



economicum

Leistbares und energieeffizientes Wohnen

THEMENBAND SESSION 11

Sanieren am laufenden Band?



Energieinstitut Vorarlberg

economicum

Themenband Session 11

Sanieren am laufenden Band?

September 2021

economicum - eine Veranstaltungsreihe des Energieinstitut Vorarlberg

economicum - Struktur

Die vom Energieinstitut Vorarlberg seit 2014 durchgeführte Veranstaltungsreihe economicum behandelt die Aspekte Leistbarkeit und Energieeffizienz im Bauwesen mit Schwerpunkt Wohnungsbau für die Hauptzielgruppen der Architekten, Fachplaner, Bauträger und Energieberater. Jährlich stattfindende, eintägige Veranstaltungen mit Fachvorträgen werden in unregelmäßigem Abstand durch Exkursionen zu beispielhaften Projekten im In- und Ausland ergänzt.

Angesichts der überproportional steigenden Bau- und Wohnkosten ist die Diskussion in Vorarlberg, Österreich und anderen europäischen Ländern um die weitere Entwicklung des Wohnungsbaus stark vom Thema „Leistbarkeit“ geprägt. Auch das Thema der Energieeffizienz wird neben Grundstückspreisen, Baunutzungszahlen, Stellplatzschlüssel und anderen Kostentreibern stark unter Kostenaspekten diskutiert.

Statistische Auswertungen zeigen, dass vor dem Hintergrund der Kostendiskussion der Trend zur Reduktion des Energiebedarfs von Gebäuden in den letzten Jahren fast zum Erliegen gekommen ist. Sollen jedoch die internationalen Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens, die EU-Ziele und die regionalen Ziele der Energieautonomie+ in Vorarlberg erreicht werden, so muss die energetische Qualität von Neubauten und Sanierungen weiter gesteigert werden. Dies wird nur möglich sein, wenn es gelingt, den prognostizierten niedrigen Energiebedarf auch in der Praxis zu erreichen und die Mehrkosten so weit zu minimieren, dass energieeffiziente Gebäude wirtschaftlich errichtet und betrieben werden können. Wie beispielhafte Projekte zeigen, ist dies schon heute möglich, Normalität ist es jedoch noch nicht.

economicum - Ziele

Ziel des economicum ist es, beispielhafte Projekte, Konzepte und Planungsmethoden vorzustellen und so zu einem Erfahrungsaustausch der Vorarlberger Akteure mit Fachleuten aus anderen Bundesländern und dem Ausland beizutragen.

Die Inhalte sowie weiterführende Informationen zum Thema der Session 11 am 23. September 2021 wurden im vorliegenden Themenband aufbereitet.

Aktuelle Informationen finden sich unter
www.energieinstitut.at/economicum/

Vorwort



Momentan kann es gar nicht schnell genug gehen, den alten Ölkessel, die alte Gasheizung durch ein System mit erneuerbarer Energie zu ersetzen. Das mag angesichts der zweiten Energiekrise, die ich in meinen 60 Jahren mitbekomme, nicht falsch sein. Richtiger wäre jedoch, den Verbrauch zum Heizen von Gebäuden drastisch zu senken und damit den fossilen Anteil mit. Die bittere Erkenntnis: wir schaffen nicht einmal die paar Kessel in jener Zeit zu tauschen, in der die Nutzer*innen einen neuen haben wollen. Die Preise steigen schneller, weil die hohe Nachfrage von der Branche ausgenutzt wird und natürlich auch die menschlichen sowie die materiellen Ressourcen nicht schnell genug bereitstehen. Und wenn es beim einfachen Kesseltausch schon so klemmt, wie sollte es denn bei den umfassenden Gebäudesanierungen überhaupt gehen, im nächsten Jahrzehnt nennenswerte Reduktionen zu bewirken?

