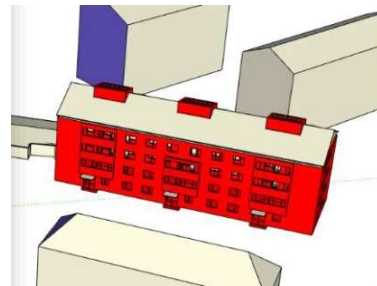
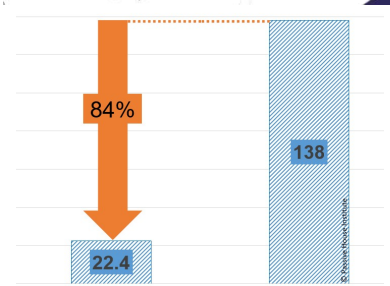
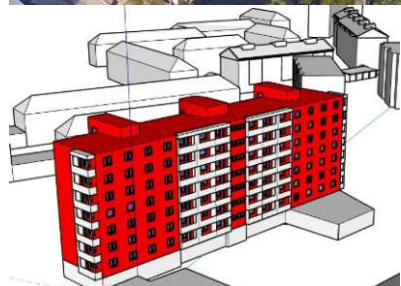
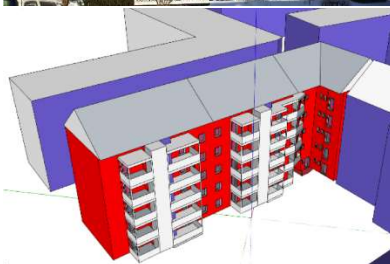
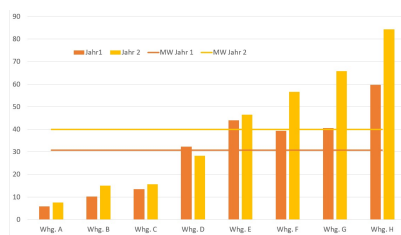
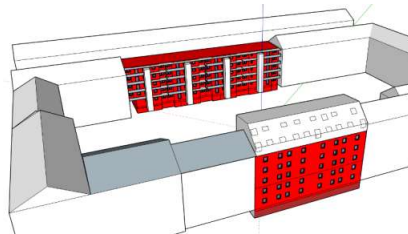


VERGLEICH GEMESSENER UND BERECHNETER ENERGIEBEDARFSWERTE UND BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Innsbruck



D5.22 ANNEX Task 5.7

SINFONIA

(Smart **I**nitiative of cities Fully **c**Omitted to **i**Nvest in **A**dvanced large-scaled energy solutions)

Anonymisierte & übersetzte Version des Teilberichts D5.22 ANNEX Task 5.7 (Teil Innsbruck)

Autoren: Søren Peper, Maria Chiara Failla
Passivhaus Institut
Rheinstraße 44/46
D-64283 Darmstadt



Mit Unterstützung und Mitwirkung von:

Laszlo Lepp (PHI Innsbruck)
Dr. Jürgen Schnieders (PHI)
Dr. Witta Ebel (PHI)
Dr. Oliver Ottinger (PHI)
Harald Malzer (PHI Innsbruck)
Corinna Geiger (PHI)

In enger Zusammenarbeit und mit Unterstützung durch Messdaten-Erfassung, Datenverarbeitung und Beratung:

Prof. Dr. Wolfgang Streicher, Alois Ilmer
Universität Innsbruck
AB Energieeffizientes Bauen
Institut für Konstruktion und
Materialwissenschaften
Technikerstrasse 13, 5.Stock
A-6020 Innsbruck



Danksagung:

Unser besonderer Dank gilt den Wohngesellschaften “Innsbrucker Immobiliengesellschaft” (IIG) und “Neue Heimat Tirol” (NHT), welche die Sanierungen durchgeführt und Messungen für die wissenschaftliche Überwachung ermöglicht haben.

Wir danken auch den Bewohnern, welche die Messungen in den Wohnungen ermöglicht haben.

Quelle Luftbilder auf Titelseite: google.com

Quelle Wetterdaten: ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik)



SINFONIA; “Smart Initiative of cities Fully cOmitted to iNvest In Advanced large-scaled energy solutions” has received funding from the European Union’s Seventh Programme for research, technological development and demonstration.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG UND ZUSAMMENFASSUNG (INNSBRUCK)	6
2. GEBÄUDE INNSBRUCK	17
2.1 BESCHREIBUNG DES VORGEHENS	17
2.1.1 BEDARFSBERECHNUNGEN	17
2.1.2 MESSWERTE WÄRMEVERBRAUCH UND VORGEHEN FÜR DEN VERGLEICH	19
2.2 GEBÄUDE BEST03	24
2.2.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST03	24
2.2.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG.....	25
2.2.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG	26
2.3 GEBÄUDE BEST04	29
2.3.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST 04.....	29
2.3.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG.....	30
2.3.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG	30
2.4 GEBÄUDE BEST05	33
2.4.1 KURZE EINFÜHRUNG DES GEBÄUDES BEST05.....	33
2.4.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG.....	33
2.4.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG	34
2.5 GEBÄUDE BEST16 (SCHULGEBÄUDE)	37
2.5.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST16:	37
2.5.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG.....	38
2.5.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG	38
2.6 GEBÄUDE BEST17 (SCHULGEBÄUDE):	41
2.6.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST17:	41
2.6.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG.....	42



2.7 GEBÄUDE BEST18 (SCHULGEBÄUDE):	43
2.7.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST18:	43
2.7.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG.....	43
2.7.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG	45
2.8 GEBÄUDE BEST07	48
2.8.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST07	48
2.8.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG.....	49
2.8.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG	50
2.9 GEBÄUDE BEST08	53
2.9.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST08	53
2.9.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG.....	54
2.9.3 VERGLEICH B: PHPP.....	55
2.10 GEBÄUDE BEST11	56
2.10.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST11.....	56
2.10.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG	57
2.10.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG	57
2.11 GEBÄUDE BEST12	61
2.11.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST12.....	61
2.11.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG	62
2.11.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG	62
2.12 GEBÄUDE BEST13	66
2.12.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST13.....	66
2.12.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG	67
2.12.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG	68
2.13 GEBÄUDE BEST19	71
2.13.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST19.....	71
2.13.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG	72



2.13.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG	73
3. VERGLEICH PROCASACLIMA – PHPP TOOLS	76
3.1 GEBÄUDE "WOODEN HOUSE" VON ATELIER AIR	76
3.2 GEBÄUDE "C0021" VON IPES.....	77
3.3 VERGLEICH DER SCHLUSSFOLGERUNGEN	79
4. LITERATUR.....	80



1. EINLEITUNG UND ZUSAMMENFASSUNG (INNSBRUCK)

Im „Smart City“ EU-Projekt SINFONIA (FP7) war die Kernaufgabe, ausgewählte Quartiere in den beiden Städten Innsbruck und Bozen energetisch zukunftsfähig zu transformieren. Im Fokus standen dabei in Innsbruck eine Reihe von großen Mehrfamilienhäusern bzw. Gebäude-Ensembles mit einer (beheizten) Fläche von über 46.000 m² (EBF) sowie drei Schulen. Deren ambitionierte energetische Sanierungen wurden im Rahmen des Projekts geplant, vorausberechnet und messtechnisch evaluiert. Die Schulen wurden vollständig saniert, bei den Wohngebäuden war überwiegend eine schrittweise Sanierung vorgesehen. In den genannten Gebäuden wurden von der Universität Innsbruck (AB Energieeffizientes Bauen) Messungen zum Verbrauch und zur Behaglichkeit, etc. an den sanierten Gebäuden durchgeführt. Die Verbrauchsdaten für die Heizwärme spiegeln das derzeitige realisierte Stadium der Sanierung wieder. Üblicherweise werden sowohl die Berechnungen als auch die Messungen am Gesamtgebäude durchgeführt. Die Situation in den Quartieren erwies sich allerdings als erheblich komplizierter. In vielen der alten Gebäude gab es immer wieder auch wohnungsweise Veränderungen. An der Wärmeversorgung sind verschiedene Systeme und Energieträger (Strom, Gas, Fernwärme, Holz, Kohle) beteiligt, und im Regelfall gibt es keine Gesamtzähler für die Gebäude, da die Versorgung dezentral erfolgt. Nur bei einem der Wohngebäude konnte die zentrale Fernwärmeversorgung aller Wohnungen ausgewertet werden. In den anderen Fällen wurden anstelle der Gesamtgebäude einzelne Wohnungen gemessen, wozu das Einverständnis der jeweiligen Bewohnerinnen und Bewohner eingeholt werden musste. Aus diesen Stichproben wurde auf die zugehörigen Gebäude hochgerechnet, und die damit verbundenen statistischen Fehler ermittelt.

Durch das Passivhaus Institut wurden Qualitätssicherungen während der Planungsphase und der Sanierung durchgeführt. Grundlage der energetischen Planung war die Berechnung mit dem Bilanzverfahren des PHPP (Passivhaus Projektierungs-Paket). Das PHPP wurde auf der Basis dynamischer Simulation und praktischer Erfahrung speziell entwickelt, um Gebäude, insbesondere auch solche mit sehr niedrigem Energieverbrauch, planen und optimieren zu können. Durch zahlreiche umfangreiche Messprojekte wurde das Verfahren validiert und gezeigt, dass damit Planung und Umsetzung „ohne Performance Gap“ möglich ist [CEPHEUS 2001], [Passipedia], [Johnston et al. 2020] [Mitchel/Natarajan 2020]. Bei der vorliegenden Untersuchung ist der Erwartungsbereich in dem statistisch 95% der Messergebnisse liegen werden (Konfidenzintervall) relativ groß, aufgrund der oben genannten Einschränkungen.



Für die SINFONIA Projekte wurden i.d.R. der Altbauzustand, der momentane Sanierungsschritt sowie der Endzustand der Sanierung im Detail mit dem PHPP abgebildet.

Zusätzlich wurden für die Gebäude vor Beginn der Sanierungen von der EU-Kommission vorgegebene BEST-Sheets (Building Energy Specification Table) und nach den in Österreich gesetzlich vorgegebenen Verfahren (OIB Richtlinie 6) Energieausweise erstellt. Diese Verfahren verfügen über eine eigene Berechnungsvorschrift, dabei steht im Vordergrund die Vergleichbarkeit und Klassifizierbarkeit der Gebäude im Vordergrund anstelle einer realitätsnahen Abbildung des Energiebedarfs. Die Bezugsflächen für die Energieausweis-Kennwerte werden dabei ebenfalls nach gesetzlichen Vorschriften ermittelt und beziehen sich auf Brutto-Maße. Diese Brutto-Grundflächen (BGF) sind immer deutlich größer als die am Nutzwert (normalerweise auch Vertragsbestandteil z.B. mit Mietern) orientierten Nettoflächen. Die Nettoflächen werden daher vom PHI systematisch für Planung, Qualitätssicherung und Messauswertung verwendet (beheizte Wohn- bzw. Nutzflächen = Energiebezugsfläche EBF, in den Diagrammen auf Englisch „TFA, treated floor area“). Dadurch ergeben sich unterschiedliche Zahlenwerte für z.B. den gemessenen Verbrauchswert. Diese Berechnungsergebnisse der Heizwärme nach BEST-Sheet und Energieausweis werden für jedes Projekt zusammengestellt. Die Gebäudeprojekte innerhalb des Projektes werden mit dem Kürzel BEST plus einer Nummer bezeichnet (z.B. BEST07).

In diesem Bericht werden die Messdaten, nach der Aufbereitung, mit den Vorausberechnungen des PHPP verglichen. Zusätzlich zu den Standard-Randbedingungen (mit typischer durchschnittlicher Nutzung, einer winterlichen Innentemperatur von 20°C und einem Klimadatensatz entsprechend des langjährigen Mittels in Innsbruck) werden in einer weiteren Variante, so weit bekannt, die tatsächlichen Bedingungen am Gebäude eingesetzt, um einen realitätsnahen Vergleich zu ermöglichen. Alle diese Berechnungen werden mit dem PHPP als realitätsnahe, die entscheidenden Parameter korrekt abbildenden Tool ermittelt. Auf diese Weise ergibt sich ein Vergleichswert des Heizwärmebedarfs der unter Berücksichtigung der noch bestehenden Unsicherheiten mit dem gemessenerem Verbrauch verglichen werden kann.

Einen Überblick über die Messergebnisse der 8 Wohngebäude und 2 Schulen ist in Abbildung 1 dargestellt. Für das letzte Wohnbau-Projekte und eine der drei Schulen liegen keine bewertbaren Messdaten vor.



Im Mittel werden durch die Sanierungen die Heizwärmeverbrauchswerte für die Nutzwärme auf nur

31,8 kWh/(m²a)

reduziert (Bezug: beheizte Fläche „EBF“). Da die Projekte im ersten Schritt nicht alle bereits vollständig saniert wurden, insbesondere bei den Fenstern und der Ausstattung mit Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung, ergeben sich recht unterschiedliche Ergebnisse zwischen 10 und 58 kWh/(m²a). Es handelt sich bei den Ergebnissen um die unveränderten Messwerte, ohne eine rechnerische Korrektur der Verbrauchswerte aufgrund abweichender Raumtemperatur. Daher korrespondieren die Messwerte mit den tatsächlichen Raumtemperaturen ("real" °C). Bei dem Projekt mit dem höchstem Verbrauch (BEST19) fällt das besonders große Konfidenzintervall auf, was durch die geringe Anzahl der vermessenen Wohnungen begründet ist. Bei diesem Projekt ist zu berücksichtigen, dass in den Messwohnungen bisher keine Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung realisiert wurde.

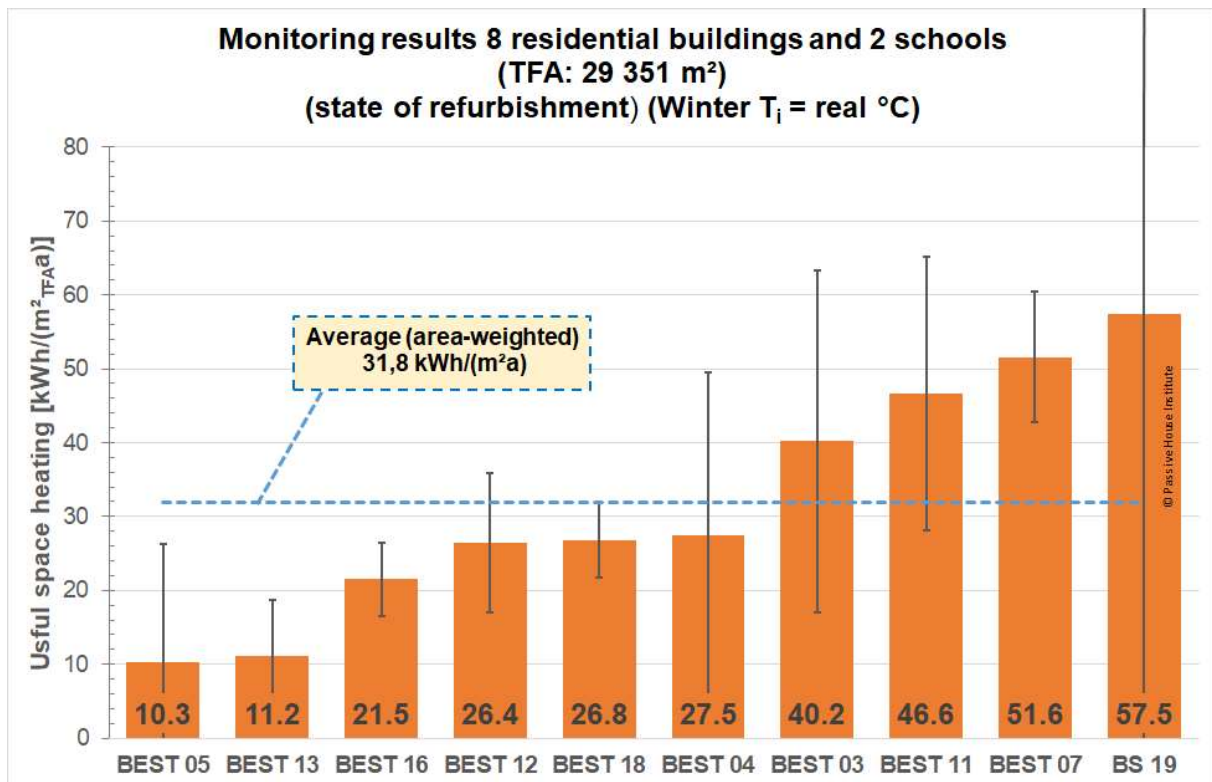


ABBILDUNG 1: GEMESSENE HEIZWÄRMEVERBRAUCHSWERTE DER 8 SANIERTEN WOHNGEBÄUDE UND DER 2 SCHULEN IN INNSBRUCK MIT DEM JEWEILIGEN KONFIDENZINTERVALL DER MITTELWERTE. DER MITTELWERT DER AKTUELLEN SANIERUNGSLAGE BETRÄGT 31,8 KWH/(M² JAHR). ALS REFERENZFLÄCHE WIRD WIE IM PHPP DIE NETTO WOHNFLÄCHE VERWENDET (EBF).



This project has received funding from the European Union's Seventh Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement No 609019

Die Messergebnisse können auch - abweichend von dem hier sonst üblichen Vorgehen - auf die Bruttofläche der Gebäude-Projekte bezogen werden (BEST-Area). Da sich dabei um eine deutlich größere Bezugsfläche handelt, werden die spezifischen Verbrauchswerte entsprechend kleiner. Um einen Vergleich mit den BEST-Sheets durchzuführen ist dies notwendig. Bei dieser Betrachtung beträgt der Mittelwert aufgrund der veränderten Flächenbezüge 24,5 kWh/(m²a) (siehe Abbildung 2).

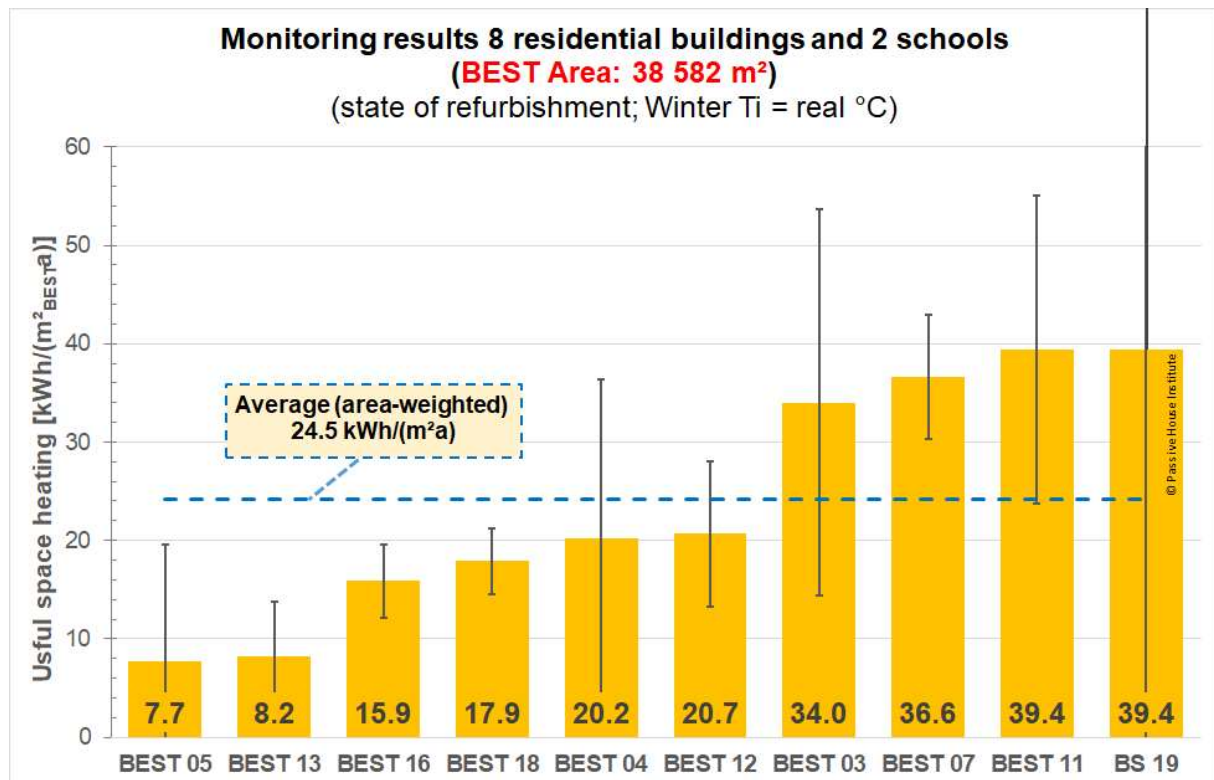


ABBILDUNG 2: GEMESSENE HEIZENERGIE VERBRAUCHSWERTE DER 8 SANIERTEN WOHNGEBÄUDE UND DER 2 SCHULEN IN INNSBRUCK MIT DEN JEWEILIGEN KONFIDENZINTERVALLEN DER MITTELWERTE. DER MITTELWERT DES DERZEITIGEN SANIERUNGSSTANDES BETRÄGT 24,5 KWH/(M² JAHR). ALS REFERENZ FLÄCHE WIRD DIE SELBE BEZUGSFLÄCHE (BRUTTO) WIE IM BEST-SHEET VERWENDET.

Da die vor Projektbeginn aufgestellten BEST-Sheets von einer Standard-Raumtemperatur während der Heizperiode von 20°C ausgehen, ist es notwendig abzuschätzen, wie die gemessenen Verbrauchswerte sich bei der Beheizung auf 20°C verändern würden. Die Differenz wird mit den jeweiligen PHPPs der Gebäude berechnet, indem bei diesen die Bilanzberechnung bei der gemessenen Raumtemperatur im Winter (Messtemperatur) und zusätzlich bei 20°C durchgeführt wird. Der Messwert wird um die Differenz der beiden Berechnungen angepasst und bezogen auf die Fläche der BEST-Sheets. Als Abschätzung für die Standardsituation bei 20°C ist diese Methode dennoch geeignet. Es muss aber

beachtet werden, dass es sich bei den Ergebnissen nicht mehr um reine Messwerte handelt. Damit steigen auch die Unsicherheiten der Aussagen. Das Ergebnis der Berechnungen ist in Abbildung 3 zu sehen. Der Mittelwert der Gebäude ergibt sich damit zu 19,7 kWh/(m²a).

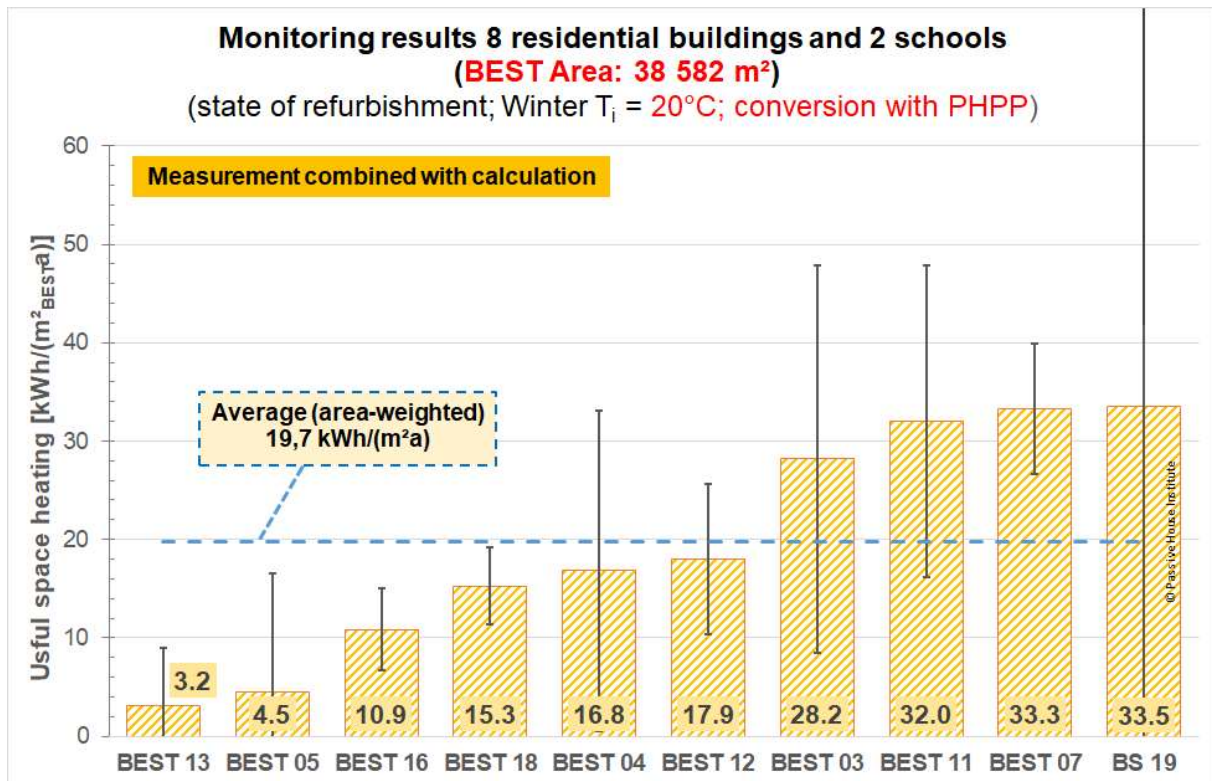


ABBILDUNG 3: GEMESSENE VERBRAUCHSWERTE FÜR DIE HEIZENERGIE ABZÜGLICH DES BERECHNETEN HEIZENERGIEBEDARFS ÜBER 20°C (8 SANIERTE WOHNBAUPROJEKTE UND 2 SCHULEN IN INNSBRUCK). MIT IHRER JEWEILIGEN UNSICHERHEIT. DER MITTELWERT BEIM DERZEITIGEN SANIERUNGSSTAND BETRÄGT 19,7 KWH/QM PRO JAHR. DIE BEZUGSFLÄCHE IST HIER DIE BEZUGSFLÄCHE (BRUTTO), WIE SIE IN BEST-SHEET VERWENDET WIRD.

Bei den weiteren Darstellungen werden die Mess- und Berechnungswerte wieder ausschließlich auf die tatsächliche beheizte Fläche (EBF / TFA) bezogen.

Der Vergleich des mittleren Verbrauchs aller 8 Wohngebäude und der beiden Schulen mit dem Berechnungswerten des PHPP ergibt eine gute Übereinstimmung im Rahmen der Genauigkeit der Erfassung vor allem der Messdaten (Abbildung 4). Damit wird erneut bestätigt, dass das PHPP als verlässliches Planungstool sehr gut auch in der Sanierung geeignet ist.

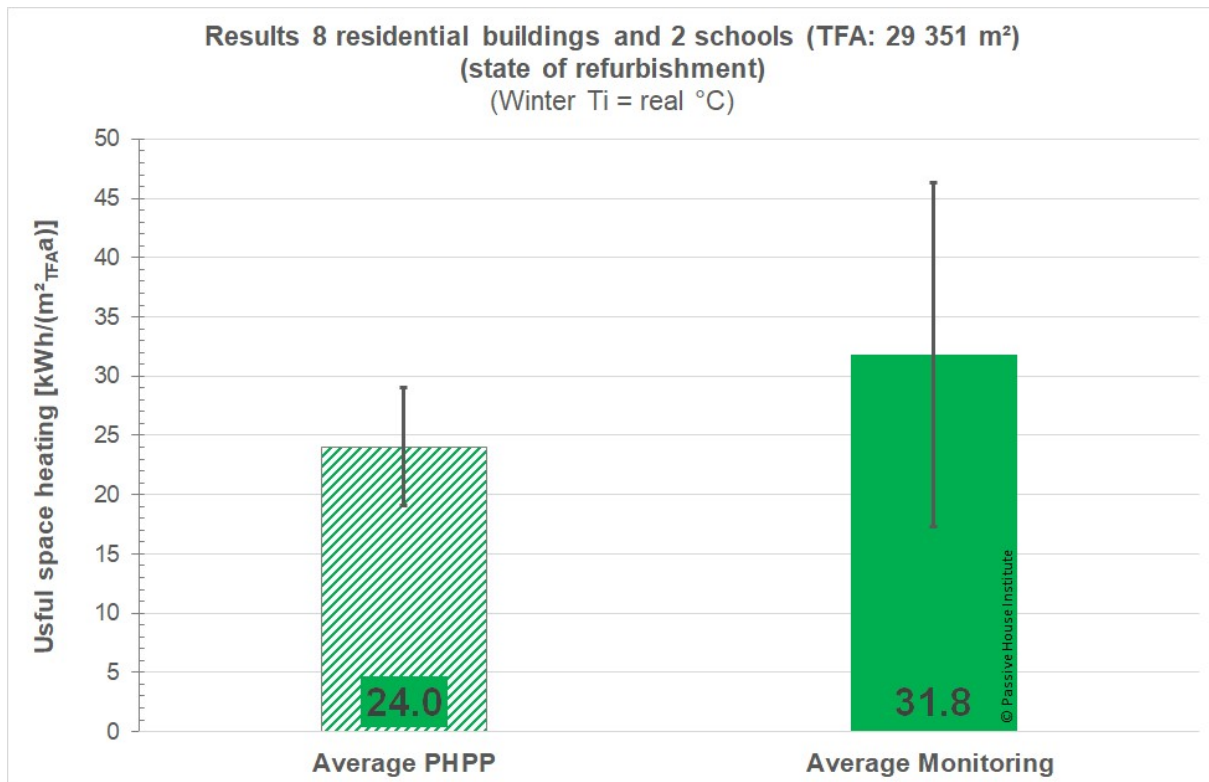


ABBILDUNG 4: VERGLEICH DER NUTZWÄRME DER 8 SANIERTEN WOHNGEBÄUDE UND 2 SCHULEN IN INNSBRUCK: DER MIT DEM PHPP BERECHNETE BEDARFSWERT NACH DER SANIERUNG (LINKS) GEGENÜBER DEM MITTELWERT DER GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTE (RECHTS). DIE BERECHNUNG DER WERTE ERFOLGT IN BEIDEN FÄLLEN FLÄCHENGEWICHTET. UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER BILANZ- UND MESSGENAUIGKEIT KANN EINE ÜBEREINSTIMMUNG FESTGESTELLT WERDEN. BEZUGSFLÄCHE: EBF / TFA (WOHNNUTZFLÄCHE).

