haustechnikschema.

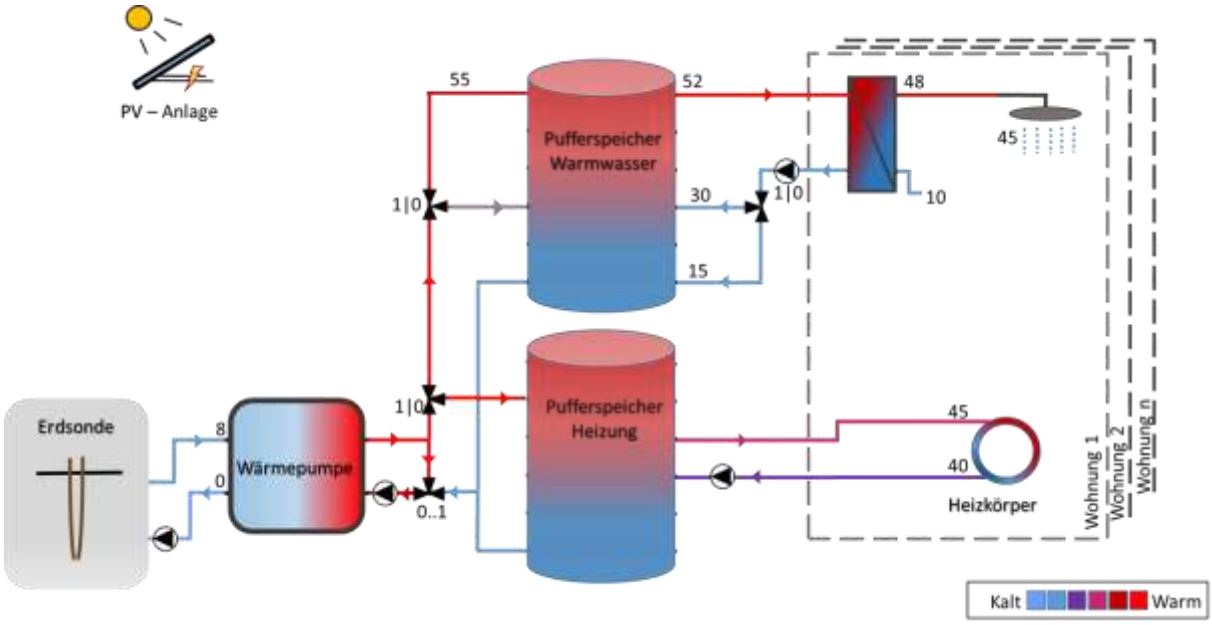

Abbildung 152: Vereinfachtes Haustechnikschema, kleines Gebäude; Energieinstitut Vorarlberg

Die Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser erfolgt durch eine Erdreich-Wärmepumpe. Da das geplante, einzige marktreife Gerät mit Kältemittel Propan wegen Lieferschwierigkeiten nicht verfügbar war, wurde ein modulierendes Gerät mit Kältemittel R 134a eingesetzt. Während das Gerät mit Kältemittel Propan aus Brandschutzgründen außen aufgestellt worden wäre, konnte das Gerät mit herkömmlichem Kältemittel im Heizungskeller aufgestellt werden. Sonden und Wärmepumpe konnten sehr klein dimensioniert werden, da das Gebäude aufgrund des sehr guten Wärmeschutzes und der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung eine sehr niedrige maximale Heizlast hat.

Diese wurde in der Berechnung mit PHPP-Standardannahmen zu 19 W/m^2_{EBF} bestimmt. Eingesetzt wurden zwei Sonden a 89 m. Die Wärmepumpe hat eine Heizleistung (B0W35) von 9,1 kW. Heizungs- und Solepumpe sind integriert.

Die Wärmepumpe gibt ihre Wärme an zwei in Reihe geschaltete Pufferspeicher mit jeweils 820 Liter ab. Der Großteil des Speichervolumens steht für die Warmwasserbereitung zur Verfügung, der untere Teil eines Speichers für die Heizung. Aus dem Speicher wird die Wärme über ein Vierleitersystem mit wohnungsweisen Frischwasserstationen verteilt.

Die Wohnungen im EG und im 1. OG werden ebenso über Niedertemperatur-Heizkörper beheizt wie die neuen Wohnungen im DG. Zur Beheizung ist gemäß dynamischer Gebäudesimulation eine außentemperaturabhängige Vorlauftemperatur von maximal 45°C notwendig.

Das Warmwasser wird über wohnungsweise Frischwasserstationen mit ca. 32-50 kW Leistung (50/40°C) erwärmt - je nachdem, ob Badewanne oder Dusche vorhanden sind. Die Warmwasser-Vorlauftemperatur ist auf etwa 52°C, die Warmwasser-Zapftemperatur auf etwa 45°C ausgelegt. Höhere Temperaturen zur Legionellen-Prophylaxe müssen nicht erreicht werden, da es sich aufgrund der wohnungsweisen Frischwasserstationen um ein dezentrales System handelt.

Im kleinen Gebäude wurde eine Aufdach-PV-Anlage mit 16,2 kW_p auf der ca. 30° von der Südrichtung abweichenden Dachhälfte installiert. Die Dachneigung beträgt 45°.

Die Ertragsprognose des Anbieters liegt bei ca. 19.200 kWh/a, was einem spezifischen Ertrag von 1.187 kWh/kWp entspricht. Die überschlägliche Ertragsprognose mit PHPP liegt bei 16.800 = 1.040 kWh/kW_p.

Der PV-Strom soll für alle Energieanwendungen inkl. Haushaltsstrom genutzt werden. Ein Batteriespeicher ist nicht vorgesehen.

Wie in allen Neubau-Wohnanlagen der Alpenländischen wurde in dieser Sanierung eine MSR installiert.

Die wichtigsten Kennwerte der Haustechniksysteme sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Detailliertere Beschreibungen der einzelnen Komponenten der Haustechnik mit Plänen und Fotos aus der Bauphase finden sich in den Folgekapiteln.

Lüftungssystem und Luftwechselrate	zentrale Komfortlüftung mit WRG	0,48 h^{-1}	
Heizlast PHPP (20°C)	6,8 kW	19 W/m^2_{EBF}	
Wärmeerzeuger Heizung und Warmwasser (Typ, absolute und spezifische Leistung)	Erdreich-Wärmepumpe Hoval Thermalia Comfort H (10)	9,1 kW (B0W35)	25 W/m^2_{EBF}
Wärmespeicher Typ und Größe	Pufferspeicher	2 * 820 Liter	
Wärmeverteilsystem	Vierleiter mit wohnungsweisen Frischwasserstationen		
Wärmeabgabesystem Typ und Temperaturniveau	Heizkörper (EG, 1. OG, DG)	45°C / 38°C	
Solarthermie Fläche absolut und spezifisch	-	-	-
PV-Leistung absolut und spezifisch	16,2 kW_p	29 W/m^2_{BGF}	45 W/m^2_{EBF}
Batteriespeicher absolut und spezifisch	-	-	-

Tabelle 19: Energierelevante Kennwerte der Haustechniksysteme – kleines Gebäude

Energiekennwerte

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Ergebnisse der PHPP-Berechnungen sowie die zugrundeliegenden Annahmen und Randbedingungen für das kleine Gebäude zusammengestellt. Die linke Spalte zeigt die Ergebnisse der Berechnungen mit PHPP-Standardrandbedingungen, die rechte die der Verbrauchsprognoseberechnungen mit den projektspezifisch angepassten Randbedingungen für die Verbrauchsprognose.

		PHPP	
		Standard-Randbedingungen	Verbrauchsprognose
Annahmen und Randbedingungen			
Anzahl Personen	Zahl	9,9	11
mittlere Raumlufttemperatur Heizperiode	°C	20	22,5
mittlerer pro Kopf-WW-Bedarf	Liter pro Person (Tag) bei 60°	25	32,5
temporäre Verschattung Heizperiode	Faktor	0,9	0,9
Luftwechselrate Heizperiode	h^{-1}	0,477	0,477
Ergebnisse			
Heizlast	W/m^2_{EBF}	19,0	21,8
Heizwärmebedarf PHPP	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	36,2	51,9
Endenergie Heizung	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	10,6	14,3
Endenergie Warmwasser	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	10	11,8
Endenergie Heizung + Warmwasser	**$kWh/(m^2_{EBF}a)$**	**20,6**	**26,1**
Hilfs- und Allgemeinstrom	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	8,7	8,7
Haustechnik gesamt	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	29,3	34,8
Haushalts- und Allgemeinstrom	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	25,8	28
Endenergie gesamt	**$kWh/(m^2_{EBF}a)$**	**55,1**	**62,8**
PV-Erzeugung	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	46,6	42,4
PER Bedarf	$kWh/(m^2_{EBF}a)$	77,4	k.A.
PER Erzeugung	$kWh/(m^2_{überbaute\ Fläche}a)$	85,4	85,4

Tabelle 20: Energiekennwerte PHPP mit Standardrandbedingungen und als Verbrauchsprognoseberechnung

Der in der PHPP-Berechnung mit Standard-Randbedingungen bestimmte Heizwärmebedarf liegt bei 36,2 $kWh/(m^2_{EBF}a)$ und damit trotz fast identischer U-Werte deutlich höher als im großen Gebäude. Grund ist das deutlich schlechtere A/V-Verhältnis.

In der Verbrauchsprognoseberechnung mit einer Raumlufttemperatur von 22,5°C liegt der Heizwärmebedarf bei 51,9 kWh/(m^2_{EBF}a).

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf des Heizwärmebedarfs des sanierten Gebäudes unter Annahme einer mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur von 22,5°. Zum Vergleich ist in der übernächsten Abbildung der Verlauf im unsanierten Gebäude unter Annahme einer mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur von 20° dargestellt.

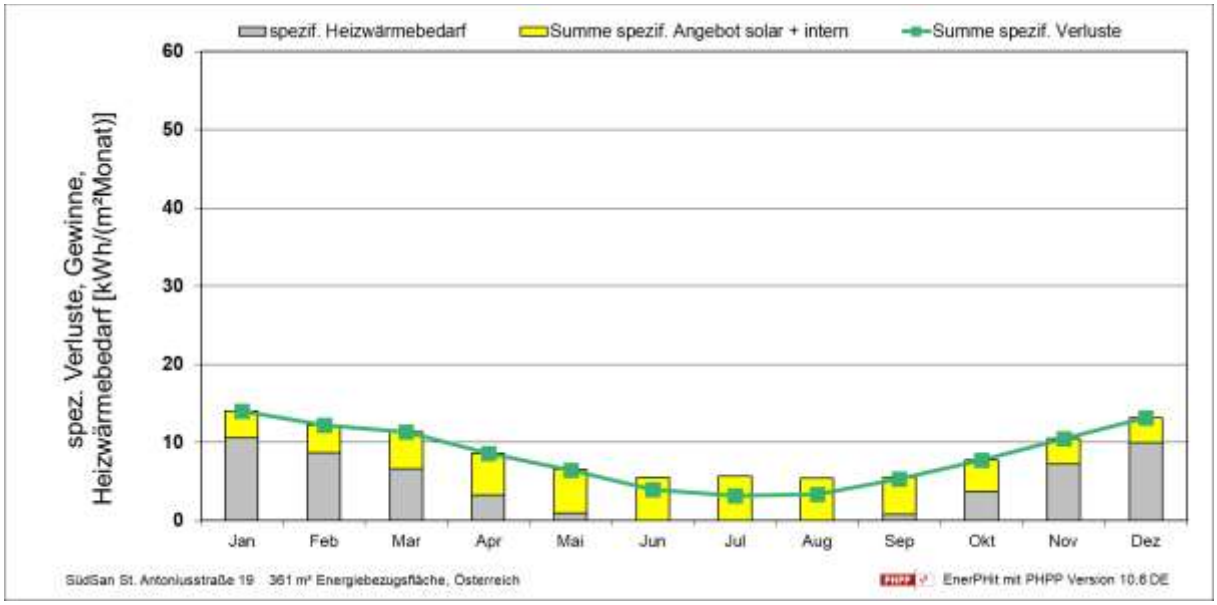

Abbildung 153: Jahresverlauf der spezifischen Verluste und Gewinne sowie des Heizwärmebedarfs – kleines Gebäude nach Sanierung; PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung mit 22,5°C Raumlufttemperatur

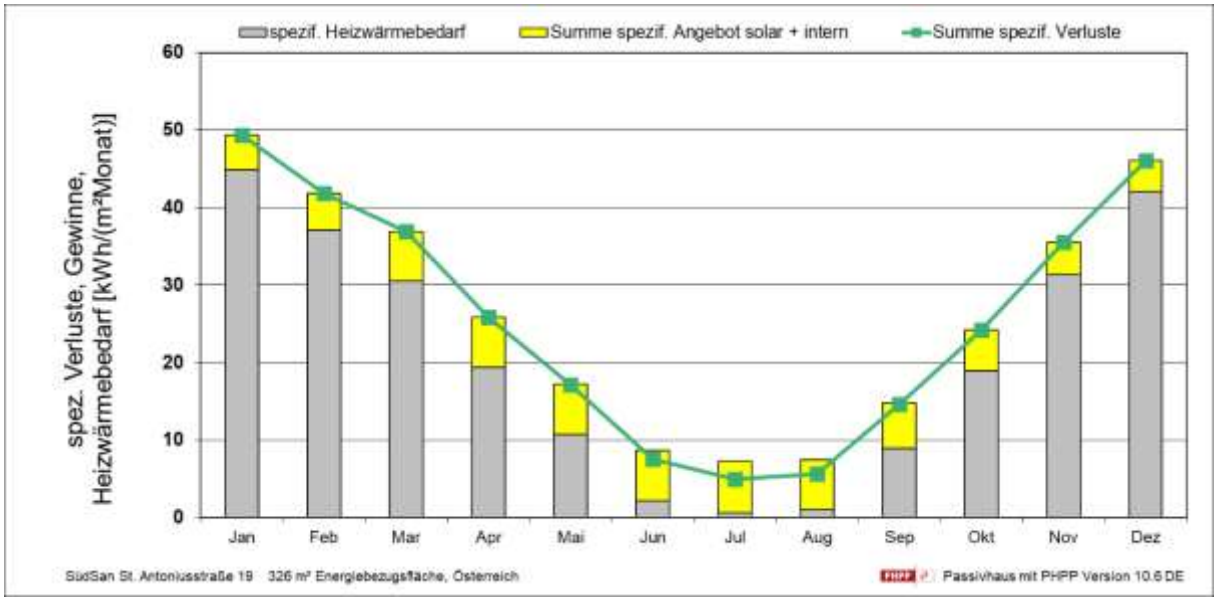

Abbildung 154: Jahresverlauf der spezifischen Verluste und Gewinne sowie des Heizwärmebedarfs – kleines Gebäude vor Sanierung; PHPP-Berechnung mit 20°C Raumlufttemperatur

Die beiden Abbildungen visualisieren die Effekte der starken Verbesserung der Hüllqualität und der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung. Der Heizwärmebedarf (graue Balken) kann im sanierten Gebäude im Januar in um mehr als den Faktor 4 reduziert werden, die Heizperiode wird stark verkürzt.

Der Endenergiebedarf für Heizung beträgt gemäß PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung 14,3 kWh/(m^2_{EBF}a).

Der in der Verbrauchsprognose ermittelte Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser liegt bei 26,1 kWh/(m^2_{EBF}a), der gesamte Haustechnik-Stromverbrauch inkl. des Hilfsstroms bei 34,8 kWh/(m^2_{EBF}a) und der $Endenergiebedarf_{gesamt}$ bei knapp 63 kWh/(m^2_{EBF}a). Dies entspricht für das Gebäude einem auf die WNF bezogenen Wert von 65 kWh/(m^2_{WNF}a). Dieser Wert liegt über dem Anforderungswert für Paris-kompatible Gebäude.

Die Ergebnisse der baurechtlich notwendigen Energieausweisberechnung (Stand: Fertigstellung) nach OIB RL 6 (2019) sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

BGF	m^2_{BGF}	553,6
Heizwärmebedarf $HWB_{Ref, RK}$	kWh/(m^2_{BGF}a)	29,3
Heizwärmebedarf $HWB_{Ref, SK}$	kWh/(m^2_{BGF}a)	34,7
Heizwärmebedarf HWB_{SK}	kWh/(m^2_{BGF}a)	22,1
Primärenergiebedarf PEB_{SK}	kWh/(m^2_{BGF}a)	51,9
CO_2-Emissionen $CO_{2eq, SK}$	kg/(m^2_{BGF}a)	7,2
$f_{GEE,SK}$	-	0,50
HEB_{SK}	kWh/(m^2_{BGF}a)	22,1
HEB_{SK} absolut	kWh/a	12 235

Abbildung 155: Wichtigste Energiekennwerte der Energieausweisberechnung gem. OIB RL 6 (2019) – kleines Gebäude

Die genannten Energiekennwerte gemäß Energieausweis sind zum Teil merklich besser, als die Anforderungen des klimaaktiv Kriterienkatalogs 2020 für Wohngebäude.

Dies führt dazu, dass das Gebäude in der klimaaktiv-Fertigstellungsdeklaration die Höchstpunktzahl in Kategorie B „Energie und Versorgung“ erreicht.

Aus dem verringerten Endenergiebedarf resultieren niedrigere Treibhausgasemissionen im Betrieb. Diese werden im Endbericht dargestellt, da im Rahmen des Projekts SüdSan zunächst realistische, monatsweise Konversionsfaktoren für die CO_{2eq}-Emissionen des Verbraucherstrommix Österreich ermittelt werden.

Kellergeschoß

Wie im großen Gebäude wurde die Kelleraußenwände bis zur Sohle mit 8 cm XPS, der Sockelbereich und die Dämmung im oberen Bereich der Kellerwände mit 20 cm deutlich dicker gedämmt. Die obersten 80 cm auf der Innenseite der Kelleraußenwände erhielten eine Flankendämmung aus 8 cm EPS, die Dämmung der Kellerdecke ist aus 8 cm PIR.

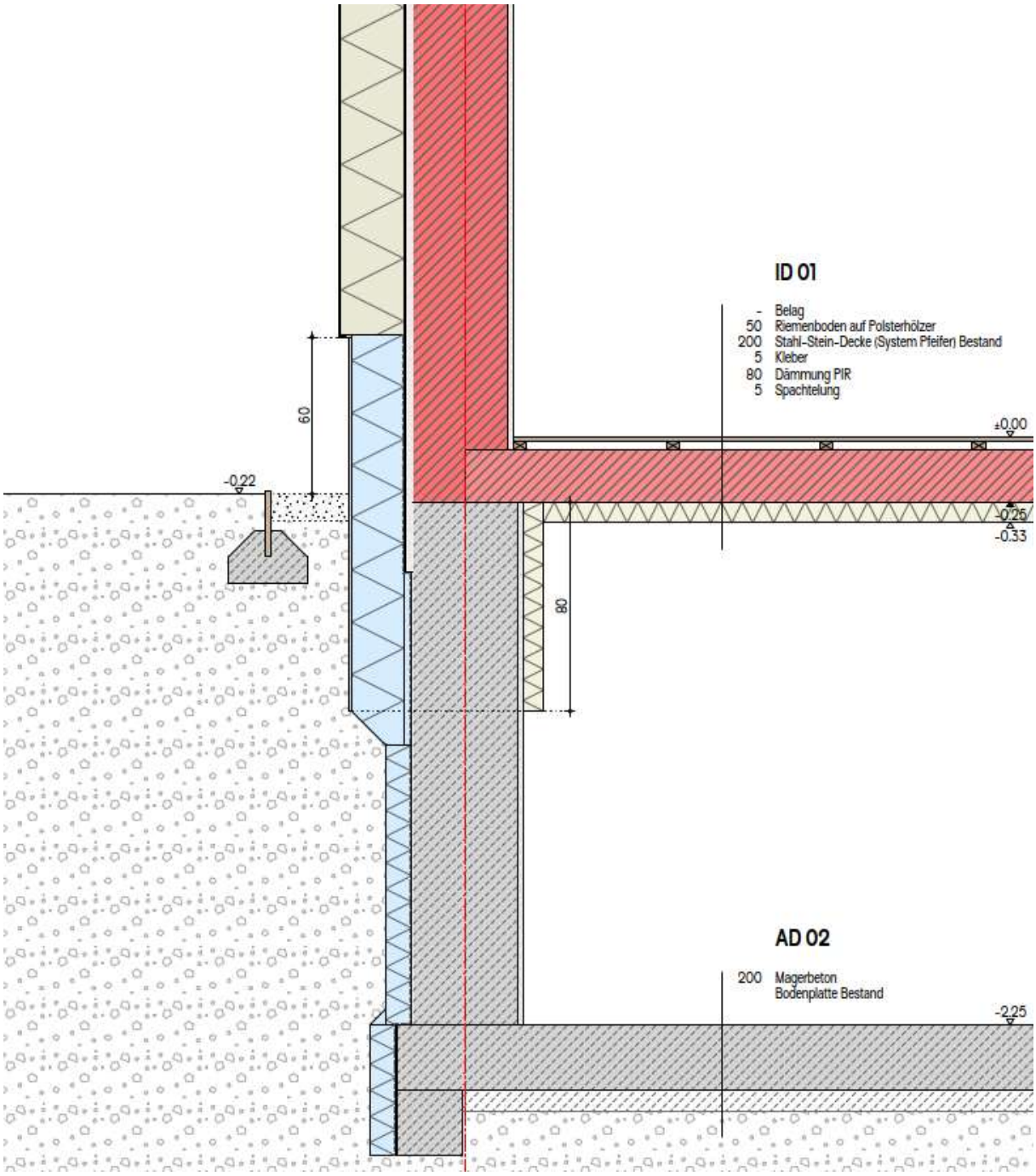

Abbildung 156: kleines Gebäude: Schnitt Kellerboden, Kelleraußenwand, Anschluss Kellerdecke und Außenwand EG; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Abbildung 157: kleines Gebäude: Außenwand EG, Sockel und Außendämmung Kellerwand; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Die Dicke der Sockeldämmung wurde wie im großen Gebäude so gewählt, dass nur ein kleiner Rücksprung gegenüber dem WDVS mit 24 cm Holzweichfaserplatten entsteht.

Oberirdische Außenwände und Fenster

Abbildung 158 zeigt einen konstruktiven Schnitt durch die Außenwand des kleineren Gebäudes.

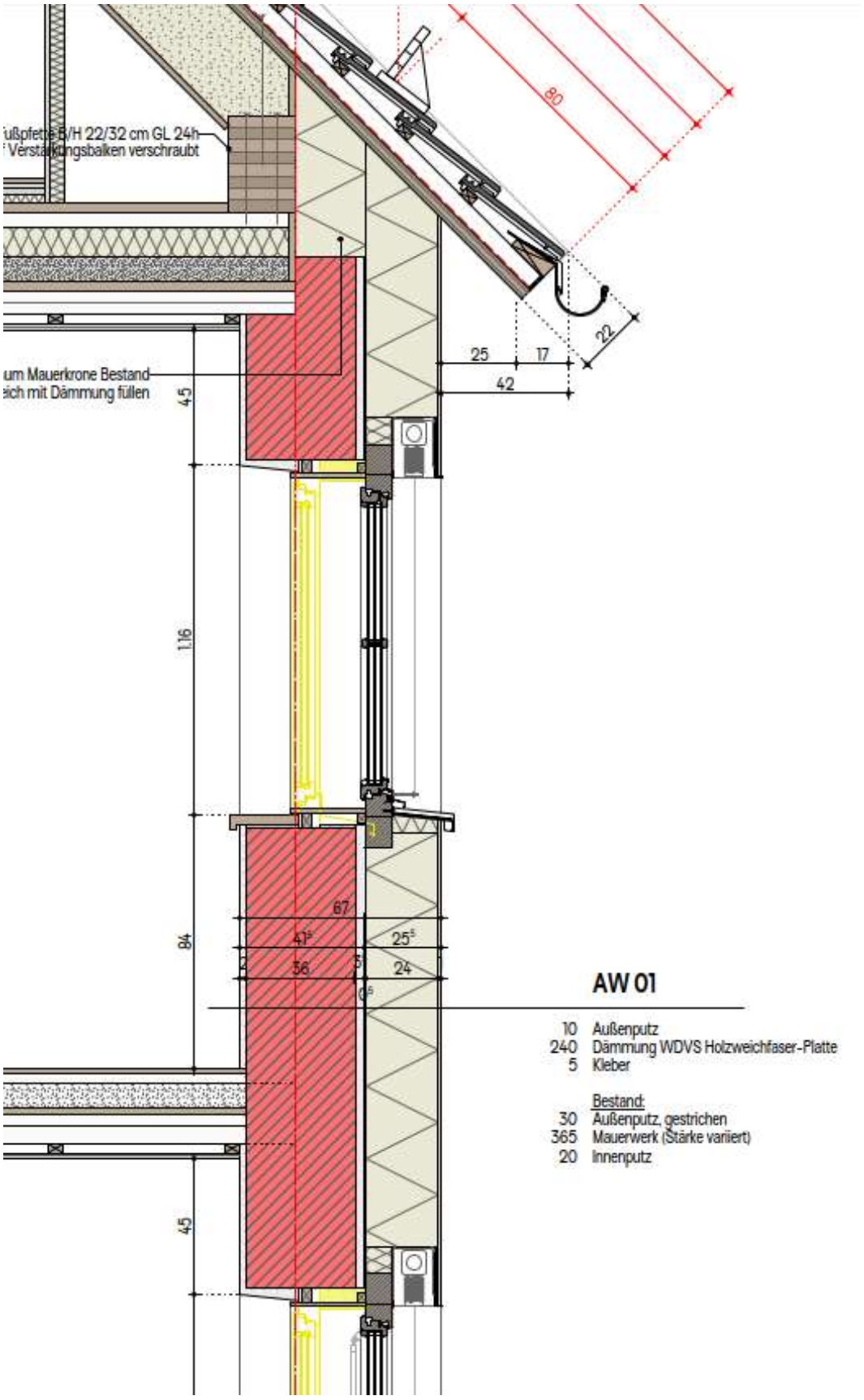

Abbildung 158: kleines Gebäude: Schnitt Außenwand mit Fensteranschlüssen und Anschluss Traufe; ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Die Außenwand erhielt ein Wärmedämm-Verbundsystem mit 24 cm Holzweichfaserplatten und Mittelputz. Die ursprünglich vorgesehene, ebenfalls ausgeschriebene Variante mit einem neu entwickelten WDVS mit mineralisch gebundenen Stroh-Dämmplatten konnte nicht ausgeführt werden, da die Entwicklung der Platten nicht rechtzeitig abgeschlossen war.

Abbildung 159: kleines Gebäude: Montage der Holzweichfaserplatten, Fenster in Dämmebene, Jalousiekasten (links); Ausführung WDVS an der Gebäudeecke; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Das Wärmedämmverbundsystem wurde geklebt und gedübelt. An den ausgestellten Wänden an den Gebäudeecken wurde die Dämmung angepasst.

Die Lage der Fenster in der Fassade und die Fensterteilung wurde in einer Variantenstudie untersucht. Die Auswahl der zu realisierenden Variante erfolgt unter Berücksichtigung der Aspekte Kosten, Gestaltung und Energieeffizienz (Reduktion der Wärmebrücke Fenstereinbau sowie Maximierung der Glasfläche) – siehe folgende Abbildung.