Es scheint, dass die serielle Vorfertigung von Wand- und Dachelementen, also eine industrialisierte Herangehensweise an die Hüllensanierung, ein Teil der Lösung ist. So, wie die Möbel- und Autoindustrie es vorgemacht haben: Wer lässt sich noch das Schuhkasterl im Vorzimmer vom Tischler nebenan produzieren oder wer schraubt sein Auto in der Garage zusammen? All jene, die auf individuelle Verarbeitung Wert legen und die es sich leisten können, ein nicht industriell gefertigtes Produkt zu kaufen. Der Großteil kann das nicht - und ich behaupte - legt auch keinen Wert darauf.

Vielleicht ist dieser Ansatz ein guter auch für die thermische Ertüchtigung der alten Bausubstanz. Dort wo es schnell gehen muss, ist die serielle Sanierung sicher die Lösung, aber ist sie auch leistbar? Ja, wenn die Fabriken zur Verfügung stehen und wirklich „in Serie“ fertigen können und vor allem dort, wo die Gebäude einfach gehalten wurden: glatte Wände, wenig Vor- und Rücksprünge, wenige bis keine Balkone, möglichst ganze Siedlungsteile oder Straßenzüge mit gleichen oder ähnlichen Bauformen. Da liegen die ersten Umsetzungen.

Und dann bleibt immer noch ein Großteil für die „individuelle“ thermische Sanierung übrig, wobei - mal ganz ehrlich - die Gebäude, die hauptsächlich aus Wärmebrücken bestehen und als thermisch fast unsanierbar eingestuft werden müssen, in vielen Fällen abgerissen gehören.

DI Josef Burtscher

Geschäftsführer Energieinstitut Vorarlberg

Themenband 11

Sanieren am laufenden Band?

Inhaltsverzeichnis

- 6 **Quo vadis Gebäudesanierung?**
Welche Sanierungsqualitäten
sind kompatibel zum Paris-Ziel?
Martin Ploss
-
- 18 **Das Netzwerk „Stromversnellung“ in den Niederlanden**
Kostensenkung durch industrielle Sanierun
Maarten Hommelberg
-
- 30 **PassivhausSozialPlus**
Konzept, Kosten und Betriebserfahrungen zweier
Passivhäuser im sozialen Wohnungsbau
Marc Großklos
-
- 48 **minimale intervention**
Individuelle Sanierungskonzepte für
drei erhaltenswerte Gebäude
Bernhard Breuer
-
- 64 **Serielle Sanierungen von Wohngebäuden**
Konzepte und Erfahrungen aus Deutschland
Stefan Oehler
-
- 84 **Impressum**



Marc Großklos

Marc Großklos studierte Energie- und Umweltschutztechnik an der FH Aachen, Abt. Jülich. Nach einer Tätigkeit in einem Consultingbüro für Energieeffizienz arbeitet er seit 1996 im Institut Wohnen und Umwelt in Darmstadt. Seine Schwerpunkte als wissenschaftlicher Mitarbeiter sind Energieeinsparung in Gebäuden (Neu- und Altbau), energieeffiziente Wärme- und Stromversorgung, regenerative Energien, Modellierung von Energiesystemen und messtechnische Evaluationen von Energiesparkonzepten.

PassivhausSozialPlus

Konzept, Kosten und Betriebserfahrungen zweier Passivhäuser im sozialen Wohnungsbau

1. Einleitung

Neben den Anforderungen an Klimaschutz und Ressourcenschonung stellt die Sicherung von bezahlbarem Wohnraum eine weitere große Herausforderung für die Bau- und Wohnungswirtschaft in Europa und weltweit dar. Meistens scheinen beide Aspekte unvereinbar gegensätzlich zu sein, da ambitionierte Effizienzmaßnahmen oft die Baukosten und damit die Mieten erhöhen. Insbesondere Haushalte mit geringem Einkommen und Empfänger*innen von Unterstützungsleistungen für das Wohnen werden damit häufig von klima- und ressourcenschonendem Wohnen ausgeschlossen. Gleichzeitig sind die Mieten in Deutschland in den letzten Jahren unabhängig von der energetischen Verbesserung generell stetig gestiegen, was insbesondere einkommensschwache Haushalte vor finanzielle Probleme stellt. Doch nicht nur die Nettokaltmieten steigen, auch die Betriebskosten können heute eine „zweite Miete“ darstellen, die das verfügbare Einkommen der Haushalte schmälert. Betroffen sind große Teile der Bevölkerung - insbesondere Geringverdienende, Rentner*innen, Alleinerziehende, Arbeitslose und kinderreiche Familien. In der Gruppe der Arbeitslosen stieg der Anteil der Wohnkosten am verfügbaren Einkommen zwischen 2004 und 2017 von 35 % auf über 47 % [Stat. Bundesamt 2017]. Die Senkung der Wohn- und Betriebskosten ist daher für diese Haushalte essenziell. Erhalten sie staatliche Transferleistungen, liegt die Minimierung der Wohnkosten aus Miete, Betriebs- und Nebenkosten auch im gesamtgesellschaftlichen Interesse, da diese Leistungen von den Kommunen und damit von der Allgemeinheit getragen werden.