Die Detaildarstellung aus Abbildung 4 aller Messwerte im Vergleich zu den Berechnungswerten mit dem Energiebilanztool PHPP zeigt Abbildung 5: Mit einem vollständigem PHPP können bereits während der Planungsphase verlässliche Voraussagen gemacht werden. Bei diesen Projekten sind aufgrund des eingeschränkten Messumfangs bzw. der stichprobenhaften Einzelmessung von Wohnungen die statistischen Unsicherheiten höher als bei Messung des Gesamtgebäudes. Bei der Vermessung von Gesamtgebäuden ist die Übereinstimmung üblicherweise noch höher (vgl. Abbildung 9). Bei aller Unterschiedlichkeit der hier untersuchten Projekte wird deutlich, dass die Planungswerte bei einer sorgfältigen Sanierung und einem geeigneten Bilanztool gut erreicht werden können.

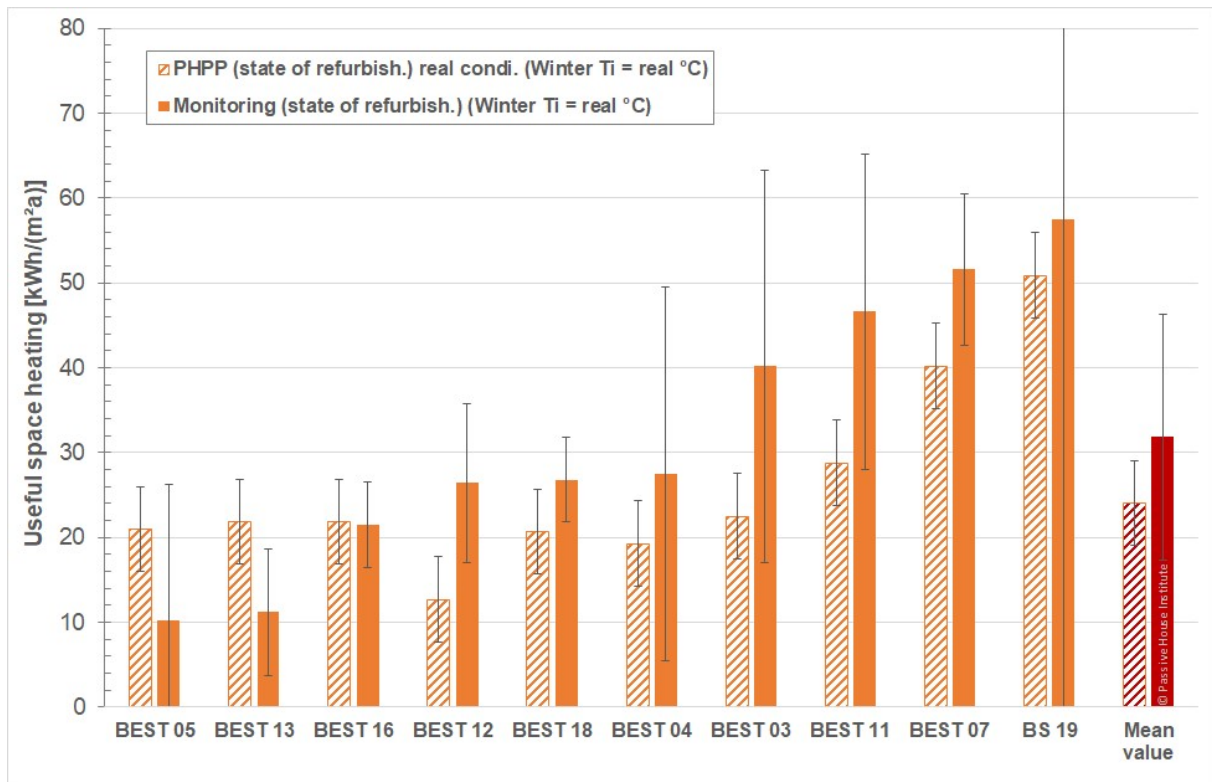


ABBILDUNG 5: VERGLEICH DER NUTZWÄRMEENERGIE DER 8 SANIERTEN WOHNBAUPROJEKTE UND 2 SCHULEN IN INNSBRUCK: DER BERECHNETE BEDARFSWERT (PHPP) DER REALISIERTEN SANIERUNG VERSUS DER MITTELWERT DER GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTE FÜR DIE 8+2 PROJEKTE. DIE BERECHNUNG DER MITTELWERTE (BEIDE RECHTEN SPALTEN) ERFOLGT IN BEIDEN FÄLLEN FLÄCHENGEWICHTET. BEZUGSFLÄCHE: EBF / TFA (WOHNNUTZFLÄCHE).

Der mittlere Messwert des Heizwärmeverbrauchs der untersuchten Gebäude von 31,8 kWh/(m²a) der gesamten über 29.300 m² kann mit dem Heizwärmebedarf der Altbauten vor der Sanierung verglichen werden. Bei den Daten der Altbauten handelt es sich um Berechnungen mittels der PHPP der ungedämmten bzw. nur teilweise gedämmten Gebäude ohne Lüftungstechnik und alten Fenstern und schlechter Luftdichtheit. Dafür werden die Berechnungen mit den oben beschriebenen Standard-Bedingungen für das langjährige Klima in Innsbruck und typischen Nutzungsbedingungen berechnet. Der flächengewichtete Mittelwert aller Wohngebäude ergibt sich zu dabei zu 140 kWh/(m²a). Gegenüber dem Messwert ergibt sich damit eine Einsparung der Nutzwärme zur Beheizung der Gebäude von 77 %.

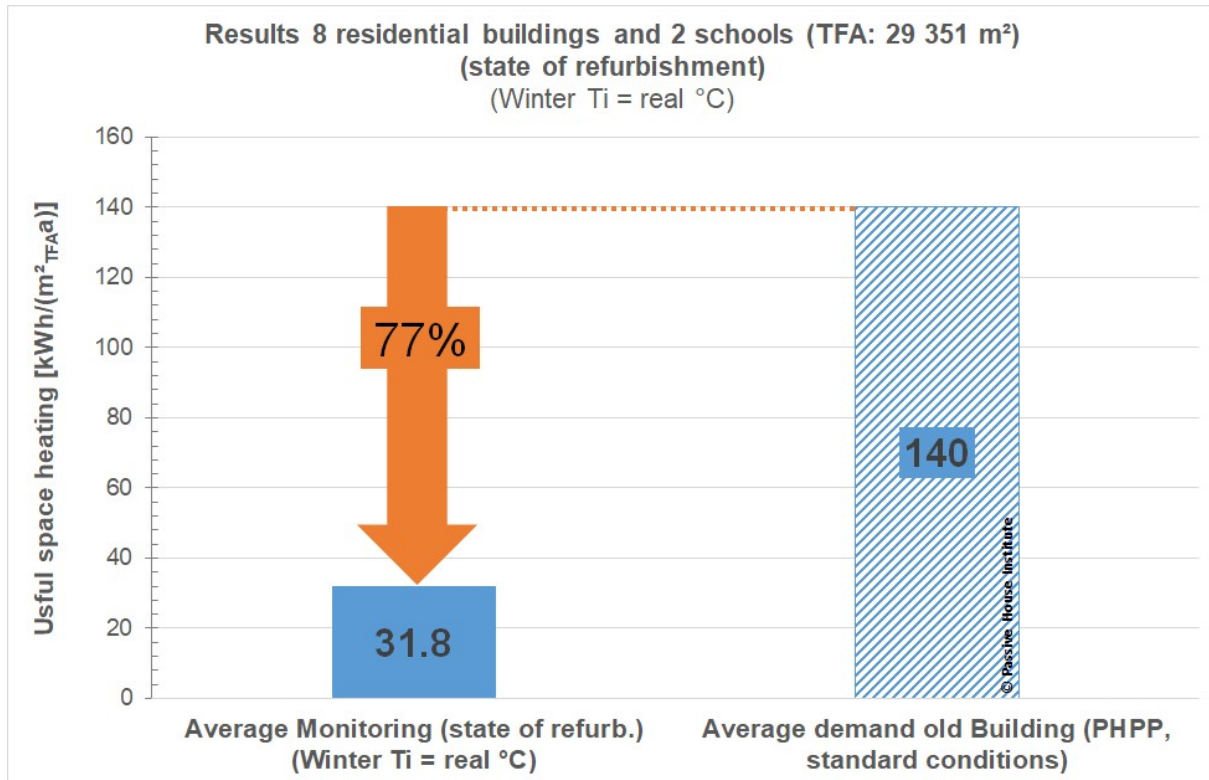


ABBILDUNG 6: VERGLEICH DES GEMESSENEN HEIZENERGIEVERBRAUCHES MIT DEM SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARF (PHPP, STANDARDBEDINGUNGEN) DER ALTBAUTEN FÜR ALLE BISHER AUSGEWERTETEN 8 SANIERTEN WOHNBAUPROJEKTE UND 2 SCHULEN IN INNSBRUCK. DIE BERECHNUNG DER WERTE ERFOLGT IN BEIDEN FÄLLEN FLÄCHENGEWICHTET. BEZUGSFLÄCHE: EBF / TFA (WOHNNUTZFLÄCHE).

Um die Größenordnung der Einsparung zu ermitteln kann die beheizte Fläche der ausgewerteten 8 Wohngebäudeprojekten sowie der beiden Schule (29.351 m² Wohnfläche EBF) mit der Differenz aus dem gemessenen Verbrauchswert und dem berechneten Bedarfswert der unsanierten Altbauten berechnet werden: Für die Gebäude liegt die realisierte Einsparung bei etwa 3.182.000 kWh pro Jahr (3,2 GWh/a).

Einsparungen aller Projekte in Innsbruck

Wird auch das SINFONIA Wohngebäude berücksichtigt, bei denen keine Messdaten vorliegen (BEST08 EBF Gesamtfläche von 5.197 m²) kann die Gesamteinsparung aller Gebäude (außer der Schule BEST17) abgeschätzt werden. Dazu werden die Daten zur Heizwärme aus den PHPP Berechnungen der bereits erreichten Sanierungsschritte verwendet.



Damit ergibt sich eine Gesamtfläche aller 9 Wohngebäude und der beiden Schulen in SINFONIA von 34.547 m², der mittlere Heizwärmeverbrauch (inkl. Hochrechnungen) ergibt sich zu

32,6 kWh/(m²a).

Der Ausgangswert für den Heizwärmebedarf der Gebäude im unsanierten Zustand:

135 kWh/(m²a).

Als Gesamteinsparung für die Nutzwärme Heizung ergibt sich der beachtliche Wert von

76%

was rund **3.540.000 kWh pro Jahr** entspricht (3.5 GWh/a).

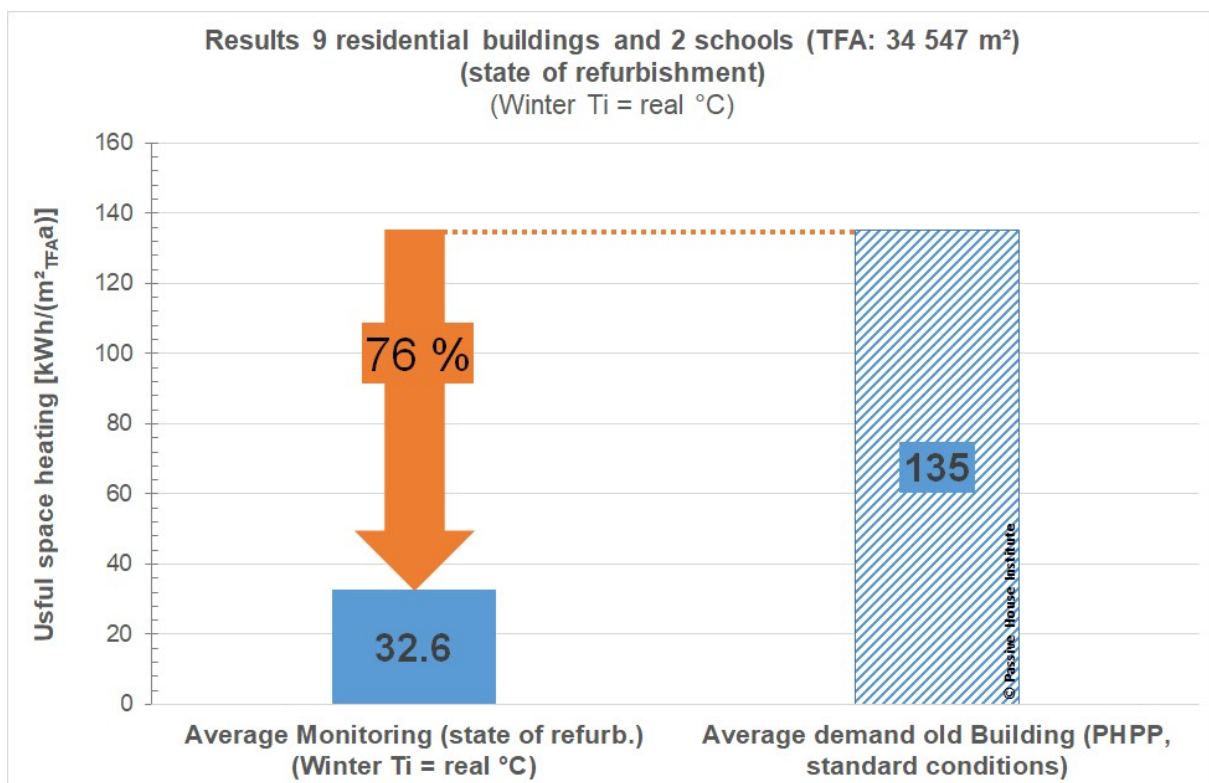


ABBILDUNG 7: VERGLEICH DES GEMESSENEN HEIZENERGIENUTZUNGSWERTES MIT DEM SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARF (PHPP, STANDARDBEDINGUNGEN) DER ALTBAUTEN FÜR ALLE BISHER AUSGEWERTETEN 9 SANIERTEN WOHNBAUPROJEKTE UND 2 SCHULEN IN INNSBRUCK. DIE BERECHNUNG DER WERTE ERFOLGT IN BEIDEN FÄLLEN FLÄCHENGEWICHTET. BEZUGSFLÄCHE: EBF / TFA (WOHNNUTZFLÄCHE). ERLÄUTERUNGEN SIEHE TEXT.



Potential bei Vollsanierung

Bei den Sanierungen in Innsbruck ist von besonderem Interesse, wie groß die Einsparungen für das Gesamtprojekt sein werden, wenn alle Sanierungen vollständig abgeschlossen sind. Dazu sind weitere Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und thermisch optimierte Fenster nachzurüsten. Für die 9 Wohngebäudeprojekte und die 2 Schulen ist eine Einsparung um 85 % gegenüber dem Altbauzustand zu erwarten. Der Wert für den mittleren Heizwärmeverbrauch wird auf etwa 21 kWh/(m²a) sinken. Damit würden dann rund 3.950.000 Kilowattstunden pro Jahr Heizwärme eingespart werden (entspricht 3,9 GWh/a). So wird der von der EU geforderte Heizwärmeverbrauch von „Fast-Null“ erreicht.

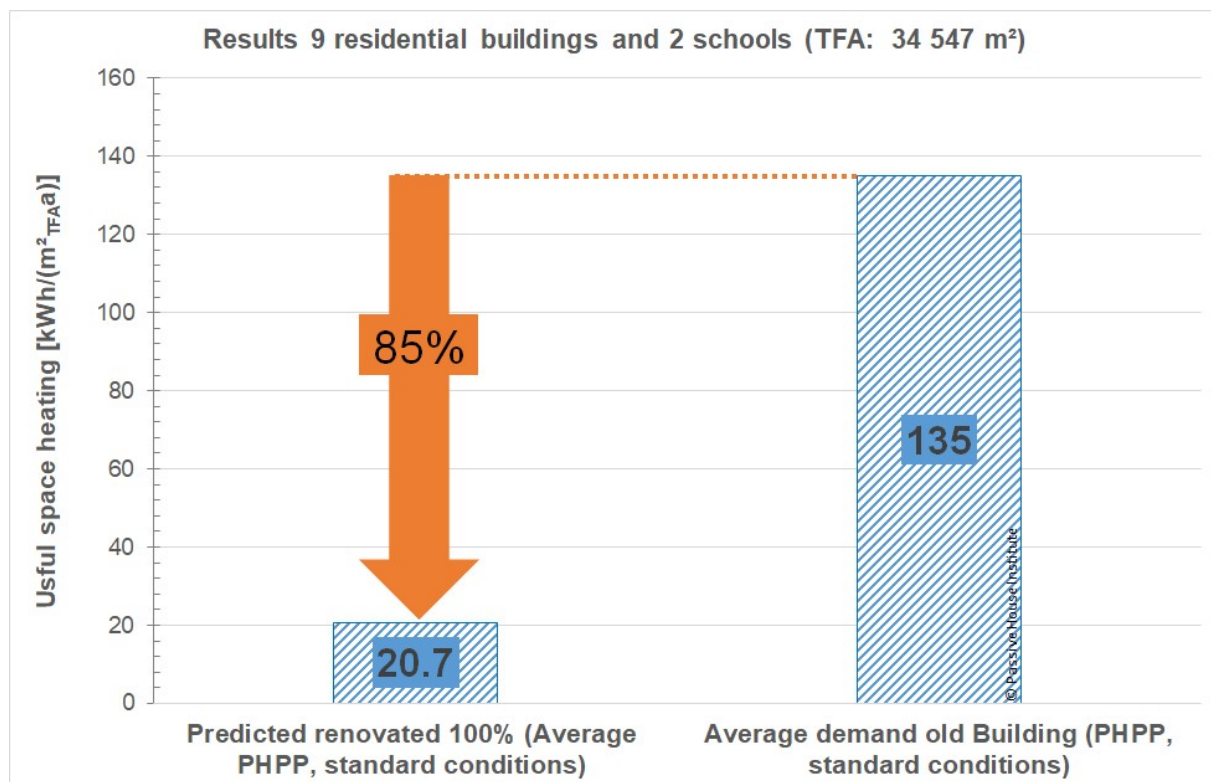


ABBILDUNG 8: ENERGIEEINSPARPOTENZIAL ALLER SINFONIA WOHNGEBÄUDE UND 2 SCHULEN. VERGLEICH DES HEIZBEDARFS VOR UND NACH DER KOMPLETTEN SANIERUNG, BASIEREND AUF EINER PHPP-BERECHNUNG MIT STANDARDBEDINGUNGEN (BEZUGSFLÄCHE: EBF (WOHNFLÄCHE)).

Die gewaltigen Potentiale der Gebäudesanierung und damit der Energieeffizienz zeigen sich damit deutlich. Das Projekt beweist, dass diese nicht nur in der Theorie sondern auch in der praktischen Umsetzung zu erreichen sind. Die Bemühungen in diese Richtung sind dringend zu verstärken. Das Know-how und die notwendigen Produkte sind vorhanden, um einen gewaltigen Upscale realisieren



zu können. Es sollten nicht weiter Vorbehalte diskutiert werden, sondern dringend die möglichen Maßnahmen EU-weit und weltweit umgesetzt werden. Dazu ist das Projekt SINFONIA mit seinen hier nachgewiesenen Erfolgen Mut machender Vorreiter.



2. GEBÄUDE INNSBRUCK

Die in Innsbruck im Rahmen des EU-Projektes SINFONIA sanierten und untersuchten Wohngebäude und Schulen werden in Bezug auf den Heizwärmeverbrauch (Nutzwärme) untersucht. Dabei erfolgt ein Vergleich der durchgeführten Bedarfsberechnungen mit den Verbrauchswerten.

2.1 BESCHREIBUNG DES VORGEHENS

2.1.1 BEDARFSBERECHNUNGEN

Zu den beteiligten Gebäuden gibt es drei unterschiedliche Arten der Berechnung:

- (1) **BEST-Sheets:** Diese Berechnungen (BEST: Building Energy Specification Table) wurden am Beginn des Projektes durch die Wohnbaugesellschaften durchgeführt. Sie dienen zur Festlegung der Daten der zu sanierenden Gebäude inkl. deren Bedarfsprognose nach der Sanierung. Die Berechnungsgrundlage der Fläche und der Bedarfswerte erfolgte nach der Vorlage der EU. Die Basis für diese Berechnungen ist der nationale Energieausweis, es werden jedoch abweichende Kennwerte heran gezogen (Bsp: HWB inkl. system losses, die in dieser Form beim Energieausweis nach (2) nicht ausgewiesen werden). Weitere Detailinformationen zum Verfahren (Rechenweise) liegen nicht vor. Diese Berechnungen werden während der Sanierung nicht an aktuelle Veränderungen angepasst. Als Klimadaten werden Standardwetterdaten verwendet; die Innentemperatur kann nicht verändert werden.
- (2) **Energieausweise:** Bei der Berechnungen der „Energieausweis für Wohngebäude - Planung“ handelt es sich um die national in Tirol anzuwendende Berechnungsvorschrift für Wohngebäude nach der „OIB Richtlinie 6“. Es handelt sich damit um die gesetzlich vorgeschriebene und notwendige Berechnungsvorschrift des „Österreichisches Institut für Bautechnik“ (OIB). Für die Schulgebäude wurden „Energieausweise für Nicht-Wohngebäude“ nach der ÖNORM H5055 und Richtlinie 2002/91/EG berechnet. Diese Berechnungen wurden im Auftrag der Wohnbaugesellschaften durchgeführt bzw. von ihnen selbst erstellt. Sie werden nach der Durchführung der Sanierung an aktuelle Veränderungen angepasst. Als Klimadaten werden Standardwetterdaten verwendet; die Innentemperatur kann nicht verändert werden.
- (3) **PHPP:** Das „Passivhaus-Projektierungspaket“ [PHPP] wird vom Passivhaus Institut (PHI) zur Energiebilanzberechnung sowie Planung insbesondere energieeffizienter Gebäuden herausgegeben. Im Projekt wurde es insbesondere zur Qualitätssicherung und zur Festlegung der Sanierungsschritte eingesetzt. Das Programm ist hundertfach an realen Messwerten validiert worden. Mit einem realitätsnah ausgefüllten PHPP kann der tatsächliche mittlere Verbrauchswert bei normaler Nutzung (Klimadatensatz, Innentemperatur etc.) mit hoher Sicherheit gut vorausberechnet werden [Johnston et al. 2020] [Mitchel/Natarajan 2020]. Bei der Bezugsfläche wird im Hinblick auf den bereitgestellten Nutzen die tatsächlich beheizte Wohn- bzw. Nutzfläche des Gebäudes verwendet. Die so definierte Bezugsfläche wird Energiebezugsfläche EBF nach PHPP genannt (In den Abbildungen auf Englisch TFA: Treated Floor Area) [CEPHEUS 2001]). Die Berechnungen eines jeden Gebäudes werden während der gesamten Projektphase (Planung bis Fertigstellung) fortlaufend an aktuelle Veränderungen



angepasst, so dass möglichst realitätsnah Ergebnisse der Bedarfswerte geliefert werden können. Das PHPP dient nicht nur als Nachweis- sondern vor allem auch als Projektierungstool. Als Klimadaten werden für die Vorausberechnung langjährige Mittelwerte des Standardklimadatensatzes vom Standort Innsbruck verwendet. Für den Abgleich der Berechnung mit den Messwerten wird dann ein weiterer Klimadatensatz aus den Messwerten (Außentemperatur, Globalstrahlung) des Zeitraumes der Messperiode erzeugt und verwendet [UIBK 2020]. Alle relevanten Nutzungsparameter können im PHPP angepasst und verändert werden. Einen besonders hohen Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch hat die Innentemperatur, deshalb sollte sie, ebenso wie die relevanten Wetterdaten, messtechnisch mit erfasst werden, um einen sinnvollen Vergleich durchführen zu können. Für die Vorausberechnung und Zertifizierung der Gebäude erfolgt eine Berechnung immer mit der Standard-Innentemperatur von 20°C. Für den Vergleich mit den Messwerten wird die Höhe der Innentemperatur auf den tatsächlichen Messwert während der Heizperiode (Wintermonate, üblicherweise Oktober bis April) gesetzt. Die damit erzeugten Berechnungswerte können dann direkt mit den Messdaten verglichen werden. Die planungsbegleitende Berechnung der PHPPs für jedes Projekt erfolgte durch das Passivhaus Institut Innsbruck.

Aufgrund der ganz unterschiedlichen Berechnungsverfahren und Grundlagen eignen sich die drei unterschiedlichen Verfahren nicht zum direkten Ergebnisvergleich untereinander. Schon die **Bezugsflächen** unterscheiden sich gravierend und lassen keinen direkten Vergleich der spezifischen Werte zu. Da alle drei Verfahren in SINFONIA Bedeutung haben und Verwendung finden, werden im Folgenden bzgl. aller drei die Vergleiche mit den Messdaten durchgeführt. Dabei wird für die Betrachtung der Werte aus den BEST-Sheets und den Energieausweisen ausschließlich die (Brutto-) Bezugsfläche aus den BEST-Sheets verwendet. Bei der Betrachtung der Werte aus den PHPP Berechnungen wird als Bezugsfläche die EBF (beheizte Wohn bzw. Nutzfläche) verwendet.

Die Bilanzierung der schrittweise sanierten bzw. zu sanierenden Gebäude in Innsbruck mit dem PHPP unterscheidet Varianten nach dem erreichten Sanierungsfortschritts. In der Regel werden mindestens der Zustand des unsanierten Gebäudes, des derzeitig realisierten Sanierungsschrittes und der vollständigen Sanierung unterschieden. Lediglich die Schulgebäude (BEST16, BEST17, BEST18) konnten als umfassende Vollsanierung abgeschlossen werden. Die meisten Wohngebäude jedoch sind noch nicht vollständig saniert, sondern teilsaniert. So wurde häufig die Wärmedämmung der Gebäudehülle verbessert aber ggf. nur ein Teil der Fenster getauscht und insbesondere nur in einem Teil der Wohnungen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung nachgerüstet. Die Ursache liegt an den notwendigen Zustimmungen der Mieter, welche häufig nicht eingewilligt haben. Für Arbeiten innerhalb der Wohnung ist die Zustimmung der Bewohner notwendig. In mehreren Gebäuden liegt eine exakte Angabe zu den Fenstern (Anzahl, Qualität, Datenblätter, etc.), zur Heizung (Heizmedium bei dezentralen Anlagen) sowie zur Lüftung (Anzahl und Datenblatt bei dezentralen Anlagen) zum



Zeitpunkt der Messauswertung nicht vor. Hier musste bei der Vervollständigung der PHPPs mit Annahmen gearbeitet werden, um zu versuchen die Situation der Sanierung möglichst realitätsnah abzubilden. Damit ist die Qualität der Aussage des PHPP zu dem momentanen Sanierungsschritt geschwächt gegenüber einer exakten Bilanzierung. Dieser Umstand einer eingeschränkten Genauigkeit muss bei den Vergleichen berücksichtigt werden.

Die Genauigkeit von Bilanzrechnungen kann nach [Feist 2001] mit $\pm 3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ angesetzt werden, sie resultiert aus Unsicherheiten in den Eigenschaften der Materialien und Komponenten sowie aus Variabilitäten der Bauausführung. Diese Unsicherheit ist stets gegeben, insbesondere unabhängig vom verwendeten Berechnungsverfahren. Die oben beschriebenen zusätzlichen Unsicherheiten bezüglich des Gebäudezustands wurden berücksichtigt, indem die Unsicherheit auf $\pm 5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ heraufgesetzt wurde.