Die Fenster wurden in der Dämmebene montiert. Dazu wurde der Bereich um die Fenster zunächst mit Glattputz versehen.

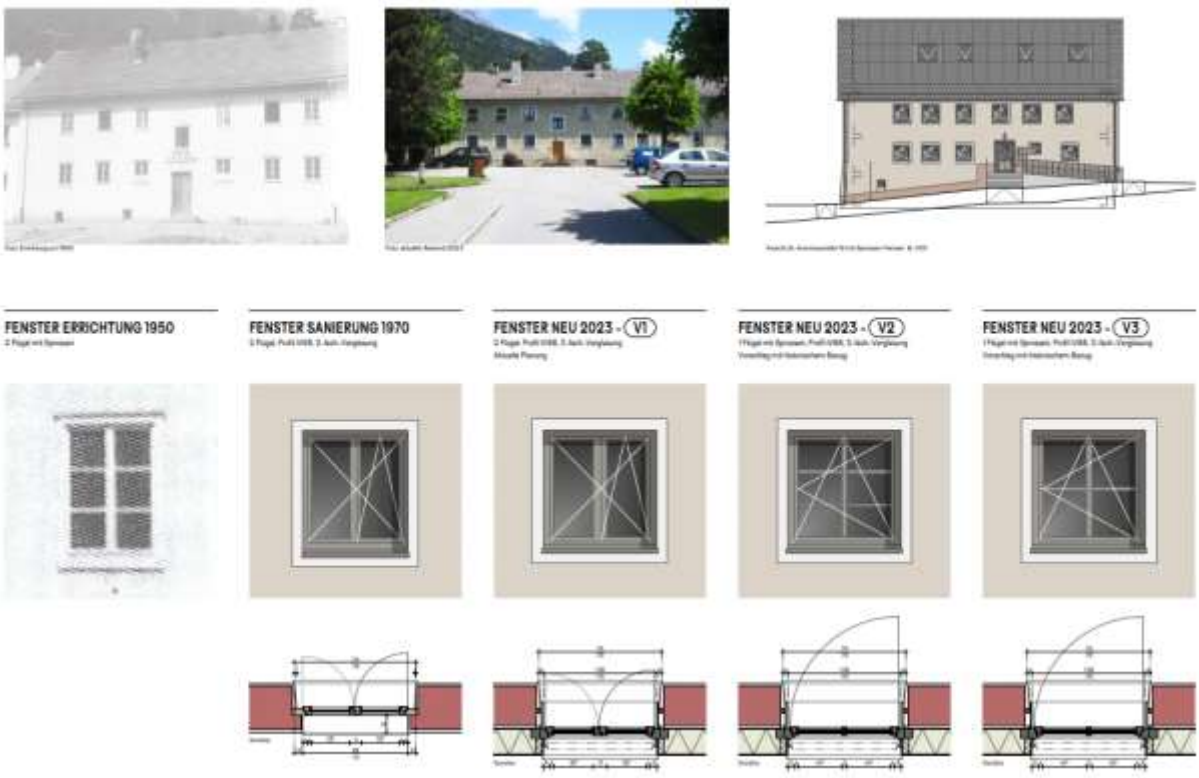

Abbildung 160: Variantenuntersuchung zu Fensterformaten und Art des Einbaus, kleines Gebäude: Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Die Fester wurden – anders als zunächst vorgesehen aus Kostengründen einflügelig und mit Wiener Sprosse ausgeführt.

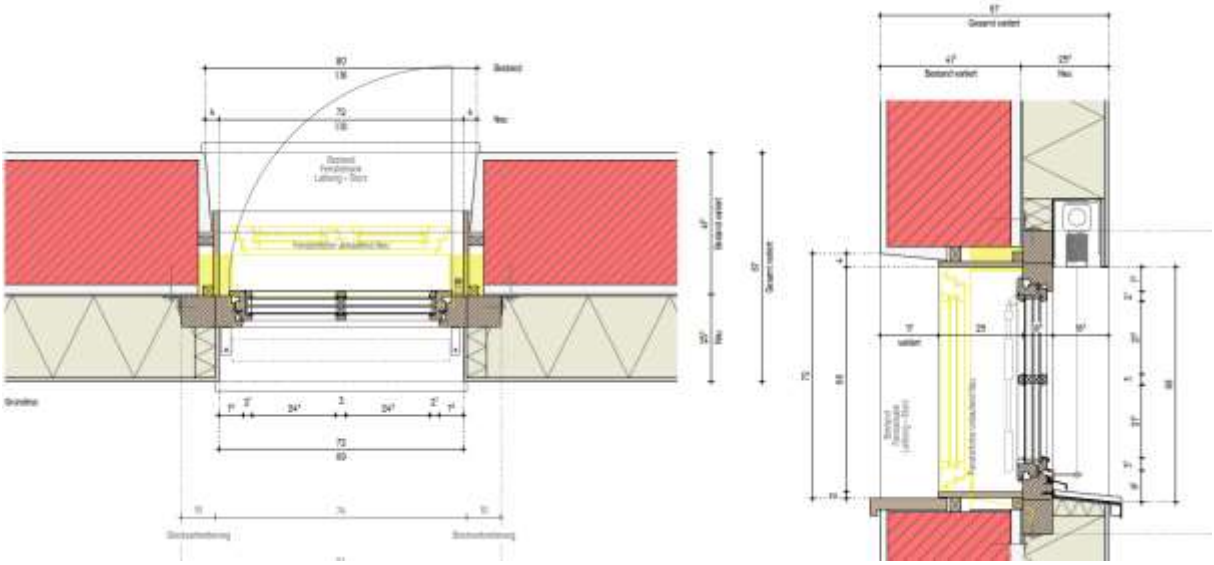

Abbildung 161: Einbaudetails Fenster: Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Abbildung 162: kleines Gebäude: Demontage der Fenster; Foto Rhomberg Bau GmbH; Fenster und Jalousiekästen; Foto: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 163: kleines Gebäude – Überdämmung der Fensterrahmen

Abbildung 164: kleines Gebäude: Fensterlaibung und Fensterbank innen; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 165: kleines Gebäude: Grund- und Feinputz, Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Geschoßdecken

Da die Sanierung im bewohnten Zustand durchgeführt wurde, wurden an der Geschoßdecke über dem Erdgeschoß keine Maßnahmen durchgeführt.

Dachgeschoß

Im Dachgeschoß wurden zwei neue Wohnungen errichtet. Dazu wurden die Giebel- und Innenwände abgerissen, die Holzbalkendecken von oben geöffnet und statisch verstärkt, neue vorgefertigte Innen- und Giebelwände errichtet und ein neues Dach aus vorgefertigten Teilen montiert. Abbildung 166 zeigt zwei Schnitte durch das neue Dachgeschoß, die darauffolgenden Abbildungen vermitteln einen Eindruck von den Arbeiten bei Abriss und Neuerrichtung des Dachgeschosses.

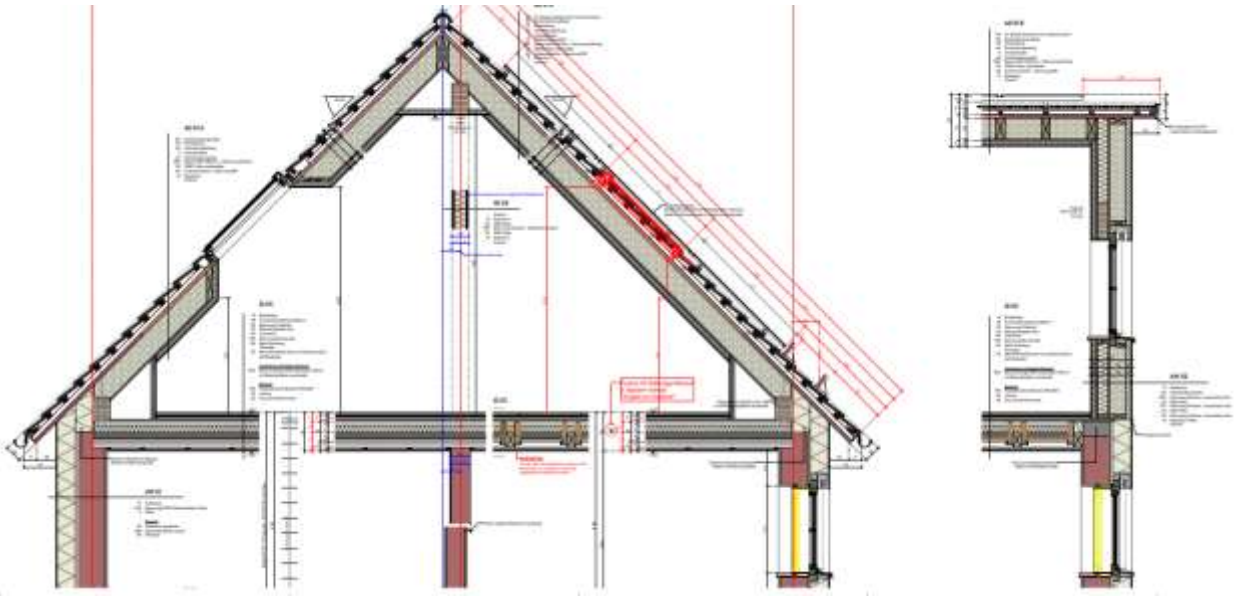

Abbildung 166: kleines Gebäude: Schnitt DG; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Abbildung 167: kleines Gebäude: oberste Geschoßdecke und Dachstuhl, Foto: Johannes Kaufmann und Partner GmbH

Der Bodenbelag im Dachgeschoß wurde entfernt, die Innenwände abgerissen.

Abbildung 168: kleines Gebäude: Abbruch Dachgeschoß, Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 169: kleines Gebäude: Dachgeschoß nach Abbruch der Innen- und Giebelwand, oberste Geschoßdecke offen; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 170: kleines Gebäude: Verstärkung der obersten Geschoßdecke, Foto: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 171: oberste Geschoßdecke während der Arbeiten zur Deckenverstärkung, Foto: Rhomberg Bau GmbH

Das Foto verdeutlicht die Grenzen der umfassenden Sanierung im bewohnten Zustand: bei den Arbeiten an der obersten Geschoßdecke bestand der Raumabschluss zwischen Dachgeschoß und 1. OG für kurze Zeit nur noch aus der unterseitigen Schilfmatte mit Innenputz.

Abbildung 172: kleines Gebäude: Verstärkung oberste Geschoßdecke und Horizontalverteilung Lüftung im DG, Foto: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 173: kleines Gebäude: oberste Geschoßdecke vor Schließen des Treppenhauses; giebelseitiger Anschluss an Bestands-Außenwand, Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 174: kleines Gebäude: Bestandsdachstuhl nach Ausbau, Foto: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 175: kleines Gebäude: vorgefertigte Giebelwandelemente in der Zimmerei und von außen nach Montage; Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 176: kleines Gebäude: DG nach Schließen der obersten Geschoßdecke und Montage der Giebelwand und der tragenden Innenwand; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 177: kleines Gebäude: vorgefertigte Dachelemente; Montage Firstpfette, Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 178: kleines Gebäude: Montage der vorgefertigten Dachelemente, Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 179: kleines Gebäude: Stoß der vorgefertigten Dachelemente, Foto: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 180: kleines Gebäude: neues Dachgeschoß; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 181: kleines Gebäude: abgeklebte Elementstöße; Lattung/Konterlattung; Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Treppenhaus und Türen

Das Gebäude erhielt eine neue Eingangstüre und drei neue Türen vom Treppenhaus in den Keller. Die Wohnungen erhielten neue Eingangstüren. Die Treppe im Dachgeschoss musste an die neue Deckenhöhe angepasst werden und erhielt neue Geländer. Darüber hinaus wurden die Treppenhauswände, das Geländer und die Stufen neu gestrichen und das Treppenhaus erhielt einen neuen Bodenbelag sowie ein Dachflächenfenster.

Abbildung 182: kleines Gebäude: Treppenhaus während der Sanierung; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 183: kleines Gebäude: Treppenhaus vor und nach Sanierung, Fotos: Rhomberg Bau GmbH (links); Walser Fotografie

Abbildung 184: kleines Gebäude: Treppenhaus nach Sanierung, Fotos: Rhomberg Bau GmbH (links); Walser Fotografie

Heizung und Warmwasser

Da die vorgesehene einzige marktverfügbare Erdreich-Wärmepumpe mit Kältemittel Propan nicht lieferbar war, wurde ein sehr effizientes Modell mit Kältemittel 134a eingesetzt. Da dieses Gerät im Gegensatz zur Anlage mit Kältemittel Propan im Haustechnikraum aufgestellt werden kann, war eine Umplanung notwendig.

Die folgende Abbildung zeigt das Gerät sowie die zwei in Reihe geschalteten Pufferspeicher mit jeweils 820 Liter Speicherinhalt.

Abbildung 185: Erdreich-Wärmepumpe und Pufferspeicher 2 * 820 Liter im kleineren Gebäudes; Foto: Energieinstitut Vorarlberg

Wie die folgende Abbildung zeigt, erfolgt die Horizontalverteilung wie im größeren Gebäude unter der Kellerdecke. Wegen der geringen lichten Höhe mussten die Leitungen stellenweise direkt unter der Rohdecke geführt und die Dämmung der Kellerdecke ausgespart werden.

Abbildung 186: Horizontalverteilung unter der Rohdecke im Kellergeschoß; Planungsteam E-Plus

Die Vertikalverteilung für die Heizung erfolgt nicht wie im größeren Gebäude in der Dämmebene der Außenwand, sondern im Gebäudeinneren. Zur Anbindung der Frischwasserstationen wurden wo möglich bestehende Kamine genutzt.

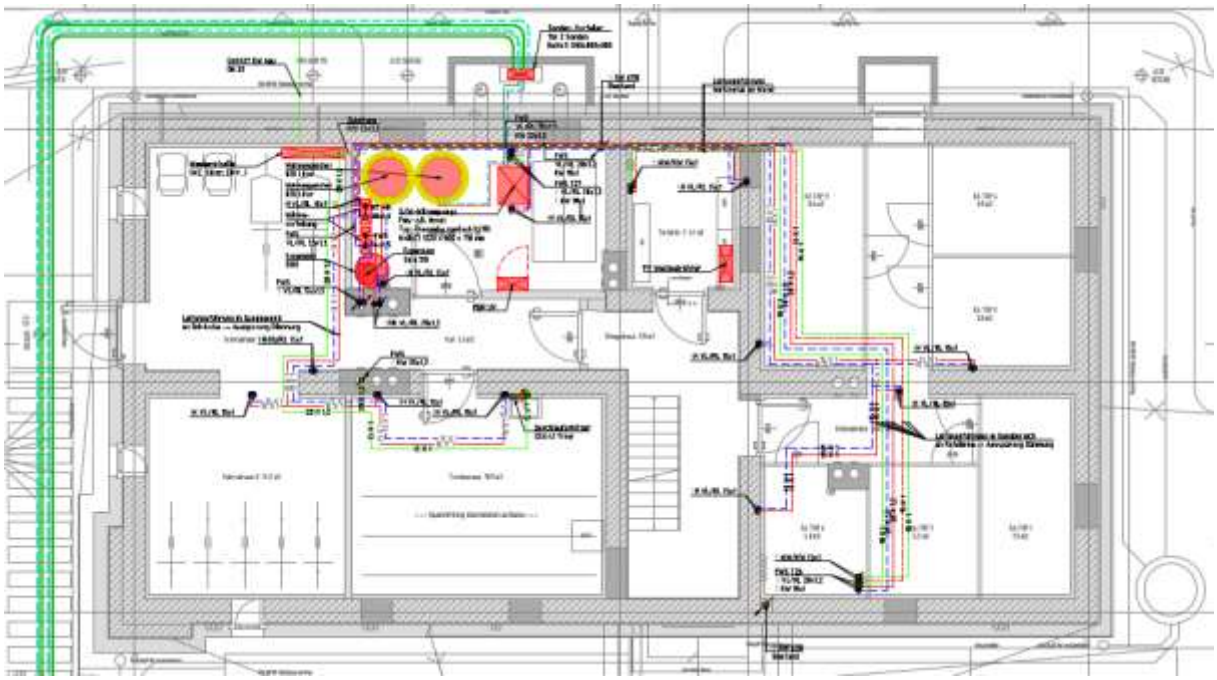

Abbildung 187: Grundriss Kellergeschoß kleines Gebäude mit Haustechnikraum; Planungsteam E-Plus

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem Grundriss EG.

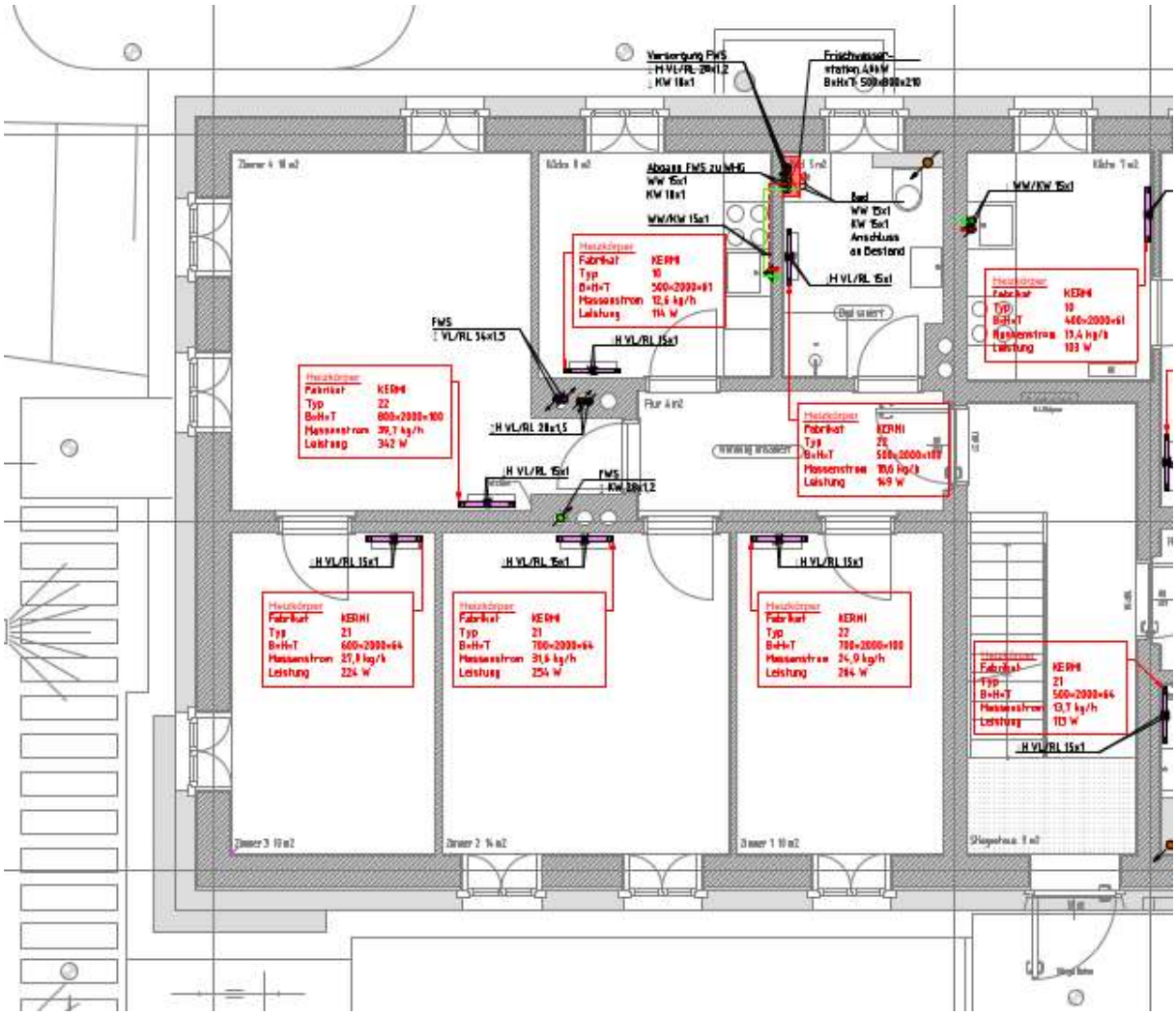

Abbildung 188: kleines Gebäude: Lage der Heizkörper und der Frischwasserstation im EG; Planungsteam E-Plus

Die Niedertemperatur-Heizkörper wurden an den Innenwänden platziert und konnten aufgrund der niedrigen maximalen Heizlast trotz geringer Vorlauftemperaturen von maximal 45°C klein dimensioniert werden.

Da die Wärmeabgabe von Heizkörpern bei sehr niedrigen Systemtemperaturen von den Herstellern nicht veröffentlicht werden, wurden im Rahmen des Projekts Leistungsmessungen an zwei verschiedenen Heizkörpertypen mit unterschiedlichen Volumenströmen durchgeführt. Dabei wurden die Leistungsabgeben bis zu Vorlauftemperaturen von 30°C gemessen. Für einen Heizkörpertyp wurde zusätzlich untersucht, wie stark sich die Wärmeabgabe durch den Einbau von Ventilatoren am Heizkörper zur Steigerung der konvektiven Wärmeabgabe steigern lässt [Wagner 2024].

Die folgende Abbildung zeigt einen der Heizkörper im kleinen Gebäude und die einzige sichtbare Lüftungsleitung in den Wohnungen.

Abbildung 189: Niedertemperatur-Heizkörper und Lüftungsleitung in einer Bestandswohnung im kleinen Gebäude; Energieinstitut Vorarlberg

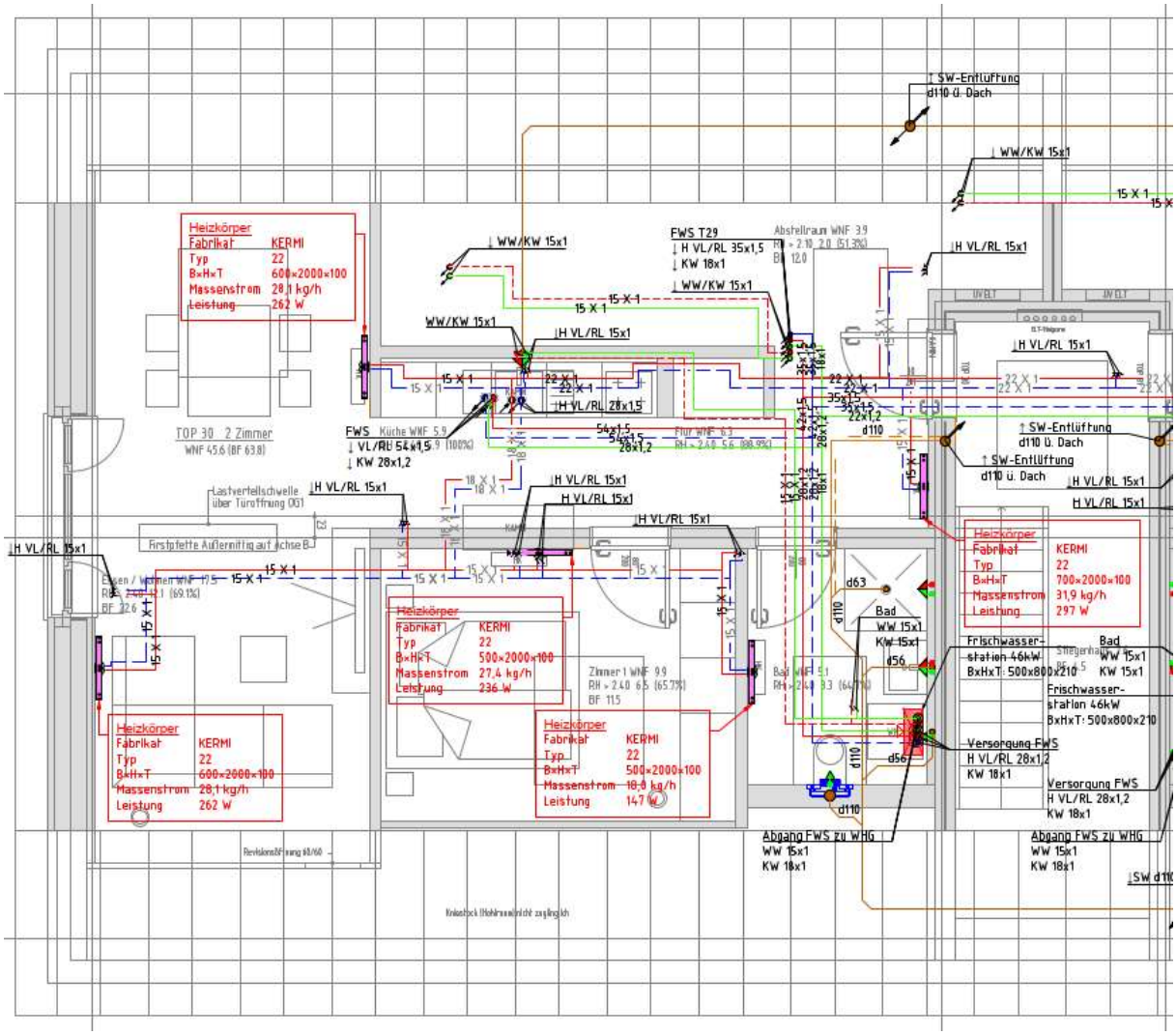

Abbildung 190: kleines Gebäude: Lage der Heizkörper und der Horizontalverteilung im DG; Planungsteam E-Plus

Auch die Heizkörper im DG wurden mit einer Ausnahme pro Wohnung an Innenwänden platziert.

Die Horizontalverteilung für die Wohnungen im DG erfolgt in der statisch verstärkten obersten Geschoßdecke – siehe folgende Abbildung.

Abbildung 191: kleines Gebäude: Nutzung der obersten Geschoßdecke zur Horizontalverteilung, Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Die folgende Abbildung zeigt zwei Niedertemperatur-Heizkörper im Dachgeschoß des kleinen Gebäudes.

Abbildung 192: Niedertemperatur-Heizkörper im DG des kleinen Gebäudes; Energieinstitut Vorarlberg

Die Frischwasserstationen mit einer Leistung von 34 kW wurden im Bad an Stelle der alten Warmwasserboiler installiert – siehe folgende Abbildungen.