Um Menschen mit Zugangsschwierigkeiten auf dem Wohnungsmarkt kostengünstigen Wohnraum zu ermöglichen, hat die Neue Wohnraumhilfe gGmbH in Darmstadt zusammen mit dem Büro faktor10 2018/19 das Projekt „PassivhausSozialPlus“ initiiert und umgesetzt. Dieses Projekt sollte niedrige Mieten und niedrige Betriebskosten mit modernen und klimafreundlichen Wohnungen im geförderten Wohnungsbau verbinden.

2. Beschreibung des Gebäudes

Das PassivhausSozialPlus wurde in Darmstadt auf einem ehemaligen Kasernengelände der US-Armee umgesetzt. Auf dem Grundstück befand sich ein Block mit Unterkünften für Soldatenfamilien mit drei Hauseingängen aus dem Jahr 1955. Das Gebäude sollte überwiegend erhalten werden, auch um die Herstellungsenergie für die Gebäudehülle zu minimieren. Allerdings kann ein barrierefreier Zugang zu den Wohnungen in Bestandsgebäuden nur mit hohen Kosten umgesetzt werden. Aus diesem Grund wurde beschlossen, zwei Drittel des Bestandsgebäudes zu erhalten und energieeffizient zu modernisieren. Dieser Teil enthält 22 Wohnungen unterschiedlicher Größe (siehe Abbildung 1). Ein Drittel des Gebäudes wurde abgebrochen und durch einen barrierefreien Neubau mit 20 Wohnungen ersetzt (siehe Ab-

bildung 2), von denen 6 rollstuhlgerecht ausgeführt sind. Das PassivhausSozialPlus besteht somit aus zwei Baukörpern - einem modernisierten Bestandsgebäude und einem barrierefreien Ersatzbau. Insgesamt verfügen die beiden Gebäude über 42 Wohnungen und 3.186 m² beheizte Wohnfläche für ca. 136 Bewohner.



Westansicht des modernisierten Bestandsgebäudes



Südwest-Ansicht des Neubaus

Um die Nebenkosten im Betrieb zu senken, wurden Konzepte zur Steigerung der Energieeffizienz bei Heizung und Warmwasserbereitung, beim Stromverbrauch in den Wohnungen sowie bei der Hilfsenergie umgesetzt. Ergänzt wird das Energiekonzept um Maßnahmen zur Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs sowie zur Minimierung der Stromkosten.

Die Wohnungen in beiden Gebäuden wurden zwischen Sommer 2019 und Anfang 2020 fertiggestellt und vermietet. Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Kenndaten der beiden Gebäudeteile.