2.1.2 MESSWERTE WÄRMEVERBRAUCH UND VORGEHEN FÜR DEN VERGLEICH

Die Messung der Verbrauchsdaten in den Gebäuden in Innsbruck sowie aller anderen Messgrößen (z.B. Innentemperaturen) erfolgen durch die Universität Innsbruck. Die Daten werden auf einem zentralen Datenserver in Innsbruck gespeichert. Auszüge der Verbrauchsdaten und Raumtemperaturen in Form von Monatssummen bzw. Mittelwerten wurden dem PHI zur Auswertung übermittelt. Weitere Daten zu den Randbedingungen in den Wohnungen (bewohnt/unbewohnt, Bewohnerstruktur, Besonderheiten) sind im Detail nicht bekannt. Die Daten werden nach der Kennzeichnung des Datenpunktes und der Verbrauchseinheit zugeordnet.

Für den Vergleich von Bedarfswerten mit gemessenen Verbrauchswerten werden Messdaten des Gesamtgebäudes benötigt, da die Bilanzberechnungen sich immer auf das Gesamtgebäude beziehen. Dabei ergeben sich regelmäßig sehr gute Übereinstimmung zwischen der Bilanzberechnung und der Messung (vgl. Abbildung 9). Im Projekt SINFONIA konnten die Messungen jedoch ausschließlich in Wohnungen erfolgen, in denen die Bewohner der Messung zugestimmt haben (siehe oben Abschnitt 2.1.1). Die Streuung der Verbrauchswerte der Einzelwohnungen in einem Mehrfamilienhaus ist relativ groß. Diese Tatsache wurde für energieeffiziente Mehrfamilienhäuser bereits sehr früh untersucht, belegt, und ist auch generell bekannt. In [Pfluger 2001] wurde für das Mehrfamilien-Passivhaus in Kassel-Marbachshöhe eine Bandbreite von 0,13 bis 46 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ festgestellt (Mittelwert 17,1 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$). Ursache sind neben der Lage der Wohnung insbesondere die Querwärmeströme aufgrund der Temperaturunterschiede zwischen den Wohnungen. Ähnliche Ergebnisse zeigen



Messungen in Altbauanierungen mit Passivhaus-Komponenten [Peper/Feist 2008], [Peper/Grove-Smith/Feist 2009]. Eine nur kleine Stichprobe von Wohnungen eines Gebäudes wirkt daher direkt auf die Aussagensicherheit zurück.

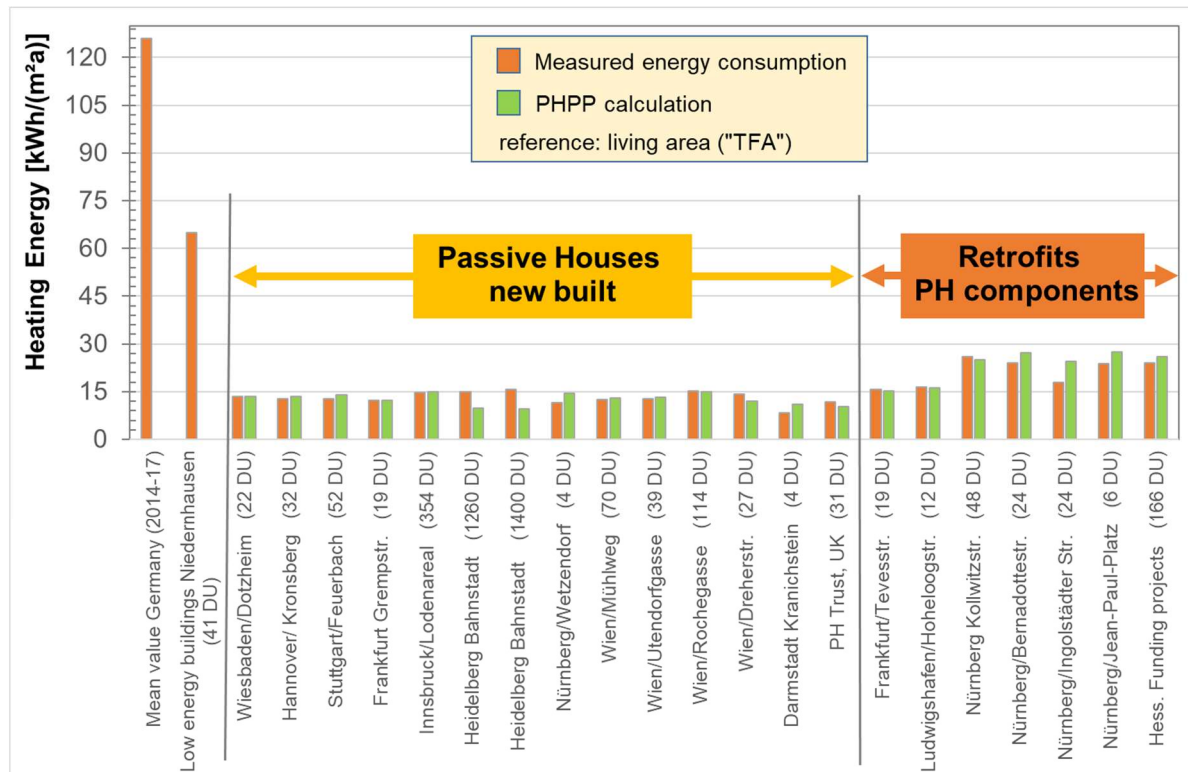


ABBILDUNG 9: ÜBERSICHT DER GEMESSENEN SPECIFISCHEN HEIZENERGIEVERBRÄUCHE PRO JAHR EINIGER PASSIVHAUS-NEUBAUTEN UND SANIERUNGEN MIT PH-KOMPONENTEN, VON TYPISCHEN NIEDRIG-ENERGIEHÄUSERN SOWIE DEM MITTELWERT DER IN DEUTSCHLAND EXISTIERENDEN MHRFAMILIENHÄUSER. DIE ZUGEHÖRIGEN PHPP-BEDARFSBERECHNUNGEN FÜR DIE PH- UND ENERPHIT-PROJEKTE SIND ALS GRÜNE SÄULEN DARGESTELLT. HIER IST EINE SEHR GUTE ÜBEREINSTIMMUNG ZWISCHEN DEN BERECHNUNGEN DES BEDARFS UND DEN MESSWERTEN ZU ERKENNEN. [PEPER, FEIST 2016], [JOHNSTON ET AL. 2020]. REFERENZ: EBF / TFA (BEHEIZTE WOHN- BZW. NUTZFLÄCHE)

Die Versorgungsstruktur innerhalb der Mehrfamilienhäuser ist nicht homogen: Zum Teil werden in einem Gebäude zwei bis vier unterschiedliche Wärmeversorgungsarten nur für die Beheizung eingesetzt (Einzelraum-Holzheizung, Kohleofen, Elektro-Nachtspeicher oder Gastherme). Die Ursache dafür ist historisch bedingt durch einzelne wohnungsweise Modernisierungen. Die Versorgung mit Holz oder Kohle konnte innerhalb dieses Projektes nicht gemessen werden. Die Messdaten zur Wärmeversorgung stammen z.T. auch innerhalb eines Gebäudes aus unterschiedliche Quellen: Gas-

oder Stromverbrauch. Mit nur einer Ausnahme bei den Wohngebäuden (BEST07: Fernwärme) handelt es sich um wohnungsweise Messdaten. Diese beinhalten keine Verteilverluste außerhalb der thermischen Hülle. Daher können die Wärmeverbrauchswerte direkt als Heizwärmeverbrauchswerte (Nutzwärme) verwendet werden.

Bis auf die Ausnahme eines Wohngebäudes (BEST07) und den Schulgebäuden liegen auswertbare Messdaten zum Wärmeverbrauch nur von einer jeweils kleineren Anzahl Wohnungen der Gebäude bzw. Gebäudeprojekte vor. Der Flächenanteil der gemessenen Wohnungen zur Gesamtfläche (EBF) liegt je Projekt zwischen 9 und 29 %. Die Wohnungen, bei denen Messungen durchgeführt werden, konnten nicht repräsentativ ausgewählt werden. Die Auswahl unterlag dem „Zufall“, welche Mieter zusätzlich einer Messung zugestimmt haben und ob die Messungen erfolgreich durchgeführt werden konnten. Nur wenn auswertbare und plausible Messdaten vorlagen und diese auch eindeutig einer beheizten Fläche zugeordnet werden konnten, wurden sie berücksichtigt.

Damit liegen keine für das Gebäude „typischen“ mittleren Verbrauchswerte der Einzelwohnungen vor sondern zufällige Beispiele des Wärmeverbrauchs von Teilflächen. Aus diesen Einzelwerten wurde dann ein flächengewichteter Mittelwert nur für die gemessenen Wohneinheiten berechnet, welcher nicht dem tatsächlichen mittleren Verbrauchswert des Gesamtgebäudes darstellt. Aus Ermangelung von zentralen Zählern für den Gesamtverbrauch eines Gebäudes wird dieser hochgerechnete Messwert für das gesamte Gebäude verwendet. Um die damit verbundene statistische Unsicherheit abbilden zu können, wurde aus den einzelnen Messwerten je Gebäude die Standardabweichung des Mittelwertes berechnet sowie das 95 % -Konfidenzintervall für den durchschnittlichen Energiebedarf. Damit liegt ein Maß vor, mit welcher Unsicherheit der Mittelwert behaftet ist. Diese Schwankungsbreite (z.B. $\pm 6,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) wird für die Messwerte beim Vergleich mit den PHPP Bedarfswerten jeweils angegeben. Dabei gilt generell, dass je geringer die Anzahl der Einzelmesswerte und je stärker deren Streuung, desto größer ist die Standardabweichung des Mittelwertes und das Konfidenzintervall. Bei anderen Studien mit Messungen aller Wohnungen bzw. baugleichen Reihenhäusern (Niedrigenergie und Passivhäusern) wurden üblicherweise Standardabweichungen des Mittelwertes von etwa 0,8 bis 2,1 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ermittelt [Feist 2004]. In den Abbildungen der Vergleiche für die Wohngebäude werden üblicherweise die 95 % -Konfidenzintervalle für den durchschnittlichen Energiebedarf wiedergegeben.



Die Messdaten beinhalten, je nach Versorgungssystem einer Wohnung, nicht nur die Heizwärme, sondern auch die Energie zur Warmwasserbereitung. Getrennte Messungen lagen zum Teil nicht vor. Die Trennung erfolgt durch die Festlegung des Sommerverbrauchs als „Verbrauchssockels“ für die Warmwasserbereitung. Dieser Sockel wird für das Gesamtjahr hochgerechnet und vom gemessenen Jahresverbrauch abgezogen. Die Unsicherheit des Heizwärmeverbrauchs wird damit weiter erhöht. In der Regel führt das vereinfachte Verfahren, aufgrund des etwas höheren winterlichen Warmwasserverbrauchs, zu einer geringen Überschätzung des Heizwärmeverbrauchs.

Als **Messzeitraum** wurde in der Regel der **Jahreszeitraum Oktober 2019 bis September 2020, das Jahr 2020 oder Februar 2020 bis Januar 2021** ausgewertet. Beim Projekt BEST19 liegt aufgrund der Messdaten ein weiterer Messzeitraum vor: **Juni 2020 bis April 2021**. Nur bei diesem Projekt, musste der Heizwärmeverbrauch für den fehlenden Monat Mai 2021 hochgerechnet werden. Da zu dieser Zeit so gut wie kein Heizwärmeverbrauch zu erwarten ist, ist der Fehler vernachlässigbar. Für die Berechnung wird die Prognose des Monatsanteils am Jahresverbrauch aus dem PHPP verwendet. Für zwei SINFONIA Projekte in Innsbruck liegen keine auswertbaren Messdaten vor.

Für die Anpassung der PHPPs ist neben den zum Zeitraum passenden Wetterdaten (Außentemperatur und Globalstrahlung) die Berücksichtigung der gemessenen Innentemperaturen notwendig. Dazu wurden aus der Monitoring-Datenbank die Innentemperaturen der Wintermonate (Oktober bis April) nur der Wohnungen gefiltert, welche energetisch ausgewertet werden konnten. Diese gemessenen Temperaturen wurden – analog zu den Verbrauchsdaten – flächengewichtet zu einem Mittelwert der gemessenen Wohnungen zusammengefasst und im PHPP berücksichtigt. Üblicherweise liegen diese Temperaturen deutlich höher als die in der Bilanzierung im Standardfall vorab angesetzten 20°C, was den rechnerischen Heizwärmebedarf erhöht. Die Klimabedingungen (Außentemperatur und Globalstrahlung) des untersuchten Zeitraumes führen dagegen zu einer deutlichen Reduktion des Wärmebedarfs, da die Wetterbedingungen während der Messperiode wärmer waren als im langjährigen Klimadatensatz. Zum Teil kompensieren sich diese Effekte damit gegenseitig.

Die verwendeten BEST-Sheets aller Projekte verfügen u.a. über die Angabe „Heating + Ventilation“ (Zeile 30 bzw. 31). Laut Überschrift beinhalten diese dort gemachten Angaben auch die „system losses“. Da hier Messwerte der Einzelwohnungen ausgewertet werden (Ausnahme BEST07) beinhalten die Messwerte keine „system losses“. Daher wurden die in den BEST-Sheets eingetragenen Beträge



der Verteilverluste vor deren Verwendung wieder abgezogen. In Einzelfällen gab es dazu in den Berechnungszellen keine Angaben; in diesem Fall wurde der Wert unverändert übernommen.

Abweichungen und Besonderheiten gegenüber der obigen Beschreibung für ein Projekt sind jeweils bei der folgenden Auswertung des Gebäudes angegeben.



2.2 GEBÄUDE BEST03

2.2.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST03



ABBILDUNG 10: GEBÄUDEANSICHT NACH DER SANIERUNG (QUELLE: PHI)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu dem Gebäude BEST03 können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABELLE 1: VORSTELLUNG DES GEBÄUDES BEST03

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	1.791 / 2.115
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1940 / November 2016
4	Anzahl der Wohnungen: gesamt/ Messung Energieverbrauch	34 / 8 (23 % der kompletten Fläche)
5	Sanierungszustand	Die Sanierung wurde in den ersten Schritten umgesetzt: Äußere Dämmung, neue Fenster (100 %), Verbesserung der Luftdichtheit, teilweise Lüftungssysteme (38 %)
6	Zeitraum der Datenanalyse	Januar bis Dezember 2020
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	22,6 °C

2.2.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Dargestellt ist in Abbildung 11 die Übersicht über die Daten der BEST-Sheets ohne Verteilverluste, den Energieausweis und die Messdaten in Bezug auf die BEST-Sheet Fläche. Auf der linken Seite des Diagramms ist zunächst der Bedarfswert für den Altbau nach der Berechnung im BEST-Sheet angegeben. Als nächstes folgen zwei Werte aus dem BEST-Sheet für eine vollständig durchgeführte Sanierung: die nationalen Mindestanforderungen aus dem Jahre 2006 für die Standardbedingungen der Berechnung („Nat. regulation 2006, stand. condi.“) sowie die mit dem BEST-Sheets festgelegten Ziele der Sanierung bei den Standardbedingungen („BEST-Sheet, stand. condi.“).

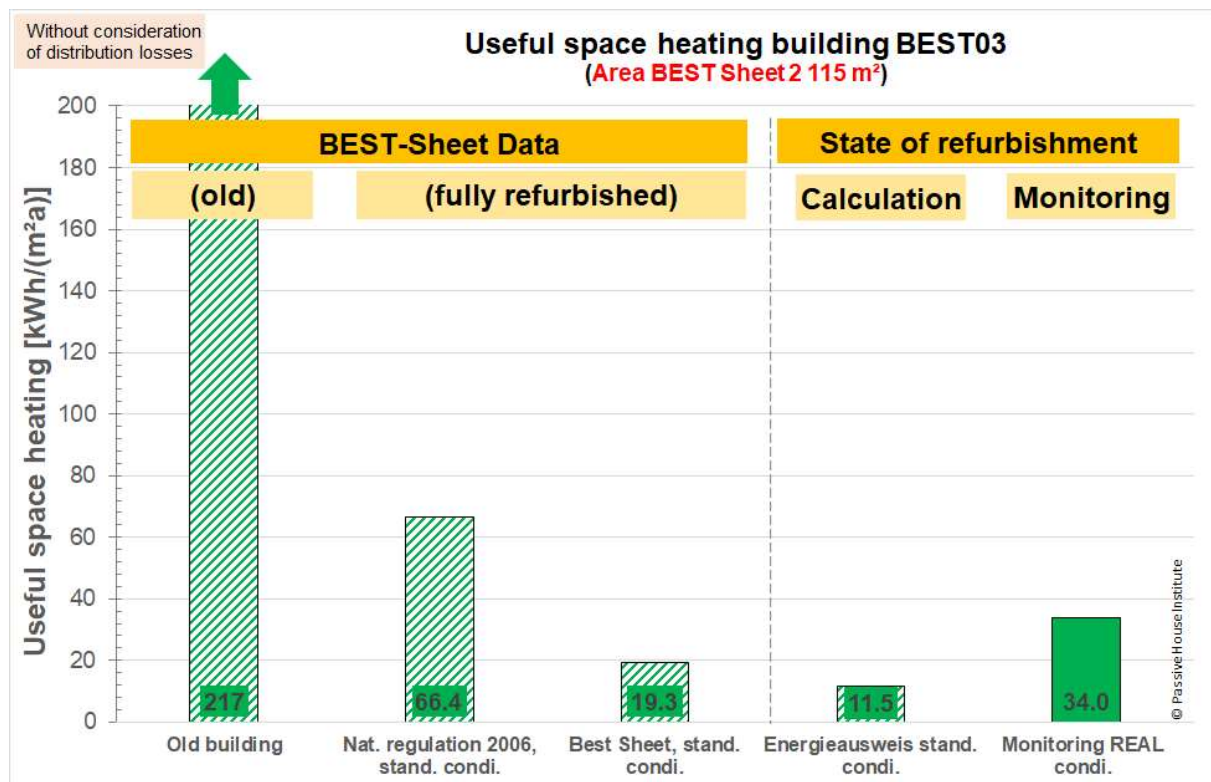


ABBILDUNG 11: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄß ENERGIEAUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN.

Auf der rechten Seite des Diagramms folgt das Rechenergebnis, des nach der Sanierung angepasste Energieausweises (Energy Certificate) für die Standardbedingungen („Energieausweis stand. condi.“). Dieser Wert stellt den nach diesem Rechenverfahren angestrebte Zielgröße für den Heizwärmebedarf von 11,5 kWh/(m²a) dar. Ganz auf der rechten Seite folgt als letztes der Messwert der Stichprobe. Dieser liegt bei dem Bezug auf die BEST-Sheet Fläche mit 34,0 kWh/(m²a) fast dreifach höher. Bei

diesem Vergleich ist anzumerken, dass eine staatliche Rechenvorschrift nicht aufgestellt ist um die spätere Realität möglichst genau abzubilden. Sie dient als ein einheitliches Verfahren mit einer standardisierten Berechnungsvorschrift um die vom Gesetzgeber gewählten Anforderungen umzusetzen. Solch Berechnungsvorschriften sind auf durchschnittliche Gebäudequalitäten ausgelegt und nicht auf besonders energieeffiziente. Daher ist die Eignung für eine Verbrauchsvorhersage deutlich eingeschränkt.

2.2.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG

Für die energetische Bilanzierung des Gebäudes BEST03 mittels PHPP wird durchgängig die Treated Floor Area (TFA) / EBF als Bezugsgröße verwendet. Die Berechnung zeigt mit einem Heizwärmebedarf von nur 18,1 kWh/(m²a) das Potential der vollständigen Sanierung (abbildung 12, linke Säule, vollständig saniert, Standardbedingungen und Innentemperatur von 20°C). Für einen sanierten Altbau sind das sehr gute Bedarfswerte. Für die bisher realisierten Sanierungsschritte wird für Standard-Randbedingungen (Langjährige Klimadaten Innsbruck, Innentemperatur 20°C) ein Bedarfswert für die Heizwärme von 31,5 kWh/(m²a) berechnet (zweite Säule von links).

Im untersuchten Messjahr (2020) führen die milderen Wetterbedingungen und die deutlich erhöhte Innentemperatur (22,6°C) auf einen Bedarfswert von nur 22,5 kWh/(m²a) (dritte Säule von links). Der Bedarfswert reduziert sich durch diese Anpassung um 9,0 kWh/(m²a). Die Messung der Stichprobe der 8 Wohnungen des Gebäudes führt auf einen gemessenen Heizwärmeverbrauch von 36,9 kWh/(m²a) (Flächenbezug hier: EBF nach PHPP). Aus den Messwerten lässt sich folgern, dass der mittlere Verbrauch der sanierten Wohnungen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% zwischen 17 und 63 kWh/(m²a) liegt (Konfidenzintervall 23,1 kWh/(m²a)). Unter Berücksichtigung der verringerten Genauigkeit der Bilanzberechnung (siehe Abschnitt 2.1.2) liegt das Ergebnis der Messung innerhalb der Erwartung der Messung. Es ist somit davon auszugehen, dass trotz der geringen Anzahl von Messwohnungen eine gute Übereinstimmung mit dem Modell gegeben ist. Nach dem Abschluss der Sanierung mit dem nächsten Schritt kann das angestrebte Ziel erreicht werden. Auch die bereits jetzt realisierten 40,2 kWh/(m²a) sind für einen sanierten Altbau ein gutes Ergebnis.



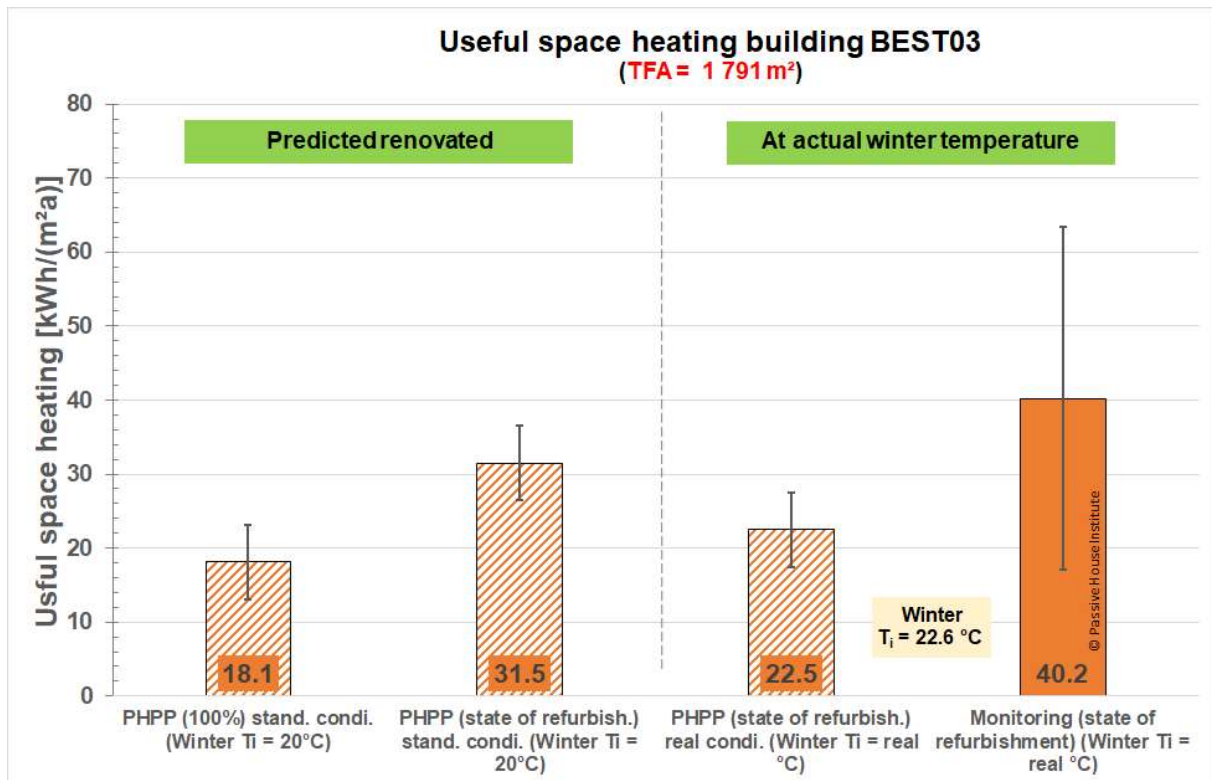


ABBILDUNG 12: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIE BILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RANDBEDINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.2.3.

Das Gebäude ist mit 149 kWh/(m²a) im Altbauzustand bilanziert worden (PHPP, Standardbedingungen). Damit wurde bereits bei der jetzigen Sanierung eine Reduktion von 73 % im Bereich der Heizwärme erreicht (vgl. Abbildung 13).

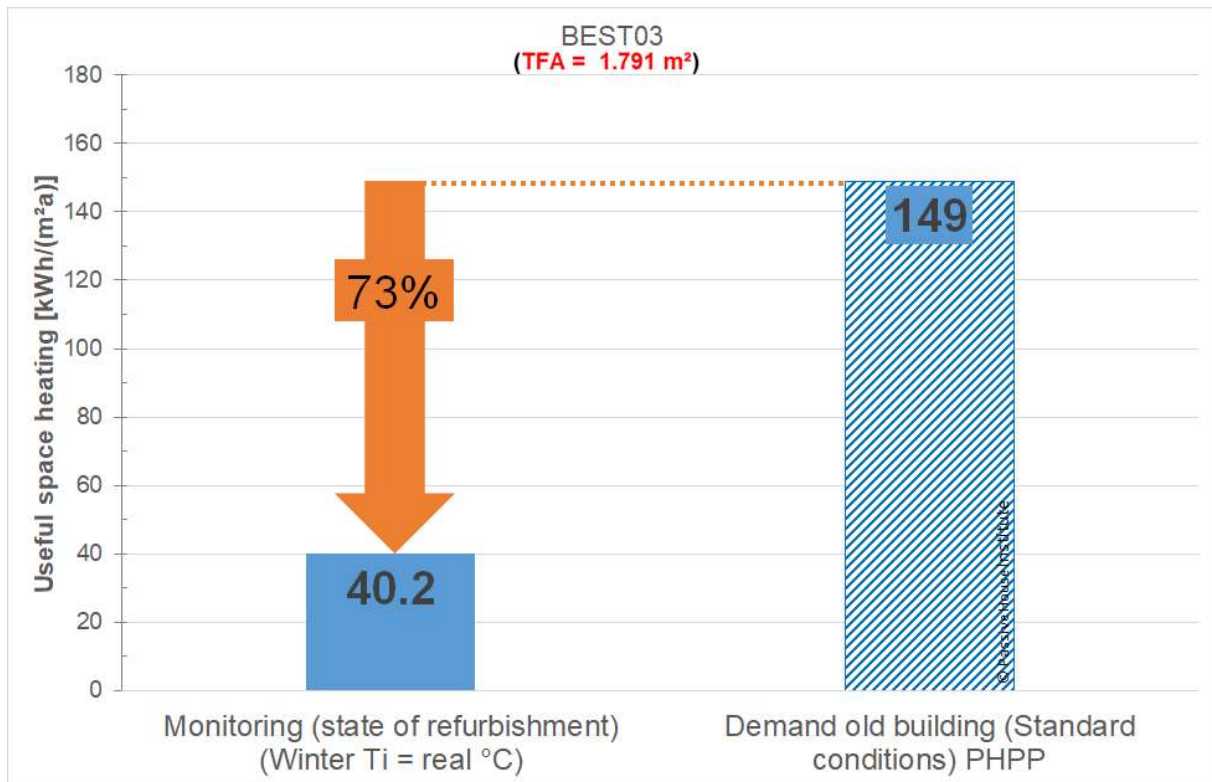


ABBILDUNG 13: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN, GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTES MIT DEN ENERGIEBEDARF (BERECHNUNG) DES ALTEN GEBÄUDES BEST03 (PHPP).

2.3 GEBÄUDE BEST04

2.3.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST 04



ABBILDUNG 14: ANSICHT AUF DAS GEBÄUDE NACH DER SANIERUNG (QUELLE: PHI)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu dem Gebäude BEST04 können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABELLE 2: VORSTELLUNG DES GEBÄUDES BEST 04

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck; Schubertstraße 6-12
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	2.680 / 3.650
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1941 / Dezember 2019
4	Anzahl der Wohnungen gesamt/ Messung Energieverbrauch	39 / 6 (14 % der kompletten Fläche)
5	Sanierungszustand	Die Sanierung wurde in den ersten Schritten umgesetzt: Äußere Dämmung, neue Fenster (100 %), Verbesserung der Luftdichtheit, teilweise Lüftungssysteme (33 %)
6	Zeitraum der Datenanalyse	Januar 2020 bis Dezember 2020
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	21,6 °C

2.3.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Der Inhalt und Aufbau der folgenden Grafik ist bereits im Abschnitt 2.2.2 erklärt. Für das Projekt in der Schubertstraße ergeben sich nach dem Rechenverfahren der Energieausweise als angestrebte Zielgröße für den Heizwärmebedarf 11,4 kWh/(m²a). Der Wert ist damit fast identisch zum Gebäude BEST03. Der spezifische Messwert des Heizwärmeverbrauchs aus 6 der 39 Wohnungen liegt mit nur 20,2 kWh/(m²a) allerdings deutlich niedriger als BEST03.