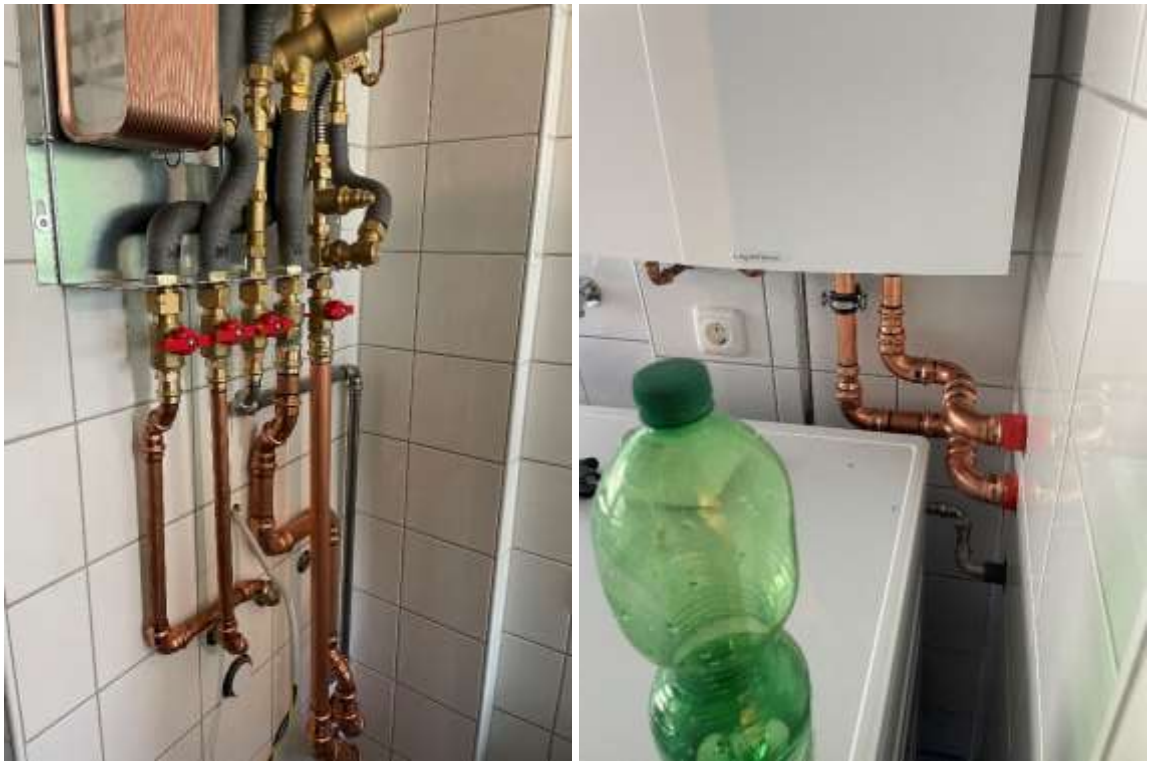

Abbildung 193: Wärmeübergabestation im Bad; Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Lüftung

Alle 6 Wohnungen werden über eine im Keller aufgestellte, zentrale Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung belüftet.

Abbildung 194: zentrales Komfortlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung im kleinen Gebäude; Energieinstitut Vorarlberg

Die horizontale Verteilung erfolgt großteils unter der Kellerdecke. Die Luftmengen werden im Kellergeschoß über Irisblenden einreguliert.

Wegen der geringen lichten Höhe werden die Leitungen wo möglich an der Außenwand geführt, um die Durchgangshöhe im Keller nicht zu reduzieren. Dadurch ergibt sich ein relativ langes Verteilnetz.

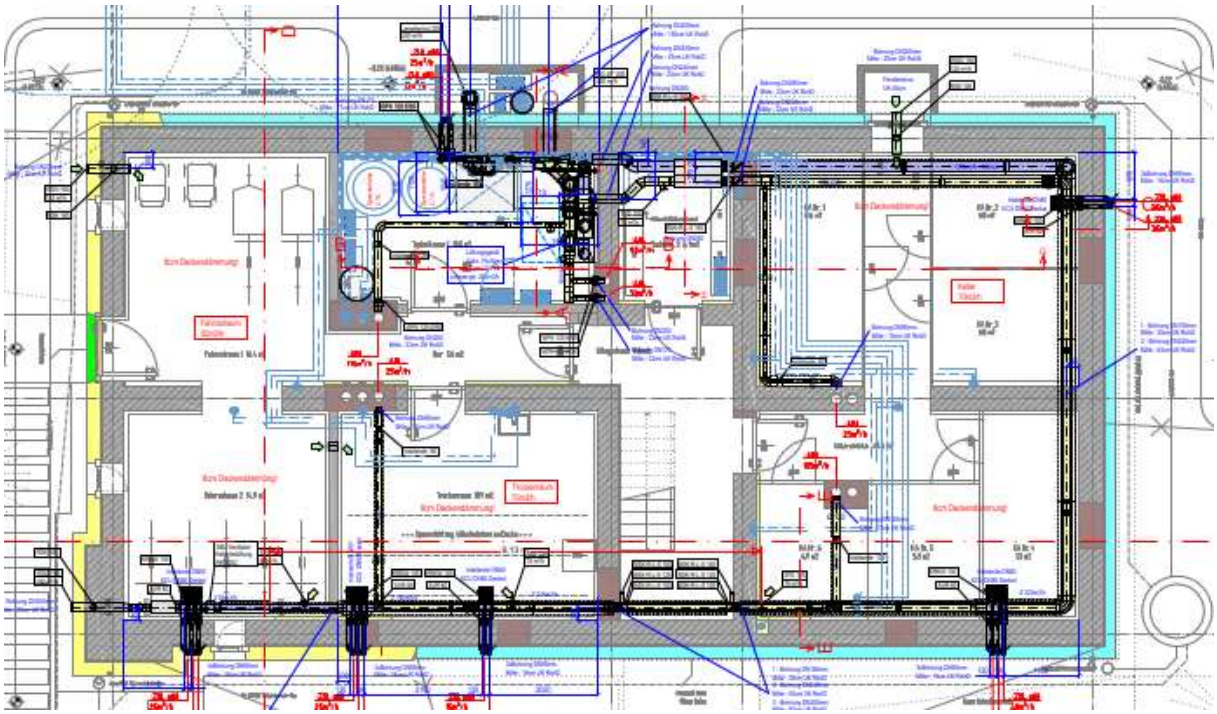

Abbildung 195: Lüftungsinstallation Kellergeschoß; Planungsteam E-Plus; kranz luft-klima-technik gmbh

Die Außenluftansaugung erfolgt auf der Rückseite des Gebäudes in etwa 2,50 m über Bodenniveau. Die Außenluft wird elektrisch frostfrei gehalten. Die Fortluft wird an der Rückseite des Gebäudes ausgeblasen.

Abbildung 196: Außenluftansaugung an der Rückseite des Gebäudes; Energieinstitut Vorarlberg

Die horizontale Verteilung der Zuluft erfolgt unter der Kellerdecke, die Vertikalverteilung raumweise im Wärmedämmverbundsystem.

Die Zuluftventile sitzen auf der Innenseite der Außenwände, die Abluft wird in Küche und Bad abgesaugt und über vorhandene Kamine bis in den Keller geführt – siehe auch folgende Abbildung. Dort wird sie unter der Kellerdecke zum Lüftungsgeräte geführt.

Durch diese Luftführung sind innerhalb der Wohnungen mit einer Ausnahme keine Leitungen notwendig, was die Sanierung im bewohnten Zustand sehr erleichterte.

Für die neuen Wohnungen im Dachgeschoß sind nur kurze Horizontalverteilungen notwendig, diese sind in der statisch ertüchtigten obersten Geschoßdecke untergebracht.

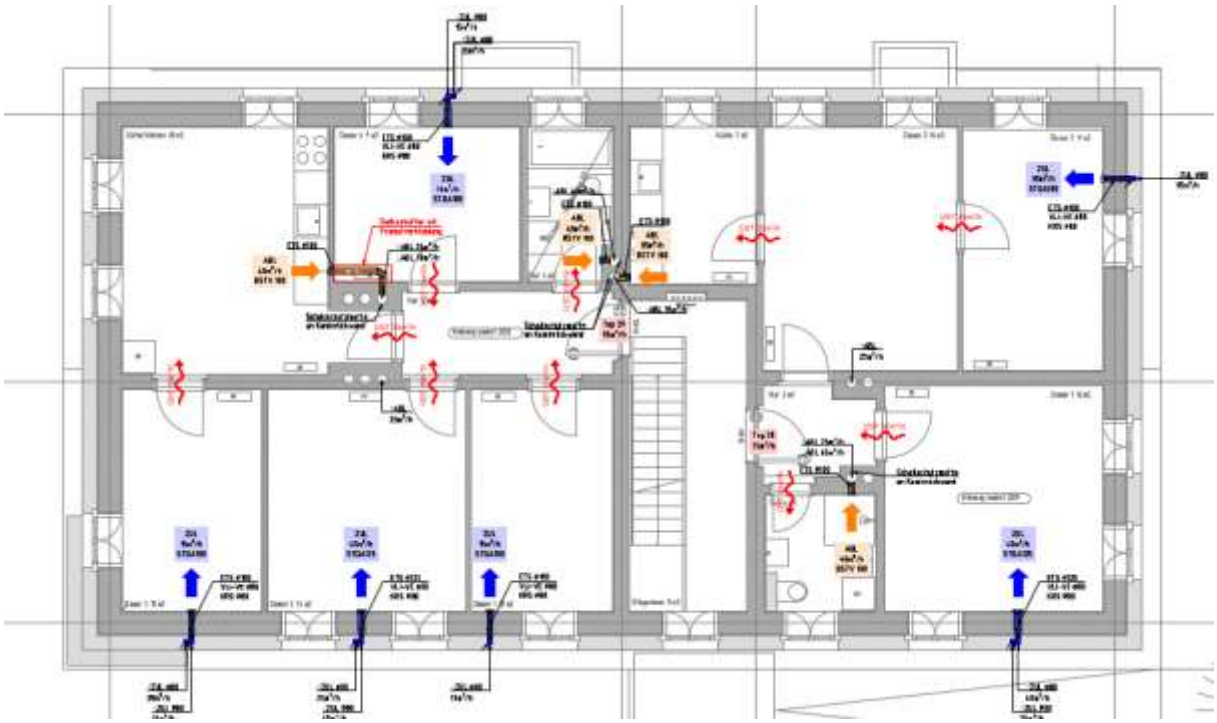

Abbildung 197: Lüftungsinstallation 1. OG; Planungsteam E-Plus

Die Abbildung zeigt die Zulufteinbringung im 1. OG über die vertikalen Verteilleitungen in der Dämmschicht durch die Außenwände, die Überströmzonen und die Absaugung der Luft in Küche und Bad. Einige Türen mussten leicht gekürzt werden, um den notwendigen Lüftungsquerschnitt zu erreichen.

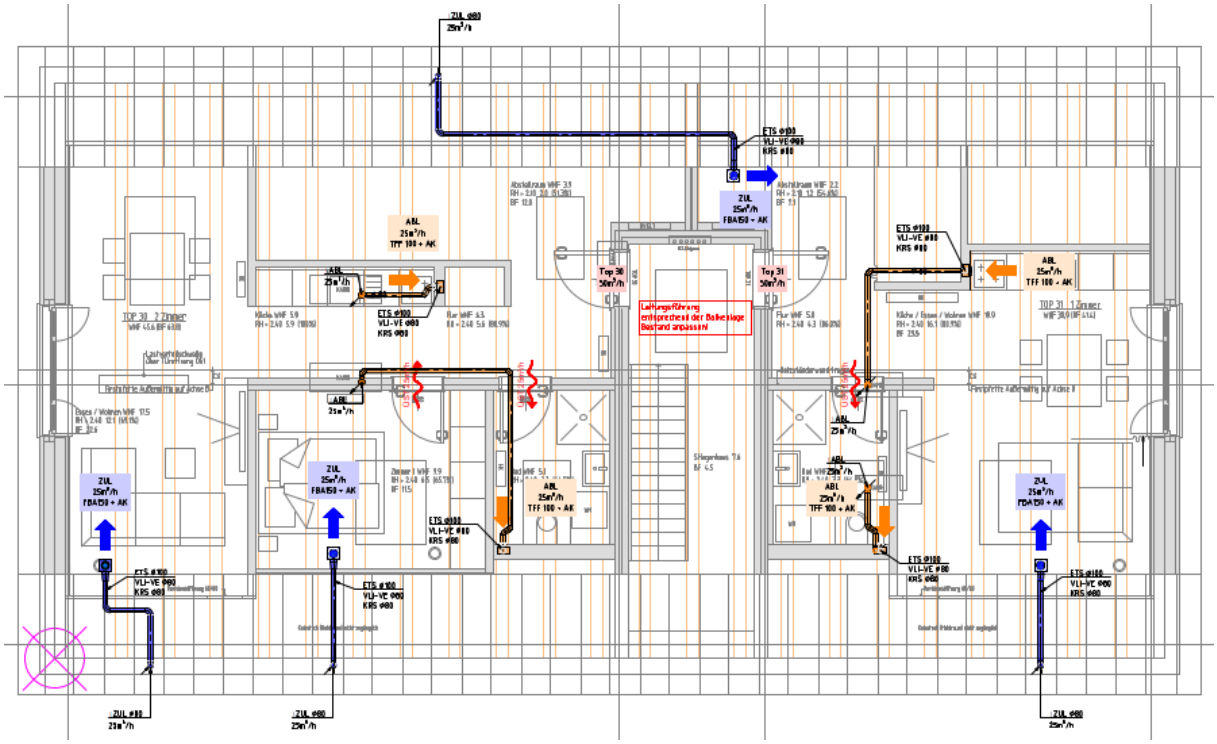

Abbildung 198: Lüftungsinstallation DG; Planungsteam E-Plus

Das Kellergeschoß ist wie im großen Gebäude nicht in die Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung für die Wohnungen eingebunden. Der aus hygienischen Gründen notwendige Luftwechsel aller Kellerräume wird über eine separate Abluftanlage gewährleistet. Die relative Feuchte im Trockenraum wird zusätzlich über einen Raumentfeuchter bedarfsgesteuert begrenzt.

PV und Elektroinstallation

Die folgenden Abbildungen zeigen die 16,2 kW_p Aufdach-PV-Anlage.

Abbildung 199: PV-Anlage kleines Gebäude; Fotos: Rhomberg Bau GmbH

Wie im großen Gebäude konnte das Dach wegen der Abstandsregelungen der OVE Richtlinie R11-1 (2022) nicht vollflächig mit PV belegt werden.

Abbildung 200: PV-Anlage kleines Gebäude mit Dachflächenfenstern, Energieinstitut Vorarlberg

Abbildung 201: Elektroinstallation im Treppenhaus EG; Foto Rhomberg Bau GmbH

Abbildung 202: ***Foto: Rhomberg Bau GmbH***

Bäder / Wasser und Abwasser

Die zwei bislang nicht sanierten Bäder in den Wohnungen im EG und im 1. OG wurden modernisiert, die Bäder der beiden DG-Wohnungen wie das gesamte Dachgeschoß neu errichtet.

Abbildung 203: Modernisiertes Bad und neues Bad im DG des kleinen Gebäudes; Foto: Rhomberg Bau GmbH

Außenanlagen

Wie die folgenden Abbildungen zeigen, wurden an den Außenlagen des kleineren Gebäudes umfangreiche Maßnahmen durchgeführt.

Abbildung 204: Geländemodellierung größeres Gebäude; Foto Rhomberg Bau GmbH

Im Zuge der Sanierung wurde das Gelände neu modelliert und eine neue Außentreppe im Garten angelegt.

Abbildung 205: neue Erschließungstreppe und Rampe; Foto: J. Walser Fotographie, Hohenems

Zusätzlich zur neuen Treppenanlage wurde eine Rampe angelegt, um zumindest die EG-Wohnungen barrierearm erreichbar zu machen.

Außerdem wurden neue Parkplätze und ein neuer Weg angelegt und eine neue Briefkastenanlage sowie Bügel für Besucher-Fahrräder installiert.

6 Kosten

Nachfolgend werden die abgerechneten Kosten der Sanierung und Erweiterung beider Gebäude dargestellt. Alle Angaben verstehen sich netto, Preisstand ist der Zeitpunkt der Vergabe im 1. Quartal 2023, Region Vorarlberg. Bei der Interpretation der Kostendaten ist die besondere Lage der Bauwirtschaft am Jahreswechsel 2022/23 zu beachten: Aufgrund multipler Krisen (russischer Überfall auf die Ukraine, Unsicherheit bezüglich der Energiepreisentwicklung, Auswirkungen der Corona-Epidemie, Lieferengpässe…) herrschte eine große Kostenunsicherheit. Die Baupreise stiegen sehr schnell. Darüber hinaus gehört Vorarlberg ohnehin zu den hochpreisigen Regionen Österreichs, statistisch gut abgesicherte Angaben zum regionalen Kostenniveau ähnlich der Regionalfaktoren des BKI für Deutschland sind jedoch nicht verfügbar. Der Regionalfaktor des BKI für das Bundesland Vorarlberg liegt bei 1,10 [BKI 2024], ist aber aufgrund der geringen Anzahl an ausgewerteten Vorarlberger Projekten statistisch weniger valide als die Daten für Deutschland.

Der Großteil der Leistungen – v.A. die Maßnahmen zur Instandsetzung und Modernisierung sowie die energetischen Maßnahmen an der Gebäudehülle und die sonstigen Maßnahmen an der Gebäudestruktur wurden über einen Generalunternehmer erbracht und abgerechnet. Die Kosten für diesen Teil der Leistungen nur inkl. des GU-Zuschlags vor. Gleiches gilt für die Kosten für Elektroinstallation und Blitzschutz.

Die Kosten für Heizung und Sanitär, Lüftung, PV beider Gebäude sowie der Erdsondenanlage in Haus 19 liegen sowohl sehr detailliert ohne GU-Zuschlag, als auch etwas gröber gegliedert mit GU-Zuschlag vor. Die Kosten der MSR wurden ohne GU-Zuschlag direkt über den Bauherrn abgerechnet, ebenso die der Badsanierung und einiger kleinerer Leistungen.

Werden in diesem Bericht Vergleichsdaten für früher durchgeführte Sanierungen in Österreich genannt, so wurden die Kosten nach dem Baupreisindex für den Wohnhaus- und Siedlungsbau der Statistik Austria auf den Preisstand 1. Quartal 2023 angepasst [Stat. Austria 2025].

Der Baupreisindex für Vorarlberg zeigt eine sehr ähnliche Entwicklung [Stat. Austria 2024], daher wurde auf eine Regionalisierung des Baukostenindex verzichtet.

Für Projekte und Vergleichskosten aus Deutschland wurde der BKI-Baupreisindex verwendet [BKI 2025].

Die folgende Abbildung zeigt die genannten Baupreisindizes für Österreich und Deutschland.

Jahr	Index AT	Index DE
2015	100,0	100,0
2016	101,8	102,4
2017	104,6	105,7
2018	108,4	110,6
2019	112,0	115,1
2020	115,6	115,1
2021	124,8	129,6
2022	143,6	151,0
2023 (Q1)	153,1	158,9

Tabelle 21: Entwicklung des Baupreisindex für den Wohnhaus- und Siedlungsbau insgesamt [Stat. Austria 2025] und des BKI-Baukostenindex [BKI 2025]

Für jedes Gebäude werden zunächst die Errichtungskosten nach Kostengruppierung der ÖNORM B-1801-1 dargestellt, d.h. die Gesamtkosten der Baumaßnahmen ohne Grund – siehe Tabelle 22.

Danach werden die Kosten differenziert für Gebäudehülle, Haustechnik, Modernisierung, Badsanierung sowie für Honorare und Eigenaufwand des Bauherrn dargestellt.

	Baugliederung	Abk.	Bauwerks-kosten BWK	Bau-kosten BAK	Errichtungs-kosten ERK	Gesamt-kosten GEK
0	Grund	GRD				
1	Aufschließung	AUF				
2	Bauwerk-Rohbau	BWR	100 %			
3	Bauwerk-Technik	BWT				
4	Bauwerk-Ausbau	BWA				
5	Einrichtung	EIR				
6	Außenanlagen	AAN				
7	Planungsleistungen	PLL				
8	Nebenleistungen	NBL				
9	Reserven	RES				

Tabelle 22: Kostengruppierung gemäß ÖNORM B 1801-1 (2009)

6.1 Großes Gebäude

Errichtungskosten

Die folgende Abbildung zeigt die abgerechneten, wohnflächenspezifischen Netto-Errichtungskosten des großen Gebäudes.

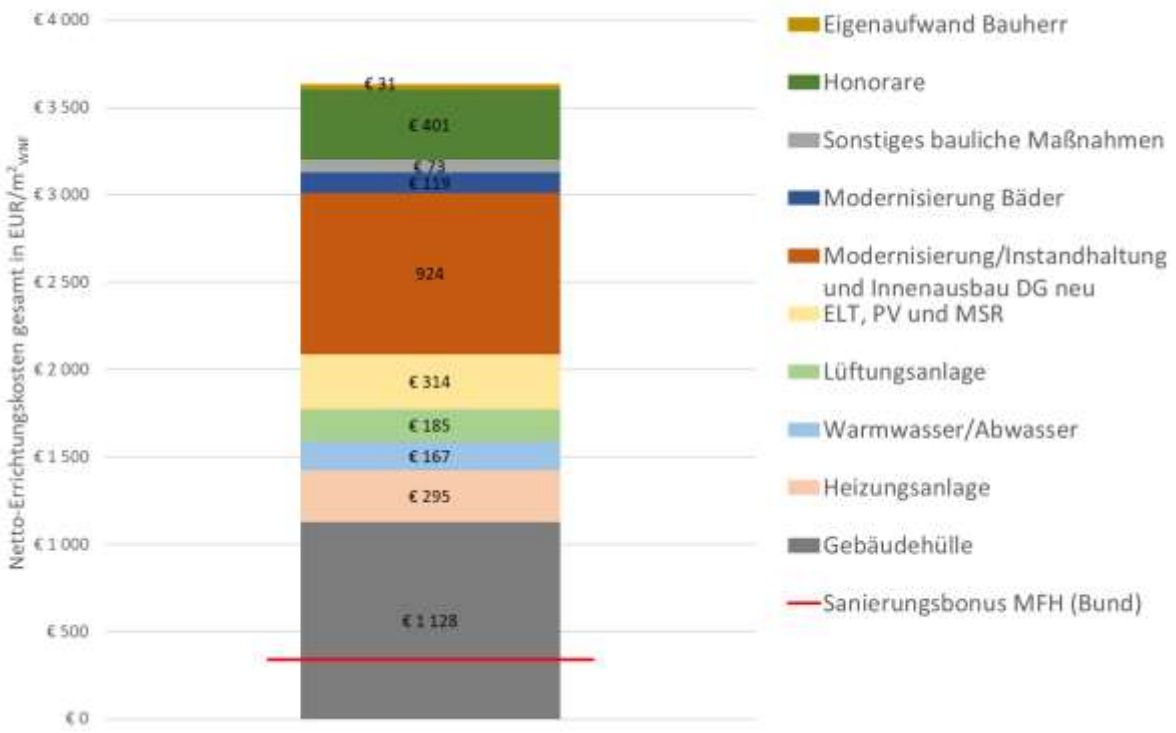

Abbildung 206: abgerechnete, wohnflächenspezifische Netto-Errichtungskosten des großen Gebäudes

Die wohnflächenspezifischen, abgerechneten Netto-Errichtungskosten für die Sanierung des größeren Gebäudes inkl. Neuerrichtung des kompletten Dachgeschosses und inkl. des GU-Aufschlags für einen großen Teil der Leistungen liegen bei 3.638 EUR/m^2_{WNF}.

Dieser Wert liegt um 14% unter den zum Zeitpunkt Vergabe bestimmten Kosten.

Die Zusammensetzung der Kosten ist nachfolgend detailliert erläutert.

Kosten der Gebäudehülle

Die folgende Abbildung zeigt die abgerechneten Netto-Kosten der Gebäudehülle nach Bauelementen für die Ausführungsvariante des großen Gebäudes inkl. GU-Aufschlag.

Die aufgeführten Werte enthalten sowohl die Kosten für die energetisch hochwertige Sanierung von Bauteilen (Kreuzlagen-Konstruktion + Putzfassade auf Außenwand, Fenster in Bestandswänden inkl. Sonnenschutz, Sockeldämmung, Dämmung Kellerwände und Kellerdecke usw.), als auch jene der komplett neu errichteten Bauteile der Gebäudehülle im Dachgeschoss (Wandelemente und Fenster Giebel, Dach und Dachfenster inkl. Sonnenschutz).

In der blau hinterlegten Spalte sind die spezifischen Kosten in EUR/$m^2_{Bauteilfläche}$ bzw. in EUR/Einheit genannt, in der grün hinterlegten die wohnflächenspezifischen in Euro/ m^2_{WNF}.

	Menge	Einheit	Material	Materialstärke [cm]	Einzelpreis [€/m^2/EInheit]	Gesamtpreis [€]	Verhältnis - Hüllfläche/WNF		spez. Kosten [€/m^2_{WNF}]
Dach Neu	315,02	m²	Holz/Zellulose	28	337	106 037	0,492		166
Dachfenster Neu (inkl. Sonnenschutz)	15,23	m²	Kunststoff	3-fach V.	1 347	20 502	0,024		32
Wandelement Giebel inkl. Putz	60,28	m²	Holz/Zellulose	24/14	418	25 182	0,094		39
Kreuzlagen Fassade inkl. Putz	626,39	m²	Kreuzlagen + MiWo	24	612	383 445	0,979	1,804	599
Fenster Neu (in Fassade)	68,62	m²	Fichte	3-fach V.	1 233	84 575	0,107		132
Sonnenschutz Fenster Vertikal	68,62	m²	Alu/Raffstore	-	277	18 978			30
Sockeldämmung geg. Außenluft	66,22	m²	EPS	30	272	18 040	0,103		28
Hauseingangstüre	2,46	m²	Fichte	-	3 501	8 613	0,004		13
Kellerdeckendämmung	168,09	m²	PIR/PUR	8	125	21 089	0,263		33
Perimeterdämmung geg. Erdreich	90,51	m²	XPS	10	211	19 102	0,141	0,543	30
Flankendämmung KG innen	86,91	m²	EPS	8	95	8 236	0,136		13
Kellertüre	2,24	m²	Fichte	-	3 501	7 842	0,004		12
Kosten Gebäudehülle						721 643			**1 128**

Tabelle 23: Abgerechnete Netto-Kosten der Gebäudehülle nach Bauelementen für die Ausführungsvariante des großen Gebäudes – Angaben inkl. GU-Aufschlag

Die abgerechneten, wohnflächenspezifischen Kosten der Gebäudehülle des großen Gebäudes liegen bei 1.128 EUR/m^2_{WNF}.

Den bei weitem größten Anteil hat die Außenwand (teil-vorgefertigte Holz-Kreuzlagen-Konstruktion mit Putzfassade) mit knapp 600 EUR/m^2_{WNF}[45]. Dies liegt an dem hohen bauteilflächen-spezifischen Wert von 612 EUR/$m^2_{Außenwandfläche}$ und daran, dass die Fläche der Außenwand mit fast einem $m^2_{Baueilfläche}$ pro $m^2_{Wohnnutzfläche}$ deutlich größer ist, als die spezifischen Flächen der anderen Bauteile.

Die nächstgrößeren Positionen sind das neue Dach mit 166 EUR/m^2_{WNF} und die Fenster mit 132 EUR/m^2_{WNF} zzgl. 30 EUR/m^2_{WNF} für den außenliegenden Sonnenschutz. Die Dämm-Maßnahmen an Sockel und Keller liegen inkl. der neuen Kellertüre in Summe bei 116 EUR/m^2_{WNF}.

[45] In den genannten Kosten der Außenwandelemente sind die Kosten der Wandheizung sowie der in der Wand geführten Lüftungsrohre nicht enthalten, diese sind den Haustechnikkosten zugeordnet.

Kosten Haustechnik

Die folgende Abbildung zeigt die abgerechneten Netto-Kosten aller Haustechnikmaßnahmen. Die genannten Kosten enthalten für einen Großteil der Leistungen den GU-Aufschlag. Die rechte Säule zeigt eine grobe Kostengliederung, die linke eine feinere.