Tabelle 1: Kenndaten des PassivhausSozialPlus in Darmstadt

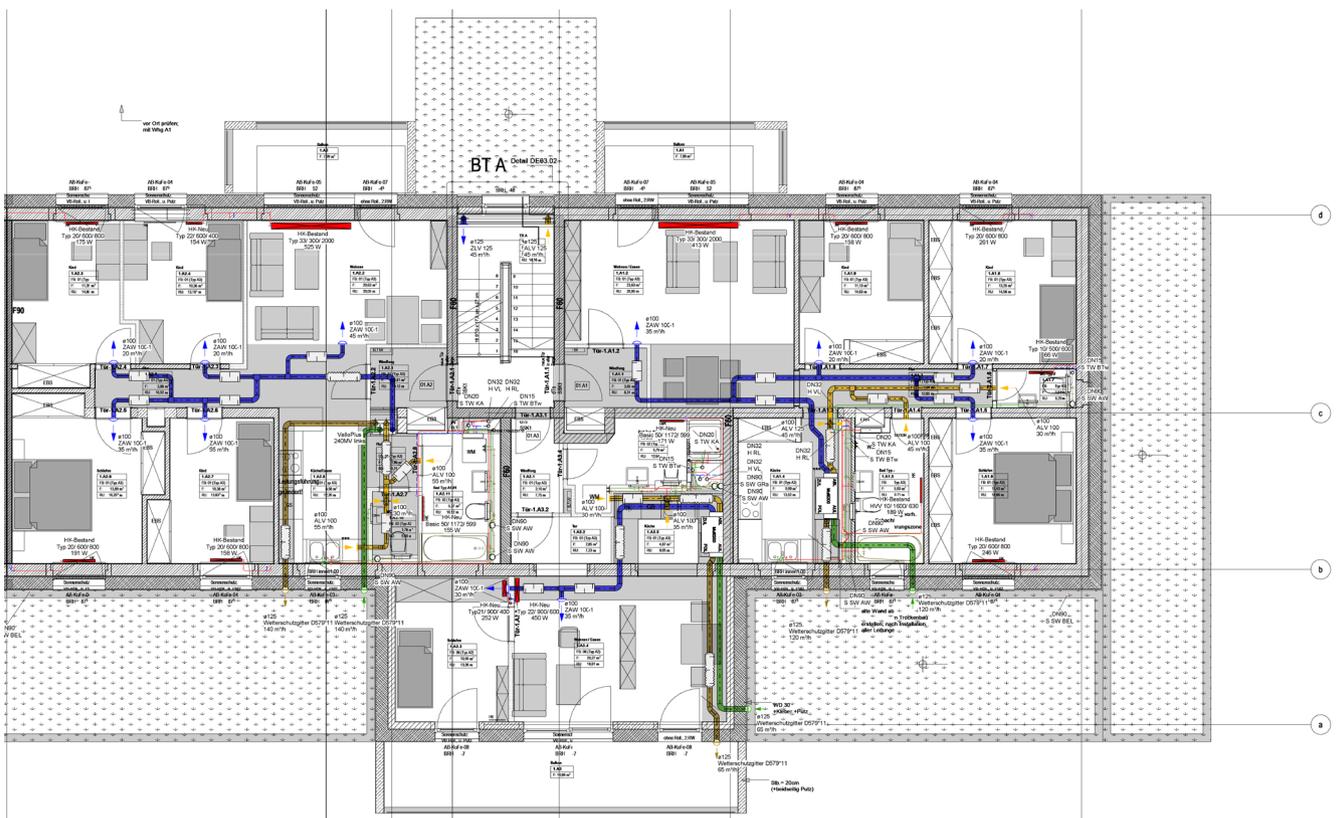
	Wohneinheiten	Anzahl Personen (Planung)	Vermietete Wohnfläche [m ²]	beheizte Wohnfläche [m ²]	Energiebezugsfläche (EBF) nach PHPP [m ²]	energetischer Standard
Modernisiertes Bestandsgebäude	22	74	1.661	1.607	1.662	KfW-EH 55 bzw. Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten
Neubau	20	62	1.602	1.579	1.762	KfW-EH 40 Plus bzw. Passivhaus
Summe	42	136	3.263	3.186	3.424	

	Bestandsgebäude[€/ (m ² Wfl.)]	Neubau[€/ (m ² Wfl.)]
KG 300*	1.090,30	1.314,34
KG 400*	378,33	430,60
Summe KG 300 + KG 400	1.468,63	1.744,94
KG 600	70,19	65,78