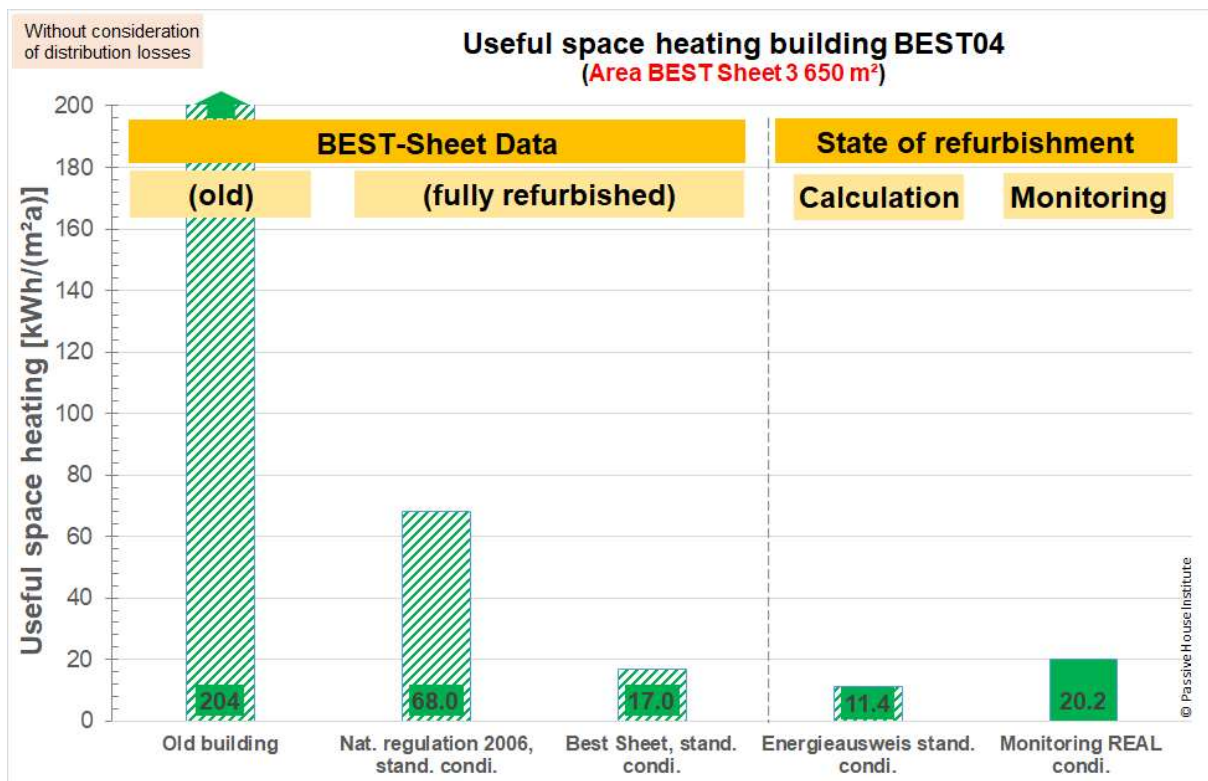


ABBILDUNG 15: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIEAUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN.

2.3.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG

Auch bei dem Vergleich der PHPP Berechnungen mit dem Messwert wurde der Aufbau der Grafik und die zugehörige Erläuterung bereits weiter oben gegeben (Abschnitt 2.2.3). Das bei einer vollständigen Sanierung zu erwartende Potential ergibt sich zu 17,8 kWh/(m²a), der bisherige Sanierungsschritt lässt bei Standardbedingungen 31,6 kWh/(m²a) erwarten. Die Bedingungen im Messjahr (2020) lassen ein

Heizwärmeverbrauch von 19,3 kWh/(m²a) erwarten. Das Messergebnis liegt mit 27,5 kWh/(m²a) trotz der kleinen Stichprobe in ausreichender Nähe zum Erwartungswert.

Die Messdaten von 27,5 kWh/(m²a) stellen ein sehr gutes Ergebnis einer Sanierung dar.

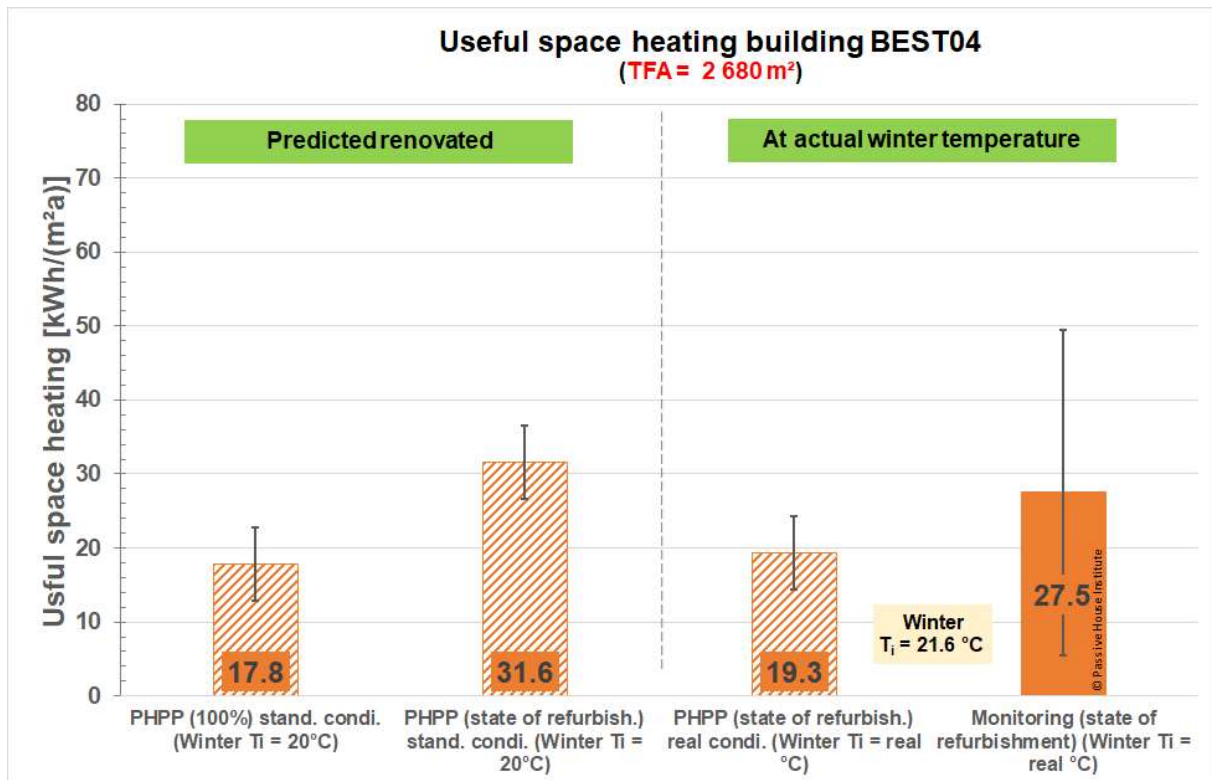


ABBILDUNG 16: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIE BILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RANDBEDINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.1

Der Vergleich des Messwertes mit der Berechnung des Heizwärmebedarfs der Altbausituation (Standardbedingungen, 20°C) zeigt die gewaltige Einsparung von 77 % bereits nach diesem Sanierungsschritt.

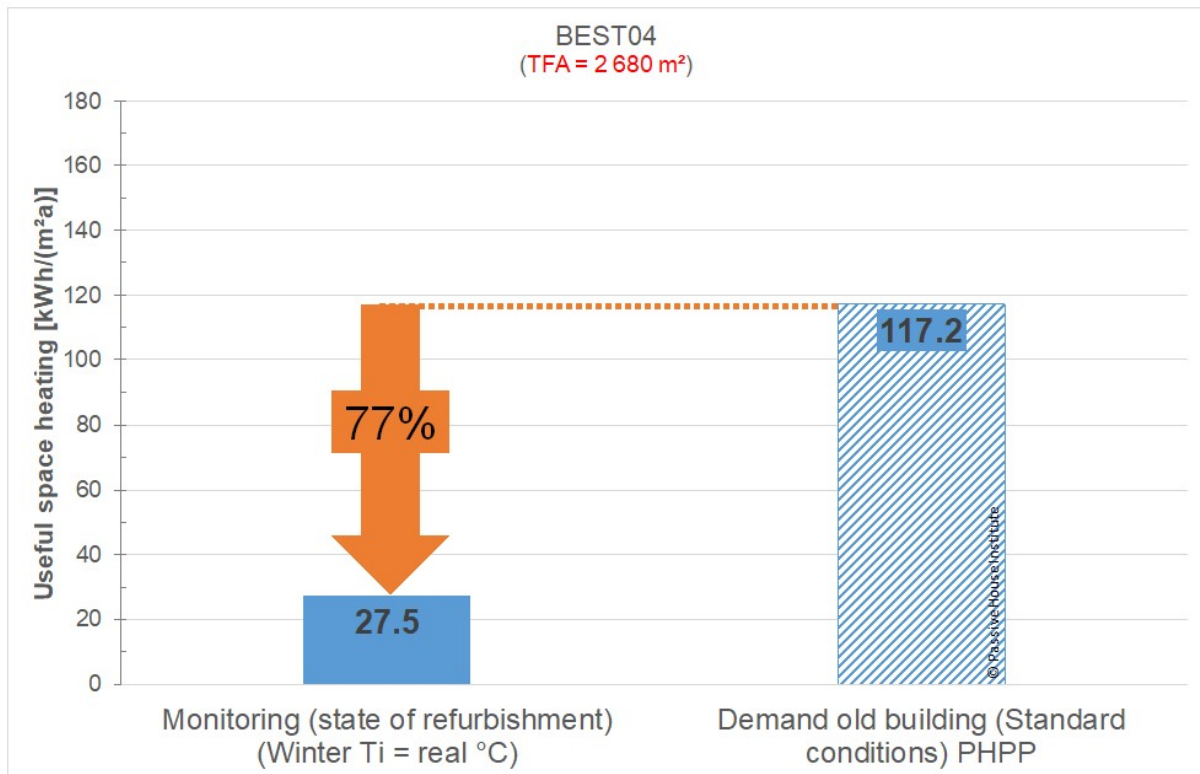


FIGURE 17: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN, GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTES MIT DEN ENERGIEBEDARF (BERECHNUNG) DES ALTEN GEBÄUDES BEST04 (PHPP).

2.4 GEBÄUDE BEST05

2.4.1 KURZE EINFÜHRUNG DES GEBÄUDES BEST05

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu dem Gebäude BEST05 können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABELLE 3: VORSTELLUNG DES GEBÄUDES BEST05

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	1.417 / 1.897
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1941 / Dezember 2019
4	Anzahl der Wohnungen: gesamt/ Messung Energieverbrauch	20 / 4 (19 % der kompletten Fläche)
5	Sanierungszustand	Die Sanierung wurde in den ersten Schritten umgesetzt: Äußere Dämmung, neue Fenster (100 %), Verbesserung der Luftdichtheit, teilweise Lüftungssysteme (60 %)
6	Zeitraum der Datenanalyse	Januar bis Dezember 2020
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	21,6 °C

2.4.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Der Inhalt und Aufbau der folgenden Grafik ist bereits im Abschnitt 2.2.2 erklärt. Für das Projekt BEST05 ergeben sich nach dem Rechenverfahren der Energieausweise als angestrebte Zielgröße für den Heizwärmebedarf 11,9 kWh/(m²a). Der Wert ist damit auch wieder fast identisch zu den beiden vorherigen Gebäuden BEST03 und BEST04. Der spezifische Messwert des Heizwärmeverbrauchs aus 4 der 20 Wohnungen liegt mit nur 7,7 kWh/(m²a) allerdings noch niedriger.



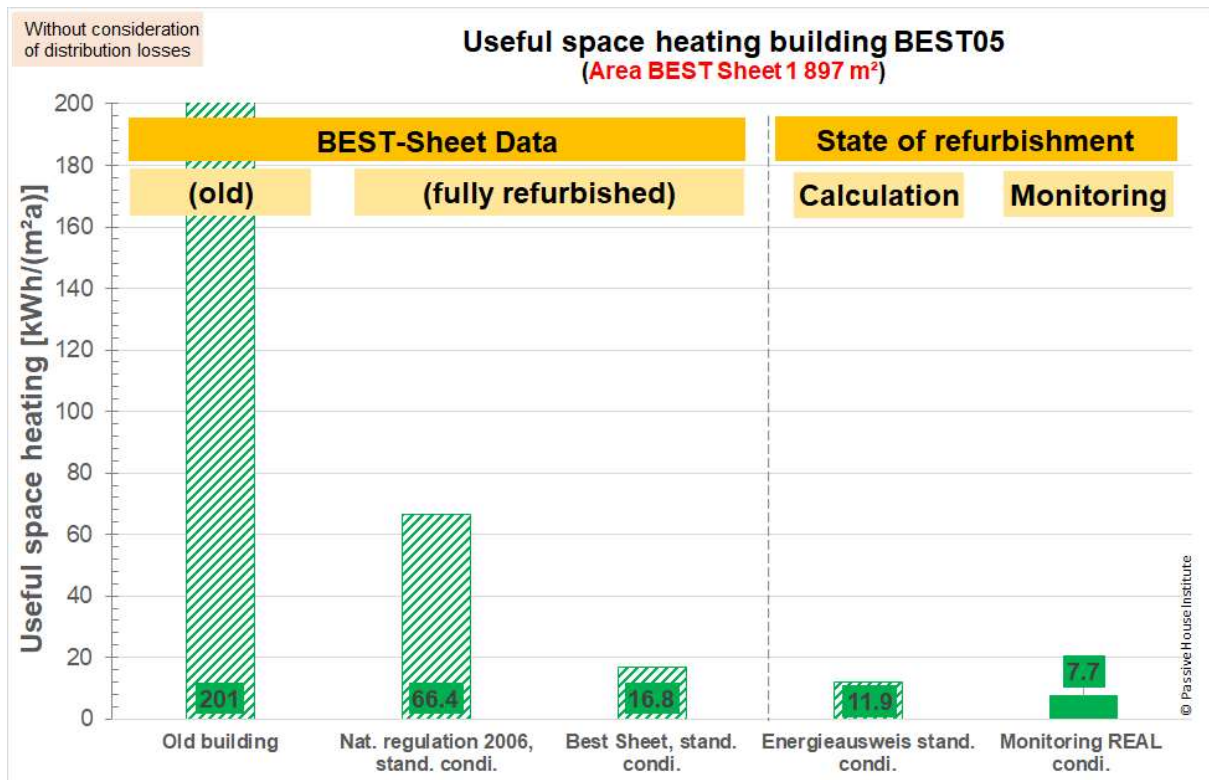


ABBILDUNG 18: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIEAUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN.

2.4.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG

Auch bei dem Vergleich der PHPP Berechnungen mit dem Messwert wurde der Aufbau der Grafik und die zugehörige Erläuterung bereits weiter oben gegeben (Abschnitt 2.2.3).

Das bei einer vollständigen Sanierung zu erwartende Potential ergibt sich bei BEST05 zu 19,5 kWh/(m²a), der bisherige Sanierungsschritt lässt bei Standardbedingungen 27,4 kWh/(m²a) erwarten. Die Bedingungen im Messjahr (2020) lassen einen Heizwärmeverbrauch von 21,0 kWh/(m²a) annehmen. Das Ergebnis des Monitorings liegt mit 10,3 kWh/(m²a) extrem niedrig, obwohl eine relativ hohe Innentemperatur dokumentiert wurde (21,6°C).

Auch hier schränkt die kleine Stichprobe die Aussagekraft ein. Daher ist die Standardabweichung des Mittelwertes mit 16,0 kWh/(m²a) bei dem niedrigen Mittelwert relativ groß. Die Messdaten mit 10,3 kWh/(m²a) stellen ein extrem gutes Ergebnis einer Sanierung dar.



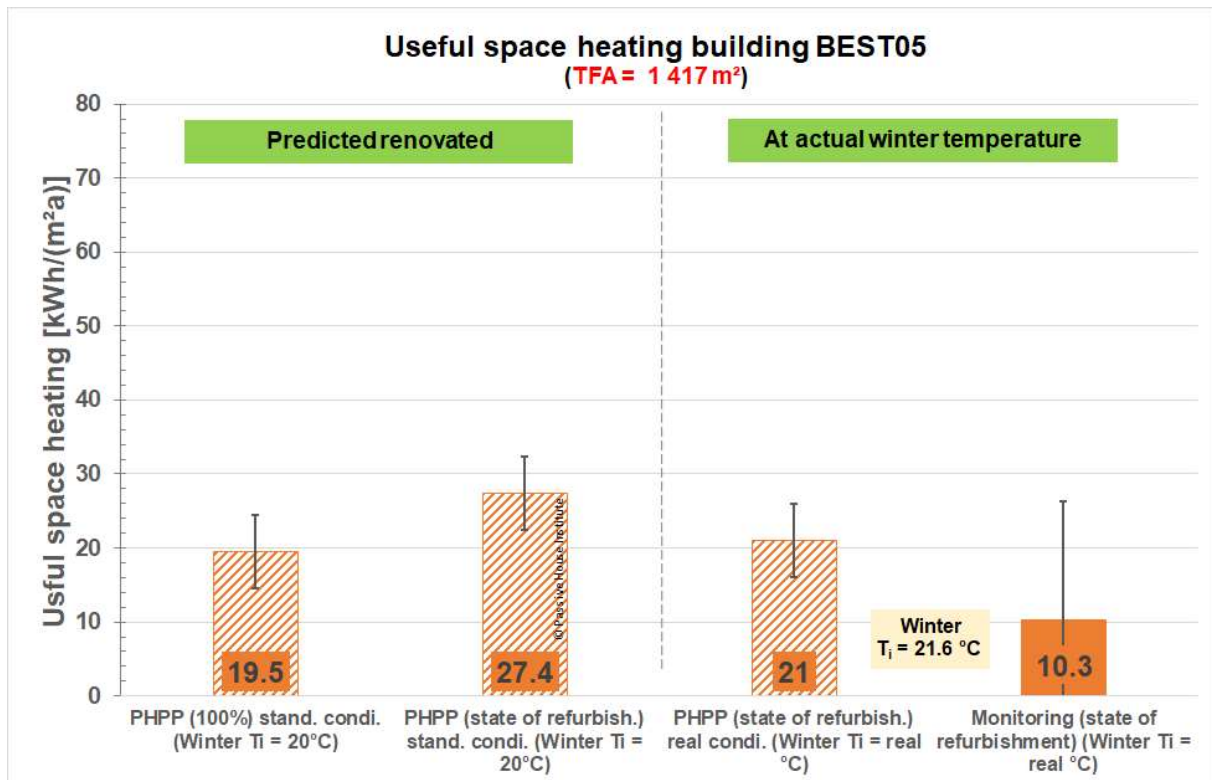


ABBILDUNG 19: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIE BILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RANDBEDINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.2.3.

Aufgrund des sehr niedrigen Monitoring-Ergebnisses ergibt sich eine sehr hohe Einsparung gegenüber der Berechnung des Heizwärmebedarfs der Altsituation (Standardbedingungen, 20°C) von 91 %. Solche hohen Einsparungen sind auch bei anderen systematischen Sanierungen mit Passivhaus-Komponenten erreicht worden. Allerdings handelt es sich dann immer um vollständige Sanierungen.

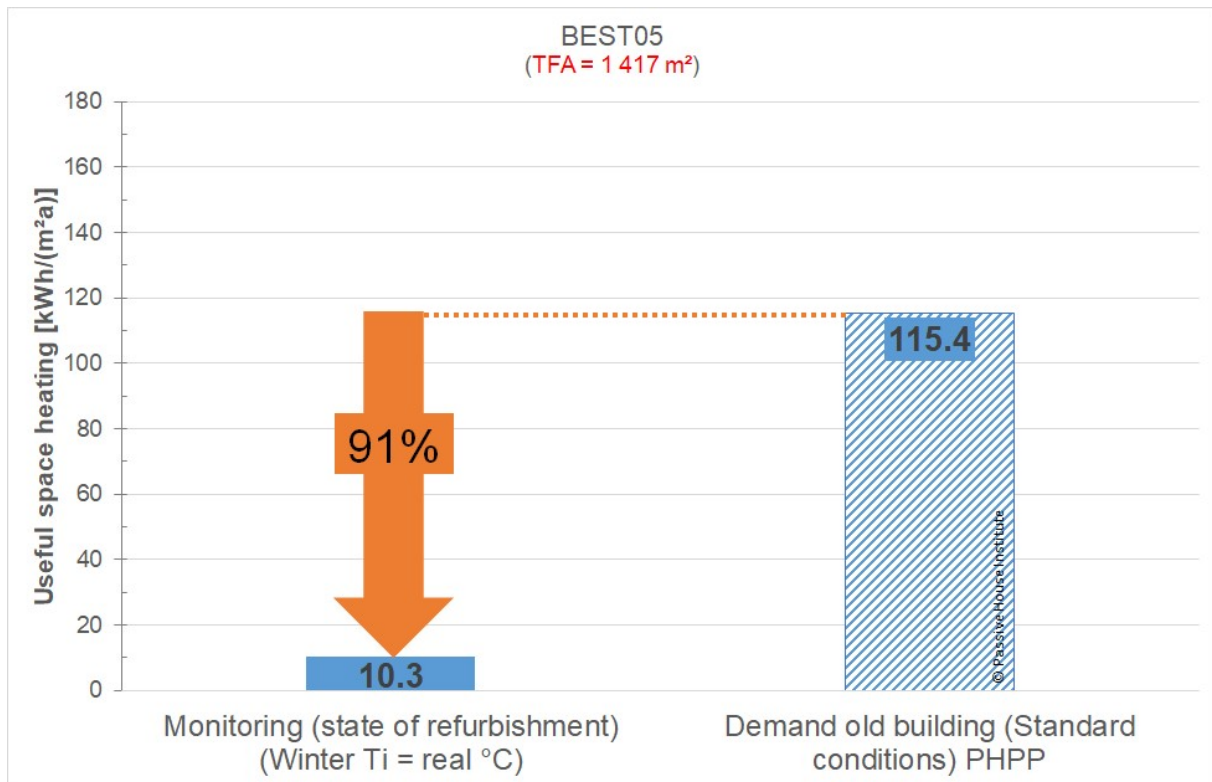


ABBILDUNG 20: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN, GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTES MIT DEN ENERGIEBEDARF (BERECHNUNG) DES ALTEN GEBÄUDES BEST05 (PHPP).

2.5 GEBÄUDE BEST16 (SCHULGEBÄUDE)

2.5.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST16:



ABBILDUNG 21: ANSICHT AUF DAS GEBÄUDE NACH DER SANIERUNG (QUELLE: GOOGLE.COM)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu dem Schulgebäude können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABELLE 4: VORSTELLUNG DES GEBÄUDES BEST16

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck (Schule)
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	2.352 / 3.185 (Südtrakt der Schule)
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1956 / Nov. 2018
4	Anzahl der Wohnungen: gesamt/ Messung Energieverbrauch	Südgebäude der Schule
5	Sanierungszustand	Komplette Sanierung
6	Zeitraum der Datenanalyse	Februar 2020 bis Januar 2021
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	22,5°C

2.5.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Für diese Schule zeigen die BEST-Sheets Bedarfswerte für die unsanierte Schule von 120 kWh/(m²a) gegenüber der Vollsanierung von 32,2 kWh/(m²a). Die Energieausweise berücksichtigen die durchgeführte Sanierung und als Bedarfswert ergeben sich 14,1 kWh/(m²a). Der Messwert zeigt nur 15,9 kWh/(m²a) an, wenn die Bezugsfläche der 3.185 m² berücksichtigt wird. Die Erläuterung des Diagrammaufbaus findet sich in Abschnitt 2.2.2.

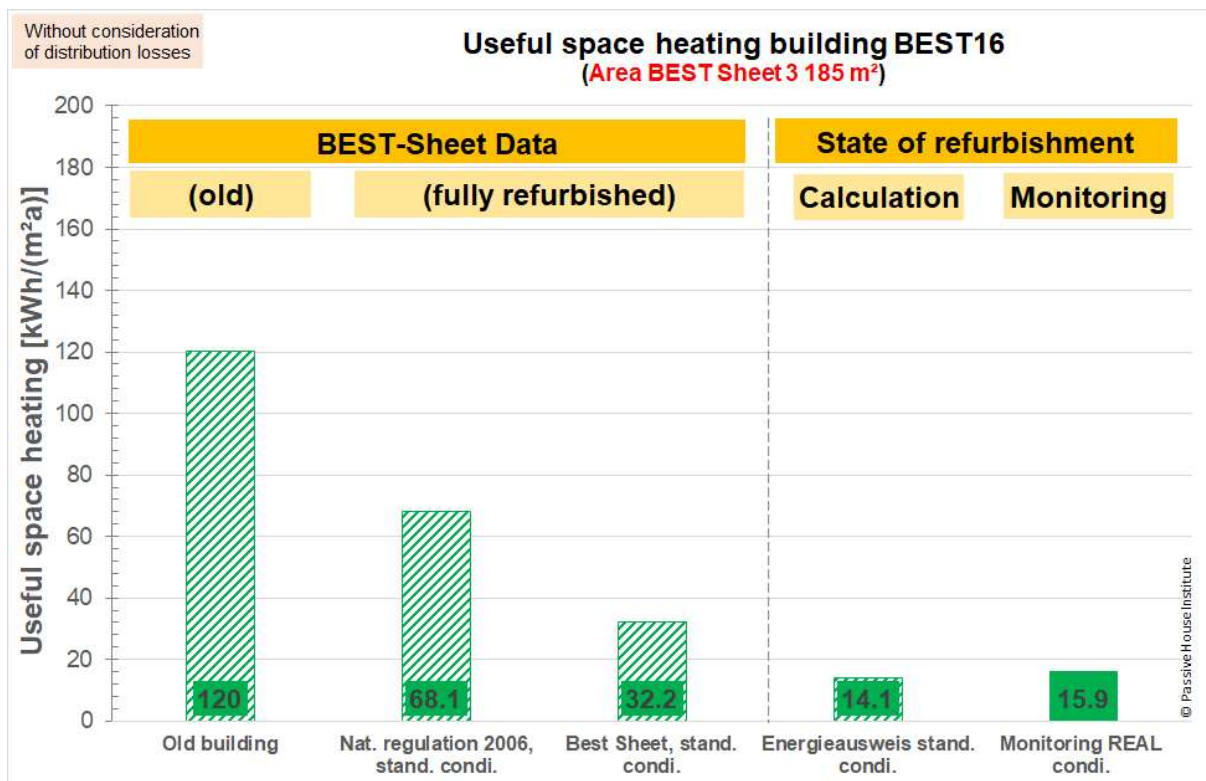


ABBILDUNG 22: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIE-AUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN.

2.5.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG

Die Untersuchung der vollständig durchgeführten Schulsanierung mit dem Bilanztool PHPP führt bei Standardbedingungen bereits auf moderate 23,7 kWh/(m²a) (Information zum Diagramm siehe Abschnitt 2.2.3). Die Realbedingungen vom Zeitraum Februar 2020 bis Januar 2021 ergeben sich bei der gemessenen Innentemperatur von 22,5°C auf den noch geringeren Bedarfswert von nur 21,9 kWh/(m²a). Der Jahresverbrauchwert zeigt mit 21,5 kWh/(m²a) einen niedrigen Verbrauch trotz



der relativ hohen Innentemperatur. Als Messunsicherheit wird hier ein üblicher Wert von $\pm 5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ angenommen. Trotzdem kann mit hoher Sicherheit auch hier der generell große Erfolg der durchgeführten Sanierung festgestellt werden: Ein Schulgebäude mit Verbrauchswerten von um $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ zu betreiben ist auf jeden Fall ambitioniert.