Abbildung 207: Abgerechnete, wohnflächenspezifische Netto-Kosten der Haustechnikmaßnahmen für die Ausführungsvariante des großen Gebäudes in EUR/m²$_{WNF}$

Die wohnflächenspezifischen Netto-Kosten aller Haustechnikmaßnahmen im großen Gebäude liegen bei 961 EUR/m²$_{WNF}$. Enthalten sind – wie in der rechten Säule dargestellt - die folgenden Kosten:

- neu errichtete Wärmeversorgung für Heizung (Wärmebereitstellung und Speicher, Wärmeverteilung und -abgabe in Bestandswohnungen und neuen DG-Wohnungen) – 295 EUR/m²$_{WNF}$ inkl. GU-Aufschlag und inkl. notwendiger baulicher Maßnahmen wie Kernbohrungen etc.
- neu errichtete Warmwasserversorgung und Abwasserentsorgung - 167 EUR/m²$_{WNF}$ inkl. GU-Aufschlag und inkl. notwendiger baulicher Maßnahmen wie Kernbohrungen etc.

- neu errichtete zentrale Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung in allen Wohnungen inkl. der Kosten der baulichen Maßnahmen und der Insgemeinkosten der Lüftungsanlage sowie der separaten Abluftanlage für das Kellergeschoß – 185 EUR/m^2_{WNF} inkl. GU-Aufschlag.
- Elektroinstallation außerhalb der Wohnungen im EG, 1. OG und 2. OG sowie in den neuen Dachwohnungen, PV-Anlage, Blitzschutz, Mess- Steuerungs- und Regelungstechnik sowie Brandschutzabschottungen – 314 EUR/m^2_{WNF}. In dieser Kostengruppe enthalten alle Leistungen außer der MSR den GU-Aufschlag.

Kosten Modernisierung, Instandhaltung und Innenausbau DG neu

Die Kosten für Modernisierung und Instandhaltung sowie für den Innenausbau des neuen Dachgeschosses betragen im großen Gebäude 924 EUR/m^2_{WNF} inkl. GU-Aufschlag.

Im Vergleich zu den sehr detailliert vorliegenden Kosten der Bauteile der Gebäudehülle und der Haustechnikmaßnahmen können die Kosten für Modernisierung, Instandhaltung und Innenausbau des neuen Dachgeschosses auf Basis der vom GU zur Verfügung gestellten Daten nicht im gleichen Detaillierungsgrad aufgeschlüsselt werden.

Enthalten sind u.a. die folgenden Maßnahmen:

- Hausanschlüsse (Strom, Wasser, TV)
- Sanierung des Kellers (Kellerboden, Kellerinnenwände, Sanierungsputz Teilbereiche Kelleraußenwände)
- Abbruch und Entsorgung (86 EUR/m^2_{WNF})
- Statische Ertüchtigung der obersten Geschoßdecken (64 EUR/m^2_{WNF})
- Verstärkung des Auflagers für die Giebelwände
- Innenausbau DG neu, u.a.
    - Trockenbau (99 EUR/m^2_{WNF})
    - Türen (54 EUR/m^2_{WNF})
    - Estrich DG (36 EUR/m^2_{WNF})
    - Parkett DG
    - Fliesenleger DG
- Schönheitsreparaturen Stiegenhaus
- Schlosserarbeiten (u.a. Fahrradbügel, Briefkasten (31 EUR/m^2_{WNF})
- Außenanlagen

Kosten Modernisierung der Bäder

Im großen Gebäude wurden Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten in den Bädern von 7 der 9 Bestandswohnungen im EG, 1. OG und 2. OG durchgeführt.

Das Ausmaß der Arbeiten war sehr unterschiedlich, die Kosten wurden nicht über den GU, sondern direkt über den Bauherrn abgerechnet. Die Gesamtkosten betrugen 76.107 EUR, dies entspricht im Mittel der 7 Wohnungen Kosten von 10.872 EUR pro Bad.

Legt man die Kosten auf die Gesamt-Wohnfläche des Gebäudes nach Sanierung um, so betragen die spezifischen Kosten der Badmodernisierung 119 EUR/m^2_{WNF}.

Die größten Anteile an diesen Kosten hat die Badsanierung mit 47 EUR/m^2_{WNF}, das Fliesen mit 44 EUR/m^2_{WNF} sowie Trockenbauarbeiten mit 25 EUR/m^2_{WNF}. Die restlichen Kosten entstanden für die Erneuerung der Elektroinstallation im Bad, neue Bad-Türen sowie für die Reinigung der Wohnungen nach der Modernisierung.

Kosten sonstige Maßnahmen

Die Kosten für sonstige über den Bauherrn abgerechnete Kosten lagen bei 73 EUR/m^2_{WNF}. Enthaltene Leistungen sind u.a. die Entsorgung von Gegenständen aus dem Keller, die Entsorgung von Bauschutt, die Schließanlagen und viele weitere kleinere Positionen.

Honorare und Eigenaufwand Bauherr

Der Anteil der Honorare für Architekt, Haustechnikplaner, Statiker, Bauphysiker und weitere Fachplaner inkl. des Honorars des GU für die Bauleitung beträgt 401 EUR/m^2_{WNF}, der Eigenaufwand des Bauherrn 31 EUR/m^2_{WNF}.

Der forschungsbedingte Mehraufwand der Planer ist nicht enthalten, da er über ein separates Budget finanziert wird.

Da weder alle Honorare, noch der Eigenaufwand des Bauherrn nach Gebäuden differenziert vorlagen, wurden die jeweiligen Gesamt-Honorare auf beide Gebäude nach ihrem Flächenanteil aufgeteilt.

6.2 Kleines Gebäude

Errichtungskosten

Die folgende Abbildung zeigt die abgerechneten, wohnflächenspezifischen Netto-Errichtungskosten des kleinen Gebäudes.

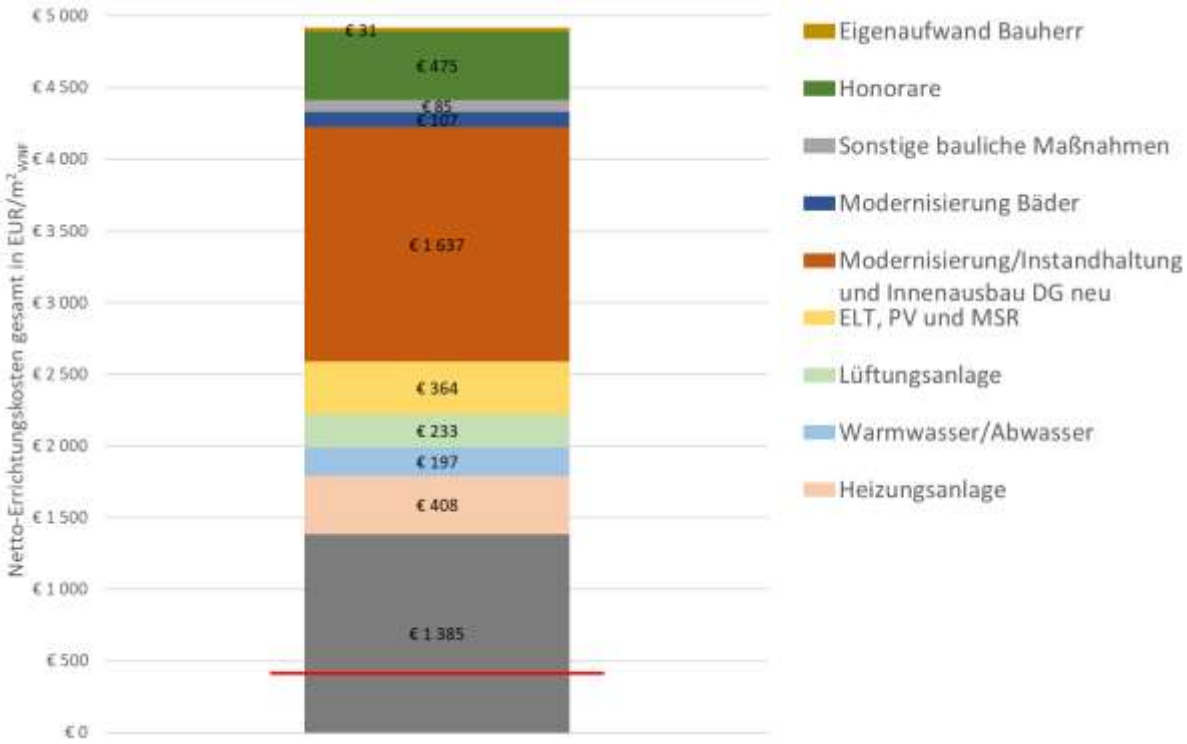

Abbildung 208: abgerechnete, wohnflächenspezifische Netto-Errichtungskosten des kleinen Gebäudes

Die abgerechneten, wohnflächenspezifischen Netto-Errichtungskosten für die Sanierung des kleineren Gebäudes inkl. Neuerrichtung des kompletten Dachgeschosses und inkl. des GU-Aufschlags für einen großen Teil der Leistungen liegen bei 4.921 EUR/m^2_{WNF}.

Dieser Wert liegt um 16 % unter den zum Zeitpunkt Vergabe bestimmten Kosten.

Die Zusammensetzung der Kosten ist nachfolgend detailliert erläutert.

Kosten der Gebäudehülle

Die folgende Abbildung zeigt die abgerechneten Netto-Kosten der Gebäudehülle nach Bauelementen für die Ausführungsvariante des kleinen Gebäudes. Die aufgeführten Werte enthalten sowohl die Kosten für die energetisch hochwertige Sanierung von Bauteilen (Wärmedämm-Verbundsystem mit 24 cm Holz-Weichfaserplatten, Fenster in Bestandswänden inkl. Sonnenschutz, Sockeldämmung, Dämmung Kellerwände und Kellerdecke usw.), als auch jene der komplett neu errichteten Bauteile der Gebäudehülle im Dachgeschoss (Wandelemente und Fenster Giebel, Dach und Dachfenster inkl. Sonnenschutz). In der blau hinterlegten Spalte sind die spezifischen Kosten in EUR/m² bzw. in EUR/Einheit genannt, in der grün hinterlegten die abgerechneten, wohnflächenspezifischen Kosten pro m^2_{WNF}.

	Menge	Einheit	Material	Materialstärke [cm]	Einzelpreis [€/m²/EInheit]	Gesamtpreis [€]		Verhältnis - Hüllfläche/WNF		spez. Kosten [€/m^2_{WNF}]
Dach Neu	266,86	m²	Holz/Zellulose	28	372	99 185		0,765		284
Dachfenster Neu (inkl. Sonnenschutz)	12,40	m²	Kunststoff	3-fach V.	1 544	19 145		0,036		55
Wandelement Giebel inkl. Putz	50,55	m²	Holz/Zellulose	24/14	417	21 086		0,145		60
WDVS Holzfaser	404,47	m²	Holzfaserdämm.	24	473	191 274		1,160	2,439	549
Fenster Neu (in Fassade)	47,64	m²	Fichte	3-fach V.	1 353	64 476		0,137		185
Sonnenschutz Fenster Vertikal	47,64	m²	Alu/Raffstore	-	277	13 177				38
Sockeldämmung geg. Außenluft	66,22	m²	EPS	20	172	11 402		0,190		33
Hauseingangstüre	2,46	m²	Fichte	-	3 501	8 613		0,007		25
Kellerdeckendämmung	132,01	m²	PIR/PUR	8	119	15 741		0,379		45
Perimeterdämmung geg. Erdreich	88,85	m²	XPS	10	283	25 166		0,255	0,813	72
Flankendämmung KG innen	60,27	m²	EPS	8	95	5 712		0,173		16
Kellertüre	2,24	m²	Fichte	-	3 501	7 842		0,006		22
Kosten Gebäudehülle						482 820				**1 385**

Tabelle 24: Abgerechnete Netto-Kosten der Gebäudehülle nach Bauelementen für die Ausführungsvariante des kleinen Gebäudes – Angaben inkl. GU-Zuschlag

Die abgerechneten, wohnflächenspezifischen Netto-Kosten der Gebäudehülle liegen mit 1.385 EUR/m^2_{WNF} um knapp 260 EUR/m^2_{WNF} höher als im großen Gebäude, obwohl die spezifischen Kosten des im kleinen Gebäude eingesetzten Wärmedämmverbundsystems mit 24cm Holzweichfaserplatten mit 473 EUR/$m^2_{Wandfläche}$ merklich niedriger liegen als die des Systems mit Holz-Kreuzlagen im großen Gebäude mit 612 EUR/$m^2_{Wandfläche}$.

Die höheren wohnflächenspezifischen Kosten resultieren daraus, dass im kleinen Gebäude mehr Hüllfläche pro m² Wohnnutzfläche gedämmt werden muss. Dieses Thema wird in Kapitel 6.4 vertieft.

Den bei weitem größten Anteil an den wohnflächenspezifischen Kosten hat die Außenwand mit 549 EUR/m^2_{WNF}.

Die nächstgrößeren Positionen sind das neue Schrägdach mit 284 EUR/m^2_{WNF} und die Fenster mit 185 EUR/m^2_{WNF} zzgl. 38 EUR/m^2_{WNF} für den außenliegenden Sonnenschutz.

Die Dämm-Maßnahmen an Sockel und Keller liegen inkl. der neuen Kellertüre in Summe bei 166 EUR/m^2_{WNF}.

Kosten Haustechnik

Die folgende Abbildung zeigt die abgerechneten, wohnfächenspezifischen Netto-Kosten aller Haustechnikmaßnahmen des kleinen Gebäudes. Die genannten Kosten enthalten für einen Großteil der Leistungen den GU-Aufschlag. Die rechte Säule zeigt eine grobe Kostengliederung, die linke eine feinere.

Abbildung 209: Abgerechnete, wohnflächenspezifische Netto-Kosten der Haustechnikmaßnahmen für die Ausführungsvariante des kleinen Gebäudes in EUR/m²WNF

Die abgerechneten, wohnflächenspezifischen Netto-Kosten der Haustechnik des kleinen Gebäudes liegen mit 1.201 EUR/m²WNF um 140 EUR/m²WNF höher als im Großen.

Ein Grund für die höheren Kosten ist, dass sich Fixkosten wie etwa die des Wärmeerzeugers und des Lüftungszentralgeräts auf eine geringere Wohnfläche verteilen.

Enthalten sind die folgenden Kosten:

- neu errichtete Wärmeversorgung für Heizung (Sondenanlage, Wärmeerzeugung, Speicherung, Verteilung und Abgabe in Bestandswohnungen und neuen DG-Wohnungen) – 408 EUR/m²WNF inkl. GU-Aufschlag und inkl. notwendiger baulicher Maßnahmen wie Kernbohrungen etc.

- neu errichtete Warmwasserversorgung und Abwasserentsorgung - 197 EUR/m^2_{WNF} inkl. GU-Aufschlag und inkl. notwendiger baulicher Maßnahmen wie Kernbohrungen etc.
- neu errichtete zentrale Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung in allen Wohnungen inkl. der Kosten der baulichen Maßnahmen und der Insgemeinkosten der Lüftungsanlage sowie der separaten Abluftanlage für das Kellergeschoß – 233 EUR/m^2_{WNF} inkl. GU-Aufschlag.
- Elektroinstallation außerhalb der Wohnungen im EG und im 1. OG sowie in den neuen Dachwohnungen, PV-Anlage, Blitzschutz, Mess- Steuerungs- und Regelungstechnik sowie Brandschutzabschottungen – 364 EUR/m^2_{WNF}. In dieser Kostengruppe enthalten alle Leistungen außer der MSR den GU-Aufschlag.

Kosten Modernisierung, Instandhaltung und Innenausbau DG neu

Die Kosten für Modernisierung und Instandhaltung des Gebäudes sowie für den Innenausbau des neuen Dachgeschosses im kleinen Gebäude – inkl. GU-Aufschlag bei 1.637 EUR/m^2_{WNF} und damit um 713 m^2_{WNF} höher als im großen Gebäude.

Im Vergleich zu den sehr detailliert vorliegenden Kosten der Bauteile der Gebäudehülle und der Haustechnikmaßnahmen können die Kosten für Modernisierung, Instandhaltung und Innenausbau des neuen Dachgeschosses auf Basis der vom GU zur Verfügung gestellten Daten nicht im gleichen Detaillierungsgrad aufgeschlüsselt werden.

Enthalten sind u.a. die folgenden Maßnahmen:

- Hausanschlüsse (Strom, Wasser, TV)
- Sanierung des Kellers (Kellerboden, Kellerinnenwände, Sanierungsputz Teilbereiche Kelleraußenwände)
- Abbruch und Entsorgung (134 EUR/m^2_{WNF})
- Statische Ertüchtigung der obersten Geschoßdecke (259 EUR/m^2_{WNF})
- Innenausbau DG neu, u.a.
    - Trockenbau inkl. Trockenestrich 200 EUR/m^2_{WNF}
    - Bodenleger 41 EUR/m^2_{WNF}
    - Türen 46 EUR/m^2_{WNF}
- Schönheitsreparaturen Treppenhaus
- Schlosserarbeiten 85 EUR/m^2_{WNF}
- Fertigteile Außenanlage 39 EUR/m^2_{WNF}

Hauptgrund für die im Vergleich zum großen Gebäude höheren spezifischen Kosten ist, dass die hohen Kosten für die Modernisierung und Instandhaltung des Kellers, für die statische Ertüchtigung der obersten Geschoßdecke sowie für den Innenausbau des neuen Dachgeschosses auf ein Geschoß weniger und damit auf eine geringere Fläche umgelegt werden.

Ein weiterer Grund ist, dass der Umfang der Arbeiten an den Außenanlagen größer ist als im größeren Gebäude. So wurden etwa eine neue Außentreppe errichtet und eine Eingangsrampe angelegt, um die EG-Wohnungen barrierefrei erreichbar zu machen.

Kosten Modernisierung der Bäder

Im kleinen Gebäude wurden Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten in den Bädern von drei der vier Bestandswohnungen im EG und 1. OG durchgeführt. Das Ausmaß der Arbeiten war sehr unterschiedlich, die Kosten wurden nicht über den GU, sondern direkt über den Bauherrn abgerechnet. Die Gesamtkosten betrugen 37.424 EUR, dies entspricht im Mittel der drei Wohnungen Kosten von 12.475 EUR pro Bad. Legt man die Kosten auf die Gesamt-Wohnfläche des Gebäudes nach Sanierung um, so betragen die spezifischen Kosten der Badmodernisierung 107 EUR/m^2_{WNF}.

Die größten Anteile an diesen Kosten hat die Badsanierung mit 67 EUR/m^2_{WNF}, das Fliesen mit 21 EUR/m^2_{WNF} sowie Trockenbauarbeiten mit 13 EUR/m^2_{WNF}. Die restlichen Kosten entstanden für die Erneuerung der Elektroinstallation im Bad, neue Bad-Türen sowie für die Reinigung der Wohnungen nach der Modernisierung.

Kosten sonstige Maßnahmen

Die spezifischen Netto-Kosten für sonstige über den Bauherrn direkt abgerechnete Kosten lagen bei 85 EUR/m^2_{WNF}. Enthaltene Leistungen sind u.a. die Entsorgung von Gegenständen aus dem Keller, die Entsorgung von Bauschutt, die Schließanlage und viele weitere kleinere Positionen.

Honorare und Eigenaufwand Bauherr

Der Anteil der Honorare für Architekt, Haustechnikplaner, Statiker, Bauphysiker und weitere Fachplaner inkl. des Honorars des GU für die Bauleitung beträgt 475 EUR/m^2_{WNF}, der Eigenaufwand des Bauherrn 31 EUR/m^2_{WNF}. Der forschungsbedingte Mehraufwand der Planer ist nicht enthalten, da er über ein separates Budget finanziert wird. Da weder alle Honorare, noch der Eigenaufwand des Bauherrn nach Gebäuden differenziert vorlagen, wurden die jeweiligen Gesamtkosten auf beide Gebäude nach ihrem Flächenanteil aufgeteilt.

6.3 Einordnung der Errichtungskosten

Zur Einordnung der Kosten der umfassenden Sanierung der Mustergebäude mit Wohnraumerweiterung werden im Folgenden zunächst die schon in Kapitel 2.2 aufgeführten Kosten für Instandhaltung und Modernisierung der Gebäude in der Südtirolersiedlung Bludenz als Mittelwert der Jahre 2016 bis 2020 dargestellt.

Im Anschluss werden Vergleichskosten energetisch ambitionierter Mehrfamilienhaus-Sanierungsprojekte in Österreich und Deutschland und der jeweilige Umfang der energetischen und nicht energetischen Sanierungsarbeiten erläutert.

Die dargestellten Projekte unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht, so etwa bezüglich ihres Baujahrs, des Umfangs der nicht-energetischen Maßnahmen, der Gebäudegröße und der Art der Sanierung – im unbewohnten oder bewohnten Zustand.

Die Sanierung der meisten Gebäude wurde konventionell handwerklich durchgeführt, ein Projekt wurde seriell vorgefertigt umgesetzt. Darüber hinaus wurden in einigen Projekten auch Wohnraumerweiterungen durchgeführt während die Wohnfläche in den meisten Projekten unverändert blieb.

Die Kostenangaben für die dargestellten Projekte sind das Ergebnis einer intensiven Recherche, die verdeutlichte, dass das Thema der Kosten energetischer Sanierungen von Mehrfamilienhäusern in den vergangenen Jahren eine sehr untergeordnete Rolle spielte, so dass nachvollziehbar aufbereitete Kostendaten nur für sehr wenige Projekte verfügbar sind und sich keine übertragbare, detaillierte Struktur der Kostenaufbereitung durchgesetzt hat.

Alle Kosten wurden auf das erste Quartal 2023 – den Kostenstand der Sanierung der beiden Mustergebäude - indexiert. Auf eine Anpassung durch Regionalfaktoren des BKI wurde verzichtet, da diese für Österreich statistisch nicht hinreichend abgesichert erscheinen[46].

Im Anschluss an die Darstellung der Errichtungskosten der Vergleichsprojekte werden die Kosten einzelner Bauteile und Haustechnikkomponenten der Mustergebäude eingeordnet.

[46] Der Regionalfaktor 2024 des BKI für Vorarlberg liegt bei 1,10. Er liegt damit fast gleich wie im Nachbarkreis Lindau auf der deutschen Seite der Grenze, der bei 1,12 liegt. Der BKI Regionalfaktoren für Tirol liegt bei 1,043, der für Salzburg bei 1,098.

Wohnungsmodernisierung und Instandsetzung Südtirolersiedlung Bludenz

Abbildung 210: Beispielfotos zum Zustand der Siedlung im Jahr 2021

Baujahr:	1942 bis 1959
Jahr der Modernisierung:	2016 bis 2020
Alter der Gebäude bei Modernisierung;	57 bis 78 Jahre
Modernisierung bewohnt/unbewohnt:	Wohnungsmodernisierung bei Mieterwechsel Instandhaltungsarbeiten in bewohntem Zustand
Anzahl der Wohneinheiten:	gesamt 397, davon 60 von 2016 bis 2020 modernisiert
Wohnraumerweiterung:	keine;
Energetische Maßnahmen:	keine
Nicht energetische Maßnahmen:	Modernisierung von 60 der 397 Wohnungen; Gewerke Sanitär, Fliesen, Tischler, Bodenleger, Elektro; Instandhaltungsarbeiten außerhalb der Wohnungen
Netto-Kosten (Index: Q1 / 2023):	**1.295 EUR/m$^2_{WNF}$**
Datenquelle:	Alpenländische Gemeinnützige WohnbauGmbH-Kostenauswertung und -aufbereitung durch Energieinstitut Vorarlberg

Umfassende Sanierung gemeinnützige Wohnanlage in St. Johann, Tirol

Abbildung 211: gemeinnütziger Wohnbau St. Johann vor der (geplanten) umfassenden Sanierung; Fotos: Neue Heimat Tirol

Baujahr:	1961
Jahr der Sanierung:	2023 (geplant); die detailliert geplante und mehrfach ausgeschriebene Sanierung wurde nicht ausgeführt, da die notwendige 75% Zustimmung der Mieter zu einer freiwilligen Erhöhung des EVB nicht erreicht wurde.
Alter der Gebäude bei Sanierung:	62 Jahre
Sanierung bewohnt/unbewohnt:	geplant: im bewohnten Zustand
Anzahl der Wohneinheiten:	32 (3 Gebäude, 3 Geschosse)
Wohnraumerweiterung:	minimal durch Einbeziehung der Loggen in den Wohnraum
Energetische Maßnahmen:	Gebäudehülle im Standard EnerPHit mit WDVS-Fassade aus Mineralwolle, Passivhausfenster, Sonnenschutz, Dämmung oberste Geschoßdecke und Kellerdecke, zentrale Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung, Umstellung auf zentrale Einführung und Verteilung erneuerbare Fernwärme für Heizung und Warmwasser
Nicht energetische Maßnahmen:	geringes Ausmaß, z.B. neue, größere Balkone
Netto-Kosten (Index: Q1 / 2023):	**1.288 EUR/m$^2_{WNF}$** inkl. Modernisierung und Erweiterung sowie Honoraren. Davon 903 EUR/m$^2_{WNF}$ für thermische und energetische Maßnahmen
Datenquelle:	[Malzer 2023]

Umfassende Sanierung sozialer Wohnbau in Darmstadt

Abbildung 212: Mehrfamilienhaus "PassivhausSozialPlus" vor und nach Sanierung; Fotos: Institut Wohnen und Umwelt

Baujahr:	1955
Jahr der Sanierung:	2018 bis 2019
Alter der Gebäude bei Sanierung:	63 Jahre
Sanierung bewohnt/unbewohnt:	unbewohnt
Anzahl der Wohneinheiten:	22
Wohnraumerweiterung:	nein
Energetische Maßnahmen:	Dämmung im Passivhausniveau, Passivhausfenster, zentrale Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung, Fernwärmeanschluss, Frischwasserstationen zur Warmwasserbereitung, PV-Anlage mit Batteriespeicher, Grauwasseranlage, effiziente Küchengeräte, LED-Beleuchtung in allen Räumen
Nicht energetische Maßnahmen:	Flachdach statt Satteldach, Wohnungsteilungen, Gemeinschaftsraum im Keller, WLAN/ISDN, Fahrradabstellanlage, Grauwassernutzung zur WC-Spülung
Netto-Kosten (Index: Q1 / 2023):	**1.858 EUR/m$^2_{WNF}$**
Datenquelle:	[Großklos 2021]

Serielle Sanierung Mehrfamilienhaus 2426 in Köln

Abbildung 213: Serielle Sanierung Projekt 2426 in Köln vorher – nachher; Planung und Fotos: Zeller Kölmel Architekten, Köln

Baujahr:	1961
Jahr der Sanierung/ Instandhaltung:	2022 (April bis Dezember)
Alter der Gebäude bei Sanierung:	61 Jahre
Sanierung bewohnt/unbewohnt:	bewohnt
Anzahl der Wohneinheiten:	16
Wohnraumerweiterung:	nein
Energetische Maßnahmen:	gesamt Gebäudehülle im Passivhausniveau, vorgefertigte, gedämmte Dach-und Fassadenelemente aus Holz, Balkone, Sonnenschutz, Luft-WP (Heizung), el. Durchlauferhitzer, Komfortlüftung mit WRG wohnungsweise, Heizkörper, vollflächige PV
Nicht energetische Maßnahmen:	geringes Ausmaß
Netto-Kosten (Index: Q1 / 2023):	**2.024 EUR/m2Wfl** (DIN 276, KG 2 bis 7, d.h. inkl. energetischer Maßnahmen, sonstiger Maßnahmen, Außenanlagen, Nebenkosten), davon: 1.478 EUR/m^2_{WNF} für energetische Maßnahmen
Datenquelle:	[Kölmel 2023]

Umfassende Sanierung und Aufstockung Friedrich-Inhauser-Straße in Salzburg

Abbildung 214: Wohnanlage Friedrich-Inhauser-Straße, Salzburg nach Sanierung; cs-Architektur mit stijn nagels architecture atelier; Foto: SIR

Baujahr:	1985
Jahr der Sanierung/Instandhaltung:	2019 bis 2021
Alter der Gebäude bei Sanierung:	35 Jahre
Anzahl der Wohneinheiten:	vor Sanierung 75, nach Sanierung 99
Wohnraumerweiterung:	s.o.
Energetische Maßnahmen:	sehr guter Wärmeschutz Gebäudehülle, Abluftanlage mit Abluft-WP, zentrale Abwasser-Wärmerückgewinnung und Sole-WP, Pelletkessel, 25.000 Liter Schichtspeicher, PV-Anlage
Nicht energetische Maßnahmen:	Aufstockung und Erweiterung von 75 auf 99 Wohneinheiten; Mobility Point
Netto-Kosten (Index: Q1 / 2023):	**3.787 EUR/m2WNF**
Datenquelle:	[Lüftenegger 2024]

Die folgende Abbildung zeigt die Netto-Errichtungskosten der vorgestellten Sanierungsprojekte im Vergleich zu denen der SüdSan-Mustergebäude und der Modernisierung und Instandhaltung der Südtirolersiedlung Bludenz zwischen 2016 und 2020.