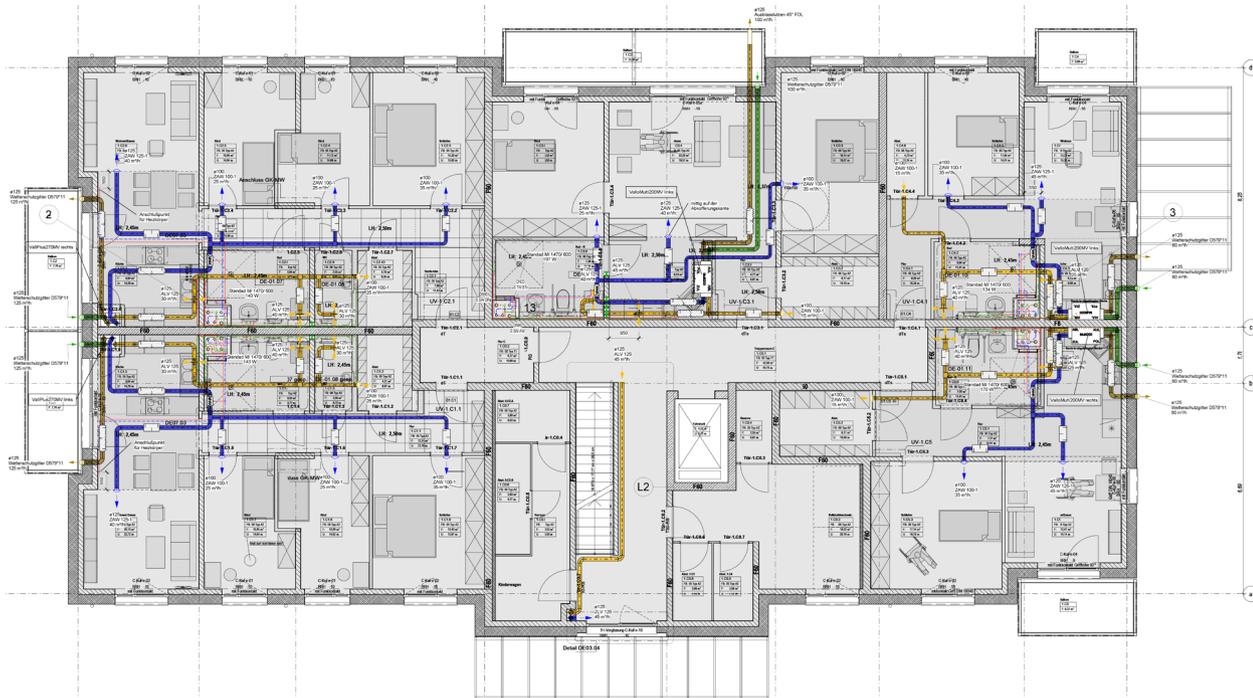
* ohne Monitoring und Visualisierung/Budgetierung

2.1 Wärmeschutz

Das Bestandsgebäude wurde mit Passivhaus-Komponenten modernisiert, d. h. die U-Werte liegen in der Regel zwischen 0,10 und 0,15 W/(m²*K) und entsprechen damit den Empfehlungen für ein Passivhaus. Nur im Keller wurden diese U-Werte aufgrund von baulichen Restriktionen teilweise überschritten. Für die Dämmung der Außenwände und des Flachdachs wurde Polystyrol verwendet, die Kellerdecke wurde mit Mineralwolle gedämmt. Die Fenster haben eine Dreifach-Wärmeschutzverglasung ($U_g = 0,50$ bis $0,54$ W/(m²*K)) in Kunststoffrahmen ($U_f = 0,94$ W/(m²*K)). Nach PassivhausProjektierungspaket (PHPP) ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 16,2 kWh/(m²*a), gleichzeitig werden die Anforderungen für das KfW-Effizienzhaus 55 erfüllt. Nach der novellierten staatlichen Förderung in Deutschland (BEG) ab 2021 würde das Gebäude auch die Anforderungen an den höchsten Standard erfüllen (Effizienzhaus 40 in der Modernisierung). Der Neubau erfüllt sowohl die Kriterien für das KfW-Effizienzhaus 40 Plus (höchster Förderstandard in Deutschland mit zusätzlichen Anforderungen an die Stromerzeugung und -speicherung) als auch für den Passivhaus-Standard, der Heizwärmebedarf nach PHPP liegt bei 9,8 kWh/(m²*a).