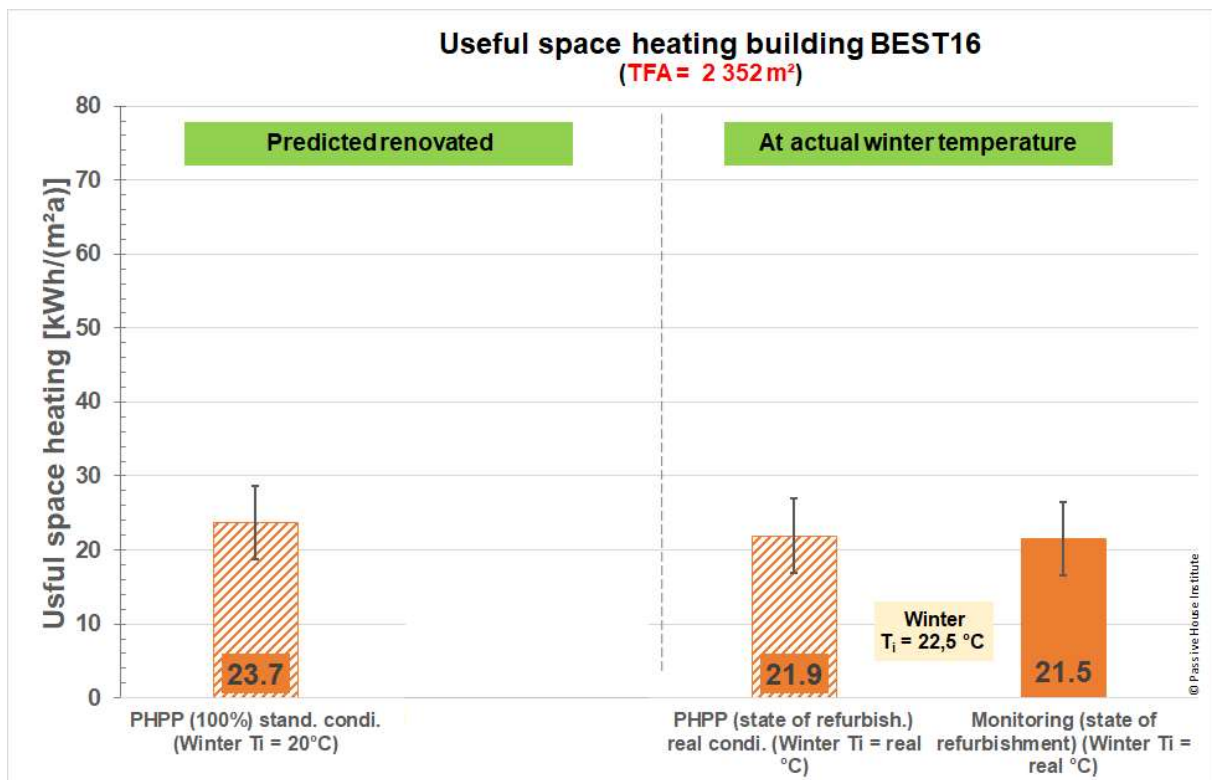


ABBILDUNG 23: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIE BILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RAND-BEDINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.2.3.

Die Berechnung der Bedingungen vor der Sanierung mittels PHPP bei Standardbedingungen führen bei dem Schulgebäude auf einen Heizwärmebedarf von $209 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Verglichen mit dem Messwert nach der Sanierung zeigt sich in der folgenden Abbildung die massive Einsparung von über 90 %. Dies macht den tatsächlichen Erfolg der thermischen Sanierung des Gebäudes deutlich.

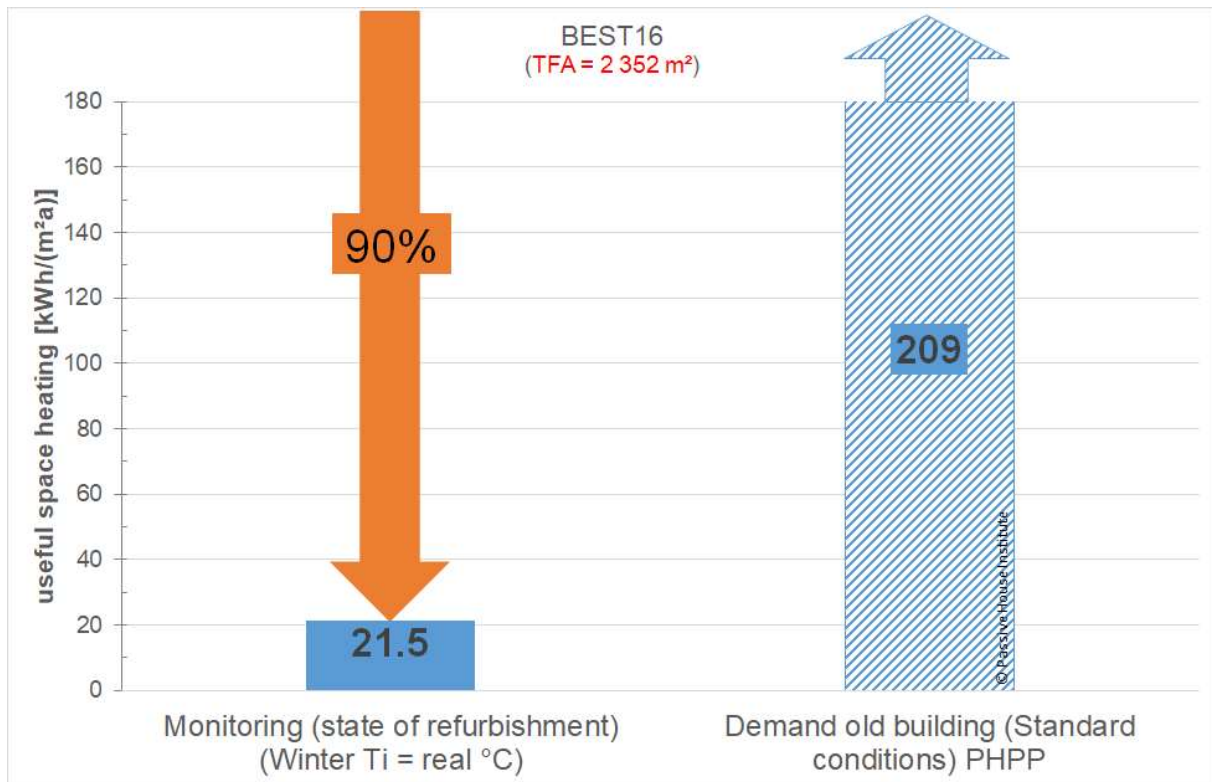


ABBILDUNG 24: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN, GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTES MIT DEN ENERGIEBEDARF (BERECHNUNG) DES ALTEN GEBÄUDES BEST16 (PHPP).

2.6 GEBÄUDE BEST17 (SCHULGEBÄUDE):

2.6.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST17:



ABBILDUNG 25: GEBÄUDEANSICHT NACH DER SANIERUNG (QUELLE: GOOGLE.COM)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu dem Schulgebäude können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABLE 5: VORSTELLUNG DES GEBÄUDES BEST17

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck (Schule)
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	- / 5.616
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1960 / Jan. 2016 und Nov. 2018
4	Anzahl der Wohnungen: gesamt/ Messung Energieverbrauch	Gebäudeabschnitte BA1 + BA2
5	Sanierungszustand	Komplette Sanierung
6	Zeitraum der Datenanalyse	Nicht vorhanden
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	Nicht vorhanden

2.6.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Für diese Schule zeigen die BEST-Sheets Bedarfswerte für die unsanierte Schule von 135,2 kWh/(m²a) gegenüber der durchgeführten Vollsanierung von 69,3 kWh/(m²a). Die Energieausweise berücksichtigen die durchgeführte Sanierung und als Bedarfswert ergeben sich 65,9 kWh/(m²a).

Die Messdaten zur Ermittlung der Verbrauchsdaten sind nicht verfügbar. Es kann aber auf die Arbeit von [Sengel 2018] zurückgegriffen werden. Die Auswertung dort wurde nicht nach dem gleichen Vorgehen wie in dieser Analyse durchgeführt. Für den Heizwärmeverbrauch wurde dort im unsanierten Zustand 118,6 kWh/(m²a) angegeben. Nach der Sanierung betrug der Verbrauch für das Jahr 2017 laut Lukas Sengel 35,7 kWh/(m²a). Die Temperaturmessungen ergaben eine Innentemperatur von 24,5°C. Da sich die Daten nicht direkt mit den in diesem Bericht vergleichen lassen, werden die Werte hier nicht weiter verwendet.

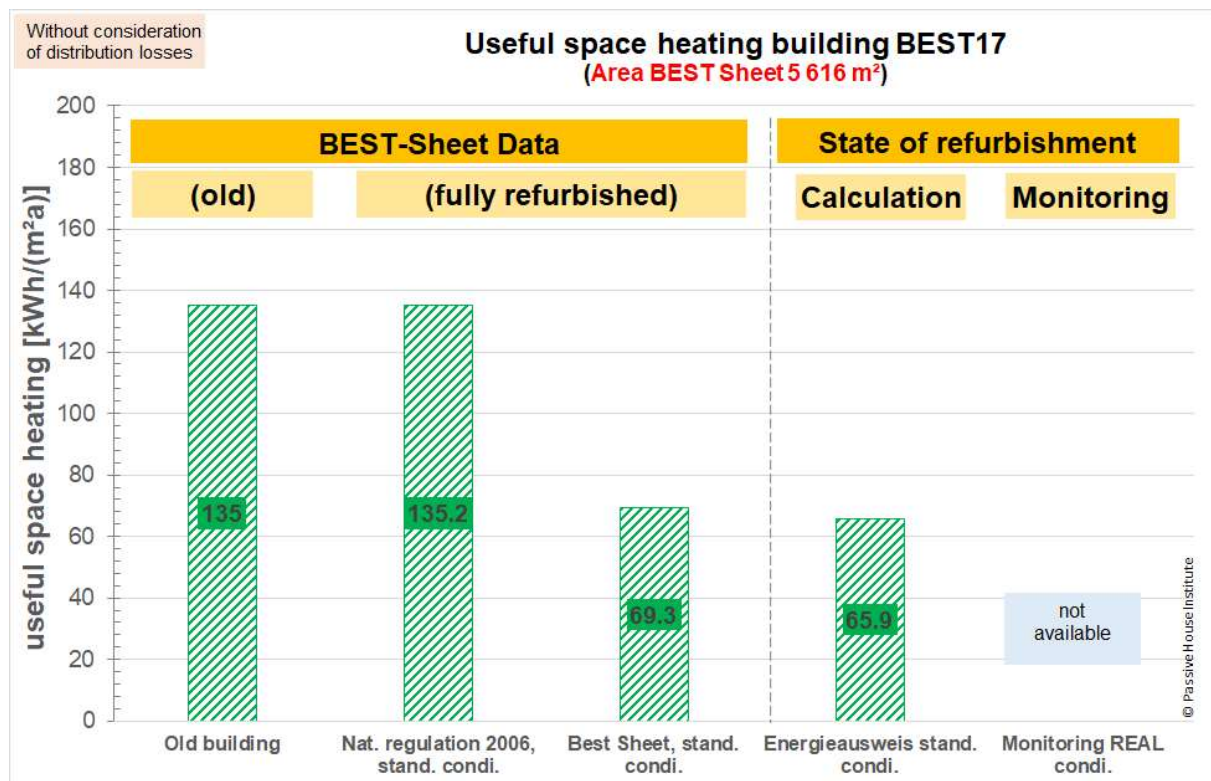


ABBILDUNG 26: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIEAUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN). DIE GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTE LIEGEN NICHT VOR.



2.7 GEBÄUDE BEST18 (SCHULGEBÄUDE):

2.7.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST18:



ABBILDUNG 27: GEBÄUDEANSICHT NACH DER SANIERUNG (QUELLE: GOOGLE.COM)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu dem Schulgebäude können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABELLE 6: VORSTELLUNG DES GEBÄUDES BEST18

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck (Schule)
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	2.050 (nur Gebäudetrakt BT1 + BT2) 3.073 (nur Gebäudetrakt BT1 + BT2) 5.139 (ganzes Schulgebäude)
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1956 / Nov. 2016
4	Anzahl der Wohnungen: gesamt/ Messung Energieverbrauch	Gebäudetrakt BT1 + BT2
5	Sanierungszustand	Komplette Sanierung (Gebäudetrakt BT1 + BT2)
6	Zeitraum der Datenanalyse	Februar 2020 bis Januar 2021
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	21,4 °C

2.7.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Bei dem Schulgebäude wurde bei der Erstellung des BEST-Sheets die Gesamtfläche der Schulgebäude angesetzt (5.139 m²). Saniert und untersucht wurde dann allerdings nur der Südtrakt der Schule. Dieser



Teil verfügt laut dem Energieausweis über 3.073 m² bzw. nach der PHPP Berechnung über eine EBF von 2.050 m². Aus diesem Grund werden die Diagramme in aufgeteilter Form dargestellt. Für die gesamte Schule zeigen die BEST-Sheets Bedarfswerte für den unsanierten Gesamtkomplex von 157 kWh/(m²a) gegenüber der Vollsanierung von 30,3 kWh/(m²a).

Die Energieausweise berücksichtigen die durchgeführte Sanierung und berechnen den Bedarf zu nur 13,4 kWh/(m²a) bei den zugrundeliegenden 3.073 m². Der Messwert des Südtraktes zeigt dagegen 17,9 kWh/(m²a) an.

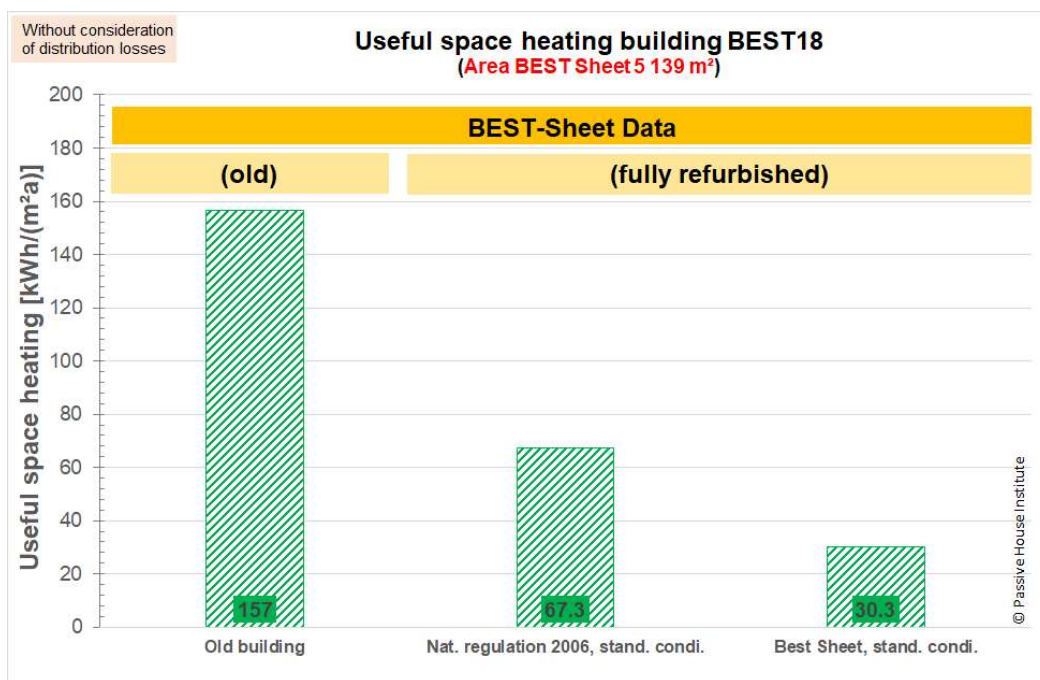


ABBILDUNG 28: SPEZIFISCHER ENERGIEVERBRAUCH (BERECHNUNG) GEMÄSS DER BEST-SHEETS BEZOGEN AUF DIE GEBÄUDEFLÄCHE DES BEST-SHEET DER GESAMTEN SCHULE (TRAKT BT1 BIS BT4).

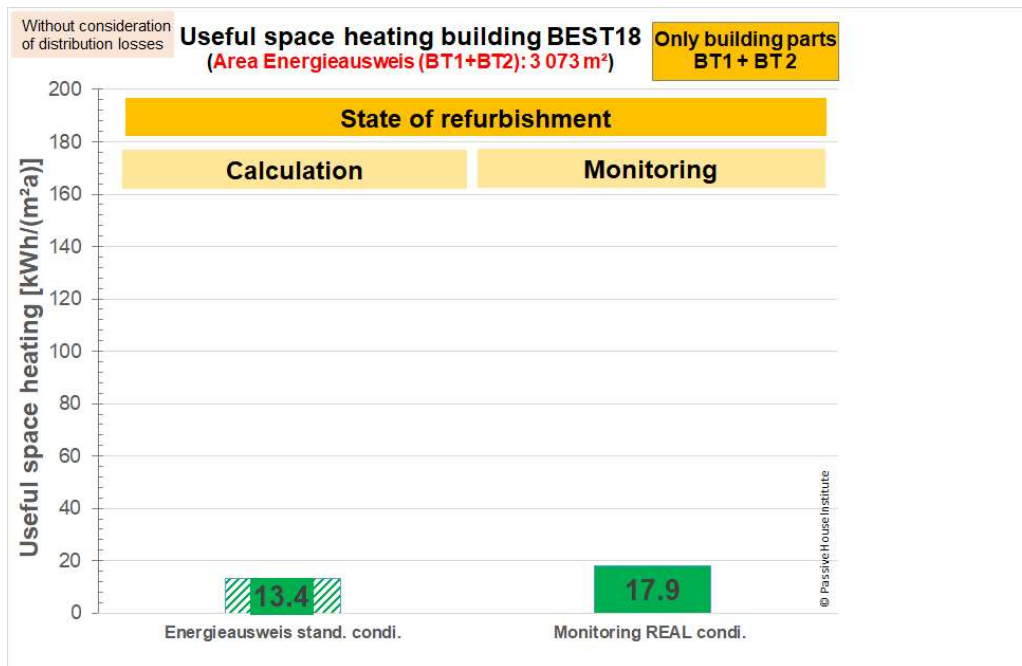


ABBILDUNG 29: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIE-AUSWEIS MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN DER GEBÄUDETRAKTE BT1 + BT2.

2.7.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG

Bei der Schule wurde eine vollständige Sanierung für die Trakte BT1 und BT2 durchgeführt. Aufgrund der Vollsanierung ist bei der Berechnung mittels PHPP die Fassung für den "derzeitigen Sanierungsschritt" identisch mit der Vollsanierung. Die Berechnung für das sanierte Gebäude ergibt einen Heizwärmebedarf von 24 kWh/(m²a) bei Verwendung des langjährigen Klimadatensatzes Innsbruck und 20°C Standard Innentemperatur.

Wird die Bilanzberechnung an die tatsächlichen Bedingungen des Messzeitraumes angepasst (Wetter 2020/2021, Innentemperatur 21,4°C) ergeben sich rechnerisch 20,7 kWh/(m²a), was damit etwas unter dem Messwert von 26,8 kWh/(m²a) liegt. Bei den vorliegenden Unsicherheiten der Randbedingungen der Bilanzberechnung, sowie der Messung ergibt sich eine gute Übereinstimmung. Als Messunsicherheit wird hier ein üblicher Wert von ±5 kWh/(m²a) angenommen.

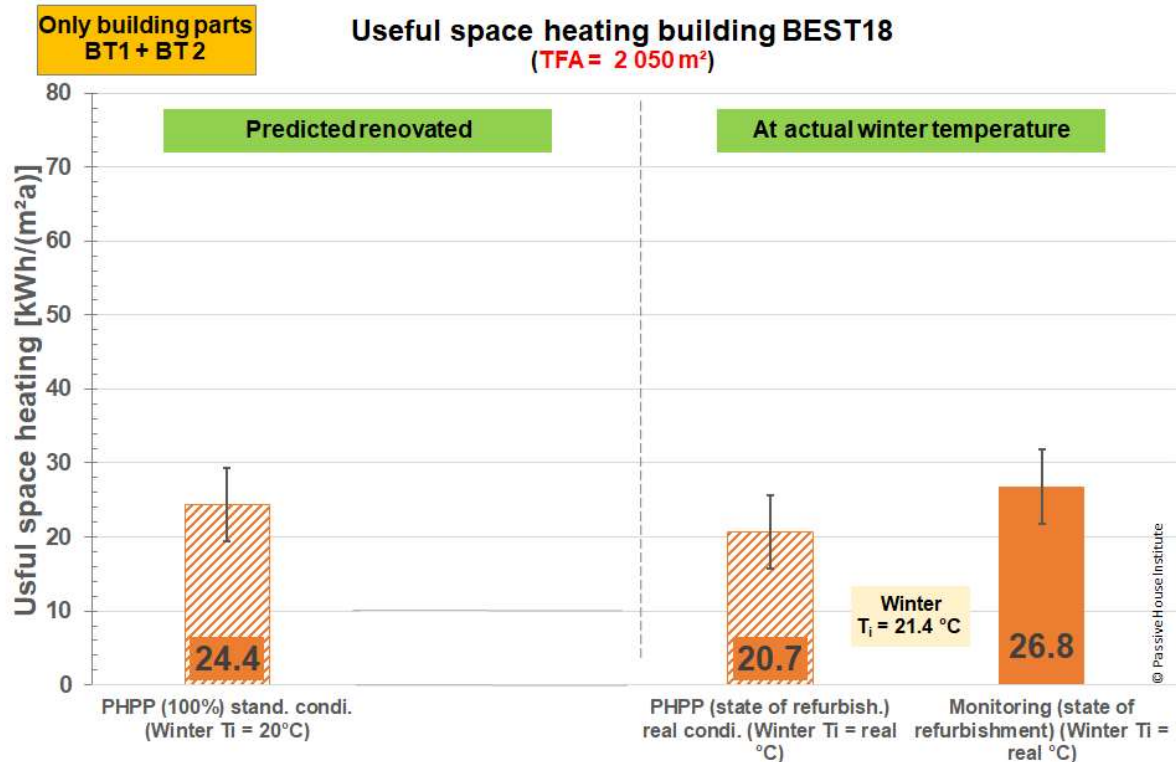


ABBILDUNG 30: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIE BILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RAND-BEDINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.2.3.

Auch für dieses Schulgebäude wurde der Altbauzustand mit dem PHPP bilanziert um den Heizwärmebedarf vor der Sanierung abschätzen zu können. Abbildung 31 zeigt, dass eine Einsparung von fast 90 % realisiert wurde. Das entspricht bei den beiden Bauteilen (BT1 + BT2) der Schule etwa 390.000 kWh pro Jahr Einsparung bei der Heizwärme.

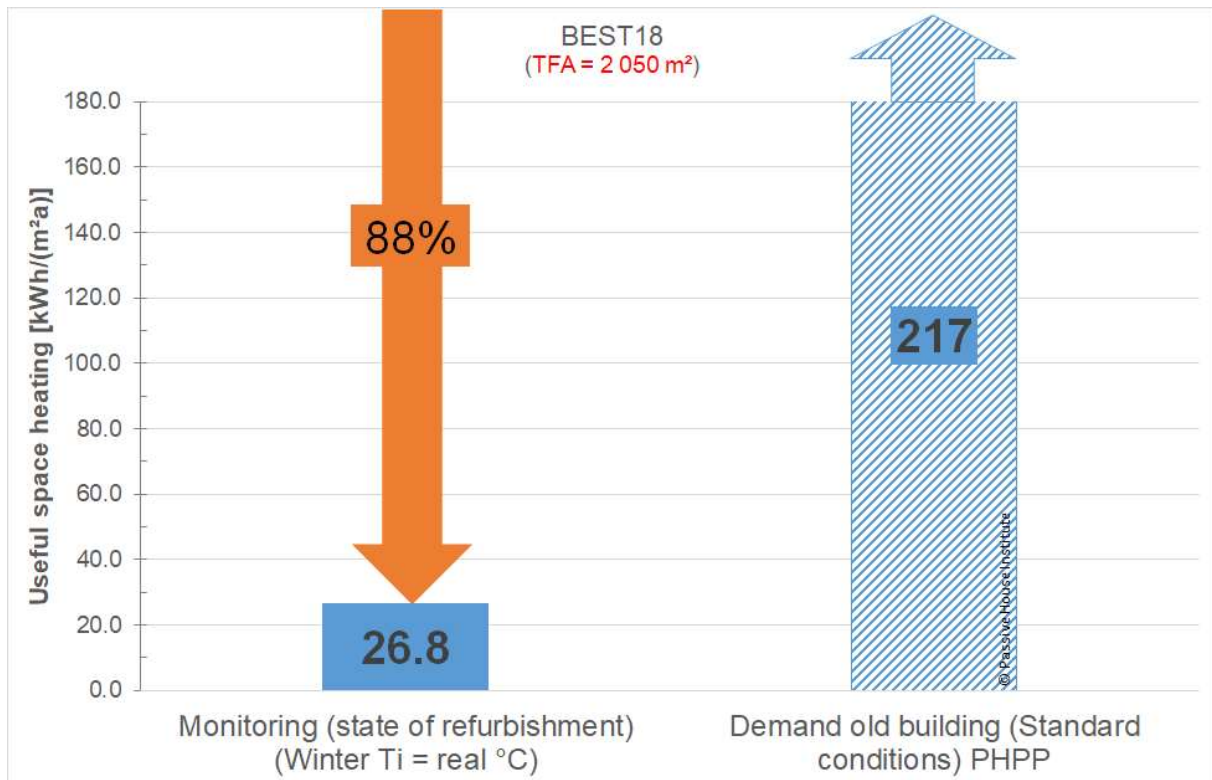


ABBILDUNG 31: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN, GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTES MIT DEN ENERGIEBEDARF (BERECHNUNG) DES ALTEN GEBÄUDES BEST16 (PHPP).

2.8 GEBÄUDE BEST07

2.8.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST07



ABBILDUNG 32: ANSICHT AUF DAS GEBÄUDE NACH DER SANIERUNG (QUELLE: PHI)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu dem Gebäude BEST07 können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABLE 7: VORSTELLUNG DES GEBÄUDES BEST07

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	3.500 / 4.933
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1963 / November 2017
4	Anzahl der Wohnungen gesamt/ Messung Energieverbrauch	49 / 49 (100 % der gesamten Fläche)
5	Sanierungszustand	Die Sanierung wurde in den ersten Schritten umgesetzt: Äußere Dämmung, neue Fenster (72 %), Verbesserung der Luftdichtheit, teilweise Lüftungssysteme (22 %)
6	Zeitraum der Datenanalyse	Mai 2019 bis April 2020
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	21,1 °C

2.8.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Der Aufbau der folgenden Grafik wurde bereits im Abschnitt 2.2.2 erläutert. Für das große Mehrfamiliengebäude mit 49 Wohnungen ergeben sich nach dem Rechenverfahren der Energieausweise als angestrebte Zielgröße für den Heizwärmebedarf $21,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die Besonderheit der Messdatenerfassung des Gebäudes liegt in der Auswertung des zentralen Fernwärmehählers für das Gesamtgebäude. Es werden keine Einzelwerte der Wohnungen erfasst. Bei der Messung des Wärmeverbrauchs des Gesamtgebäudes an der Übergabestation sind alle Umwandlungs-, Speicher- und Verteilverluste enthalten. Da hier Aussagen zur Nutzwärme gemacht werden sollen, muss von dem Messwert diese Energiemenge abgezogen werden. Da dafür keine Messdaten vorliegen, wird ein anteiliger, pauschaler Wert abgezogen. Aus detaillierter vermessenen Gebäuden wurde ein Durchschnittswert von 17 % ermittelt [Peper 2012]. Dieser Anteil wird vom Messwert der Fernwärme abgezogen, um eine Abschätzung der Nutzwärme zu erhalten. Der Messwert der Fernwärme enthält neben dem Wärmeverbrauch der Wohnungen auch den der nicht sanierten Ladengeschäfte im Erdgeschoss. Da keine weitere Messtechnik vorhanden ist um die Verbrauchsbereiche zu unterscheiden musste auf die Heizkostenabrechnung zurückgegriffen werden. Die mittels digitaler Heizkostenverteiler gemessenen Einheiten des Abrechnungsdienstes ergeben einen Anteil für die Wohnungen vom Gesamtverbrauch von 81,9 % [Gspan 2020]. Diese Aufteilung gilt für den Abrechnungszeitraum des Jahres 2019 und nicht auf den der hier untersuchten Messperiode vom Mai 2019 bis April 2020. Da keine anderen Informationen vorliegen, wird der Wert für den Messzeitraum angewendet. Der auf diesem Weg ermittelte spezifische Heizwärmeverbrauch aller 49 Wohnungen wird damit zu $36,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ abgeschätzt.