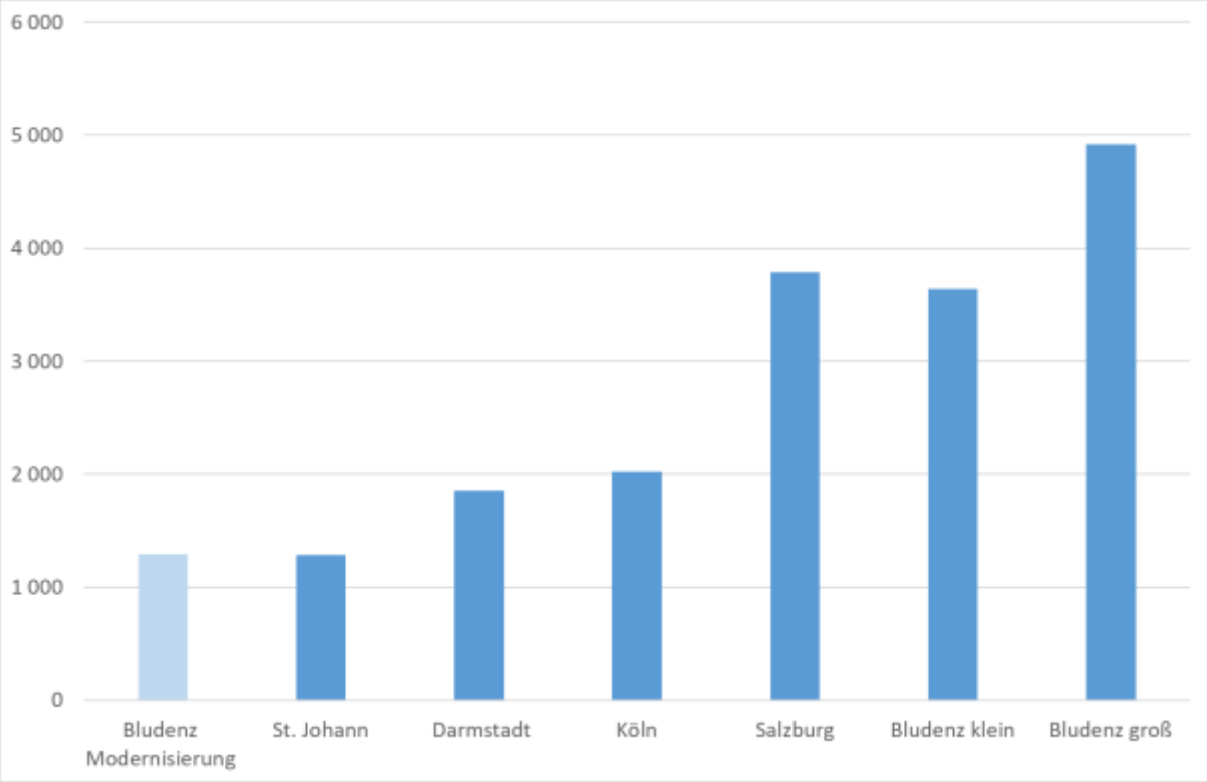

Abbildung 215: Vergleich der Netto-Errichtungskosten der vorgestellen Projekte mit denen der SüdSan Mustergebäude und den Kosten der Modernisierung und Instandhaltung der Südtirolersiedlung Bludenz

Die Gegenüberstellung zeigt die große Spanne der Kosten der umfassenden Sanierungen: diese liegen zwischen knapp 1.900 und 4.900 EUR/m^2_{WNF}.

Während die Kosten der Projekte ohne Erweiterung bei 1.300 bis 2.020 EUR/m^2_{WNF} liegen, liegen die der Projekte mit Erweiterung bei 3.600 bis 4.900 EUR/m^2_{WNF}a.

Deutlich wird auch, dass die Kosten der Modernisierung und Instandhaltung der Siedlung in Bludenz in den Jahren 2016 bis 2020 mit knapp 1.300 EUR/m^2_{WNF} sehr hoch lagen.

Auf eine tiefergehende Analyse der Kosten wird verzichtet. Der Vergleich soll zeigen, dass eine genauere Beschäftigung mit dem Thema der Sanierungskosten notwendig ist, etwa als Grundlage für die Justierung zielgerichteter Förderungen und zur Bestimmung der notwendigen Höhe von Sanierungsrücklagen.

Eine Analyse der Haupt-Einflussfaktoren auf die Sanierungskosten folgt in Kapitel 6.5, ein Vergleich der Kosten der Optionen Sanierung zu Abriss und Ersatzneubau in Kapitel 6.6.

6.4 Einordnung der Kosten von Bauteilen und Komponenten

Außenwand – Wärmedämmverbundsystem (kleineres Gebäude)

Die Außenwand ist in beiden Gebäuden das Hüllelement mit der größten Fläche und verursacht die höchsten wohnflächenspezifischen Kosten aller Bauteile der Gebäudehülle.

Die folgende Abbildung zeigt die Zusammensetzung der Kosten für die im kleinen Gebäude ausgeführte Variante eines Wärmedämm-Verbundsystems (WDVS) mit 24 cm Holzweichfaserdämmung im Vergleich zu zwei ebenfalls ausgeschriebenen, energetisch gleichwertigen Varianten mit einem WDVS mit 20 cm EPS bzw. mit 28 cm Strohdämmplatten.

Die dargestellten Kosten entsprechen für die Ausführungsvariante den abgerechneten Kosten, für die beiden nicht ausgeführten Materialien den nach Abrechnung durch den GU angepassten Angebotskosten.

In den Kosten sind die folgenden Positionen enthalten:

- Gerüst (anteilsmäßig)
- Dämmplatten kleben + konstruktive Dübelung inkl. Armierungsputz und Gewebe
- Kantenausbildung, Gewebewinkel, Abschlussprofile
- Fensteranschluss außenseitig
- mineralischer Mittelbett-Oberputz auf Armierungsputz (für Strohplatten: Dickbett-Oberputz)
- Fassadenanstrich inkl. Faschen

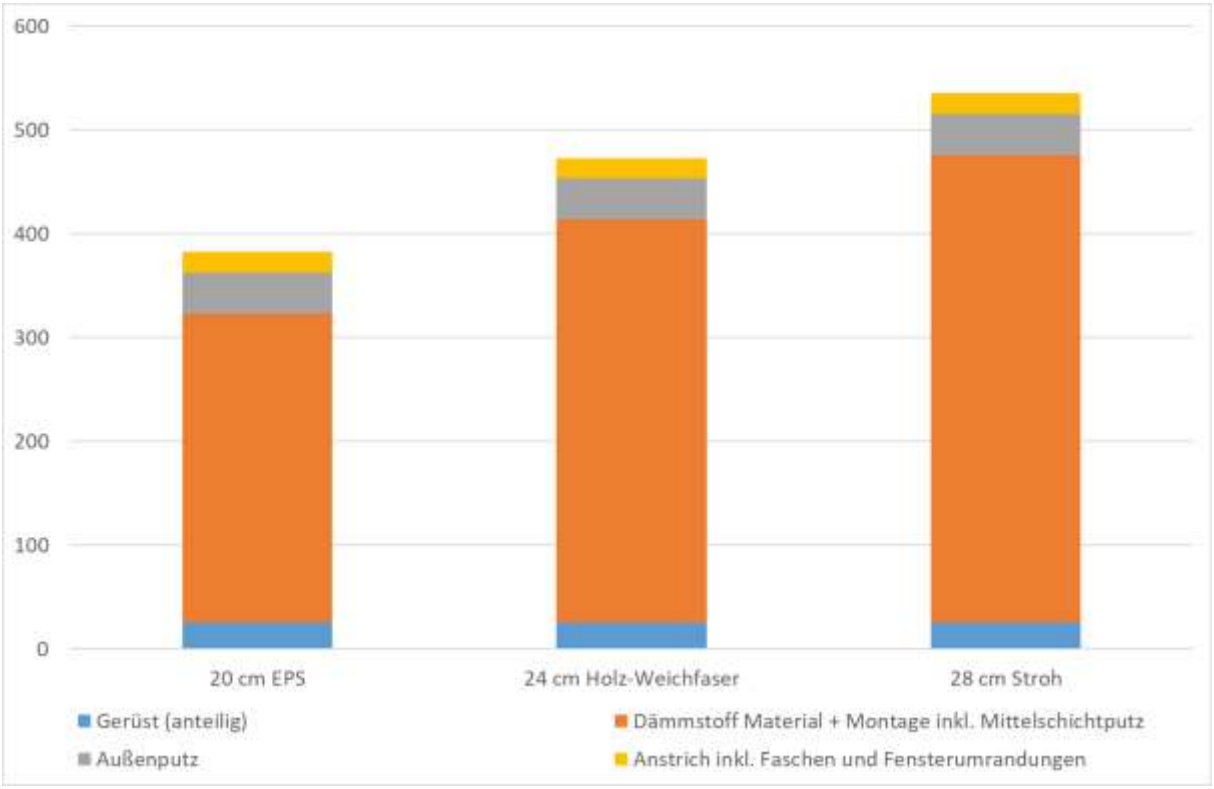

Abbildung 216: spezifische Kosten verschiedener energetisch gleichwertiger Varianten der nachträglichen Außenwanddämmung mit Wärmedämm-Verbundsystem (netto, in EUR/m²$_{Bauteilfläche}$)

Die flächenspezifischen Netto-Kosten der energetisch gleichwertigen Wärmedämmverbundsysteme mit unterschiedlichen Dämm-Materialien betragen:

- EPS: 382 EUR/m²$_{Bauteilfläche}$
- Holz-Weichfaser: 473 EUR/m²$_{Bauteilfläche}$
- Stroh: 535 EUR/m²$_{Bauteilfläche}$

Zur Einordnung der o.g. Netto-Kosten der Wärmedämmverbundsysteme im kleinen Gebäude werden nachfolgend Vergleichswerte aus zwei aufeinander aufbauenden, empirischen Untersuchungen des Institut Wohnen und Umwelt genannt. In der ersten Studie wurden die Kosten verschiedener energetischer Maßnahmen von Modernisierungsvorhaben in Deutschland ausgewertet [Hinz 2015]. Insgesamt wurden die Kosten von 1.177 Wohngebäuden berücksichtigt, darunter 784 Ein- und Zweifamilienhäuser.

Wichtigste Datenquelle waren Auswertungen des KfW-Förderprogramms „Energieeffizient Sanieren“. Für die nachträgliche Außenwanddämmung mit WDVS wurden 268 Projekte mit WDVS aus EPS und 49 Projekte mit WDVS aus Mineralfaser analysiert.

Bei der Flächenermittlung wurden Öffnungen mit Flächen kleiner 2,5m übermessen, wie dies in Deutschland in der VOB geregelt ist.

Die Kostenangaben in der Studie verstehen sich inkl. 19% MwSt. in Deutschland, für den Vergleich mit den Kosten im Projekt SüdSan wurden Nettokosten ermittelt. Die Kosten wurden im Jahr 2012 erhoben, sie wurden mit dem Baupreisindex des Statistischen Bundesamts auf das erste Quartal 2015 normiert. Die Primärdaten sind zusätzlich mit Regionalfaktoren für 2014 normiert.

In der zweiten Studie wurden die Kosten auf das Kostenniveau 2022 und 2023 indexiert [Müller 2024]. Dazu wurden gewerkweise Kostenindizes des Statistischen Bundesamts verwendet.

Aus den indexierten Daten wurden – wie schon in der ersten Studie - Kostenfunktionen bestimmt. Die Kostenfunktionen beschreiben die gewichteten mittleren Kosten von Wärmedämmverbundsystemen mit EPS und mit Mineralwolle. Die Dämmstoffdicke wurde auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/mK normiert. Die folgende Abbildung zeigt, welche Kosten in den Auswertungen des IWU berücksichtigt wurden und verdeutlicht die Anteile der Einzelpositionen an den Gesamtkosten des WDVS am Beispiel eines 15 cm WDVS – die Auswertung ist der älteren IWU Studie entnommen, die Anteile der einzelnen Positionen kann sich seitdem leicht verändert haben. Die Abbildung soll verdeutlichen, dass in den vom IWU genannten Kosten alle Nebenarbeiten enthalten sind.

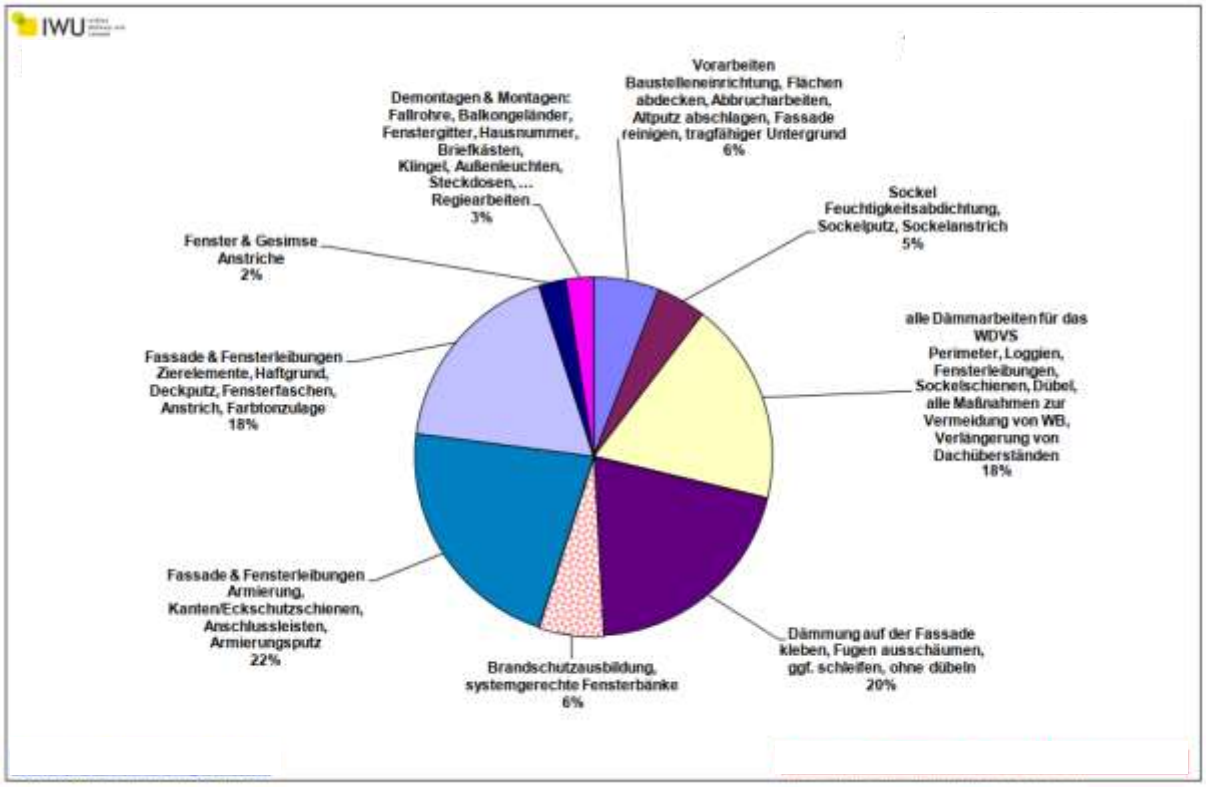

Abbildung 217: Kostenstruktur für ein Wärmedämmverbundsystem mit 15 cm Dämmung bei der energetischen Modernisierung im Zuge einer ohnehin anstehenden Instandsetzung [Hinz 2015]

Die Kosten von WDVS mit unterschiedlichen Dämmstoffdicken gemäß der IWU-Kostenfunktion sind in der folgenden Abbildung als blaue Linie aufgetragen. Der Punkt in der Abbildung entspricht den Kosten der Variante mit einem WDVS mit 20 cm EPS im Projekt SüdSan.

Zusätzlich sind auch die nach BKI positionsweise ermittelten Kosten aufgeführt [BKI 2024-2]. Nach BKI wurden drei Werte ermittelt:

- Ansatz Mittelwert der Kosten gemäß BKI für alle Einzelpositionen, Regionalfaktor 1,00
- Ansatz des Maximalwerts der Kosten gemäß BKI für alle Einzelpositionen, Regionalfaktor 1,00
- Ansatz des Maximalwerts der Kosten gemäß BKI für alle Einzelpositionen, Regionalfaktor 1,10 (Angabe BKI für Vorarlberg)

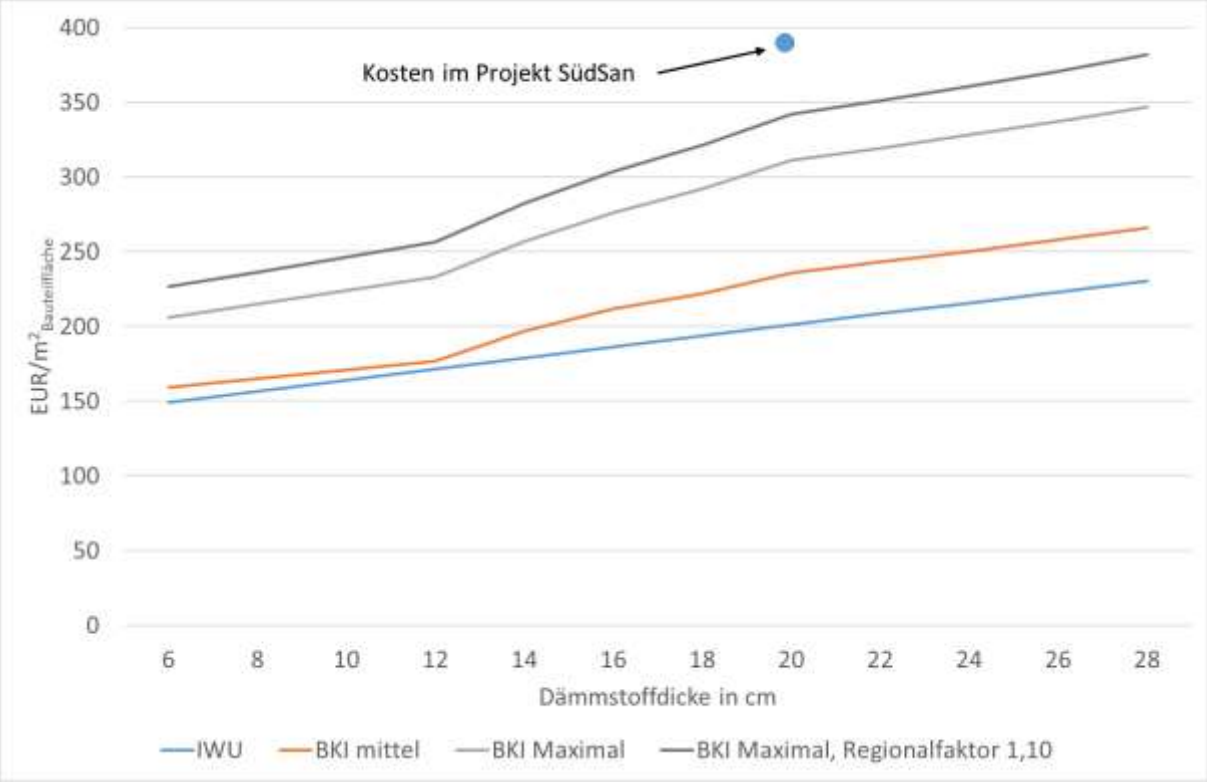

Abbildung 218: Vergleich der spezifischen Kosten der Variante des Wärmedämmverbundsystes mit 20 cm EPS-Dämmung mit den Kosten gemäß [Müller 2024] und [BKI 2024-2]; Preisstand 2023/24, Kosten netto in EUR/m²Bauteilfläche

Wie die Abbildung zeigt, liegen die spezifischen Kosten des Wärmedämmverbundsystems mit 20 cm EPS-Dämmung nach IWU-Kostenfunktion bei etwa 201 EUR/m²Bauteilfläche (blauer Linienzug)

Nimmt man für alle Einzelpositionen die Mittelwerte gemäß BKI an, so lägen die spezifischen Kosten bei 20 cm Dämmstoffdicke bei 236 EUR/m²Bauteilfläche (roter Linienzug).

Entsprächen die Kosten aller Einzelpositionen den Maximalwerten gemäß BKI, so lägen die spezifischen Kosten bei 311 EUR/$m^2_{Bauteilfläche}$ (hellgrauer Linienzug).

Entsprächen die Kosten aller Einzelpositionen den Maximalwerten gemäß BKI und setzte man zusätzlich den BKI-Regionalfaktor für Vorarlberg von 1,10 an, so lägen die spezifischen Kosten bei 342 EUR/$m^2_{Bauteilfläche}$ (dunkelgrauer Linienzug)

Die abgerechneten Kosten liegen mit 382 EUR/$m^2_{Bauteilfläche}$ nochmals deutlich über dem letztgenannten Wert (blauer Punkt).

Außenwand – Kreuzlagen (großes Gebäude)

Die abgerechneten Netto-Kosten der im großen Gebäude ausgeführten Außenwand mit teilvorgefertigten Fassadenelementen (Kreuzlagen-Hölzer, Brandschutzplatte, Holz-Weichfaserplatte und Putz) lagen – ohne die integrierten Haustechnikelemente - bei 612 EUR/$m^2_{Bauteilfläche}$. Die spezifischen Kosten dieses Systems sind nochmals 230 EUR/m^2_{WNF}a höher als die des im kleinen Gebäude ausgeführten WDVS mit 24 cm Holzweichfaserplatten.

Die teil-vorgefertigten Elemente wurden getestet, da sie die Integration der Wärmeverteilung und –abgabe sowie der Zuluftverteilung ermöglichen. Diese Integration von Haustechnikelementen verspricht bei Sanierungen im bewohnten Zustand Vorteile, da die Eingriffe in die Wohnungen reduziert werden können.

Die o.g. Kosten der teil-vorgefertigten Fassadenelemente liegen im Bereich der Kosten ähnlicher Elemente in anderen Projekten. In [Weiss 2025] werden für einige österreichische Projekte spezifische Nettokosten zwischen 430 und 704 EUR/$m^2_{Bauteilfläche}$ genannt, in [Lattke 2024] Kosten von 754 EUR/$m^2_{Bauteilfläche}$[47].

Ähnliche Kosten werden in [Kölmel 2023] auch für die vorgefertigten Fassadenelemente für ein Projekt in Köln genannt.

Wegen methodischer Unterschiede in der Kostenaufbereitung können die o.g. Werte nur Größenordnungen beschreiben: so werden die Kosten der Fassadenelemente z.T. inkl. anteiliger Baustellengemeinkosten und Transportkosten ermittelt, zum Teil ohne diese Positionen.

[47] In der Studie des Informationsdienst Holz werden spezifische Kosten von 795 EUR/$m^2_{Bauteilfläche}$ inkl. der mit vorgefertigten Fenster genannt. Diese wurden vom Autor zu Vergleichszwecken um die Kosten der Fenster korrigiert.

Außerdem werden zum Teil die Mischpreise für die Fassadenelemente inkl. der mit vorgefertigten Fenster genannt, in anderen Projekten die Kosten ohne Fenster. Darüber hinaus differieren die Kosten der Elementkosten je nach Fassadenfinish (Putz, Holzschalung, Metall…).

Fenster

Die Kosten der Fenster betragen

- 1.233 EUR/$m^2_{\text{Bauteilfläche}}$ im großen Gebäude
- 1.353 EUR/$m^2_{\text{Bauteilfläche}}$ im kleinen Gebäude

Werden für kleinformatige Fenster inkl. Ausbau der Bestandsfenster die jeweiligen Maximalkosten gemäß [BKI 2024-2] angesetzt, ergeben sich spezifischen Kosten von etwa 1.000 EUR/$m^2_{\text{Bauteilfläche}}$. Beim Kostenvergleich ist zu berücksichtigen, dass im Projekt SüdSan Fenster mit Wiener Sprossen eingesetzt wurden, die Mehrkosten verursachen.

Kellerdecke

Die abgerechneten Netto-Kosten der Kellerdeckendämmung aus 8 cm PIR betragen inkl. Gewebe und Putz und inkl. GU-Aufschlag

- 125 EUR/$m^2_{\text{Bauteilfläche}}$ im großen Gebäude
- 119 EUR/$m^2_{\text{Bauteilfläche}}$ im kleinen Gebäude.

Diese Kosten liegen in der gleichen Größenordnung wie die im Projekt in Darmstadt, die bei Indexierung auf das Jahr bei etwa 105 EUR/$m^2_{\text{Bauteilfläche}}$ liegen [Großklos 2023].

In [Müller 2024] werden Kosten von etwa 65 EUR/$m^2_{\text{Bauteilfläche}}$ genannt, allerdings nicht für den etwas teureren Dämmstoff PIR.

Werden für eine 10 cm Dämmung der Kellerdecke mit EPS und den Innenputz die jeweiligen Maximalwerte gemäß [BKI 2024-2] angenommen, so läge der Preis bei 97 EUR/$m^2_{\text{Bauteilfläche}}$.

Flankendämmung Kelleraußenwände

Die abgerechneten Netto-Kosten der Flankendämmung im oberen Teil der Innenseite der Kelleraußenwände betragen 95 EUR/$m^2_{\text{Bauteilfläche}}$. Die Dämmung wurde in 8 cm EPS ausgeführt, die Kosten verstehen sich inkl. Laibungsausbildung, Gewebe + Putz und GU-Aufschlag.