Wohnungsgrundrisse im 1. Obergeschoss des Bestandsgebäudes, linkes Treppenhaus (Plan: [ibs Energie 2019])



Wohnungsgrundrisse im 1. Obergeschoss des Neubaus (Plan: [ibs Energie 2019])

Anlagentechnik

Die beiden Gebäude des PassivhausSozialPlus verfügen über einen gemeinsamen Fernwärmeanschluss im Untergeschoss des Bestandsgebäudes sowie jeweils einen Speicher mit 3 m³ Volumen. Die Speicher dienen zur Pufferung von Lastspitzen bei der Warmwasserbereitung und zur Reduzierung der Anschlussleistung der Fernwärme, was die Nebenkosten für die Bewohner senkt. Die maximale Anschlussleistung wurde auf 60 kW begrenzt, wodurch sich eine verfügbare Leistung für Heizung und Warmwasserbereitung von 17,5 W/m² ergibt. Der örtliche Versorger garantiert einen Primärenergiefaktor von 0,5 kWh_{PE}/kWh_{End} für die Fernwärme.

Wärmeverteilung

Das modernisierte Gebäude wird weiterhin über das bestehende Verteilersystem und die vorhandenen Heizkörper beheizt, die während der Bauphase eingelagert waren und vor Wiedermontage gereinigt wurden. Die Warmwasserversorgung erfolgt über neue Wohnungs- bzw. Frischwasserstationen in jeder Wohnung. Die maximale Vorlauftemperatur im 4-Rohr-System beträgt 48 °C für Heizung und Warmwasser. Im Gegensatz dazu verfügt der Neubau über ein 2-Rohr-System, das ebenfalls Wohnungsstationen in jeder Wohnung speist, die die Wärme aber an eine Zuluftheizung und nur einen einzelnen Heizkörper im Bad liefert. Die maximale Vorlauftemperatur im 2-Rohr-System beträgt 53 °C für die Warmwasserbereitung im Sommer und ca. 58 °C für Heizung und Warmwasserbereitung im Winter.

Da bei Mehrfamilienhäusern die Verteilverluste bei energieeffizienten Gebäuden einen nennenswerten Anteil am Wärmebedarf einnehmen können, wurden alle Verteilleitungen zur Minimierung der Verteilverluste mit der doppelten Dämmstärke im Vergleich zu den gesetzlichen Mindestanforderungen gedämmt. Die horizontale Verteilung unter der Kellerdecke erfolgte zudem innerhalb der Kellerdeckendämmung, so dass hier die Verluste weiter reduziert werden konnten.

Dezentrale Wohnraumlüftung

Jede Wohnung des PassivhausSozialPlus verfügt über ein eigenes Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung, das den Mietern die Wahl zwischen vier Lüftungsstufen ermöglicht. Die Gebäudehülle ist sehr gut gegen Leckagen abgedichtet, um Wärmeverluste zu minimieren. Bei der Luftdichtheitsprüfung nach DIN EN 13829 erreichte der Neubau einen n_{50} -Wert von 0,24 1/h, das modernisierte Bestandsgebäude einen Mittelwert von 0,52 1/h. Damit wurde der Grenzwert für Passivhäuser von 0,6 1/h in allen Gebäudeteilen unterschritten - die gesetzlichen Anforderungen von 1,5 1/h sogar deutlich.

Photovoltaik

Das modernisierte Gebäude verfügt über eine Ost-West-ausgerichtete PV-Anlage mit 40,9 kW_p (monokristalline Module) auf dem extensiv begrünten Flachdach, der Neubau über 43,3 kW_p. Hinzu kommt ein Lithium-Ionen-Speicher mit einer Nettospeicherkapazität von 17,5 kWh im Bestandsgebäude und 43,8 kWh im Neubau. Der von den PV-Anlagen produzierte Strom wird zunächst in den Gebäuden direkt verbraucht, bei Überschussproduktion in einem Batteriespeicher gespeichert und schließlich wird der restliche Strom ins öffentliche Netz eingespeist.