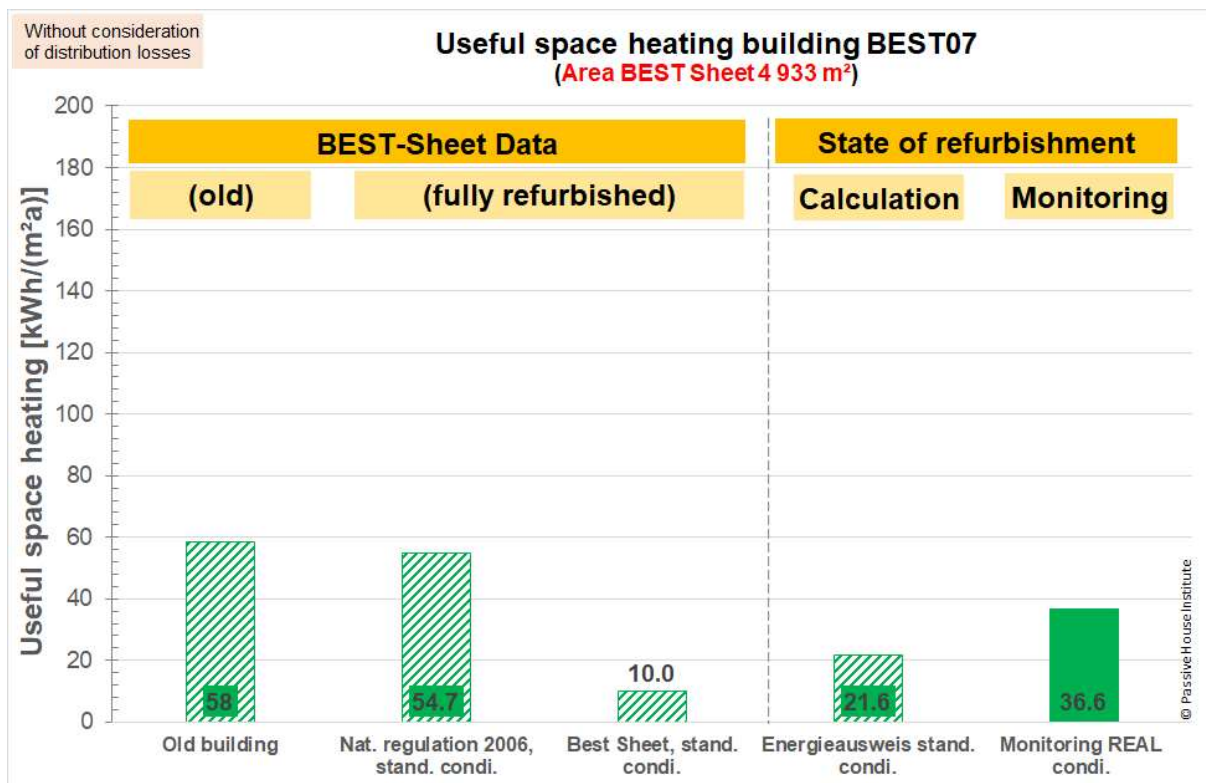


ABBILDUNG 33: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIEAUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN.

2.8.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG

Auch bei dem Vergleich der PHPP Berechnungen mit dem Messwert wurde der Aufbau der Grafik und die zugehörige Erläuterung bereits weiter oben gegeben (Abschnitt 2.2.3). Das bei einer vollständigen Sanierung zu erwartende Potential ergibt sich zu 22,6 kWh/(m²a), der bisherige Sanierungsschritt lässt bei Standardbedingungen 43,1 kWh/(m²a) erwarten. Mit den Bedingungen im Messjahr (Mai 2019 bis April 2020) mit einer Innentemperatur von durchschnittlich 21,1°C und den realen Wetterdaten würde ein Heizwärmebedarf von 40,2 kWh/(m²a) berechnet. Das Messergebnis ist wie oben beschrieben (Abschnitt 2.8.2) aus dem Fernwärmeverbrauch ermittelt worden und wird zu 51,6 kWh/(m²a) abgeschätzt. Aufgrund der großen Berechnungsunsicherheit liegt der Erwartungswert allerdings zwischen 43 und 61 kWh/(m²a). Damit liegen der Bedarfs- und der Verbrauchswert auch hier in einem Überschneidungsbereich.



Bei dem Gebäude müssen noch 35 % der Fenster saniert werden und 75 % Lüftungsanlagen nachgerüstet werden. Der Messwert von 51,6 kWh/(m²a) stellt damit nur das Ergebnis dieser Teilsanierung dar.

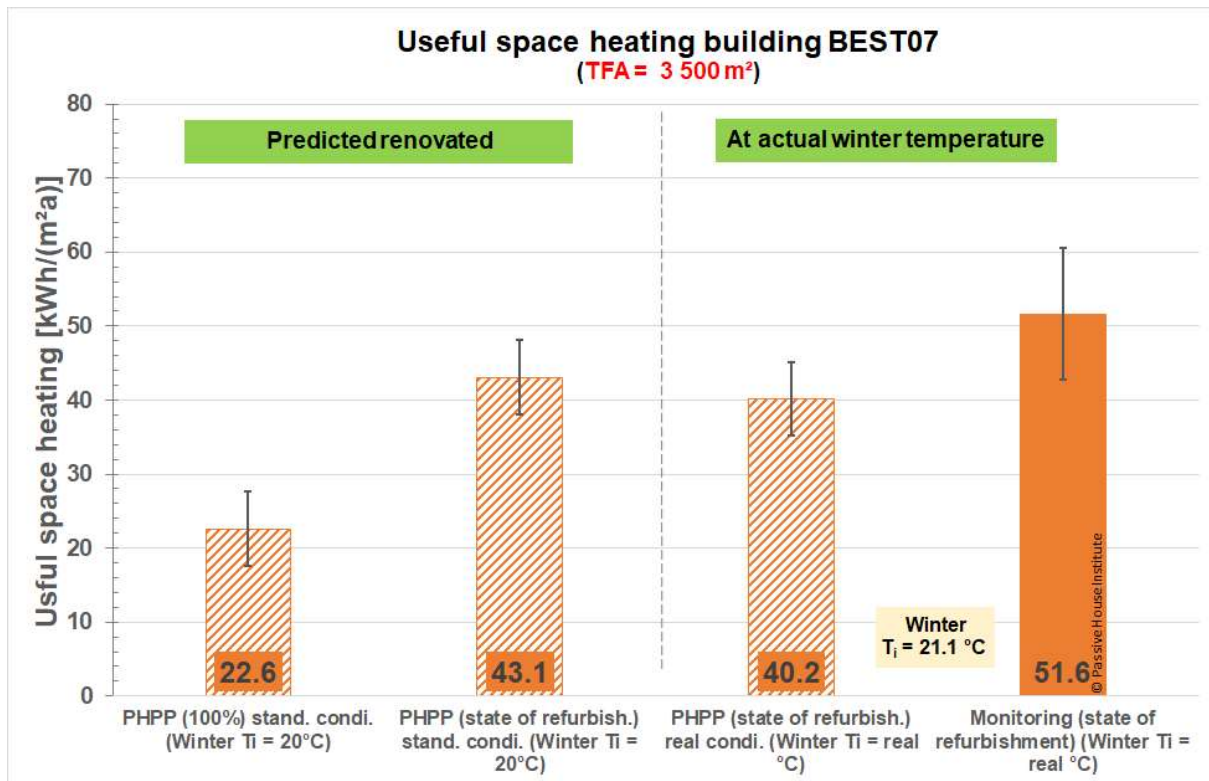


ABBILDUNG 34: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIEBILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RANDBEDINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.2.3.

Aufgrund der ersten Stufe dieser schrittweisen Sanierung (siehe oben) liegt die nachgewiesene Einsparung bei bisher 41 % (Vergleich mit dem Heizwärmebedarfs der Altbausituation (Standardbedingungen, 20°C)). Dabei ist auch der Ausgangszustand des Altbaus mit 87 kWh/(m²a) bereits relativ niedrig. Betrachte man die Einsparung in absoluten Zahlen, beträgt sie über 120.000 kWh pro Jahr für das gesamte Haus (ohne Ladengeschäfte). Damit wird deutlich, dass auch bei diesem Gebäude bereits nennenswerte Einsparungen erzielt werden konnten.

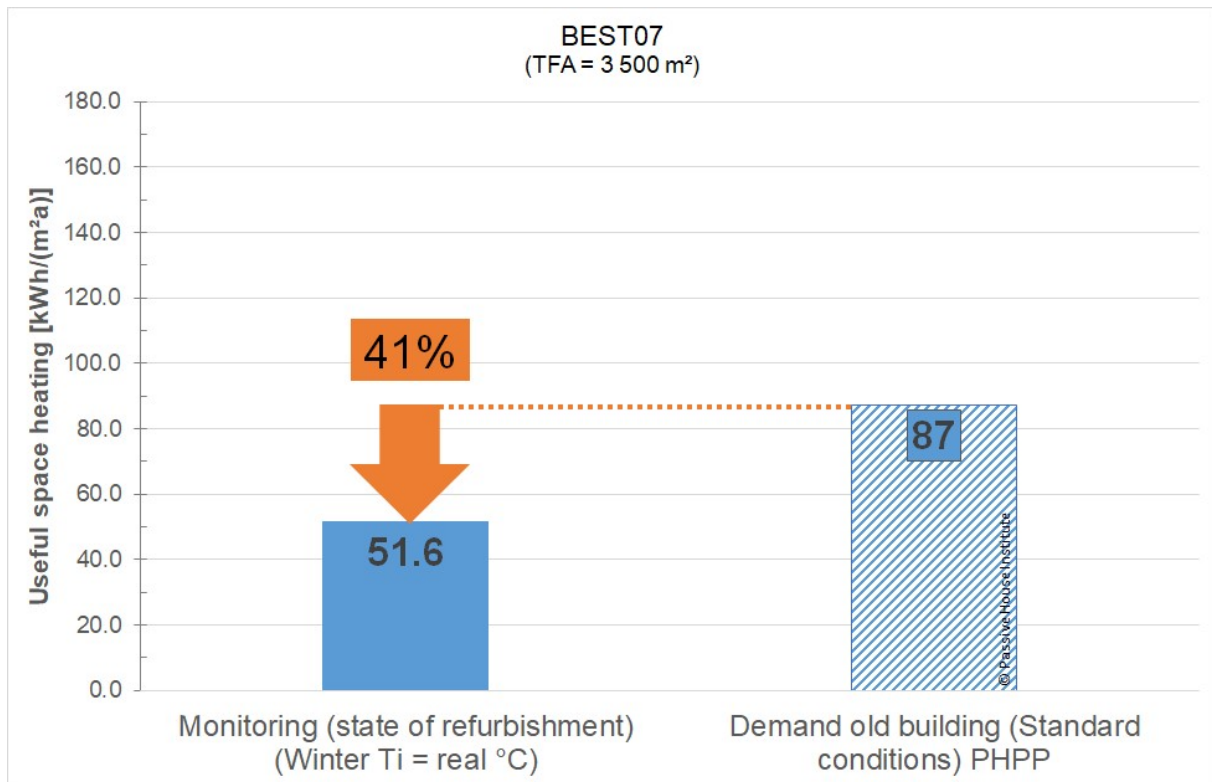


ABBILDUNG 35: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN, GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTES MIT DEN ENERGIEBEDARF (BERECHNUNG) DES ALTEN GEBÄUDES BEST07 (PHPP).

2.9 GEBÄUDE BEST08

2.9.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST08



ABBILDUNG 36: ANSICHT AUF DAS GEBÄUDE NACH DER SANIERUNG (QUELLE: PHI)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu den Gebäuden BEST08 können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABELLE 8: VORSTELLUNG DER GEBÄUDE BEST08

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	2.680 / 3.650
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1953 / Dezember 2019
4	Anzahl der Wohnungen gesamt/ Messung Energieverbrauch	90
5	Sanierungszustand	Die Sanierung wurde in den ersten Schritten umgesetzt: Äußere Dämmung, neue Fenster (100 %), Verbesserung der Luftdichtheit, teilweise Lüftungssysteme (10 %)
6	Zeitraum der Datenanalyse	Nicht vorhanden
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	Nicht vorhanden

2.9.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Bei dem großen Mehrfamilienhaus mit neun Treppenhäusern und 90 Wohnungen wird der Verbrauch im unsanierten Zustand in den BEST Sheets mit $154 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ angegeben, bei Bezug auf die Fläche nach den BEST-Sheets von 3.650 m^2 . Nach erfolgter Gesamtanierung ergibt sich rechnerisch ein Wert von $24,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Der Wert nach der Berechnung der Energieausweise liegt mit $31,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ etwas höher. Der Aufbau der folgenden Grafik wurde umfangreich bereits im Abschnitt 2.2.2 erläutert.

Die Messungen zum Energieverbrauch erfolgen bei dem Gebäude für jedes Treppenhaus getrennt und nicht pro Wohnung. Aufgrund der gemischten Versorgungsstruktur mit Strom, Gas und Festbrennstoff kann aus den Messwerten je Treppenhaus nicht der Wärmeverbrauch je beheizter Fläche berechnet werden. Daher sind hier leider keine Angaben zu den Messwerten möglich.

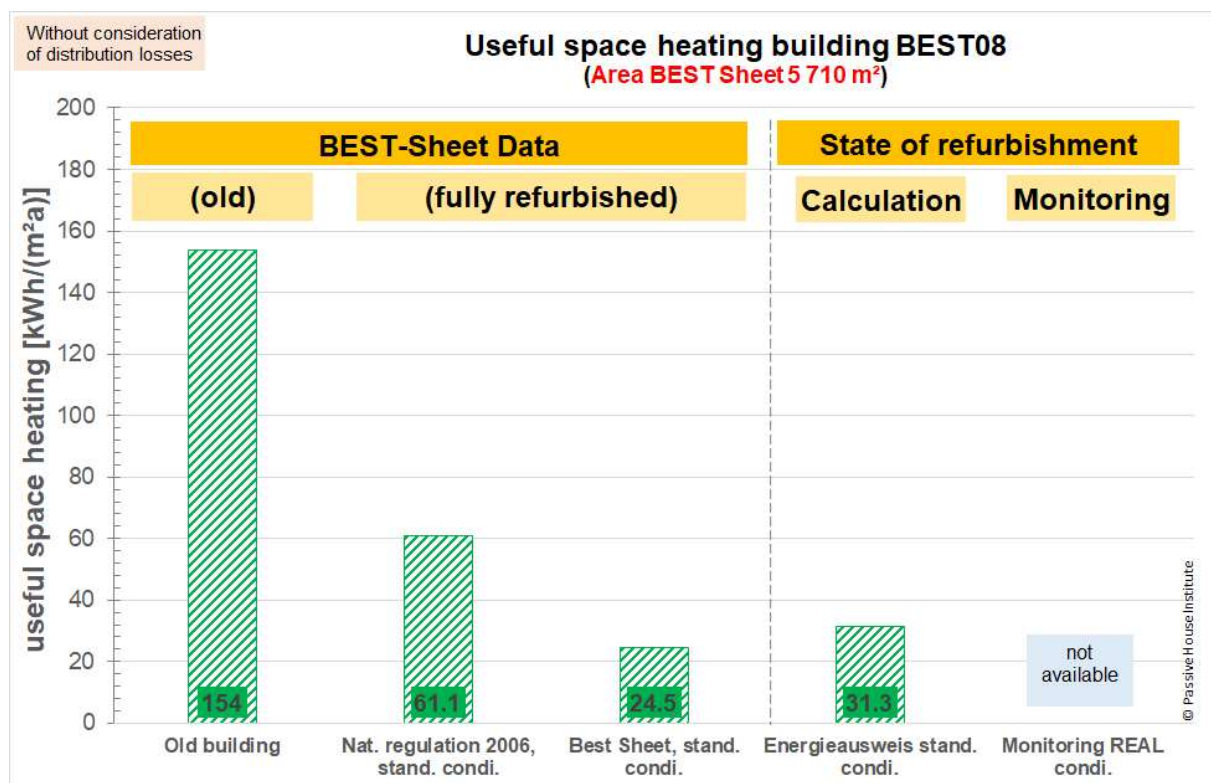


ABBILDUNG 37: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIEAUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN.

2.9.3 VERGLEICH B: PHPP

Bei dem großen und kompakten Gebäude ergeben die Energiebilanz-Berechnungen mittels PHPP einen erwarteten Wert bei einer vollständigen Sanierung von nur 17,3 kWh/(m²a). Die Sanierung ist bisher bei der Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung nur bei 10 % der Wohnungen umgesetzt worden. Es wurden bereits alle Fenster erneuert. Rechnerisch ergibt sich für diesen Stand der Sanierung bei Standardbedingungen des Wetters (Innsbruck) und einer Innentemperatur von 20°C ein Heizenergiebedarf von 36,5 kWh/(m²a). Werden die Wetterbedingungen des Jahres 2020 zugrunde gelegt und eine typische, durchschnittliche Innentemperatur von 21,5°C angenommen [Peper 2012] ergibt sich der Heizwärmebedarf zu nur noch 25,3 kWh/(m²a) für diesen Sanierungsfortschritt. Abweichend von der Erläuterung zum Diagramm in Abschnitt 2.2.3 kann der Messwert hier nicht dargestellt werden.

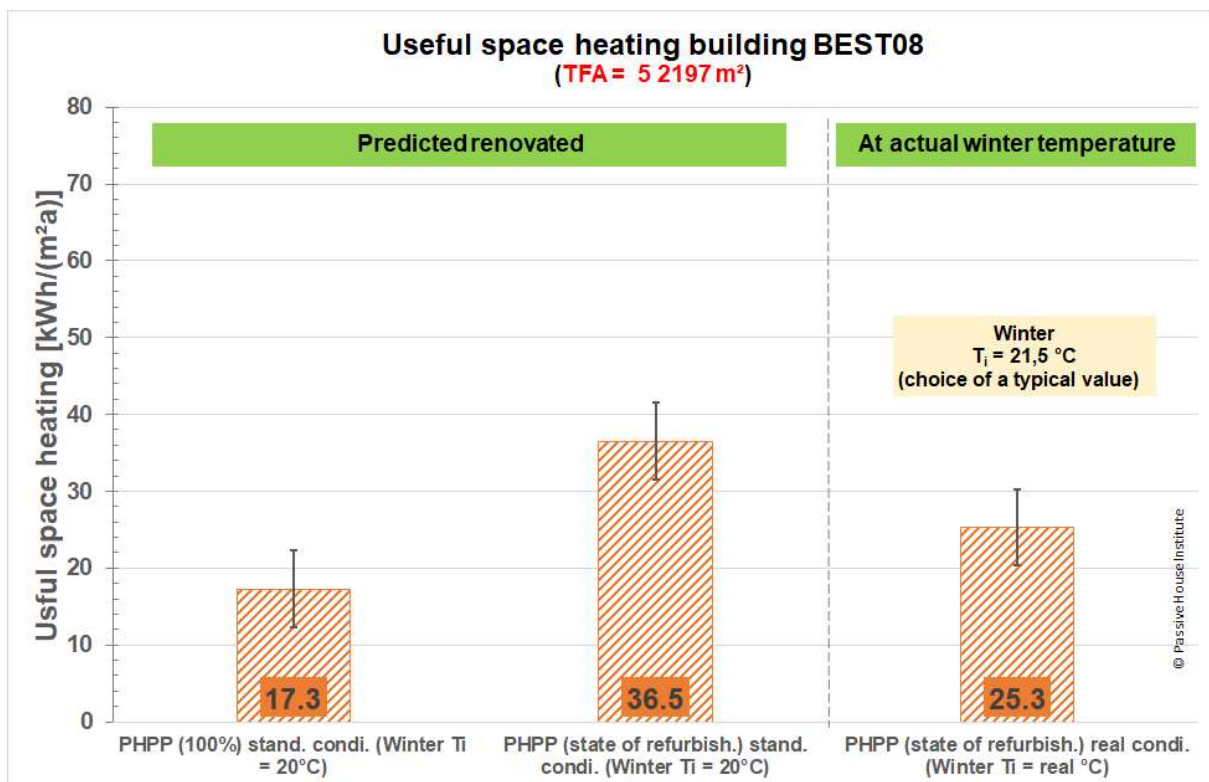


ABBILDUNG 38: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIEBILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RANDBEDINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.2.3.



2.10 GEBÄUDE BEST11

2.10.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST11



ABBILDUNG 39: GEBÄUDEANSICHT NACH DER SANIERUNG (QUELLE: PHI)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu den Gebäuden BEST11 können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABELLE 9: VORSTELLUNG DER GEBÄUDE BEST11

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	5.919 / 6.994
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1958 / Sep. 2016
4	Anzahl der Wohnungen: gesamt/ Messung Energieverbrauch	80 / 13 (16 % der kompletten Fläche)
5	Sanierungszustand	Die Sanierung wurde in den ersten Schritten umgesetzt: Äußere Dämmung, neue Fenster (60 %), Verbesserung der Luftdichtheit, teilweise Lüftungssysteme (37 %)
6	Zeitraum der Datenanalyse	Oktober 2019 bis September 2020
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	22,7 °C

2.10.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Auch hier wird der in Abschnitt 2.2.2 bereits erläuterte, identische Aufbau des Diagramms verwendet. Für die beiden Mehrfamiliengebäude ergeben sich nach dem Rechenverfahren der Energieausweise als angestrebte Zielgröße für den Heizwärmebedarf $28,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Bei diesen beiden Gebäuden mit insgesamt 80 Wohnungen werden wieder Verbrauchswerte aus Einzelwohnungen ausgewertet. Der gemessene spezifische Heizwärmeverbrauch der untersuchten Wohnungen des Objektes BEST11 beträgt $39,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

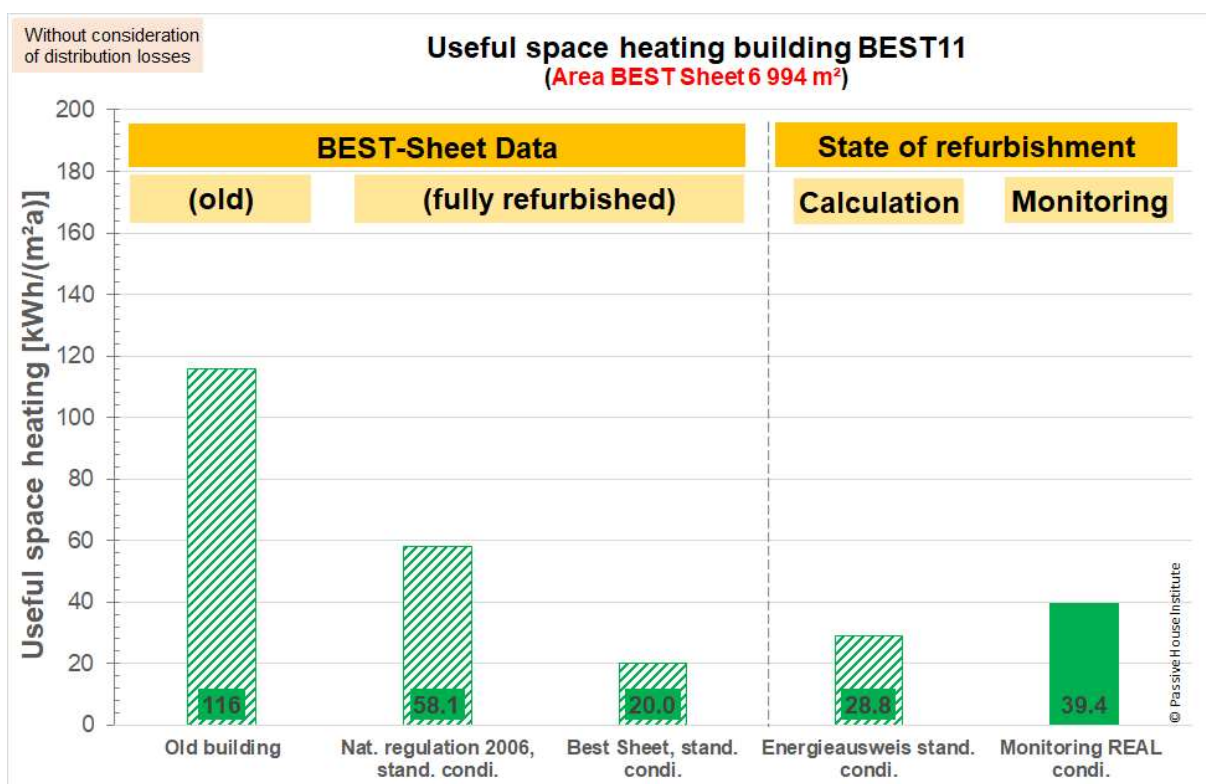


ABBILDUNG 40: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIEAUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN.

2.10.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG

Vollständig saniert wird bei diesen beiden Gebäuden ein Mittelwert für den Heizwärmebedarf von nur $17,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bei Standardbedingungen erwartet (Diagrammerläuterungen siehe Abschnitt 2.2.3). Der bisher realisierte Sanierungsschritt lässt bei Standardbedingungen $40,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ erwarten. Im Messjahr (Okt. 2019 bis Sep. 2020) ergibt die mittlere Innentemperatur in der Heizzeit mit $22,7^\circ\text{C}$ einen



relativ hohen Wert. Aufgrund der milden Wetterbedingungen wirkt sich diese gegenüber der Standardnutzung aber im Gesamtergebnis nicht so stark aus: Der Bedarfswert bei Eingabe der realen Bedingungen während der 12 Monate (Wetterdaten, Innentemperatur) sinkt auf zu erwartende 28,8 kWh/(m²a). Der Heizwärmeverbrauch dagegen wird in 13 der 80 Wohnungen mit 46,6 kWh/(m²a) gemessen. Er liegt damit höher als die Bilanzberechnung; unter Berücksichtigung des Konvidenzintervalls und der Bilanzgenauigkeit (PHPP) bleibt auch diese Abweichung erklärbar. Die Ursachen für die etwas höhere Abweichung können ganz unterschiedlicher Natur sein, sind aber im Rahmen der Untersuchungstiefe nicht aufzuklären. Zu vermuten ist, dass es sich um eine ungünstige Stichprobe der Messwerte aus den Wohnungen handeln könnte. Üblicherweise werden sehr gute Übereinstimmungen zwischen einer Messung und der Bilanzberechnung erzielt (vgl. Abbildung 9). Werden bei den beiden Gebäuden im nächsten Schritt noch die 40 % Fenster erneuert und in 63 % der Wohnungen Lüftungsanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung installiert, ist zu erwarten, dass sich der Verbrauchswert noch deutlich verringert.



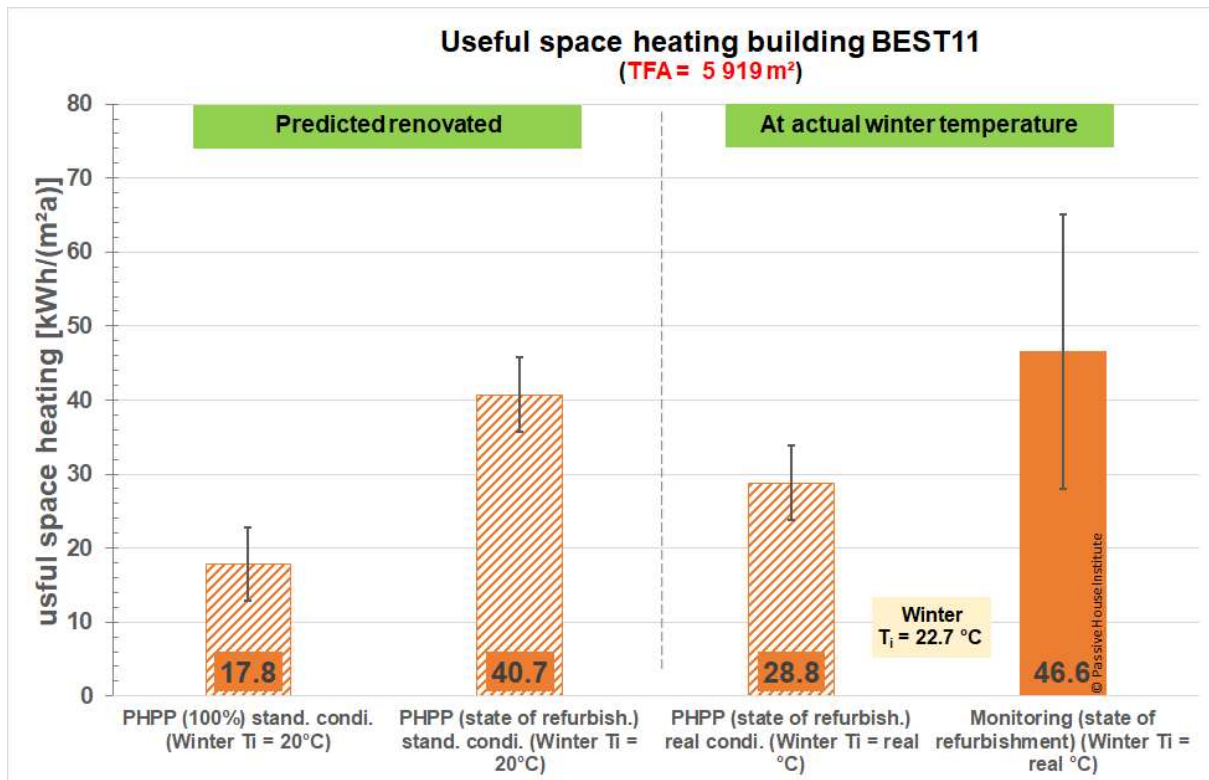


ABBILDUNG 41: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIE BILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RANDBEDINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.2.3.