Wärmeerzeugung und – speicherung (im kleinen Haus: inkl. Sondenanlage)

Die abgerechneten Netto-Kosten Wärmeerzeugung und –speicher sowie – im kleinen Gebäude inkl. Quellerschließung - sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Der GU-Aufschlag ist in den nachfolgenden Auswertungen der Kosten der Haustechnikkosten im Gegensatz zur Darstellung in Abbildungen 206, 207, 208 und 209 nicht enthalten, da für die Haustechnik sehr detaillierte Kostendarstellungen der Haustechnikplaner vorlagen.

		Kosten (netto)		
		EUR	EUR/m^2_{WNF}	EUR/WE
großes Gebäude	Luft-WP 14,5 kW (A2W35, Nenn)	24 888	39	2 263
	Pufferspeicher 2 * 1.000 Liter	9 662	15	878
	Summe	**34 550**	**54**	**3 141**
kleines Gebäude	Sondenanlage 2 * 89 lfm	29 250	84	4 875
	Erdreich-WP 9,1 kW (B0W35)	11 802	34	1 967
	Pufferspeicher 2 * 820 Liter	7 868	23	1 311
	Summe	**48 920**	**140**	**8 153**

Tabelle 25: abgerechnete Netto-Kosten der Wärmeerzeugung inkl. Quellerschließung und Speicherung für beide Gebäude

Die Kosten der Wärmeerzeugung inkl. Quellerschließung und Speicherung liegen im kleinen Gebäude mit 140 EUR/m^2_{WNF} deutlich höher als im Großen mit 54 EUR/m^2_{WNF}.

Hauptgrund sind die Kosten der Sondenanlage im kleineren Gebäude, die höher liegen als die der Wärmepumpe und der beiden Pufferspeicher in Summe.

Die Anlage mit 2 * 89 lfm Sondenlänge kostet 29.250 EUR, dies entspricht etwa 164 EUR/lfm bzw. 84 EUR/m^2_{WNF} bzw. 4.875 EUR/Wohneinheit.

Wärmeverteilung (Heizung) und Wärmeabgabe

Die abgerechneten Netto-Kosten der Wärmeverteilung (Heizung) und der Wärmeabgabe sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Der GU-Aufschlag ist nicht enthalten.

		Kosten (netto)		
		EUR	EUR/m^2_{WNF}	EUR/WE
großes Gebäude	Wärmeverteilung	31 795	50	2 890
	Wärmeabgabe Außenwandheizung	71 291	111	6 481
	Wärmeabgabe FB-Heizung DG	6 308	10	573
	Summe	**103 085**	**161**	**9 371**
kleines Gebäude	Wärmeverteilung	27 997	80	4 666
	Wärmeabgabe Heizkörper	25 562	73	4 260
	Summe	**53 559**	**154**	**8 927**

Tabelle 26: abgerechnete Netto-Kosten der Wärmeverteilung (Heizung) und der Wärmeabgabe für beide Gebäude

Obwohl die im großen Gebäude erstmals eingesetzte Außenwandheizung aufgrund des hohen Montageaufwands merklich höher Kosten verursachte als die Niedertemperaturheizkörper

im kleinen Gebäude, sind die Gesamtkosten der Wärmeverteilung (Heizung) sowie der Wärmeabgabe sehr ähnlich. Grund ist, dass die in die Außenwand integrierte Wärmeverteilung im System mit Außenwandheizung günstiger ist, als das Wärmeverteilsystem für die Heizkörper. Hier musste die Wärmeverteilung zeitaufwändig im Gebäudeinneren integriert werden.

Die Kosten des Systems der Außenwand können in Nachfolgeprojekten niedriger ausfallen, da inzwischen eine mit der Außenwand vorgefertigte Version entwickelt und erstmals in der Praxis eingesetzt wurde.

Wärmeverteilung (Warmwasser) und Frischwasserstationen

Die abgerechneten Netto-Kosten der Wärmeverteilung (Warmwasser) und der Frischwasserstationen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Der GU-Aufschlag ist nicht enthalten.

		Kosten (netto)		
		EUR	EUR/m^2_{WNF}	EUR/WE
großes Gebäude	Wärmeverteilung Warmwasser	29 014	45	2 638
	Frischwasserstationen	25 080	39	2 280
	Summe	**54 094**	**85**	**4 918**
kleines Gebäude	Wärmeverteilung Warmwasser	19 542	56	3 257
	Frischwasserstationen	11 241	32	1 874
	Summe	**30 783**	**88**	**5 131**

Tabelle 27: abgerechnete Netto-Kosten der Wärmeverteilung (Warmwasser) und der Frischwasserstationen für beide Gebäude

Die Gesamtkosten der Wärmeverteilung (Warmwasser und der Frischwasserstationen liegen bei 85 bzw. 88 EUR/m^2_{WNF}. Dies entspricht etwa 4.900 bzw. 5.100 EUR pro Wohneinheit.

Die Kosten der Frischwasserstationen liegen bei 2.280 bzw. 1.874 EUR/Wohneinheit.

Diese Kosten liegen unter den Kosten des Projekts in Darmstadt, wo die auf 2023 indexierten Kosten bei etwa 3.200 EUR/Wohneinheit betragen.

Lüftung

Die abgerechneten, spezifischen Netto-Gesamtkosten der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung im großen Gebäude betrugen – inkl. der separaten Abluftanlage für das Kellergeschoß sowie der baulichen Maßnahmen – ca. 170 EUR/m^2_{WNF}. Die Kosten enthalten keinen GU-Zuschlag. Die Zusammensetzung dieser Kosten ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

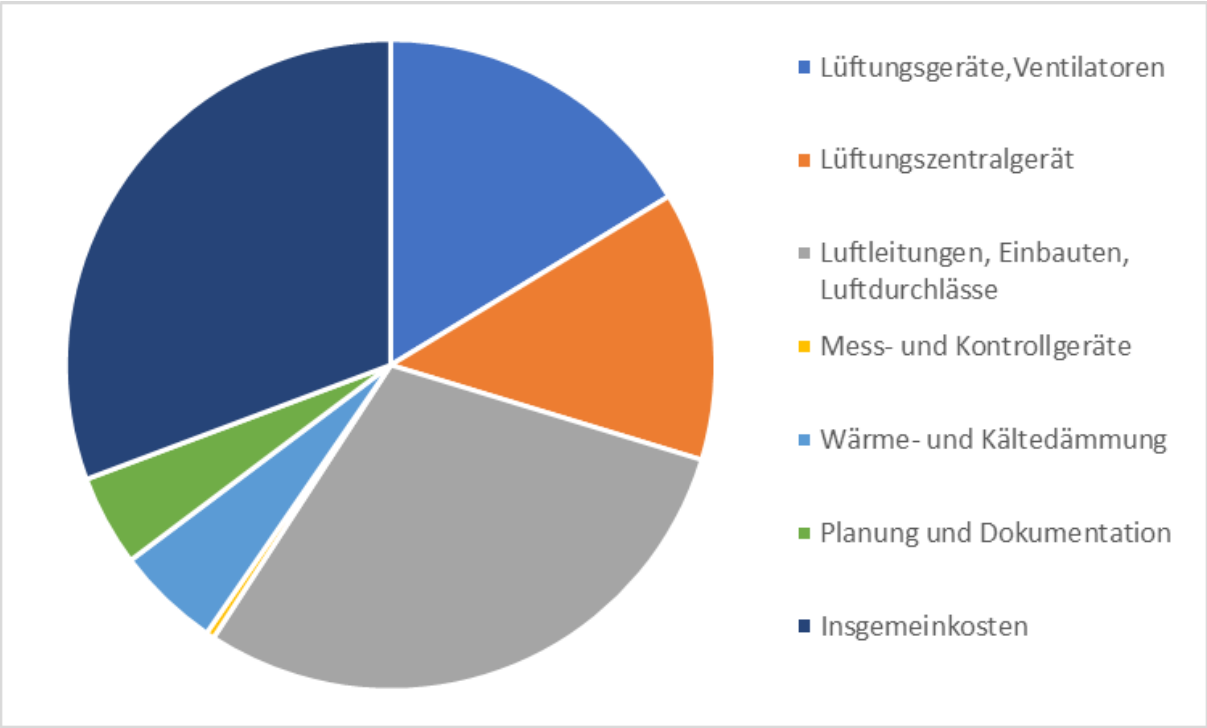

Abbildung 219: Zusammensetzung der Kosten der zentralen Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung im großen Gebäude; inkl. der Abluftanlage im Keller sowie der Kosten baulicher Maßnahmen und der Kosten der Ausführungsplanung des Installateurs

Die größten Einzelpositionen sind die Luftleitungen, Einbauten und Luftdurchlässe mit 35% und die Insgemeinkosten (bauliche Maßnahmen) mit 36% der Gesamtkosten. Wie in Kapitel 5.1.8 dargestellt ist die horizontale Zuluftverteilung unter der Kellerdecke sehr lang, da sie an den Außenwänden geführt werden muss, um trotz geringer lichter Höhe die Durchgangshöhe zu gewährleisten.

Das zentrale Lüftungsgerät kostet etwa 17.260 EUR, dies entspricht 16% der Gesamtkosten der Lüftung.

In den aufgeführten Kosten der Lüftung sind die Kosten der separaten Abluftanlage im Kellergeschoß enthalten. Diese betragen inkl. der notwendigen baulichen Maßnahmen etwa 8.000 EUR, dies entspricht 12,50 EUR/m^2_{WNF}.

Die Gesamtkosten der zentralen Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung im kleinen Gebäude liegen inkl. der separaten Abluftanlage im Kellergeschoß sowie inkl. baulicher Maßnahmen bei etwa 210 EUR/m^2_{WNF} (ohne GU-Zuschlag). Auch im kleinen Gebäude liegt der Anteil der Lüftungsleitungen mit 37% hoch.

Die Gesamtkosten der wohnungsweisen Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung im Projekt in Darmstadt liegen bei 111 EUR/m^2_{WNF} [Großklos 2023]. Ein Grund für die deutlich niedrigeren

Kosten dürften die deutlich geringeren Leitungslängen sein, ein weiterer die Tatsache, dass der Einbau der Geräte im unbewohnten Zustand erfolgen konnte.

Photovoltaik

Die Kosten der PV-Anlagen der beiden Mustergebäude sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Zur Einordnung werden auch die Kosten von zwei Varianten der PV-Anlage auf dem in Kapitel 6.3 vorgestellten Projekt in Darmstadt genannt.

Bei dieser Anlage handelt es sich allerdings um ein aufgeständertes Flachdach-System in zwei Ausführungsvarianten.

	Typ	Leistung		Kosten (netto)			
		kWp	W/m^2_{WNF}	EUR	EUR/kWp	EUR/m^2_{WNF}	EUR/WE
großes Gebäude	dachintegriert	25,5	40	59 800	2 345	93	5 436
kleines Gebäude	Auf-Dach	16,2	46	25 947	1 602	74	4 325
Projekt Darmstadt	Aufdach (Flachdach - Gründach)	40,92	25	60 994	1 491	38	2 772
Projekt Darmstadt	Aufdach (Flachdach - Kiesdach)	40,92	25,23	46 940	1 147	29	2 134

Tabelle 28: Netto-Kosten der PV-Anlagen der beiden Mustergebäude und Vergleichswerte für zwei Varianten von Flachdachanlagen auf einem Projekt in Darmstadt

Die spezifischen Kosten der PV-Anlagen der Mustergebäude liegen bei 1.602 EUR/kW_p im kleinen Gebäude und bei 2.345 EUR/kW_p im großen Gebäude.

Dies entspricht 74 bzw. 93 EUR/m^2_{WNF} oder 4.325 bzw. 5.436 EUR/Wohneinheit.

Der große Unterschied zwischen den beiden Gebäuden resultiert daraus, dass im großen Gebäude eine dachintegrierte, separat von den eigentlichen Dachelementen vorgefertigte Anlage installiert wurde während für das kleinere eine Aufdach-Anlage gewählt wurde.

Die Indach-Variante verursacht erhebliche Mehrkosten. Zur Auswahl der Ausführungsvariante der Indach-Anlage wurden Systeme von fünf Herstellern verglichen. Alle Indachsysteme lagen preislich erheblich über den Kosten der im kleineren Gebäude ausgeführten Aufdach-Variante.

Während die Kosten der Aufdach-Anlage schon in frühen Planungsphasen gut abschätzbar waren, bestand bezüglich der Kosten der Indach-Anlage sehr lange eine erhebliche Kosten-Unsicherheit. Grund dafür ist die Tatsache, dass Indach-Anlagen noch immer deutlich seltener ausgeführt werden und dass die Schnittstellen zwischen Elektroplaner, Architekt, Installateur, Dachdecker und Spengler noch nicht eingespielt sind. So waren im Projekt in Bludenz mehrere Abstimmungen notwendig, um auch Kosten wie die des Schneefangs, der Firstentlüftung, des Eindeckrahmens und der Einfassungen der Dachfenster zu berücksichtigen.

Die Planung und Ausführung der ursprünglich vollflächig geplanten PV-Dächer beider Gebäude wurde durch zwei Hemmnisse erschwert:

- Die Unklarheit bezüglich der Mindestabstände zu Ortgang, Traufe und Attika, die in der kurz zuvor novellierten OVE Richtlinie R11-1 (2022) gefordert werden, um Rettungskräften die Begehung der baulichen Anlage zu ermöglichen – siehe Kapitel 5.1.9.
- Die Tatsache, dass in beiden Mustergebäuden die Dachgeschosse ausgebaut wurden, so dass auch in der für die PV-Anlagen vorgesehenen Dachhälfte Dachflächenfenster notwendig sind.

Die Hemmnisse führten dazu, dass die geplante Vollbelegung der Dachhälfte nicht ausgeführt werden konnte. Die Auswirkungen zeigt die folgende Abbildung, in der links die voll belegte Dachhälfte eines mit vorgefertigten Elementen sanierten Gebäudes mit Indach-PV in Mönchengladbach mit der weitest möglich belegten Dachhälfte des kleineren Gebäudes in Bludenz verglichen wird.

Abbildung 220: Ansicht der vollflächige Dachbelegung im Sanierungsprojekt Mönchengladbach und der weitestmöglichen Belegung des Dachs im kleinen Gebäude in Bludenz; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg (links), Walser Fotografie, Hohenems (rechts)

Die Beispiele verdeutlichen einen Zielkonflikt: soll die Dachfläche vollständig mit PV belegt werden, so ist dies bei Verzicht auf einen Ausbau des Dachgeschosses leichter möglich, da keine Dachflächenfenster nötig sind.

Liegt der Fokus auf der Schaffung zusätzlichen Wohnraums, so ist der Dachausbau vorteilhaft, auch wenn die nutzbare PV-Fläche auf dem Dach verkleinert werden muss, wegen der Dachflächenfenster zusätzliche Anschlüsse notwendig sind und Rastermaße koordiniert werden müssen.

Die in der Tabelle aufgeführten Kosten der Flachdach-PV-Anlage im Projekt Darmstadt liegen bei 1.491 EUR/kW_p für die ausgeführte Variante in Kombination mit einem Gründach sowie bei 1.147 EUR/kW_p für die ebenfalls ausgeschriebene Variante mit einer Standard-Aufständerung auf einem Kiesdach.

Die beiden Anlagenvarianten unterscheiden sich bezüglich der Kosten der Unterkonstruktion: in Kombination mit dem Gründach wurden spezielle Halterungen des Gründach-Systemanbieters zur Aufständerung mit Integration der Ballastierung in das Gründach eingesetzt. Diese sind aufwändiger und teurer als die Standard-Aufständerung.

Mess- Steuerungs- und Regelungstechnik

Die Kosten der MSR liegen bei 74 EUR/m^2_{WNF} im großen Gebäude und 64 EUR/m^2_{WNF} im Kleinen. Dies entspricht etwa 4.000 EUR pro Wohneinheit. In den genannten Kosten sind die forschungsbedingten Kosten für Monitoring nicht enthalten.

6.5 Kosten - Einflussfaktoren

Baujahr und baulicher Zustand

Wie in den Kapiteln 6.1 und 6.2 dargestellt, liegen die Kosten der Modernisierung und Instandhaltung und inkl. Innenausbau des neuen Dachgeschosses sowie der Badmodernisierung in beiden Gebäuden sehr hoch: Sie betragen im großen Gebäude etwa 1.040 EUR/m^2_{WNF}, im Kleinen etwa 1.750 EUR/m^2_{WNF}. Ein großer Kostenfaktor war die aufwändige Sanierung des Kellers.

Zusätzlich handelt es sich bei einem merklichen Teil der Haustechnikkosten nicht um Kosten energetischer Maßnahmen, sondern um Kosten von Instandsetzungs- und Modernisierungskosten – so etwa für Maßnahmen wie die Erneuerung der Elektroinstallation, der Wasser- und Abwasserversorgung, der Blitzschutzmaßnahmen, der Modernisierung der Treppenhäuser etc.

In Summe liegen die Kosten der Modernisierungs- und Instandhaltungskosten in der Größenordnung von 1.500 bis 2.200 EUR/m^2_{WNF} – eine genaue Abgrenzung zu den Kosten der energetischen Maßnahmen sowie zu denen des komplett neu errichteten Dachgeschosses ist nicht möglich. Auch die Erneuerung des Dachgeschosses kann als Modernisierungs- oder Instandhaltungsmaßnahme angesehen werden, da sie statisch erforderlich war.

Die genannten Kosten ergeben sich aus dem erheblichen Sanierungsstau der zum Zeitpunkt der Sanierung 64 bzw. 81 Jahre alten, nahezu im Originalzustand erhaltenen Gebäude.

Die genannten Kosten sind plausibel, da schon die Kosten für die Modernisierung der Wohnungen und die Instandhaltungsarbeiten außerhalb der Wohnungen der Südtirolersiedlung Bludenz im Mittel der Jahre 2016 bis 2020 bei 1.295 EUR/m^2_{WNF} lagen.

Die Kosten für Modernisierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen in den in Kapitel 6.3 vorgestellten Gebäuden liegen im Vergleich zu den o.g. Kosten deutlich niedriger – in etwa im Bereich von 300 bis 450 EUR/m^2_{WNF}a.

Die Spanne zwischen den bei der Sanierung der Mustergebäude angefallenen Modernisierungs- und Instandhaltungskosten und denen der Vergleichsprojekte ohne Sanierungsstau verdeutlicht, dass das Baujahr und der bauliche Zustand die wichtigsten Kosten-Einflussfaktoren sind. Der Kosteneinfluss liegt bei den im Rahmen des Projekts verglichenen Beispielgebäuden in der Größenordnung von 1.200 bis 1.750 EUR/m^2_{WNF}.

Verhältnis Hüllfläche zu Wohnnutzfläche

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen den Einfluss der Gebäudegröße - genauer: des Verhältnisses von Hüllfläche zu Wohnfläche - auf die Sanierungskosten.

Zur Quantifizierung des Einflusses wurden die Kosten der Sanierung der Gebäudehülle von drei Mehrfamilienhäusern unterschiedlicher Größe bestimmt. Für alle Gebäude wurden die gleichen Bauteilaufbauten angenommen und die (sehr hohen) Einheitspreise für die Dämmung der verschiedenen Bauteile sowie für die Fenster angesetzt, die für die Sanierung der Mustergebäude im Projekt SüdSan bestimmt wurden. Für die Außenwand wurde für alle drei Gebäude ein WDVS mit 20 cm EPS-Dämmplatten angenommen.

Berücksichtigt wurde die Dämmung alle Bauteile der Gebäudehülle inkl. der Kellerdecke, der außenseitigen Dämmung der Kelleraußenwände sowie der innseitigen Flankendämmung der Kelleraußenwände. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde davon ausgegangen, dass das Dach und die Giebelwände als Teil eines Dachausbaus in allen drei Gebäuden neu errichtet werden.

Abbildung 221 zeigt die drei Gebäude mit den wichtigsten Kenndaten.

Abbildung 221: Einfluss der Gebäudegröße auf das Verhältnis von Hüllfläche zu Wohnfläche

Wie die Abbildung zeigt, unterscheidet sich das Verhältnis der Hüllfläche zur Wohnfläche der Gebäude sehr stark. Während das große, sechsgeschossigen Gebäude 1,45 m^2 Hüllfläche pro m^2 Wohnfläche aufweist, liegt der Wert des kleinen Mustergebäudes in der Südtirolersiedlung Bludenz bei 3,25 m^2 Hüllfläche pro m^2 Wohnfläche. Der Wert des großen Mustergebäudes in der Südtirolersiedlung Bludenz liegt dazwischen.

Die folgende Abbildung verdeutlicht die Auswirkung dieser unterschiedlich großen wohnflächenspezifischen Hüllfläche auf die Kosten der Sanierung der Gebäudehülle.

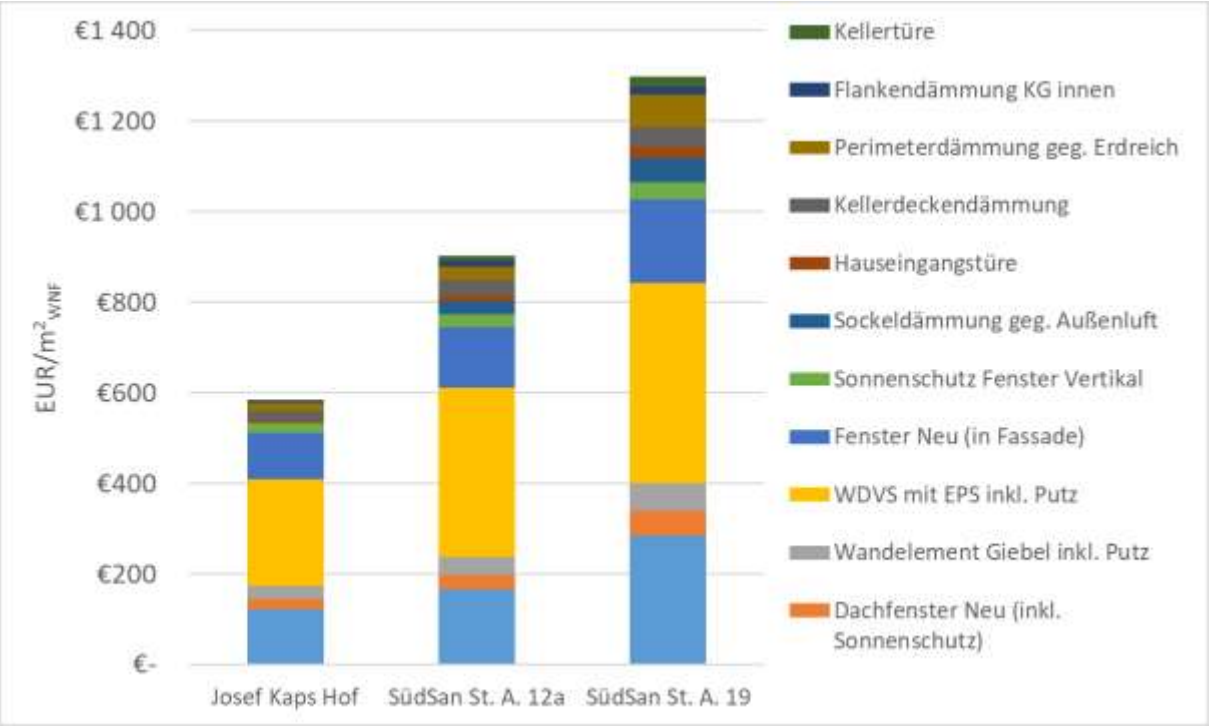

Abbildung 222: wohnflächenspezifische Netto-Kosten der Sanierung der Gebäudehülle der drei Gebäude

Wie die Abbildung verdeutlicht, liegen die wohnflächenspezifischen Kosten der Sanierung der Gebäudehülle des Gebäudes Josef Kaps Hof mit 583 EUR/m^2_{WNF} bei weniger als der Hälfte der Kosten im kleinen Mustergebäude in der Südtirolersiedlung mit 1.298 EUR/m^2_{WNF}.

Bei gleichen Aufbauten der Bauteile der Gebäudehülle und gleichen Einheitspreisen werden die unterschiedlichen wohnflächenspezifischen Kosten der Hüllsanierung nur vom unterschiedlichen Verhältnis der Hüllfläche zur Wohnfläche verursacht.

Die Kosten des großen Mustergebäudes liegen zwischen den beiden genannten Werten.

Wärmeversorgungssystem vor Sanierung und Verfügbarkeit Nah/Fernwärme

Der Typ des Wärmeversorgungssystems vor Sanierung sowie die Verfügbarkeit von Nah/Fernwärme haben einen großen Einfluss auf die Sanierungskosten.

Die folgende Abbildung zeigt drei Haupttypen der Wärmeversorgung in Bestandsgebäuden.

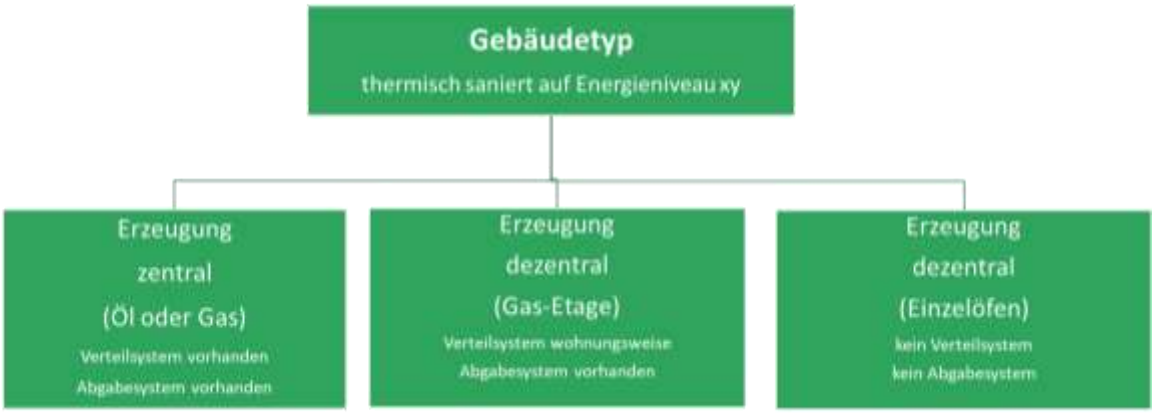

Abbildung 223: Haupttypen der Wärmeversorgung in bestehenden Mehrfamilienhäusern

Erzeugung zentral

Viele Mehrfamilienhäuser in Vorarlberg und ganz Österreich verfügen über eine zentrale Wärmeerzeugung. In den heute zur umfassenden Sanierung anstehenden Gebäude der Baujahre bis etwa Ende der 80er Jahre werden meist Öl oder Gas eingesetzt. Bei dieser Art der Versorgung ist ein horizontales und vertikales Verteilsystem vorhanden, ebenso ein Wärmeabgabesystem – oft (überdimensionierte) Heizkörper. Die Warmwasserbereitung wird in vielen Fällen vom Kessel übernommen, in anderen Fällen erfolgt sie wohnungsweise elektrisch.

Erzeugung dezentral wohnungsweise (Gas-Etagenheizung)

Ein kleinerer Teil der zur umfassenden Sanierung anstehenden Mehrfamilienhäuser in Vorarlberg wird dezentral wohnungsweise über Gas-Etagenheizungen versorgt. In diesen Gebäuden ist ein wohnungsweises, horizontales Verteilnetz vorhanden, jedoch keine Vertikalverteilung. Die Wärmeabgabe erfolgt fast ausschließlich über Heizkörper.