Brauchwasser

Um den Trinkwasserverbrauch zu reduzieren, haben die Gebäude eine gemeinsame Grauwasseraufbereitungsanlage sowie Spararmaturen an allen Zapfstellen. Gering belastetes Abwasser aus Duschen/Badewannen und Handwaschbecken der Bäder wird getrennt gesammelt und der Grauwasseraufbereitungsanlage zugeführt. Abwässer aus der Küche werden wegen der zu erwartenden höheren Fettfrachten nicht für die Grauwasseranlage verwendet. Die Grauwasseranlage befindet sich im Untergeschoss des Bestandsgebäudes und besteht aus einem Filter für das Grauwasser, einem Aufbereitungstank mit biologischer Reinigung und einem Vorrattank für das aufbereitete Betriebswasser. Das aufbereitete Betriebswasser wird über eine separate Wasserinstallation ausschließlich für die Toilettenspülung verwendet. Unterschreitet die Brauchwassermenge im Tank einen bestimmten Grenzwert, wird Trinkwasser in den Vorrattank eingespeist, damit die Toiletten jederzeit versorgt werden können.

2.2 Vermietungskonzept

Ein Ziel des Projektes war die Minimierung der Betriebskosten, also vor allem der verbrauchsbhängigen Kosten für Wärme, Strom, Trink- und Abwasser sowie sonstige Wohnkosten. Zu diesem Zweck wurde im Vorfeld eine Untersuchung durchgeführt, um die Möglichkeiten zur Reduzierung verschiedener Betriebskostenarten zu prüfen [Großklos et al. 2018]. Darüber hinaus wurde überlegt, welche Arten von Betriebskosten pauschal abgerechnet werden können, um die Verwaltung durch den Vermieter zu vereinfachen.

Pauschale Abrechnung der Betriebskosten

Ein Großteil der Nebenkosten entsteht in der Regel durch die Energieversorgung für Raumheizung und Warmwasserbereitung. Aus diesem Grund wurde der Heizwärmeverbrauch mit dem Passivhaus-Konzept sehr stark reduziert. Der Heizwärmebedarf liegt bei 13,0 kWh/(m²*a) im Mittel beider Gebäude (bei Normbedingungen) und somit unterhalb des Grenzwertes von 15 kWh/(m²*a) der Heizkostenverordnung (HeizkostenV) in Deutschland, wodurch eine pauschale Abrechnung gesetzlich zulässig ist. In diesem Fall kann auch die

Warmwasserbereitung in die Pauschale integriert werden. Die Verbrauchskosten für Wärme wurden daher je Quadratmeter Wohnfläche in der Nebenkostenpauschale berücksichtigt. Einige Wohnungsunternehmen haben bereits gute Erfahrungen mit diesem Warmmietkonzept gesammelt. Bauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs sind bei der Warmwassernutzung kaum umzusetzen, so dass hier ein gewisses Risiko für den Vermieter besteht. Allerdings wird die Warmwassermenge gemessen und im Trinkwasserbudget als Wasservolumen berücksichtigt.

Budgetierung von Trinkwasser und Strom

Durch drei Maßnahmen wurde der Trinkwasserverbrauch - inklusive Warmwasser - und damit die Nebenkosten gesenkt: durch den Einsatz wassersparender Armaturen, durch den Ersatz von Trinkwasser durch aufbereitetes Grauwasser für die Toilettenspülung und durch die Visualisierung des Budgets, das für das Trinkwasser in der Pauschalmiete enthalten ist. Die Höhe des Budgets richtet sich nach der Anzahl der Personen im Haushalt und sollte ausreichen, wenn sich die Mieter sparsam verhalten. Bei dem Budget wurden für die erste Person 25 m³/a, für die zweite Person 18 m³/a und für jede weitere Person 17 m³/a angesetzt. Bei Überschreitung des Budgets muss zusätzlich ein Guthaben für Trinkwasser erworben werden. Es soll zum sparsamen Umgang mit der Ressource Trinkwasser motivieren.