Auch bei diesen beiden Gebäuden kann im Mittel eine hohe Einsparung gegenüber der Altbausituation (Standardbedingungen) erreicht werden. Es ergibt sich ein Wert von 58 %, was die Gebäudesanierung als erfolgreich für den ersten Sanierungsschritt bewertet.

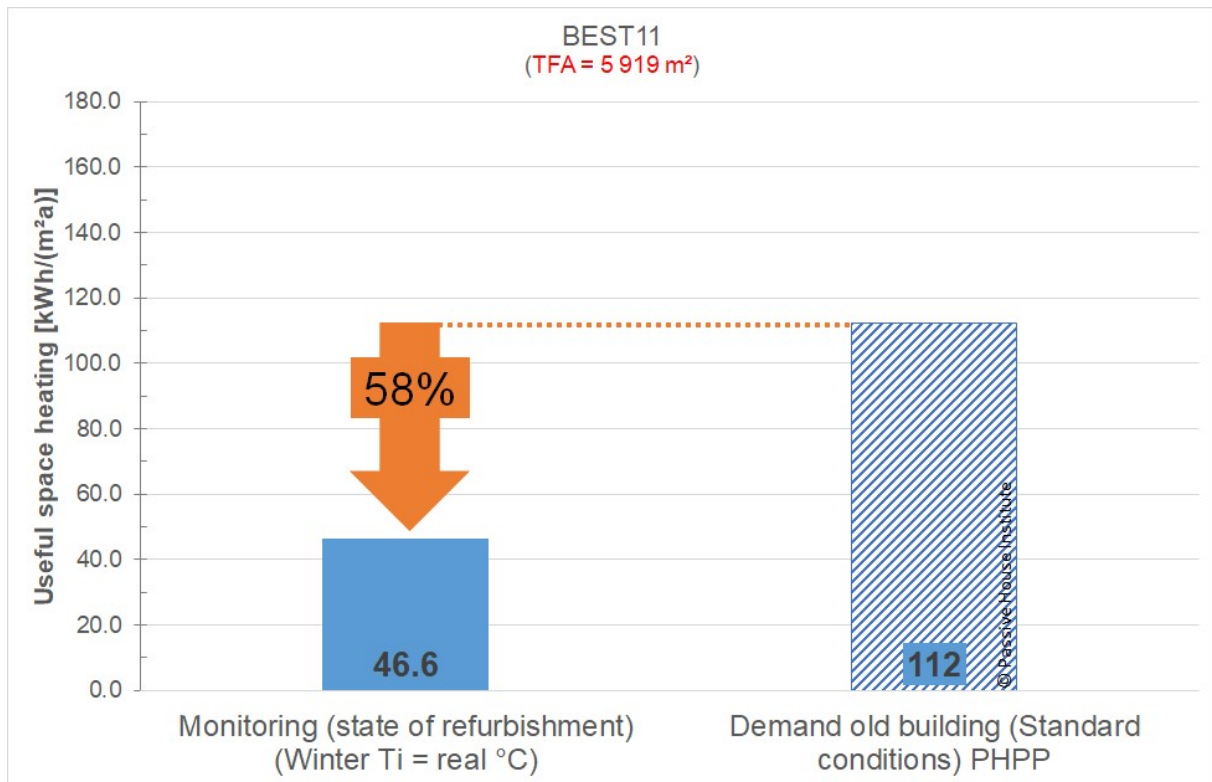


ABBILDUNG 42: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN, GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTES MIT DEN ENERGIEBEDARF (BERECHNUNG) DES ALTEN GEBÄUDES BEST11 (PHPP).

2.11 GEBÄUDE BEST12

2.11.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST12



ABBILDUNG 43: GEBÄUDEANSICHT NACH DER SANIERUNG (QUELLE: PHI)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu den sechs Mehrfamilienhäusern vom BEST12 können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABELLE 10: VORSTELLUNG DES GEBÄUDES BEST12

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck; Domanigweg 2-8, Lönsstr. 20-28, Mößlgasse 17/19, 36
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	5.213 / 6.653
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1958 / Mai 2019
4	Anzahl der Wohnungen: gesamt/ Messung Energieverbrauch	85 / 21 (25 % der kompletten Fläche)
5	Sanierungszustand	Die Sanierung wurde in den ersten Schritten umgesetzt: Äußere Dämmung, neue Fenster (100 %), Verbesserung der Luftdichtheit, teilweise Lüftungssysteme (77 %)
6	Zeitraum der Datenanalyse	Oktober 2019 bis September 2020
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	21,7°C

2.11.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Bei diesem Projekt handelt es sich um eine Ansammlung von sechs Mehrfamiliengebäuden unterschiedlicher Größe und Gebäudeausrichtung; sie werden im BEST12 zusammengefasst. Der Aufbau der folgenden Grafik wurde bereits im Abschnitt 2.2.2 erläutert. Die Berechnung der Energieausweise ergibt einen Mittelwert von 23,3 kWh/(m²a) bei den standardisierten Vorgaben. Der Wert der Messdatenauswertung der 21 Beispielwohnungen ergibt einen Verbrauch für die Heizwärme von 20,7 kWh/(m²a). Damit liegt der Messwert nur geringfügig unter dem Wert der Energieausweise. Dabei liegen gemessenen Verbrauchswerte von zwei bis acht Wohnungen von jedem Gebäude vor.

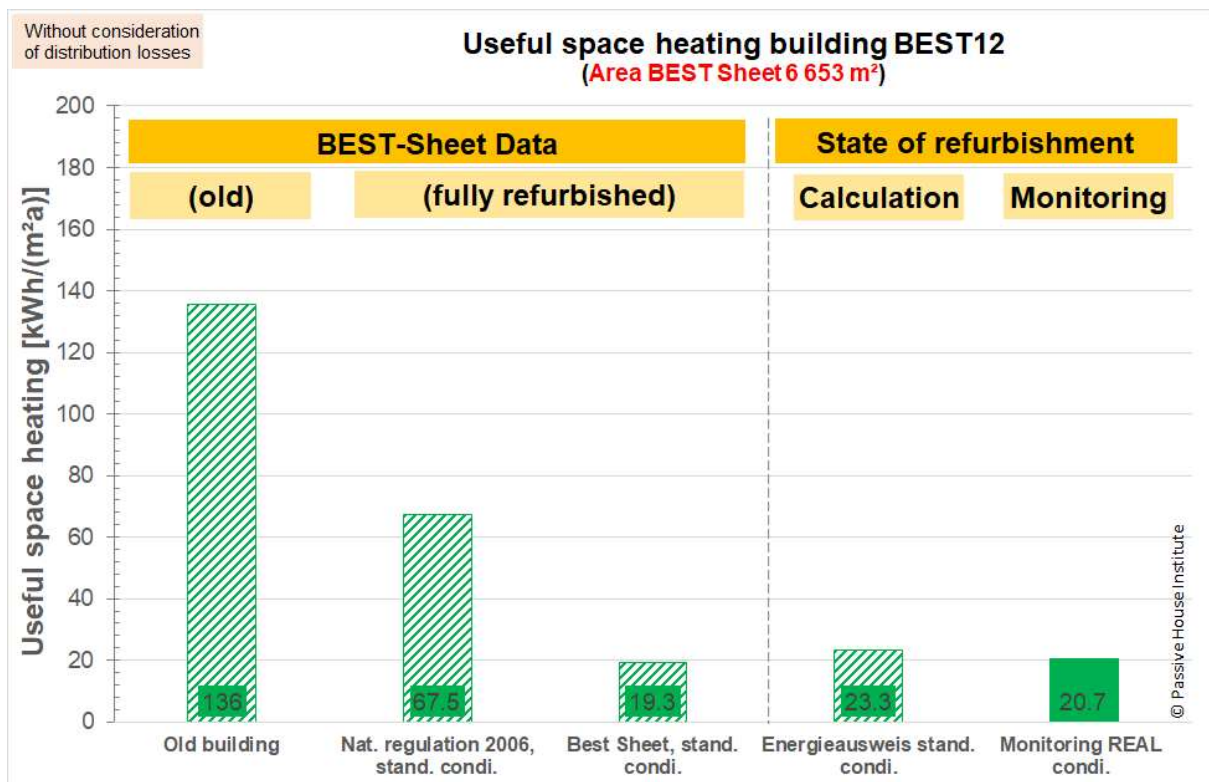


ABBILDUNG 44: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIEAUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN.

2.11.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG

Für jedes der 6 Gebäude ist ein separates PHPP erstellt worden, da sich die Gebäude durch z.B. Größe Ausrichtung und Verschattung unterscheiden. In alle PHPPs sind die Messbedingungen (Wetter, Innentemperaturen) eingegeben worden. Die gemessenen Innentemperaturen der Wintermonate der 6



Gebäude schwanken zwischen 19,7 und 22,9°C; im flächengewichteten Mittel ergeben sich 21,7°C. Aus den Einzelwerten der PHPPs werden für alle hier benötigten Größen flächengewichtet Mittelwerte berechnet. Damit ergibt sich für das Ensemble ein Heizwärmebedarf von sehr guten 22,0 kWh/(m²a) für den Standardfall bei 20°C und 27,2 kWh/(m²a) für den derzeitig erreichten Stand der Sanierungen.

Wird wieder das Wetter der Messperiode sowie die gemessenen Innentemperaturen berücksichtigt, sinkt der Bedarf auf nur noch 12,7 kWh/(m²a), was einen deutlichen Einfluss der Solarstrahlung bei den Gebäuden zeigt: Der Klimadatensatz im PHPP (Standort Innsbruck) ist für die Wintermonate (Oktober bis April) um 2,3 K kühler als die Messwerte des Untersuchungszeitraumes. Die Strahlungssumme der Globalstrahlung liegt in der gleichen Zeit im PHPP um 24 % niedriger. Im Januar ist der Unterschied bei der Globalstrahlung noch deutlich größer. Die Messungen der 21 Wohnungen ergibt einen Heizwärmeverbrauch von 26,4 kWh/(m²a). Damit ergibt wieder eine Überschneidung zwischen Bedarfsberechnung und Verbrauchswert wenn die Bilanzgenauigkeit und die erwartete Abweichung des Mittelwertes (Konfidenzintervall) berücksichtigt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den Messwerten um Daten aus zwei unterschiedlichen Quellen (Stromheizung und Gasheizung) handelt. Die Auswertung erfolgt in unterschiedlicher Weise und ist mit verschiedenen Unsicherheiten behaftet, da die Warmwasseraufwendungen pauschal von den Heizwärmeverbrauch abgetrennt werden müssen. Es kommen also unterschiedliche Unsicherheiten zusammen, welche möglicherweise höhere Abweichung erklären können.



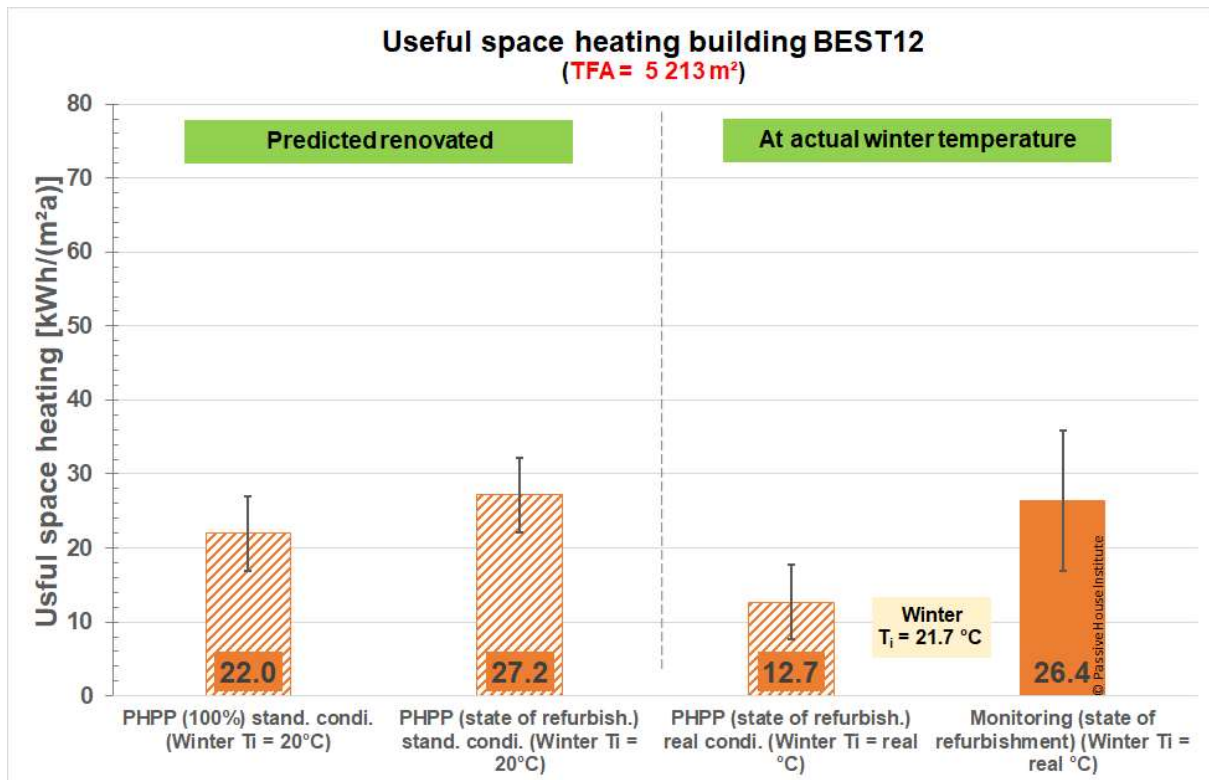


ABBILDUNG 45: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIE BILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RANDBEDINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.2.3.

Die für das Projekt BEST12 ermittelten Messwerte zeigen im Vergleich zur Altsituation bei Standardbedingungen (Klimadatensatz Innsbruck, Innentemperatur 20°C) eine Einsparung von stattlichen über 80 %, was auch hier den bereits großen Erfolg der Bemühungen zeigt.

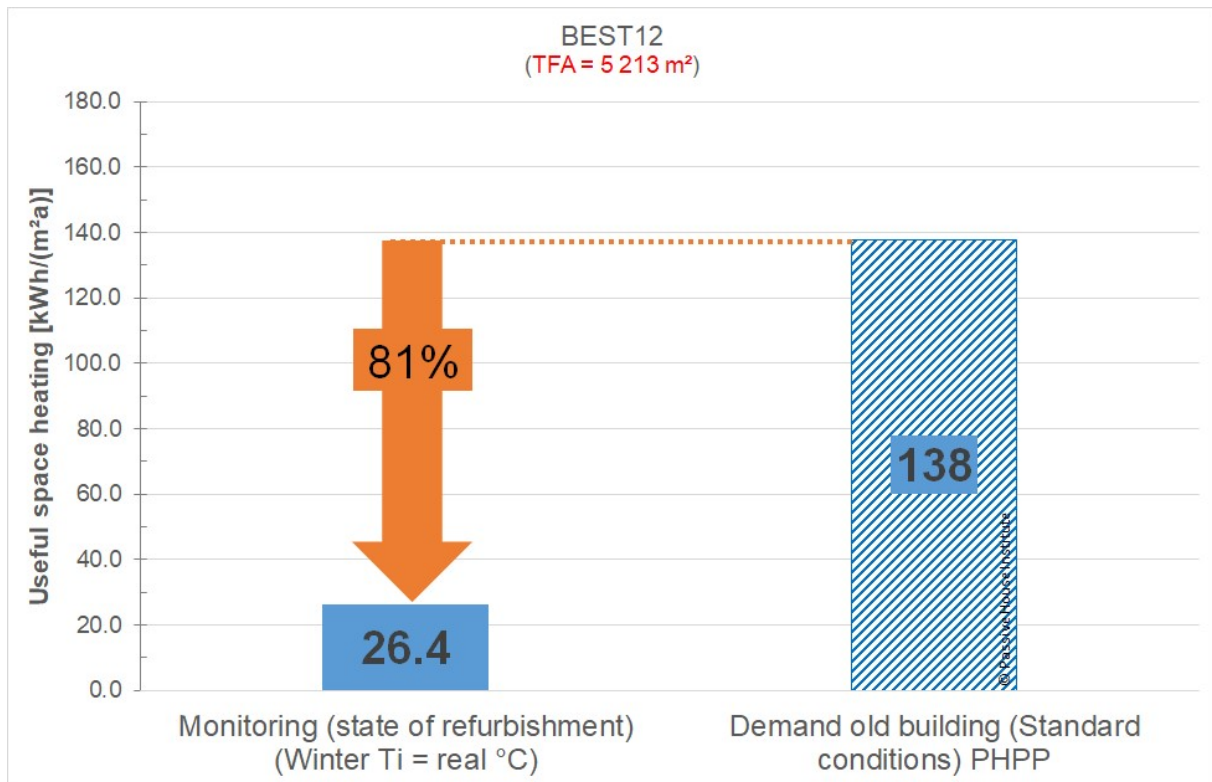


ABBILDUNG 46: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN, GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTES MIT DEN ENERGIEBEDARF (BERECHNUNG) DES ALTEN GEBÄUDES BEST012 (PHPP).

2.12 GEBÄUDE BEST13

2.12.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST13



ABBILDUNG 47: GEBÄUDEANSICHT NACH DER SANIERUNG (QUELLE: PHI)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu dem Gebäude BEST13 können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABLE 11: VORSTELLUNG DES GEBÄUDES BEST13

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	3.893 / 5.300
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1965 / Nov. 2017
4	Anzahl der Wohnungen: gesamt/ Messung Energieverbrauch	60 / 11 (19 % der kompletten Fläche)
5	Sanierungszustand	Die Sanierung wurde in den ersten Schritten umgesetzt: Äußere Dämmung, neue Fenster (100 %), Verbesserung der Luftdichtheit, teilweise Lüftungssysteme (17 %)
6	Zeitraum der Datenanalyse	Oktober 2019 bis September 2020
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	22,5 °C

2.12.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Bei diesem großen Mehrfamilienhaus mit 60 Wohnungen liegt der in dem BEST-Sheet berechnete Wert für den Altbau bei nur 66 kWh/(m²a). Der Energieausweis berechnet den Bedarfswert nach dem ersten Sanierungsschritt zu nur 24,6 kWh/(m²a). Der Messwert bezogen auf die Fläche nach den BEST-Sheet ergibt sich zu nur 4,3 kWh/(m²a). Der Aufbau der folgenden Grafik wurde bereits im Abschnitt 2.2.2 erläutert.

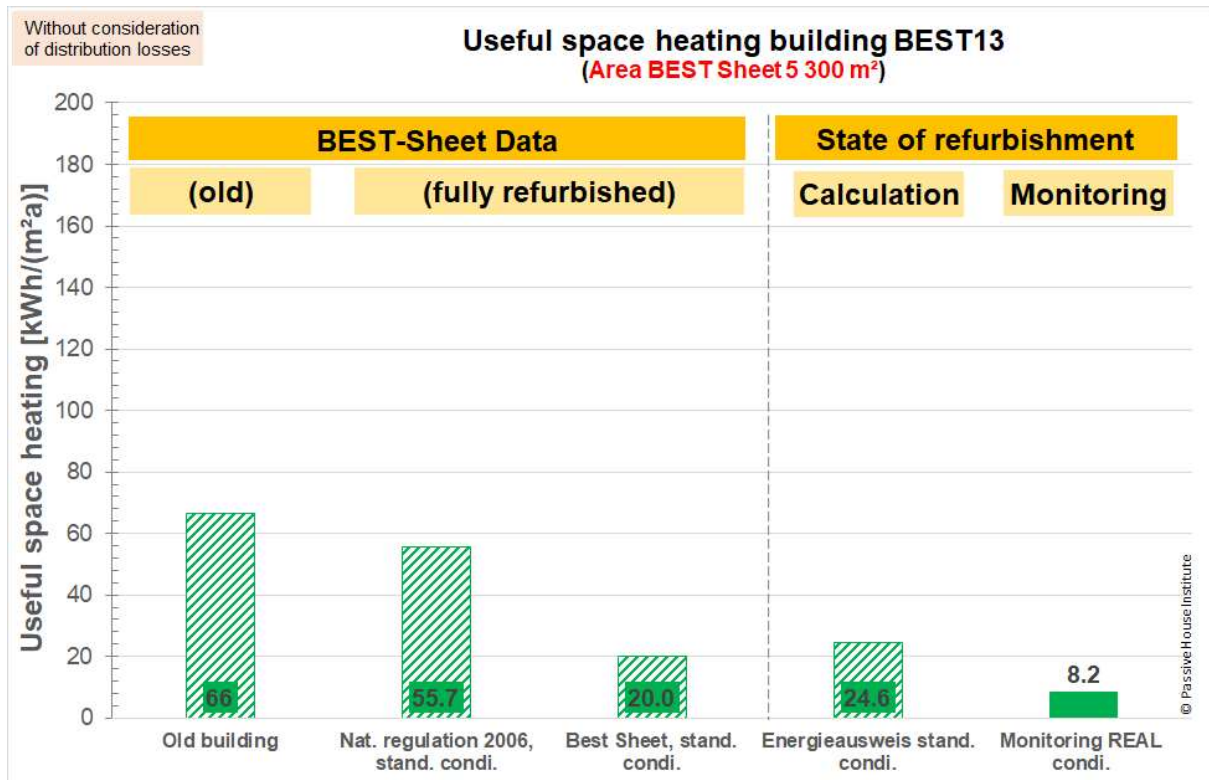


ABBILDUNG 47: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIEAUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN.

2.12.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG

Bei der vollständig abgeschlossenen Sanierung des Gebäudes sind 25,3 kWh/(m²a) bei Standardbedingungen zu erwarten, für den jetzigen Zwischenstand 44,5 kWh/(m²a).

Bei den Messwerten handelt es sich um ein bis vier Gasverbrauchswerte je Hauseingang. Diese beinhalten zum Teil den Verbrauch für die Warmwassererwärmung. Durch die Bestimmung der sommerlichen Verbrauchsdaten für die Warmwassererwärmung dieser Wohnungen konnte vereinfacht auf den reinen Heizwärmeverbrauch zurückgerechnet werden. Damit ist die Ermittlung des Messwertes zusätzlich mit einer Unsicherheit beaufschlagt

Bei der Untersuchung dieses Gebäudes fällt als erstes auf, dass der Messwert des Nutzheizwärmeverbrauchs mit nur 11,2 kWh/(m²a) erfreulich niedrig ist (Erläuterungen Diagramm siehe Abschnitt 2.2.3). Gegenüber des erwarteten Bilanzwertes für die Messperiode (Wetterbedingungen, 22,5°C Innentemperatur) von 31,8 kWh/(m²a) ist dies deutlich niedriger als zu erwarten war. Die Ursache für die Abweichung ist darin begründet, dass die Messungen überwiegend (63 %) in Wohnungen erfolgte, bei denen bereits eine Lüftungsanlage mit WRG vorhanden war. Im Gesamtgebäude waren aber nur 17 % der Wohnungen mit Lüftungsanlagen ausgerüstet. Damit muss das PHPP einen deutlich höheren Wert bilanzieren, was den großen Einfluss der Wärmerückgewinnung verdeutlicht. Aus diesem Grund wurde zusätzlich eine PHPP Variante erstellt, bei der rechnerisch 63 % der Wohnungen über diese Anlagen verfügen. Damit ergibt sich ein Erwartungswert für den Heizwärmebedarf von 21,9 kWh/(m²a). Durch diesen realistischen Ansatz ist die Differenz zwischen Berechnung und Messung deutlich geringer.



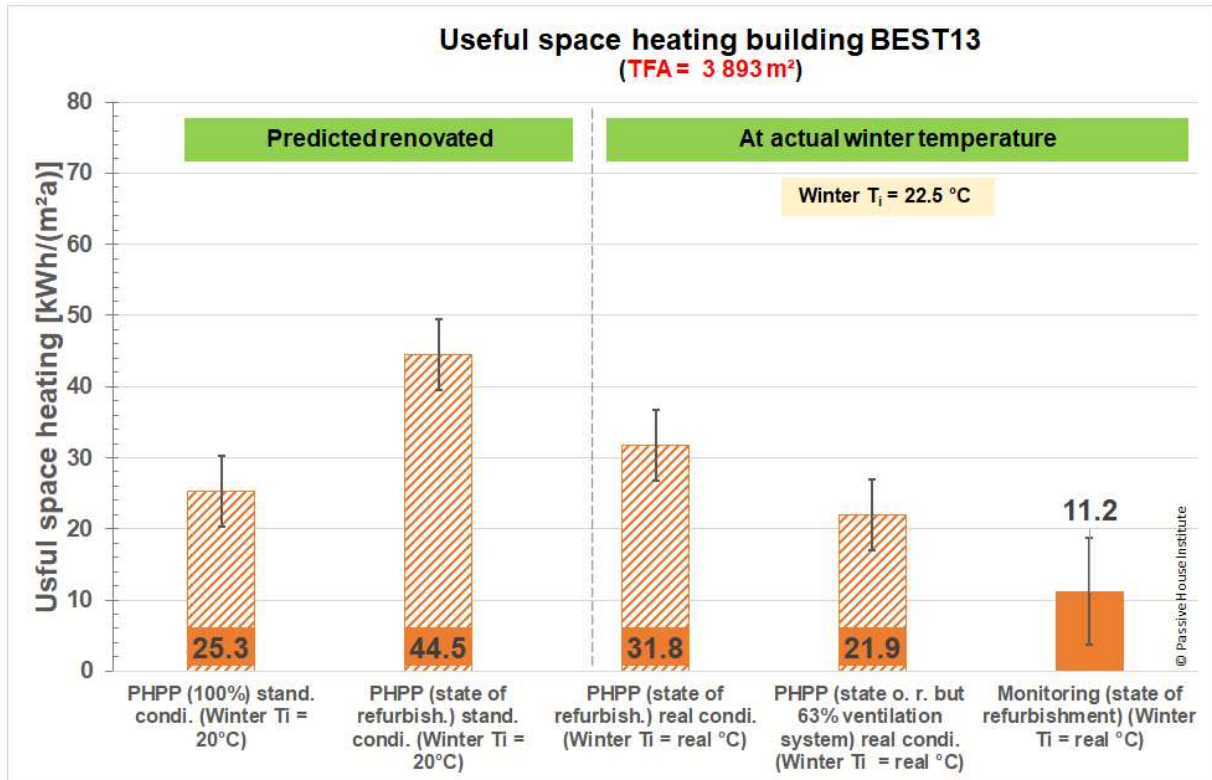


ABBILDUNG 48: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIE BILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RAND-BEDINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.2.3.

Die erreichten Einsparungen gegenüber der Altbaubilanz (Standardbedingungen) betragen über 90 %.

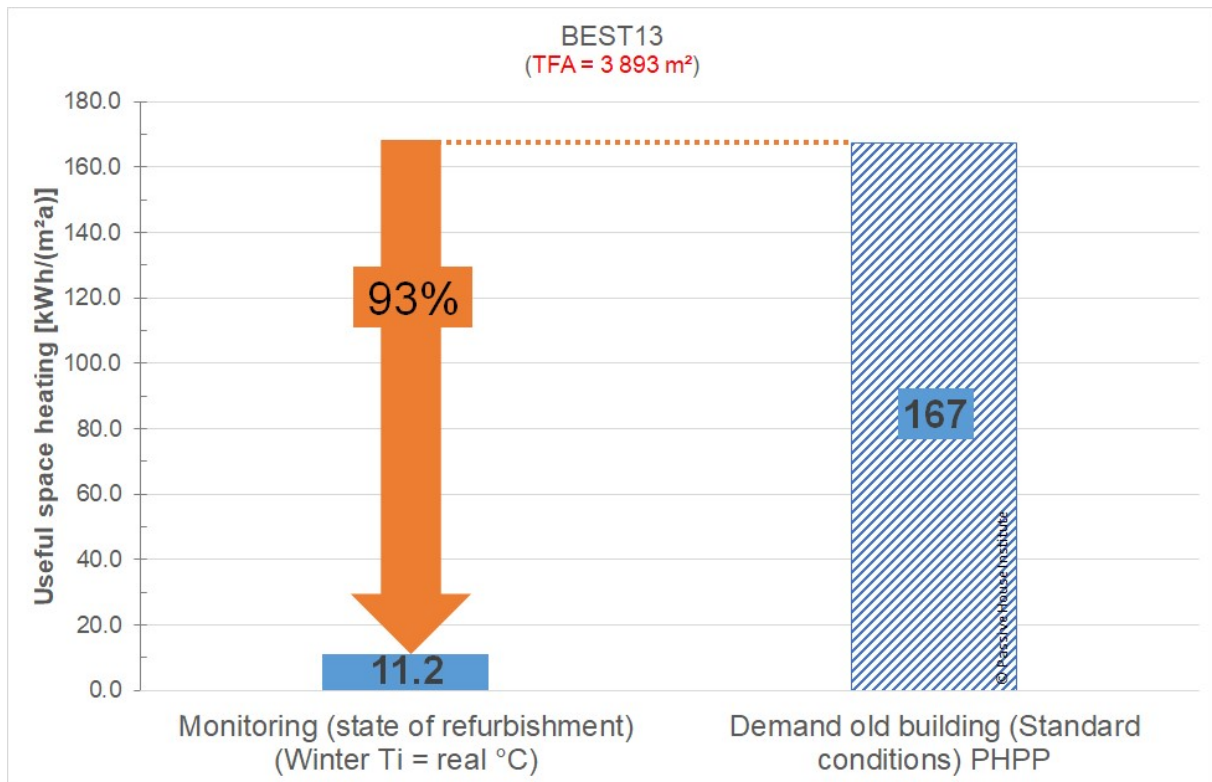


ABBILDUNG 49: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN, GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTES MIT DEN ENERGIEBEDARF (BERECHNUNG) DES ALTEN GEBÄUDES BEST13 (PHPP).