Da dieser Typ der Versorgung gerade in Wien sehr häufig vorkommt, wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Varianten der Dekarbonisierung untersucht und erprobt. Aktuell

werden die Möglichkeiten der Umstellung auf wohnungsweise Kleinst-Wärmepumpen beispielsweise im Partnerprojekt PhaseOut untersucht[48].

Dezentral raumweise (Einzelöfen, el. Speicherheizungen oder andere el. Heizsysteme)

Gerade in älteren Mehrfamilienhäusern wie denen in der Südtirolersiedlung Bludenz erfolgt die Wärmeversorgung oft über dezentrale, raumweise Systeme. Ursprünglich wurden meist Öl-, Kohle- oder Stückholzöfen eingesetzt, die inzwischen zum Teil durch Pelletöfen ersetzt wurden. Später kamen elektrische Speicherheizungen dazu, zum Teil in Kombination mit anderen elektrischen Direktheizungen (Konvektoren, Radiatoren, Infrarotheizungen).

Wie in der Südtirolersiedlung Bludenz werden die ursprünglich vorhandenen Öfen inzwischen in vielen Fällen mit verschiedenen elektrischen Einzelraum-Heizsystemen kombiniert.

Die Warmwasserbereitung erfolgt elektrisch direkt, meist über el. Boiler.

Da in Gebäuden dieses Wärmeversorgungstyps weder Wärmeverteil- noch –abgabesystem vorhanden sind, ist die Zentralisierung und Dekarbonisierung der Wärmeversorgung am aufwändigsten und teuersten.

In der folgenden Abbildung sind die Auswirkungen des vorhandenen Wärmeversorgungssystems und der Verfügbarkeit von Nah/Fernwärme auf die Haustechnikkosten am Beispiel des kleinen Mustergebäudes in der Südtirolersiedlung Bludenz dargestellt. Bei den Kosten handelt es sich um die abgerechneten Kosten. Wie in den Kapitel 6.1 und 6.2 dargestellt enthalten diese für die meisten Positionen den GU-Aufschlag[49].

Zusätzlich ist in der rechten Säule der Einfluss des Umfangs der Haustechnikmaßnahmen außer der Wärmeversorgung dargestellt.

Berücksichtigt sind die Maßnahmen, die bei der Sanierung des kleinen Gebäudes umgesetzt wurden - etwa die Erneuerung von Wasser- und Abwasserversorgung, die Erneuerung der Elektroinstallation, der neue Blitzschutz sowie die Komfortlüftung mit WRG und die PV-Anlage.

[48] https://www.uibk.ac.at/bauphysik/forschung/projects/phaseout/index.html.de

[49] Die Kostenangaben für die Variante Fernwärme statt Gas beruhen auf den Angebotspreisen.

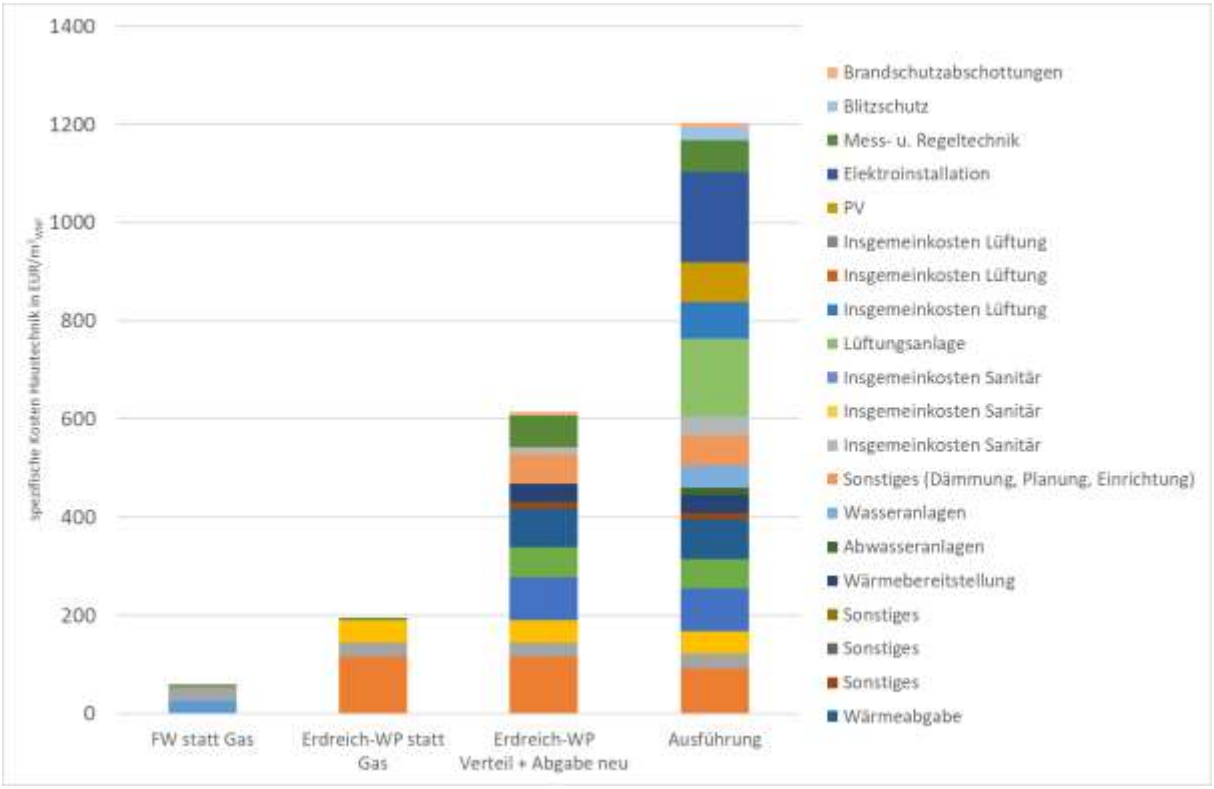

Abbildung 224: Auswirkung des vorhandenen Wärmeversorgungssystems und der Verfügbarkeit von Nah/Fernwärme sowie des Umfangs sonstiger Haustechnikmaßnahmen auf die wohnflächenspezifischen Netto-Haustechnikkosten des kleinen Gebäudes

Die **linke Säule** zeigt die Netto-Kosten der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung des kleinen Gebäudes unter den folgenden Annahmen:

- Ein zentrales Wärmeversorgungssystem mit Kessel, Horizontal- und Vertikalverteilung sowie mit Wärmeabgabe durch Heizkörper sind vorhanden. Das Verteil- und Abgabesystem kann weitergenutzt werden.
- Ein Nah- oder Fernwärmenetz ist verfügbar.
- Haustechnikmaßnahmen außer der Wärmeversorgung sind nicht notwendig.

In diesem Fall muss nur der vorhandene Kessel durch einen Nah/Fernwärmeanschluss ersetzt werden. Dieser wird durch zwei Pufferspeicher ergänzt und erhält eine einfache Regelung.

Die wohnflächenspezifischen Haustechnikkosten sind in diesem Fall mit ca. 50-60 EUR/m^2_{WNF} sehr gering.

Die **zweite Säule von links** zeigt die Netto-Kosten unter den folgenden Annahmen:

- Ein zentrales Wärmeversorgungssystem mit Kessel, Horizontal- und Vertikalverteilung sowie mit Wärmeabgabe durch Heizkörper sind vorhanden. Das Verteil- und Abgabe-

system kann weitergenutzt werden. Die Heizlast des Gebäudes wurde durch eine thermische Sanierung so weit gesenkt, dass die (oft überdimensionierten) Heizkörper mit VL-Temperaturen von 45 bis max. 50°C betrieben werden können.

- Es ist kein Nah- oder Fernwärmenetz verfügbar.
- Haustechnikmaßnahmen außer der Wärmeversorgung sind nicht notwendig.

In diesem Fall wird der vorhandene Kessel durch eine Erdreich-Wärmepumpe ersetzt, dazu werden Sonden zur Erschließung der Wärmequelle gebohrt. Die Anlage erhält zwei Pufferspeicher und eine einfache Regelung.

Die wohnflächenspezifischen Haustechnikkosten sind in diesem Fall mit etwa 195 EUR/m^2_{WNF} deutlich höher als in der Variante mit Fernwärme. Sie sind jedoch immer noch gering. Je nach Tarifstruktur für Fernwärme und Strom kann die Variante mit Wärmepumpe trotz höherer Errichtungskosten wirtschaftlicher als die Variante mit Fernwärme sein.

Die **dritte Säule von links** zeigt die Netto-Kosten unter den folgenden Annahmen:

- Es ist – wie in den Gebäuden der Südtirolersiedlung Bludenz - weder ein zentraler Kessel, noch ein Wärmeverteil- und Abgabesystem vorhanden, die Beheizung des Bestandsgebäudes erfolgt raumweise, die Warmwasserbereitung ebenfalls dezentral.
- es ist kein Nah- oder Fernwärmenetz verfügbar.
- Haustechnikmaßnahmen außer der Wärmeversorgung sind nicht notwendig.

Die wohnflächenspezifischen Haustechnikkosten entsprechen in diesem Fall denen für die komplette Neuerrichtung eines zentralen Wärmeversorgungssystems für Heizung und Warmwasser für das kleine Gebäude[50], jedoch ohne sonstige Haustechnikmaßnahmen. Die Sondenlänge muss gegenüber der Ausführungsvariante erhöht werden, da die Variante anders als die Ausführungsvariante keine Komfortlüftung mit WRG hat, so dass die Heizlast höher ist. Statt der einfachen Regelung verfügt diese Variante über die gleiche High-End MSR wie die Ausführungsvariante.

Die Netto-Haustechnikkosten liegen mit ca. 615 EUR/m^2_{WNF} mehr als dreifach höher als in der Variante, in der nur eine Erdreich-Wärmepumpe mit Speicher installiert werden muss.

[50] Bei den Kosten handelt es sich nicht nur um die Kosten der Sanierung der Haustechnik in den Bestandswohnungen, sondern auch um die er komplett neu errichteten Wohnungen im DG.

Der Großteil der weit höheren Kosten entsteht durch die im Bestand und im bewohnten Zustand schwierig und zeitaufwendig zu montierenden Wärmeverteilnetze für Heizung und Warmwasser, für die Frischwasserstationen sowie für die neuen Heizkörper.

Die **rechte Säule** zeigt die Kosten für die Ausführungsvariante des kleinen Gebäudes. Das Wärmeversorgungssystem entspricht dem in der Variante zuvor, lediglich die Kosten der Quellerschließung sind niedriger, da die Heizlast geringer ist, da eine Komfortlüftung mit WRG installiert wird. Zusätzliche Haustechnikkosten entstehen in der Ausführungsvariante für die folgenden Komponenten

- Zentrale Komfortlüftung mit WRG
- PV-Anlage
- Blitzschutz neu
- Erneuerung der Elektroinstallation
- Erneuerung Wasser- und Abwasserversorgung

Die Netto-Haustechnikkosten der Ausführungsvariante liegen mit 1.201 EUR/m^2_{WNF} fast doppelt so hoch wie die Kosten des komplett neuen Wärmeversorgungssystems ohne zusätzliche Haustechnikmaßnahmen.

In vielen – gerade älteren - Gebäuden wird es jedoch notwendig oder sinnvoll sein, im Zuge einer umfassenden Sanierung nicht nur die Wärmeversorgung zu erneuern, sondern auch die Wasser- und Abwasserversorgung sowie die Elektroinstallation. Auch ein neuer Blitzschutz kann notwendig sein.

Die Zusatzkosten der PV-Anlage werden in vielen Fällen wirtschaftlich sein, die zentrale Komfortlüftung mit WRG sorgt zusätzlich zur Energieeinsparung und zur Reduktion der Heizlast für eine zuverlässig gute Raumluftqualität.

Energetisches und ökologisches Niveau der Gebäudehülle nach Sanierung

Die folgende Abbildung verdeutlicht den Einfluss des energetischen und ökologischen Niveaus der Gebäudehülle auf die Sanierungskosten.

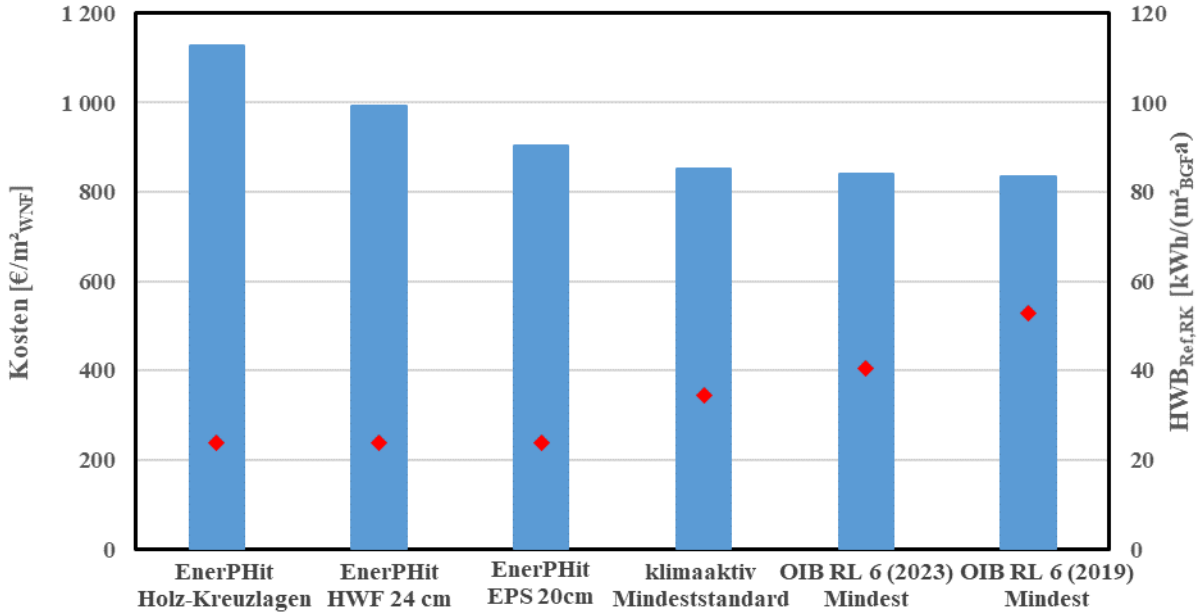

Abbildung 225: Einfluss des energetischen und ökologischen Niveaus der Gebäudehülle auf die Kosten der Sanierung der Gebäudehülle am Beispiel des großen Mustergebäudes

Die Nettokosten der Sanierung der Gebäudehülle der Ausführungsvariante des großen Mustergebäudes mit der in Kapitel 5.1.3 beschriebenen Holz-Kreuzlagenkonstruktion liegen bei 1.128 EUR/m^2_{WNF}. Die Variante erreicht das Energieniveau EnerPHit.

Der in der Grafik aufgetragene Heizwärmebedarf $HWB_{Ref, RK}$ nach OIB RL 6 (2019) der Ausführungsvariante liegt bei 23,7 kWh/(m^2_{BGF}a) – siehe rote Raute.

Würde die Gebäudehülle – energetisch gleichwertig – wie im kleineren Gebäude mit einem Wärmedämmverbundsystem mit 24 cm Holzweichfaserplatten ausgeführt, so lägen die spezifischen Kosten bei 992 EUR/(m^2_{WNF}a), bei energetisch ebenfalls gleichwertiger Ausführung mit WDVS mit 20 cm EPS-Platten bei 903 EUR/(m^2_{WNF}a).

Die Ausführung der ökologisch weniger vorteilhaften Variante mit EPS-Platten brächte demnach – bei gleichem Heizwärmebedarf - eine Reduktion der spezifischen Sanierungskosten um 225 EUR/(m^2_{WNF}a).

Würde die energetische Qualität der Außenwanddämmung bei gleichem Material – EPS-Platten – auf einen Wert verschlechtert, mit dem die Mindestanforderungen der OIB Richtlinie 6 (2019) an den Heizwärmebedarf erfüllt würden, so lägen die spezifischen Sanierungskosten

bei 834 EUR/(m^2_{WNF}a). Dazu wäre eine Dämmstoffdicke von 7 cm EPS notwendig und statt der dreifach-Verglasung könnte eine zweifach-Verglasung eingesetzt werden. Der Heizwärmebedarf $HWB_{Ref, RK}$ läge bei 52,8 kWh/(m^2_{BGF}a) mehr als doppelt so hoch wie der der Varianten im Energieniveau EnerPHit.

Die Ausführung der energetisch deutlich schlechteren Variante nach den Mindestanforderungen der OIB RL 6 (2019) brächte demnach – bei unverändertem Dämmmaterial EPS eine Kostenreduktion von 903 auf 833 EUR/(m^2_{WNF}a), d.h. um 70 EUR/(m^2_{WNF}). Der Kosteneinfluss der energetischen Qualität der Gebäudehülle ist damit relativ gering.

Der Einfluss der energetischen und der ökologischen Qualität der Gebäudehülle ist auch in der folgenden Abbildung dargestellt. Zusätzlich sind die Bundesförderungen für die thermische Sanierung der Hülle aufgetragen (Stand 2024).

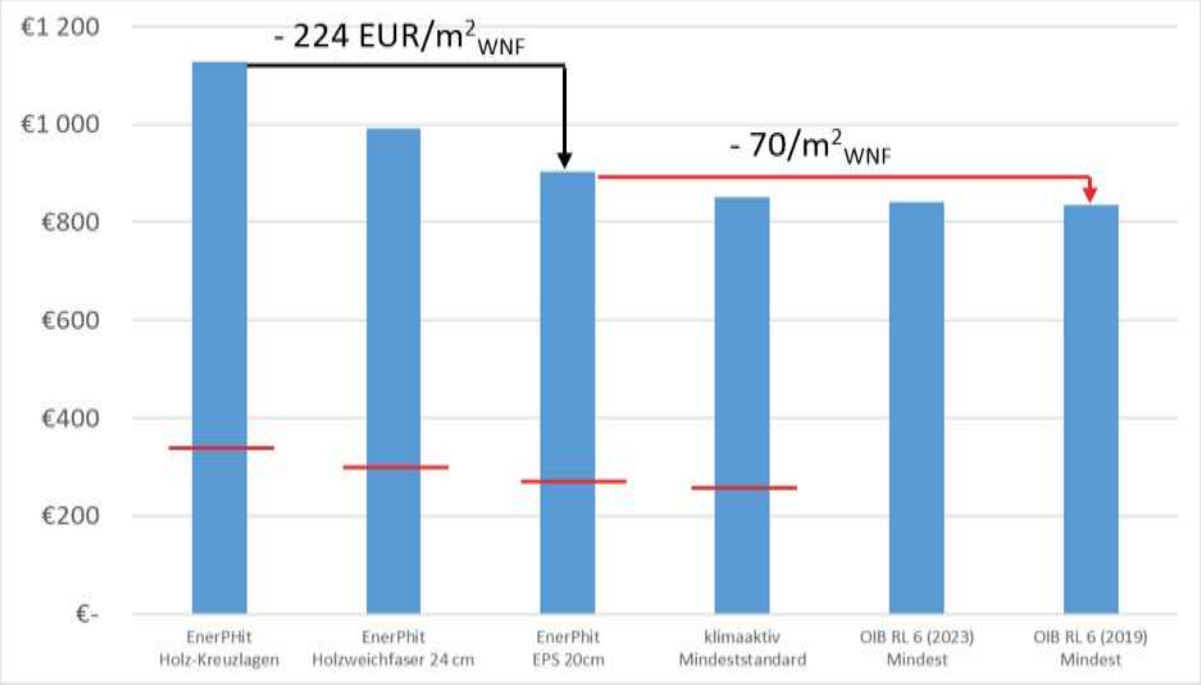

Abbildung 226: Einfluss der energetischen und ökologischen Qualität der Gebäudehülle auf die Kosten der Sanierung der Gebäudehülle des großen Gebäudes und auf die Bundesförderung für die thermische Sanierung

Wie schon in der vorigen Abbildung dargestellt, könnten die spezifischen Sanierungskosten um 224 EUR/m^2_{WNF} reduziert werden, wenn die Gebäudehülle bei gleicher energetischer Qualität ökologisch schlechter ausgeführt würde – schwarzer Pfeil.

Würde zusätzlich die energetische Qualität auf die Mindestanforderung der OIB RL 6 (2019) reduziert, so wäre eine Reduktion um weitere 70 EUR/m^2_{WNF} möglich.

Gleichzeitig sänke mit abnehmender energetischer und ökologischer Qualität jedoch die Bundesförderung von 338 EUR/m^2_{WNF} für die energetisch und ökologisch hochwertige Ausführungsvariante auf 255 EUR/m^2_{WNF} für die Variante, die die Mindestanforderungen des Standards klimaaktiv erreichen (siehe rote Linien).

Die Varianten gemäß den Mindestanforderungen nach OIB RL 6 (2023) bzw. OIB RL 6 (2019) erhielten keine Förderung. Anmerkung: die Ausführung nach OIB RL 6 (2019) wäre in Vorarlberg baurechtlich nicht zulässig, da die Anforderungen der Bautechnikverordnung an den HWB strenger sind.

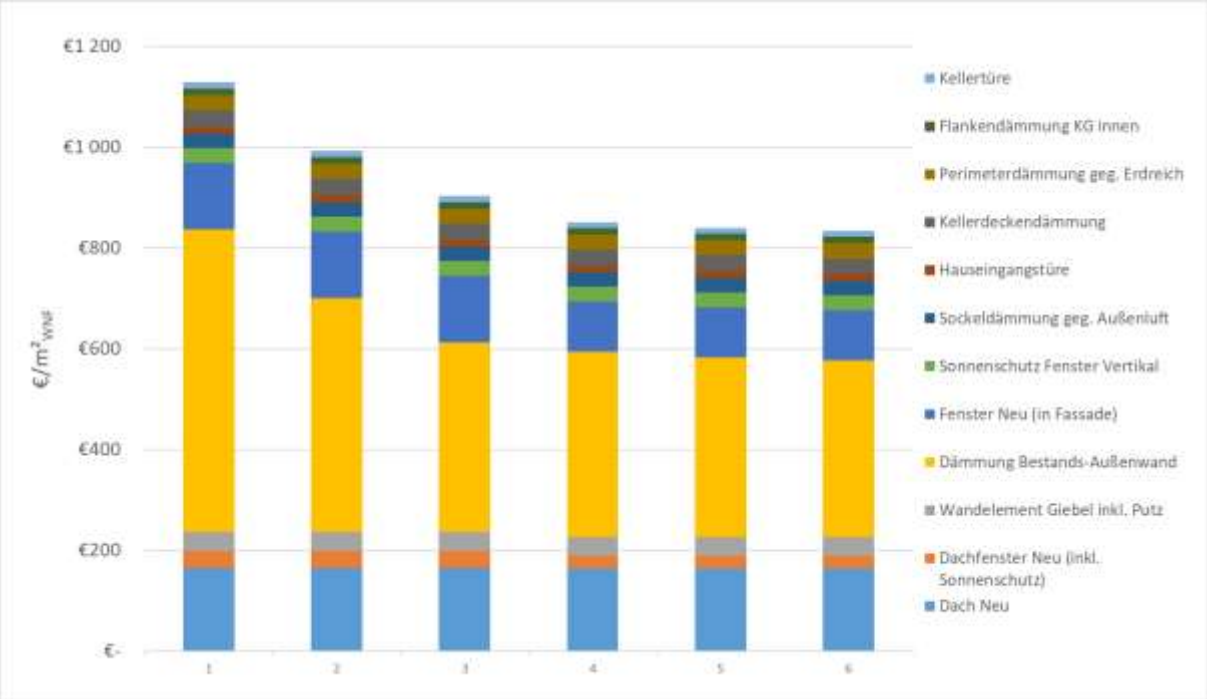

Abbildung 227: Zusammensetzung der Kosten der Sanierung der Gebäudehülle des großen Gebäudes in Abhängigkeit vom energetischen und ökologischen Niveau

Wie die Abbildung zeigt, werden die Kosten der Sanierung der Gebäudehülle vor Allem durch die Ausführung der Außenwand und – in geringerem Maße – der Fenster beeinflusst. Dies liegt daran, dass die energetische Qualität der Dachelemente aufgrund der statisch erforderlichen Höhe der Sparren in allen Varianten hoch ist und dass die der Kellerdeckendämmung aufgrund der geringen lichten Höhe nur geringfügig verändert werden kann, so dass die Kosten dieser Bauteile in allen Varianten sehr ähnlich sind.

6.6 Vergleichskosten für die Option Abriss + Ersatzneubau

Zur Einordnung der Kosten für die Sanierung der beiden Mustergebäude wurden die Kosten für die Option Abriss und Ersatzneubau abgeschätzt. Für den Vergleich wurde davon ausgegangen, dass die Ersatzneubauten in gleicher Kubatur ausgeführt würden und in einer vergleichbaren, sehr guten energetischen und ökologischen Qualität ausgeführt würde.

Kostengrundlagen und Annahmen für die Abschätzung der Kosten für die Option Abriss und Ersatzneubau:

Netto-Errichtungskosten gemeinnütziger Wohnbauten in Vorarlberg

Zugrunde gelegt wurden die flächengewichteten Netto-Errichtungskosten aller 26 gemeinnützigen Neubauprojekte in Vorarlberg in den Jahren 2022 und 2023.

Diese lagen bei 3.836 EUR/m^2_{WNF} [WBF 2024].

Zu-/Abschlag für Größe im Vergleich zu den Mustergebäuden

Die durchschnittliche Größe der Wohnungen in den neu errichteten gemeinnützigen Wohnanlagen ist mit 67 m^2 größer als die der Wohnungen in den Musterhäusern der Südtirolersiedlung mit 58 m^2. Dadurch liegen die spezifischen Kosten der Sanierung der Musterhäuser tendenziell höher.

Die mittlere Wohnungsanzahl der Neubauprojekte ist höher als die der beiden Mustergebäude. Die Gebäude haben daher weniger Hüllfläche pro m^2 Wohnfläche. Diese wurde durch eine leichte Korrektur der o.g. Errichtungskosten berücksichtigt.

Zuschlag für Wärmerückgewinnung und große PV

Sollen im Vergleich der Optionen Sanierung und Abriss/Ersatzneubau gleiche energetische und ökologische Qualitäten verglichen werden, so müssen die mittleren Kosten der gemeinnützigen Neubauprojekte korrigiert werden: nur ein Teil der Neubauprojekte verfügt über eine Komfortlüftung mit WRG, ihre PV-Anlage ist kleiner als die der Mustergebäude und nur ein Teil der Projekte nutzt ökologische Dämmstoffe. Die spezifischen Mehrkosten wurden mit 90 bzw. 105 EUR/m^2_{WNF} abgeschätzt.

Kosten Abriss und Deponie

Die spezifischen Kosten für Abriss und Deponie wurden mit 100 EUR/m^2_{WNF} für das große bzw. 115 EUR/m^2_{WNF} für das kleine Gebäude angenommen.