2.13 GEBÄUDE BEST19

2.13.1 KURZE EINFÜHRUNG GEBÄUDE BEST19



ABBILDUNG 50: GEBÄUDEANSICHT NACH DER SANIERUNG (QUELLE: PHI)

Einen Überblick über die wichtigsten Punkte zu den Mehrfamilienhäusern vom BEST19 können der folgenden Tabelle entnommen werden.

TABELLE 12: VORSTELLUNG DES GEBÄUDES BEST19

	Themenbereich	Spezifikationen
1	Lage	Innsbruck
2	EBF / BEST-Sheet Fläche [m ²]	16.468 (536) / 22.258 (nur ein Gebäude des Ensembles)
3	Bau-/ Sanierungsjahr	1941 / Okt. 2018
4	Anzahl der Wohnungen: gesamt/ Messung Energieverbrauch	269 / 17 (6 % der kompletten Fläche)
5	Sanierungszustand	Die Sanierung wurde in den ersten Schritten umgesetzt: Äußere Dämmung, neue Fenster (100 %), Verbesserung der Luftdichtheit, teilweise Lüftungssysteme (3 %) (Durch Messung untersuchte Gebäude: 0 %)
6	Zeitraum der Datenanalyse	Juni 2020 bis April 2021
7	Durchschnittliche Innentemperatur der gemessenen Wohnungen	21,5°C 20,4°C (untersuchtes Gebäude)

2.13.2 VERGLEICH A: ALTES GEBÄUDE, NATIONALE ANFORDERUNGEN, BEST-SHEET UND MESSUNG

Bei dem Projekt handelt es sich um ein ganzes Areal von 16 Gebäuden mit 269 Wohnungen und einer beheizten Fläche von insgesamt fast 16.500 m² (bzw. nach BEST-Sheet 24.010 m²). Die Gebäude haben unterschiedliche Größe und Ausrichtungen. Die Stichprobe der Wohnungen, welche vermessen wurden beträgt 17 Stück mit insgesamt 1.008 m² beheizter Fläche. Die Sanierung der Gebäudehülle und der Fenster ist vollständig durchgeführt worden. Allerdings sind bisher nur 9 Wohnungen mit Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung ausgestattet worden (entspricht 3 % der Anzahl der Wohnungen).

Die Ergebnisse der Zusammenfassung aller Energieausweise und BEST-Sheets ist in Abbildung 51 dargestellt. Wie üblich handelt es sich um den gleichen Diagrammaufbau wie in Abschnitt 2.2.2 erläutert. Der Mittelwert des Heizwärmebedarfs nach den BEST-Sheets für die unsanierten Gebäude beträgt 239 kWh/(m²a), die vollständige Sanierung würde demnach 24,5 kWh/(m²a) erwarten lassen. Für den Zustand der Sanierung geben die Energieausweise den Heizwärmebedarf mit 40,4 kWh/(m²a) an. Der gemessene Verbrauchswert der Stichprobe bezogen auf die BEST-Sheet Fläche beträgt 52,4 kWh/(m²a). Dabei wurde der fehlende Verbrauchswert für den Mai 2021 (nach der PHPP Berechnung) mit marginalen 0,9 % abgeschätzt und aufgeschlagen.



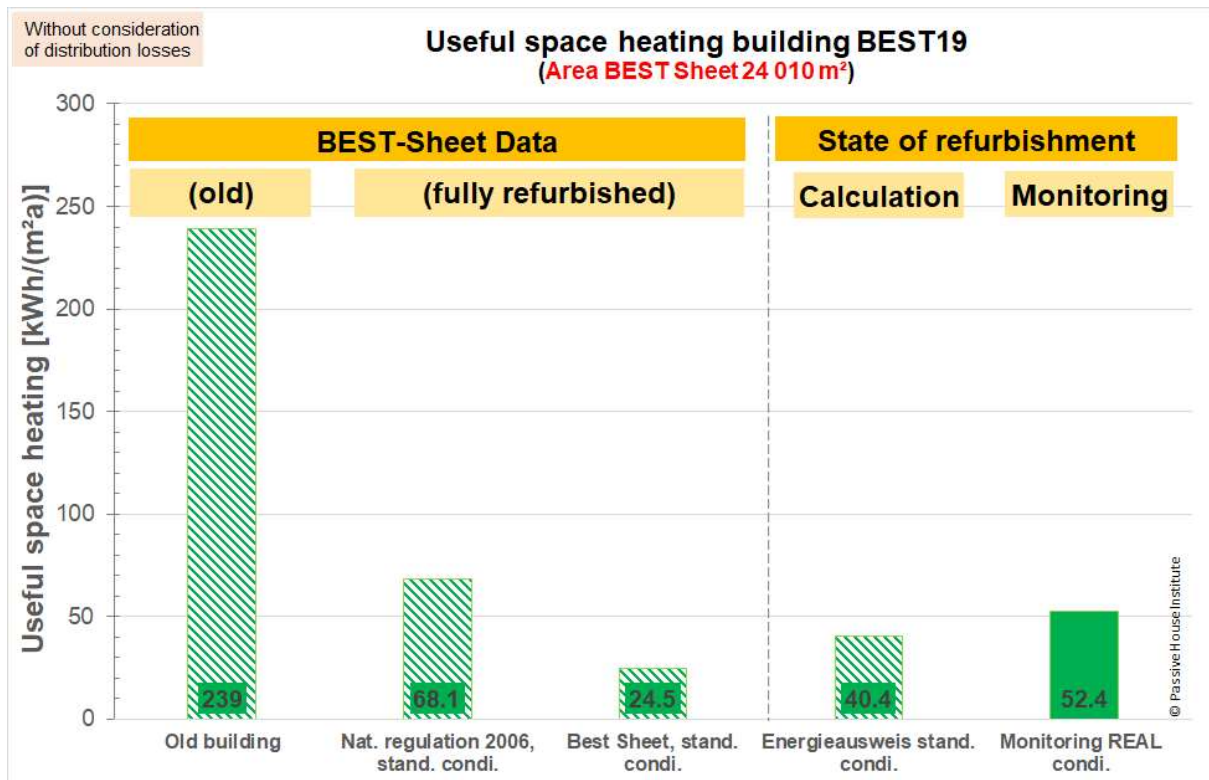


ABBILDUNG 51: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) GEMÄSS ENERGIEAUSWEIS UND BEST-SHEETS (MIT VERSCHIEDENEN RANDBEDINGUNGEN) MIT DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN.

2.13.3 VERGLEICH B: PHPP UND MESSUNG

Für die Analyse des Projektes wurde ein PHPP eines der 16 Gebäude erstellt und wird hier exemplarisch verwendet. Das Gebäude verfügt nach der Sanierung über keine maschinelle Lüftungstechnik. Die anderen Gebäude wurden nicht modelliert. Die anderen Gebäude von dem Areal BEST19 sind in unterschiedlichen Himmelsrichtungen angeordnet und auch sonst unterscheiden sie sich untereinander stark z.B. in der Größe aus Ausführung. Aus diesen Gründen ist eine Hochrechnung nicht möglich und verbietet sich ein Vergleich. Näher untersucht wird daher nur eines der 16 Gebäude. Hier wurden zwei der acht Wohnungen vermessen und können mit der Energiebilanz verglichen werden. Dabei führt die sehr kleine Stichprobe (2 Stück) auf ein entsprechend hohes Konfidenzintervall. Auch bei diesem Vergleich der PHPP Berechnungen mit dem Messwert wurde der Aufbau der Grafik und die zugehörige Erläuterung bereits weiter oben gegeben (Abschnitt 2.2.3).

Durch die beschriebenen Berechnungen ergibt sich ein Zielwert von 27,5 kWh/(m²a) für die vollständige Sanierung des Gebäudes (Standardbedingungen, T_i = 20°C). Der jetzige Sanierungsstand würde bei Standardbedingungen 51,2 kWh/(m²a) erwarten lassen. Werden die Klimabedingungen der Messperiode und die mittlere Innentemperatur der beiden gemessenen Einheiten herangezogen (20,4°C), sinkt der Wert geringfügig auf 50,9 kWh/(m²a). Der Messwert der beiden Wohnungen beträgt 57,5 kWh/(m²a). Es ist zu beachten, dass in diesem Haus bisher keine Lüftungstechnik realisiert wurde. Das Potential der Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zeigt sich zwischen den Bedarfs- werten von 27,5 zu 51,2 kWh/(m²a) (Heizwärmebedarf der Vollsanierung gegenüber dem erreichten Zustand). Trotzdem zeigt Abbildung 53 schon die erreichte, erhebliche Einsparung gegenüber dem Altbauzustand von 68 %.

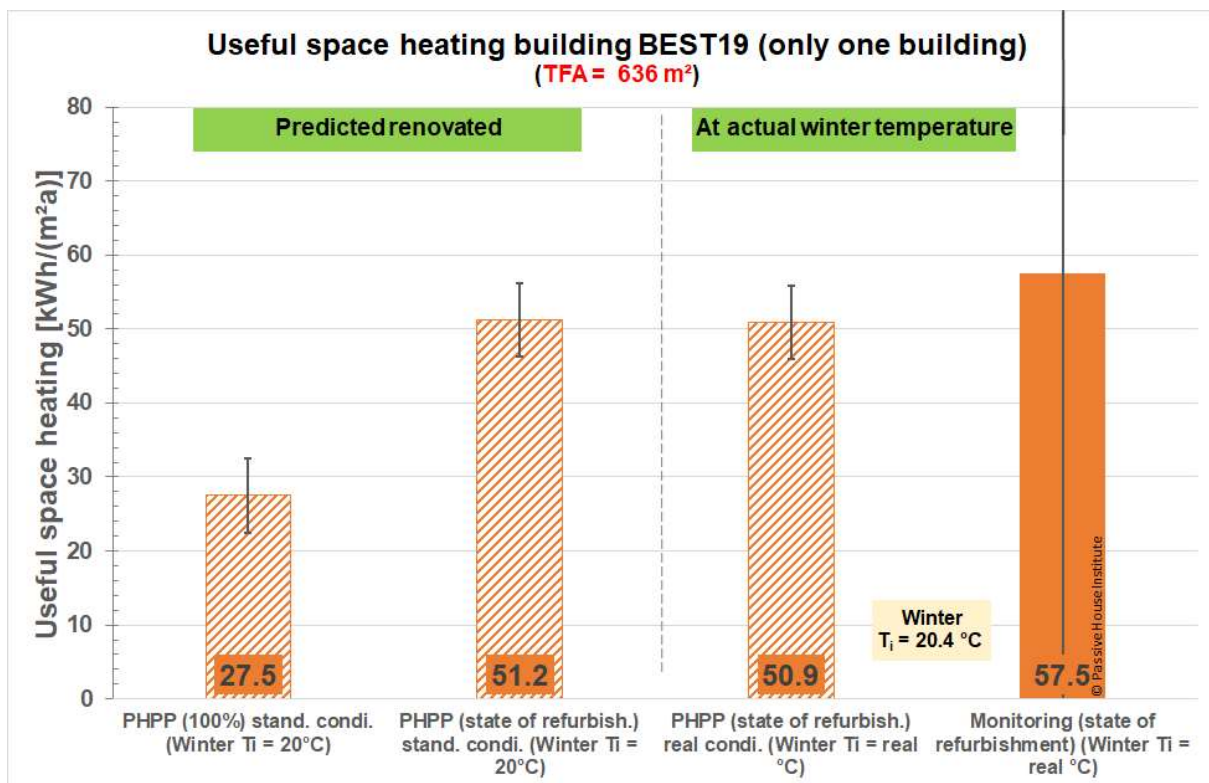


ABBILDUNG 52: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN ENERGIEBEDARFS (BERECHNUNG) MIT DEM ENERGIE BILANZIERUNGSTOOL (PHPP) (KOMPLETTE SANIERUNG, TEILWEISE SANIERT MIT GEMESSENEN RANDBE- DINGUNGEN) UND DEN GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTEN. ERLÄUTERUNG SIEHE ABSCHNITT 2.2.3.

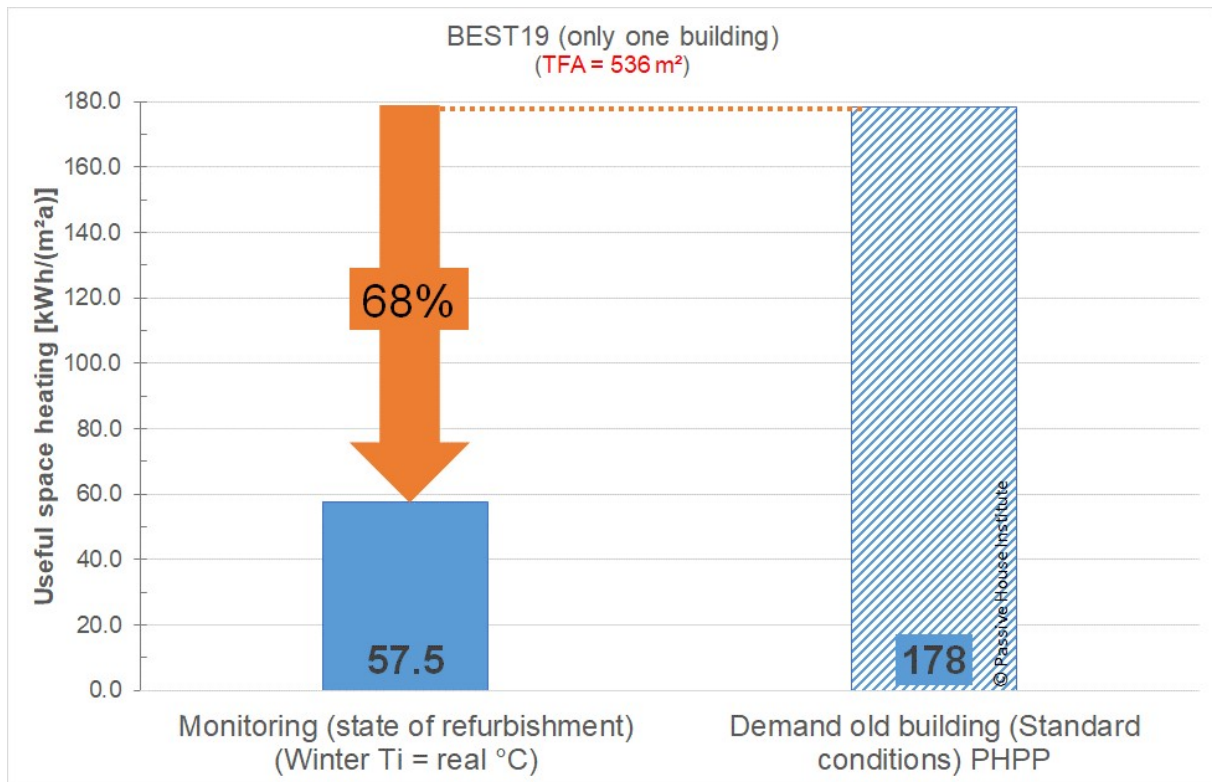


ABBILDUNG 53: VERGLEICH DES SPEZIFISCHEN, GEMESSENEN VERBRAUCHSWERTES MIT DEN ENERGIEBEDARF (BERECHNUNG) DES ALTEN GEBÄUDES BEST19 (PHPP).

3. VERGLEICH PROCASA CLIMA – PHPP TOOLS

Der Vergleich zwischen den Energiebilanz-Tools ProCasaClima der CasaClima-Agentur (CC) und dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) des Passivhaus Instituts (PHI) wurde durchgeführt, indem dieselben Beispiel-Gebäude in beiden Excel-Tools modelliert und dann die Ergebnisse des jährlichen Energieverbrauchs verglichen wurden. Die in dieser Studie modellierten Gebäude sind das Einfamilienhaus "Wooden House" von Atelier AIR - Arch. Roberto Iannetti in Costa Volpino (Bergamo) und das Mehrfamilienhaus "C0021" des IPES (Istituto per l'Edilizia Sociale) in Bozen. Dieser Vergleich der beiden Berechnungswerkzeuge soll helfen, die Ergebnisse der Untersuchungen der Gebäude im Sinfonia-Projekt in Bozen und Innsbruck besser vergleichen zu können

3.1 GEBÄUDE "WOODEN HOUSE" VON ATELIER AIR

Ein Vergleich zwischen den beiden Tools ist nicht einfach, da die unterschiedlichen Ergebnisse auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sind:

- Berechnungsalgorithmus, der in den Tools implementiert ist
- Einträge in den Tools entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen vom CC oder PHI für die Energiebilanzberechnung (z.B. unterschiedliche Dateneingabe für die Verschattung, Dateneingabe von Wärmebrücken)
- Unterschiedliche zur Bestimmung der Referenzflächen
- Unterschiedliche Standardbedingungen für die Berechnung des Energiebedarfs und für Zertifizierungsanforderungen (Klimadaten oder nutzerbezogene interne Bedingungen wie Innentemperatur, interne Wärmegegewinne)

Für diese Untersuchung wird der Vergleich in verschiedenen Schritten durchgeführt, um den Einfluss aller oben genannten Faktoren auf die Ergebnisse der Tools zu ermitteln.

Das Einfamilienhaus wurde aus Gründen der Zertifizierung zunächst in ProCasaClima modelliert. Anschließend wurde das Gebäude mit der gleichen Geometrie und Bauteilqualität in das PHPP eingegeben.

Beim **ersten Vergleich** wurden in den beiden Tools dieselben internen und externen Randbedingungen sowie dieselbe Referenzfläche eingegeben, die sich auf die Anforderungen von CasaClima beziehen. Auf diese Weise kann der Unterschied zwischen den Ergebnissen vollständig auf den unterschiedlichen Berechnungsalgorithmus der beiden Tools zurückgeführt werden. Die Ergebnisse des jährlichen Heizwärmebedarfs pro Quadratmeter in PHPP und ProCasaClima im ersten Vergleich sind die folgenden:



TABELLE 13: ERGEBNISVERGLEICH DER TOOLS FÜR "WOODEN HOUSE" (VERGLEICH 1)

	ProCasaClima	PHPP
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	8,1	8,5
Referenzfläche [m ²]	180	180

Im **zweiten Vergleich** sind die äußeren Randbedingungen immer noch dieselben, aber die PHPP-Berechnung berücksichtigt den PHI-Standard für die inneren Randbedingungen, die Referenz-Nettofläche des Gebäudes und die Dateneingabe werden gemäß dem PHPP-Standard bestimmt. Auf diese Weise kann der Unterschied zwischen den Ergebnissen auf den unterschiedlichen Berechnungsalgorithmus, der in den beiden Tools implementiert ist, und auf die unterschiedliche Herangehensweise bei der Dateneingabe im Tool zurückgeführt werden. Die Ergebnisse des jährlichen flächenspezifischen Heizwärmebedarfs in ProCasaClima und im PHPP im zweiten Vergleich lauten wie folgt:

TABELLE 14.: ERGEBNISVERGLEICH DER TOOLS FÜR "WOODEN HOUSE" (VERGLEICH 2)

	ProCasaClima	PHPP
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	8,1	12,4
Referenzfläche [m ²]	180	175

3.2 GEBÄUDE "C0021" VON IPES

Für dieses Gebäude wurde die Energiebilanz vom Passivhaus Institut mit dem PHPP-Tool berechnet, unterstützt mit dem Programm designPH für die Verschattungsberechnung, und zusätzlich von der CasaClima-Agentur mit dem ProCasaClima-Tool (Stand 2016). Die Randbedingungen, Referenzflächen und Klimadaten wurden entsprechend der unterschiedlichen Berechnungsmethoden von PHI und CC in die Tools eingegeben, so dass die Eingaben in den beiden Tools unterschiedlich sind. Daher ist zu beachten, dass sich der in ProCasaClima für dieses Projekt berechnete Energiebedarf auf eine Nettofläche bezieht, die vom Tool automatisch durch Multiplikation mit einem Reduktionsfaktor berechnet wird, sobald die Bruttofläche eingegeben wurde. Auf der anderen Seite bezieht sich die PHPP-Berechnung auf eine Nettofläche des Gebäudes, die aus einer detaillierten Berechnung nach der PHI-Methode stammt (tatsächlich „beheizte Wohnfläche“). Die Ergebnisse des jährlichen Heizwärmebedarfs pro Quadratmeter in PHPP und ProCasaClima sind die folgenden:



TABLE 15: ERGEBNISVERGLEICH DER TOOLS FÜR "CO021"

	ProCasaClima	PHPP
Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	18,0	16,2
Referenzfläche [m ²]	8.681	9.607

Beachten Sie, dass für die Berechnung der Energiebilanz mit dem PHPP einige Annahmen vom PHI getroffen wurden, da keine ausreichenden Daten über die an den fünf Treppenhäusern installierte Vorhangfassade verfügbar waren (z. B. technische Zeichnungen des Herstellers, die das Rahmenprofil zeigen). Physikalisch notwendige Daten für das PHPP, die einen erheblichen Einfluss auf die Energiebilanz haben, können in einigen Fällen nicht in das CC eingetragen werden, wenn sie für die Finanzierung nicht relevant sind. Trotz des geringen prozentualen Anteils der Vorhangfassade an der thermischen Hüllfläche wird der endgültige jährliche Heizbedarf in erheblichem Maße durch die thermischen Eigenschaften der Fassade beeinflusst.

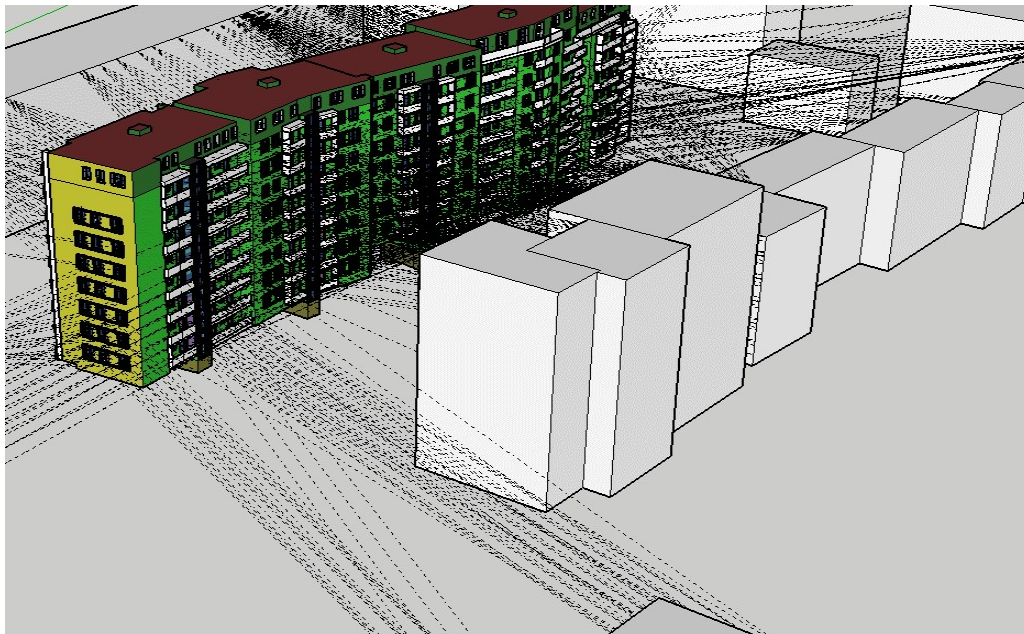


ABBILDUNG 54: BERECHNUNG DER VERSCHATTUNG IM PROJEKT "CO021" MIT DEM TOOL DESIGNPH VOM PHI.



3.3 VERGLEICH DER SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Vergleich zwischen den beiden Tools hat gezeigt, dass die beiden Energiebilanzberechnungen unter denselben Randbedingungen und mit denselben Daten zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Sobald der im Rahmen der Gebäudezertifizierung festgelegte Ansatz, entweder vom PHI oder vom CC, angewendet wird, vergrößert sich der Unterschied zwischen den beiden Ergebnissen. Insbesondere der Unterschied beim Heizwärmebedarf fällt bei kleineren Gebäuden höher aus, was auf den größeren Einfluss von Verschattungen und Wärmebrücken zurückzuführen ist, die nach dem Ansatz des PHI detaillierter untersucht werden.



4. LITERATUR

- [CEPHEUS 2001] Schnieders, J.; Feist, W.; Pfluger, R.; Kah, O.: CEPHEUS - wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, Projektinformation Nr. 22, 1. Edition, Passivhaus Institut, 2001 (in German).
- [Feist 2001] Feist, W.: Stellungnahme zur Vornorm DIN V 4108 Teil 6: 2001 aus Sicht der Passivhausentwicklung, CEPHEUS- Projektinformation Nr. 39, Fachinformation PHI-2001/10. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001
- [Feist 2004] Feist, W.: Wärmeübergabeverluste im Lichte der Baupraxis. In: Wärmeübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus; Protokollband Nr. 28 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase III, pp. 123–156 Passivhaus Institut; Darmstadt, 2004
- [Gspan 2020] Gspan, F.: Mitteilung per E-Mail vom 17.07.2020 zur Aufteilung des Heizwärmeverbrauchs nach Messung mittels digitaler Heizkostenverteiler (Verbrauchseinheiten), Florian Gspan, Neue Heimat Tirol, Innsbruck 2020
- [Johnston et al. 2020] Johnston, D.; Siddall, M.; Ottinger, O.; Peper, S.; Feist, W.: Are the energy savings of the passive house standard reliable? A review of the as-built thermal and space heating performance of passive house dwellings from 1990 to 2018. Energy Efficiency, Springer Nature B.V., 2020
- [Mitchel/Natarajan 2020] Mitchel, R.; Natarajan, S.: UK Passivhaus and the energy performance gap. Energy & Buildings 224 (2020), Department of Architecture and Civil Engineering University of Bath, UK, June 2020
- [Passipedia] Energy efficiency of the Passive House Standard: Expectations confirmed by measurements in practice
https://passipedia.org/operation/operation_and_experience/measurement_results/energy_use_measurement_results
- [Peper/Feist 2008] Peper, S.; Feist, W.: Gebäudesanierung „Passivhaus im Bestand“ in Ludwigshafen / Mundenheim. Messungen und Beurteilung der energetischen Sanierungserfolge. Passivhaus Institut, Darmstadt, Dezember 2008
- [Peper/Grove-Smith/Feist 2009] Peper, S.; Grove-Smith, J.; Feist, W.: Sanierung mit Passivhauskomponenten. Messtechnische Untersuchung und Auswertung Tevesstraße Frankfurt a.M. Passivhaus Institut, Darmstadt, Februar 2009
- [Peper 2012] Peper, S.: Messung zur Verbrauchskontrolle – „Minimalmonitoring“. In: Feist, W. (Hrsg.): Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 45: Richtig messen in Energiesparhäusern. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2012 [Research Group Cost-efficient Passive Houses, Volume 45: Proper measuring in low-energy houses. Passive House Institute, Darmstadt, 2012]. (German only)



- [Peper, Feist 2016] Peper, S, W. Feist: Monitoring und Bilanzberechnung: Ganz ohne Performance Gap. BauSim Tagung. Dresden 2016
- [Pfluger 2001] Pfluger, R.; Feist, W.: Meßtechnische Untersuchung und Auswertung, Kostengünstiger Passivhaus-Geschoßwohnungsbau in Kassel-Marbachshöhe, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 15, Fachinformation PHI-2001/2. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001
- [PHPP] Feist W. et al.: PHPP Passivhaus Projektierungs Paket Version 9 (2015-2020). Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser; Passivhaus Institut; Darmstadt, 1998 – 2020
- [Sengel 2018] Sengel, Lukas: Energetic evaluation of measured data of classrooms in the course of the EU-project Sinfonia. Master thesis. Universität Innsbruck. 2018
- [UIBK 2020] Die verwendeten Wetterdaten der Auswertungszeiträume wurden von der Universität Innsbruck aufbereitet, geprüft und dem PHI zur Verfügung gestellt. Endversion vom 18.06.2020