Kosten Auszug und Wiedereinzug sowie Umzugsmanagement

Die Kosten für den Auszug der Mieter und den Wiedereinzug in den Ersatzneubau wurden mit jeweils 2.300 EUR/Wohneinheit angenommen. In diesem Betrag ist auch der Aufwand des Vermieters für das Umzugsmanagement enthalten. Eine Auszugsprämie, wie sie in vielen Fällen gewährt wird, in denen Bestandswohnungen durch neu errichtete Ersatzwohnungen ersetzt werden, wurde nicht berücksichtigt.

Kosten Ersatzwohnung

Die Kosten für die Ersatzwohnungen während der Neubauphase wurde mit 9 EUR/m^2_{WNF} angenommen, die Dauer der Umbauphase wurde auf 18 Monate abgeschätzt.

Die folgende Abbildung zeigt den Vergleich der Errichtungskosten der Sanierungen mit Erweiterung beider Mustergebäude mit den Kosten der Option Abriss und Ersatzneubau in gleicher Kubatur.

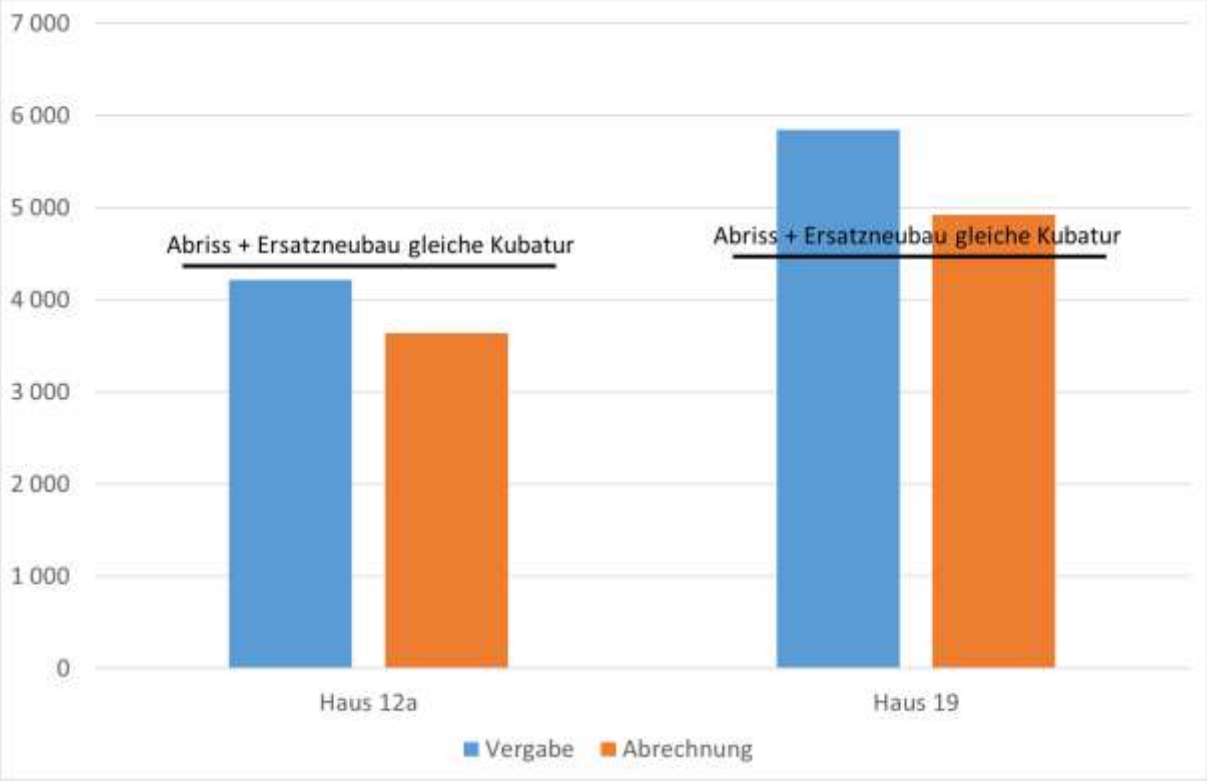

Abbildung 228: Vergleich der abgerechneten Netto-Errichtungskosten für die Sanierung der beiden Mustergebäude mit den Kosten der Option Abriss und Neubau in gleicher Kubatur und gleicher energetischer und ökologischer Qualität

Wie die Abbildung verdeutlicht, liegen die abgerechneten Netto-Errichtungskosten der Sanierung mit Erweiterung des großen Gebäudes mit 3.638 EUR/m^2_{WNF} um ca. 670 EUR/m^2_{WNF} unter den Kosten für die Option Abriss und Neubau in gleicher Kubatur. Diese liegen bei etwa

4.300 EUR/m^2_{WNF}. Die Kosten der Option Sanierung und Erweiterung liegen damit um 15,5% unter denen der Option Abriss und Neubau.

Die abgerechneten Netto-Errichtungskosten der Sanierung mit Erweiterung des kleinen Gebäudes liegen mit 4.921 EUR/m^2_{WNF} um etwa 400 EUR/m^2_{WNF} über denen der Option Abriss und Neubau. Diese liegen bei knapp über 4.500 EUR/m^2_{WNF}.

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Sanierungskosten älterer Gebäude mit Sanierungsstau die Kosten der Option Abriss und Neubau erreichen oder überschreiten können.

Würden – wie in vielen anderen Fällen bereits geschehen – die Ersatzneubauten nicht in gleicher Kubatur, sondern als größere Gebäude errichtet, so lägen die wohnflächenspezifischen Kosten der Option Abriss und Ersatzneubau nochmals niedriger. Diese Option – Abriss und Ersatzneubau mit deutlich höherer baulicher Dichte - wurde in einigen ähnlichen Siedlungen bereits umgesetzt.

Die Entscheidung für eine Option der Optionen

- Erhalt und Sanierung
- Abriss und Neubau in gleicher Kubatur und Dichte der Siedlung
- Abriss und Neubau in größerer Kubatur und in höherer Dichte der Siedlung

kann – gerade in historisch bedeutsamen Siedlungen – nicht allein auf Grundlage reiner Kosten– und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen erfolgen. Sie sollte Ergebnis eines ergebnisoffenen Abwägungsprozesses unter Einbeziehung aller relevanten Beteiligten sein.

Die Aspekte Kosten, Wirtschaftlichkeit im Lebenszyklus und Entwicklung der Warmmieten sind jedoch für die Umsetzbarkeit der verschiedenen Optionen maßgeblich. Sie sollten daher im Abwägungsprozess ebenso offengelegt werden, wie die vorhandenen Sanierungsrücklagen – im gemeinnützigen Wohnbau des EVB – und die rechtlichen Randbedingungen für die Umlegung der Sanierungskosten und für Mieterhöhungen/Erhöhungen des EVB. Diese sind gerade im gemeinnützigen Wohnbau sehr restriktiv.

Im Zuge der Diskussion um Erhalt und Abriss/Ersatzneubau sollten auch politisch beeinflussbare Randbedingungen analysiert und diskutiert werden, etwa die Höhe der Landes- und Bundesförderungen für Neubau und Sanierung auf Ebene von Einzelgebäuden sowie die Anteile der Wohnbaufördermittel, die insgesamt für Neubau und Sanierung aufgewendet werden.

7 Zwischenresumé

Die im April 2024 abgeschlossene Sanierung der beiden Mustergebäude zeigt, dass auch in baukulturell wertvollen Gebäuden sehr hohe energetische und ökologische Standards erfolgreich umgesetzt werden können.

Die Luftdichtheitstests belegen die sehr hohe Ausführungsqualität der Gebäudehülle (n_{50} = 0,60 h^{-1} im Großen und 0,79 h^{-1} im kleinen Gebäude). Die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung funktioniert problemlos. Allerdings ist die Optimierung des Wärmeerzeugungs- und -verteilungssystems noch nicht abgeschlossen. Die größte Herausforderung besteht in der Beseitigung von Schnittstellenproblemen zwischen der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR) und dem Wärmeversorgungssystem. Zudem wurden einige Qualitätssicherungsmaßnahmen, wie der hydraulische Abgleich der Frischwasserstationen, erst mit erheblicher Verzögerung durchgeführt.

Während die Mehrkosten der sehr hohen energetischen Hüllqualität durch die zu erwartenden Energiekosteneinsparungen kompensiert werden dürften, konnten die Mehrkosten der ökologischen Baumaterialien durch die Bundesförderungen für die Gebäudehülle (Stand 2023 und 2024) ausgeglichen werden.

Obwohl die Mehrkosten der hohen energetischen Qualität also relativ gering waren, hätten die Gebäude ohne eine hohe Sonderförderung des Landes nicht sozialverträglich saniert werden können. Dies liegt daran, dass:

- die Kosten für Instandsetzung, Modernisierung, Erweiterung und energetische Sanierung aufgrund des erheblichen Sanierungsstaus in etwa den Kosten der Option Abriss und Ersatzneubau entsprechen, die Sanierung jedoch schlechter gefördert wird
- die EVB-Konten zu Projektstart im Minus waren
- die Sanierungsförderung des Landes deutlich geringer ist als jene für Neubauten.

Dank der hohen Sonderförderung des Landes konnte die „Warmmiete“ des großen Gebäudes inkl. Vorschreibung für Heizung und Warmwasserbereitung auf 9,76 EUR/(m^2_{WNF}) und für das kleine Gebäude auf 9,80 EUR/(m^2_{WNF}a) festgelegt werden. Sie liegt damit in einer ähnlichen Größenordnung wie die Werte vor Sanierung.

Die Aussagekraft der genannten Mieten ist allerdings ohne detaillierte Beschreibung der zugrundeliegenden Förderung ohne Aussagekraft. Gleiches gilt für die Mieten für den gemeinnützigen Neubau in Vorarlberg.

Festzustellen bleibt, dass die Sanierung – selbst ohne jegliche energetische Maßnahme – bei weitem nicht sozialverträglich hätte umgesetzt werden können – bei einem negativen Stand der EVB-Konten ist dies keine Überraschung.

Das Projekt verdeutlicht ein strukturelles Problem bei der Sanierung gemeinnütziger Wohngebäude: die gesetzlichen Regelungen des Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetzes (WGG) zur Höhe der Sanierungsrücklagen (EVB) und zu den Möglichkeiten von Mieterhöhungen bzw. Erhöhungen des EVB lassen für viele Gebäude keine sozialverträgliche, umfassende Sanierung zu.

Besonders betroffen sind ältere, kleinere Gebäude mit erheblichem Sanierungsstau und ohne bestehendes Wärmeverteil- und -abgabesystem.

Die beschriebenen strukturellen Probleme treten insbesondere in Hochpreisregionen wie Vorarlberg auf, da die bundeseinheitlichen Sanierungsrücklagen die regionalen Preisunterschiede nicht berücksichtigen.

8 Ausblick

Im weiteren Projektverlauf werden u.a. die folgenden Aspekte vertieft betrachtet:

- ökologischer Vergleich der Optionen Sanierung sowie Abriss und Ersatzneubau
- Update der LZK-Berechnungen auf Grundlage der abgerechneten Kosten
- Übertragung der Ergebnisse auf die weiteren Bauabschnitte in der Südtirolersiedlung unter Berücksichtigung der Ergebnisse der laufenden Studie des Bundesdenkmalamtes zur Unterschutzstellung der Siedlung sowie auf ähnliche Gebäude außerhalb der SIedlung
- Update der Studie zur Energieversorgung der Siedlung durch ein Nahwärmenetz
- Grundlagenstudien zu den spezifischen Treibhausgasemissionen des österreichischen Verbraucherstrommix (update) sowie verschiedener Optionen der Wärmeerzeugung in Nah/Fernwärmenetzen, jeweils mit Differenzierung in monatliche Konversionsfaktoren
- Ausarbeitung eines Vorschlags für die Justierung einer Sanierungsförderung für MFH, die die dargestellten Haupt-Kosteneinflussfaktoren berücksichtigt
- Laufende Auswertung der Monitoringdaten und Nutzung zur Optimierung der technischen Systeme im Betrieb

Die Ergebnisse werden Ende 2025 im publizierbaren Endbericht und weiteren schriftlichen Berichten dargestellt.

9 Projektbeteiligte

Bauherr:	Alpenländische Gemeinnützige WohnbauGmbH, Feldkirch
Architektur:	Johannes Kaufmann und Partner GmbH, Dornbirn
Planung HSL und PV:	Planungsteam E-Plus GmbH, Egg
Bauphysik:	hafner weithas bauphysik gmbh, Lauterach
Elektroplanung:	Brugger Ingenieurbüro GmbH, Thüringen
Brandschutz:	K&M Brandschutztechnik GmbH, Lochau
Statik:	Dr. Brugger & Partner ZT GmbH, Bludenz
	zte Leitner ZT GmbH, Schröcken
GU:	Rhomberg Bau GmbH

Modellvorhaben SüdSan:

Projektleitung:	Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn
Partner:	Alpenländische Gemeinnützige WohnbauGmbH, Feldkirch
	AEE – Institut für Nachhaltige Technologien, Gleisdorf
	Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Innsbruck
	Johannes Kaufmann und Partner GmbH, Dornbirn
	Planungsteam E-Plus GmbH, Egg
Drittleister:	Drexel reduziert, Bregenz
	Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt
	Ernst Reiner – Büro für resiliente Raum- und Stadtentwicklung, Graz
	Zeller Kölmel Architekten, Köln
	Ingenieurbüro PHC Franz Freundorfer, Oberaudorf
	hafner weithas bauphysik gmbh, Lauterach
	K&M Brandschutztechnik GmbH, Lochau
	Dr. Brugger & Partner ZT GmbH, Bludenz
	zte Leitner ZT GmbH, Schröcken
	Towern 3000 / Cepa

10 Quellen

[Gollner 2024-1] Gollner, M.: *Nutzenergieanalyse Vorarlberg 1993 bis 2023;* Statistik Austria, Wien 2024; https://www.statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/nutzenergieanalyse

[Stat. Austria 2025] Bevölkerung zu Jahresbeginn seit 1982 - Vorarlberg; Statistik Austria, Stat Cube; https://statcube.at/statistik.at/ext/statcube/jsf/dataCatalogueExplorer.xhtml

[Gollner 2024-2] Gollner, M.: *Nutzenergieanalyse Österreich 1993 bis 2023;* Statistik Austria, Wien 2024; download wie Quelle oben

[EPBD 2024] Richtlinie (EU) 2024/1275 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 24. April 2024 über die Gesamteffizienz von Gebäuden (Neufassung); Amtsblatt der Europäischen Union, 08.05.2024; download: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32024L1275

[Stat. Austria 2022] Demographisches Jahrbuch 2022; Statistik Austria, Wien 2023; download: https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/bevoelkerung-zu-jahres-/-quartalsanfang

[Bastian 2022] Bastian, Z. et al.: *Retrofit with Passive House components*; in: Energy Efficieny (2022) 15:10; https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-021-10008-7

[Ploss 2021] Ploss, M.: Quo vadis, Gebäudesanierung; in: economicum – Leistbares und energieeffizientes Wohnen; Themenband zur 11. Session: Sanieren am laufenden Band?; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2021; https://www.energieinstitut.at/pdfviewer/economicum-themenband-11/

[Hatt 2019] Hatt, T.: Monatswerte des Endenergiebedarfs des Wohngebäudeparks Vorarlberg im Jahr 2020 – Szenario Effizienz; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2019

[Kranzl 2018] L. Kranzl. et al.: Wärmezukunft 2050. Erfordernisse und Konsequenzen der Dekarbonisierung von Raumwärme und Warmwasserbereitstellung in Österreich – Endbericht; TU Wien, Energy Economics Group; Wien, 2018; https://eeg.tuwien.ac.at/research/projects/waermezukunft-2050

[BNA 2024]: Gasverbrauch Haushalts- und Gewerbekunden Deutschland, monatliche Mittelwerte in GWh/Tag; Bundesnetzagentur; https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/aktuelle_gasversorgung/start.html;jsessionid=42DEB9E3A118EC1716EA3E413508C66E ; Abruf 28.07.2024

[Büchele 2022]: Büchele, R.: Jahreslastgänge Strom Europäischer Staaten; Datenaufbereitung auf Basis Entso-E; in: Low-Cost nZEB - Paris-kompatible Mehrfamili-

enhäuser; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn 2022; https://www.energie-institut.at/unternehmen/bauen-und-sanieren-fuer-profis/low-cost-nzeb-paris-kompatible-gebaeude

[Roßkopf-Nachbaur 2022]: Roßkopf-Nachbaur, T.: Spezifische Treibhausgasemissionen von Strom, in: Low-Cost nZEB - Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn 2022; https://www.energieinstitut.at/unternehmen/bauen-und-sanieren-fuer-profis/low-cost-nzeb-paris-kompatible-gebaeude

[Peter 2024] Peter, A.: CO_2-Reduktion im Gebäudesektor: Vergleich und Monitoring von Fördersystemen in der Bodenseeregion; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn 2024

[Ploss 2022] Ploss, M. et al: : Low-Cost nZEB – Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn 2022; http://www.energieinstitut.at/pdfviewer/Low-Cost-nZEB-2022/

[Ploss 2024] Ploss, M.: Paris-kompatible Sanierung von Mehrfamilienhäusern, in: Themenband zu economicum 13 - Herausforderung Gebäudesanierung; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn 2024; https://www.energieinstitut.at/shop/economicum-themenband-13

[o.A. 2023] o.A.: Gebäude- und Wohnungszählung – Wohnungen – Zeitreihe ab 2011; Region (Ebene +2) und Bauperiode des Gebäudes (Ebene + 2) nach Wohnungen, Jahr und Anzahl der Wohnungen im Gebäude (in Klassen (Ebene +1); Stat Cube; Statistik Austria, Wien, 2023

[Sark 2024] Sark, C.: Die Südtirolersiedlungen in Vorarlberg - Geschichte, Gegenwart und Zukunft; Diplomarbeit TU Wien, Dezember 2024

[Rainer 2021] Rainer, E. et al.: Rahmenprozess zur Modernisierung von Arbeitersiedlungen aus den 1920er bis 1940er Jahren - Modul 1: Vorbereitungen - Endbericht; Klima- und Energiefonds, Wien (Herausgeber) 2021;

[Mitterer 2022] Mitterer, W.: Südtiroler Siedlungen – Condominium in mind; Verlag A. Weger, Brixen, Studie Verlag, Innsbruck, 2022

[Bußjäger 1998] Bußjäger, P. et al.: Die Bludenzer Südtiroler-Siedlung und ihre Bewohner; Bludenzer Geschichtsblätter Heft 43-45 (1998); Geschichtsverein Region Bludenz (Herausgeber), Bludenz, 1998

[o.A. 2024] o.A.: Energiearmut 2022: Heizen laut 3,2% der Haushalte nicht leistbar; Pressemitteilung 13 291-057/24; Statistik Austria, Wien, 2024;

[Eurostat 2024] Key figures on european living conditions - 2024 edition; Publications office of the European Union, Luxemburg 2024; https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-key-figures/w/ks-01-24-001

[BDA 2021] Interne Mitteilung des Bundesdenkmalamts an die Alpenländische zur Erhaltenswürdigkeit der Siedlung; Bundesdenkmalamt, 15.03.2021

[WBF 2023] Wohnhaussanierungsrichtlinie 2025/26, Amt der Vorarlberger Landesregierung, download: https://vorarlberg.at/-/wohnhaussanierung

[BDA o.J.] Begriffsbestimmungen gemäß § 1 Denkmalschutzgesetz; Bundesdenkmalamt, o.J.

[ÖROK 2021] o.A.: Kleinräumige Bevölkerungsprognose 2021 - Hauptvariante; Statistik Austria/ÖROK 2022; download: https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bevoelkerung/demographische-prognosen/kleinraeumige-bevoelkerungsprognosen

[Künzle 2021] Künzle, J.: Brandschutztechnische Empfehlungen, K&M Brandschutztechnik GbH, Lochau, 18. Mai 2021

[Schneider 2021] Schneider, G.: Vorabstellungnahme zur Absteckung der weiteren Vorgangsweise für eine Sanierung der obigen Gebäude (St. Antoniusstrasse 34 und 12a); Bmst. G. Schneider, Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger, Höchst, 04. Mai 2021

[Weithas 2021] Weithas, B.:21061 Sanierungskonzept Südtiroler Siedlung Bludenz - Bauphysikalische Stellungnahme zu Besichtigungstermin am 28.04.2021; di bernhard weithas gmbh; Lauterach, 12.05.2021

[Brugger 2021] Brugger, R.: Statische Stellungnahme, Dr. Brugger & Partner ZT GmbH, Bludenz, 18. Mai 2021

[Wörl 2024] Wörl, F.: SüdSan - Sozialverträgliche und klimazielkompatible Sanierung von zwei Mehrfamilienhäusern als Modell für die Sanierung der Südtiroler-Siedlung Bludenz: Monitoring der Gebäude vor Sanierung; AEE Institut für Nachhaltige Technologien (AEE Intec), Gleisdorf 2024; download: https://www.energieinstitut.at/forschung-und-projekte/suedsan-beispielhafte-sanierung-von-2-gebaeuden-der-suedtirolersiedlung-bludenz

[Alp 2022] Entgelt ab 01.01.2021; persönliche Mitteilung, Alpenländische Gemeinnützige WohnbauGmbH; 2022

[Roßkopf-Nachbaur 2022] Roßkopf-Nachbaur, T. et al.: LZE 100 Leuchtturmprojekte - Langzeitevaluierung des Energieverbrauchs von 100 energieeffizienten Gebäuden in Österreich als repräsentativer Querschnitt österreichischer Leuchtturmprojekte; Berichte aus Energie- und Umweltforschung 04/2022; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität und Technologie (Herausgeber), Wien, 2022

[Greller 2010] Greller, M. et al.: Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 2: Verbrauchskennzahlentwicklung nach Baualtersklassen; in: Bauphysik 32(2010) Heft 1

[Techem 2017] Energiekennwerte 2016 - Eine Studie von Techem zum Wärme- und Wasserverbrauch in Mehrfamilienhäusern; Techem Energy Services GmbH, Eschborn, 2017

[Peper 2008] Peper, S. et al.: Gebäudesanierung "Passivhaus im Bestnad" in Ludwigshafen / Mundenheim - Messung und Beurteilung der energetischen Sanierungserfolge; Passivhaus Institut, Darmstadt 2008; download: https://passiv.de/de/05_service/03_fachliteratur/030103_altbau_wohnungsbau/02_sanierung_phib/02_sanierung_phib.htm

[PHI 2015] W. Feist (Herausgeber): Effiziente Warmwassersysteme; Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Protokollband 49; Passivhaus Institut, Darmstadt 2015

[Bittermann 2018] Bittermann, W.: Strom- und Gastagebücher 2008/2012/2016 - Strom- und Gaseinsatz sowie Energieeffizienz österreichischer Haushalte - Auswertung Gerätebestand und -einsatz - Endbericht; Statistik Austria, Wien 2018

[Ploss 2024] Ploss, M.: Gebäudesanierung und Klimaschutz - WIe erreichen wir die Pariser Ziele?; in: economicum - leistbares und energieeffizientes Wohnen, Themenband Session 13: Herausforderung Altbau; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2024; download: https://www.energieinstitut.at/shop/?collectionfilter=1&Subject=economicum

[Wagner 2024] Wagner, W. et al.: SüdSan-Themendokumentation:"Vermessung der Wärmeabgabeleistung von Heizkörpern bei niedrigen Vorlauftemperaturen"; Gleisdorf, Dornbirn, März 2024; download: https://www.energieinstitut.at/forschung-und-projekte/suedsan-beispielhafte-sanierung-von-2-gebaeuden-der-suedtirolersiedlung-bludenz

[BKI 2024] BKI Regionalfaktoren 2024 für Österreich; Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH; Stuttgart 2024

[Stat. Austria 2025] Statistik Austria, Baupreisindex für den Hochbau Wien 10.02.2025; download: https://www.statistik.at/statistiken/industrie-bau-handel-und-dienstleistungen/konjunktur/baupreisindex

[Stat. Austria 2024] Karbun, L.: Baupreisindex Leistungsgruppen Regionen, 1. Quartal 2024 - Basisjahr 2020; Statistik Austria, Wien 2024

[BKI 2025] Baupreisindex - Basisjahr 2015; Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH; Stuttgart; download: https://bki.de/baupreisindex-basisjahr-2015

[Müller 2024] Müller, A. et al.: Anpassung der Kostenfunktionen energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten auf das Preisniveau 2022 und 2023; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, August 2024; download: https://www.iwu.de/publikationen/iwu-wissenschaft/publ-energie/ff2-2024/

[BKI 2024-2] o.A.: Baukosten - Positionen Altbau - statistische Kostenkennwerte 2024; Baukosteninformationszentrum deutscher ARchitektenkammern (BKI); Stuttgart, 2024

[Weiss 2025] Weiss, T.: Von Prototyp zu Serie - Evolution der Gebäudesanierung; in: economicum - leistbares und energieeffizientes Wohnen, Themenband Session 14: Innovative Sanierungskonzepte aus Österreich: Von der Vielfalt der Herausforderungen und Lösungen; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2025 - Erscheinungsdatum: April 2025

[Lattke 2024] Lattke, F. et al: Leitfaden Serielles Sanieren - Modernisierung mit vorgefertigten Elementen in Holztafelbauweise, 1. geänderte Auflage; Informationsdienst Holz, Düsseldorf, 2024

[Großklos 2023] Großklos, M. et al.: PassivhausSozialPlus - Gesamtbericht; Modellprojekt zum klimaneutralen Bauen und zur Minimierung der Nebenkosten im sozialen Wohnbau; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2023

[Malzer 2023] Malzer, H. K.: Kann der EnerPhit-Sanierungsstandard auch im hochalpinen Bereich erreicht werden?; in: economicum - leistbares und energieeffizientes Wohnen, Themenband Session 13: Herausforderung Altbau; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2023; download: https://www.energieinstitut.at/pdfviewer/economicum-themenband-13/

[Kölmel 2023] Kölmel, M.: Energiesprong Plus - Chancen und Herausforderungen der Seriellen Sanierung; in: Themenband Session 13: Herausforderung Altbau; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2023; download: https://www.energieinstitut.at/pdfviewer/economicum-themenband-13/

[Großklos 2021] Großklos, M.: PassivhausSozialPlus - Konzept, Kosten und Betriebserfahrungen zweier Passivhäuser im sozialen Wohnbau; in: economicum - leistbares und energieeffizientes Wohnen, Themenband Session 11: Sanieren am laufenden Band?; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2021; download: https://www.energieinstitut.at/shop/economicum-themenband-11

[Lüftenegger 2025] Lüftenegger, P. et al.: Bestandsentwicklung Friedrich-Inhauser-Straße, Salzburg; in: economicum - leistbares und energieeffizientes Wohnen, Themenband Session 14: Innovative Sanierungskonzepte aus Österreich - Von der Vielfalt der Herausforderungen und Lösungen; Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2025; download des Themenbandes ab April 2025

[Hinz 2015] Hinz, E. et al.: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten - Endbericht; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2015 im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit; https://www.iwu.de/forschung/handlungslogiken/kosten-energierelevanter-bau-und-anlagenteile-bei-modernisierung/

[WBF 2024] o.A.: Anonymisierte Auswertung der Kosten der gemeinnützigen Wohnbauprojekte der Jahre 2022 und 2023; Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung Wohnbauförderung, Bregenz 2024 (unveröffentlicht)