Auch Haushaltsstrom, der in Deutschland in der Regel nicht vom Vermieter, sondern mit dem Energieversorger abgerechnet wird, ist über ein Budget ebenfalls in der Betriebskostenpauschale enthalten. Das Budget orientiert sich an der höchsten Effizienzklasse A des Stromspiegel Deutschland [Stromspiegel 2019] und sollte bei sparsamem Verhalten ausreichen. Je nach Personenanzahl pro Wohnung ergibt sich folgendes Budget: 850 kWh/a für die erste Person, 350 kWh/a für die zweite Person und 300 kWh/a für jede weitere Person.

Um den Stromverbrauch zu senken, wurden in den Wohnungen energieeffiziente Küchengeräte mit den höchsten Energieeffizienzklassen (A++ und A+++) sowie energieeffiziente LED-Beleuchtung in allen Räumen vom Vermieter installiert. Auch bei der zentralen Anlagentechnik (Aufzug, Pumpen, LED-Beleuchtung in den Fluren) wurde auf Energieeffizienz geachtet. Zur Reduktion der Stromkosten wurden sowohl Photovoltaikanlagen als auch Stromspeicher installiert. Da sich die rechtlichen Hürden für die Lieferung von Strom an die Mieter durch den Vermieter als zu hoch herausstellten [Behr, Großklos 2017], wurde eine Energiegenossenschaft mit dem Betrieb der Anlagen und der Versorgung der Mieter beauftragt.

Die aktuelle Ausschöpfung des Budgets für Wasser und Strom, eine Prognose bis zum Jahresende sowie historische Werte werden auf Displays in den Wohnungen angezeigt (Abbildung 5 und Abbildung 6). Diese Displays wurden im Projekt entwickelt und stellen ein Novum im Mietwohnungsbau in Deutschland dar.

Schließlich können die Mieter das für die Budgetabrechnung eingerichtete WLAN im Rahmen der Nebenkostenpauschale mit begrenzter Bandbreite nutzen, so dass kein separater Internetanschluss erforderlich ist.

Abbildung 5: Anzeige des Display bei Einhaltung des Budgets

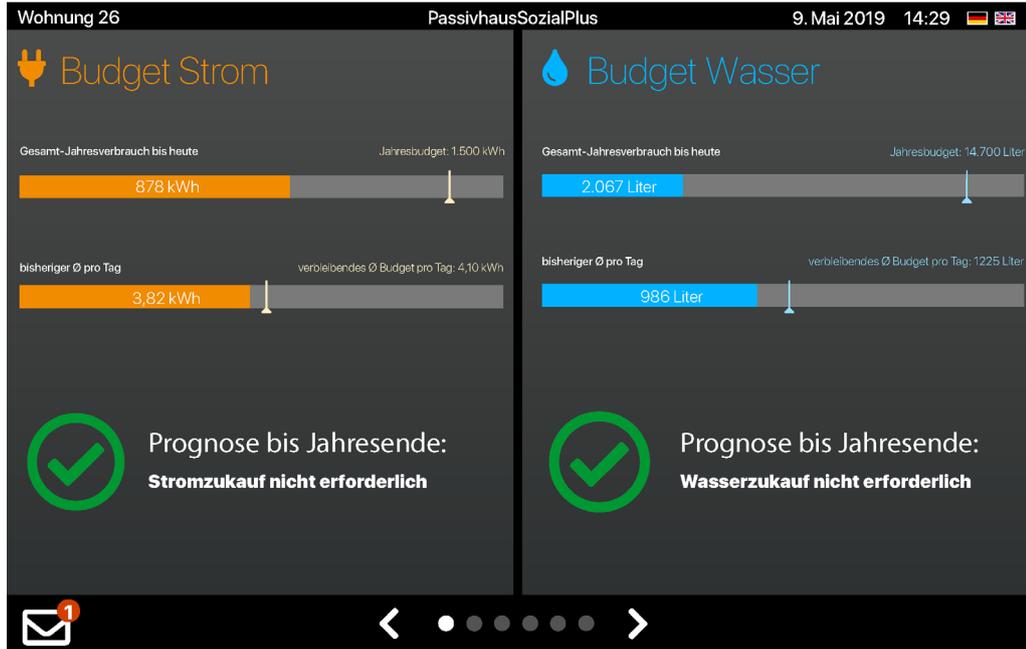
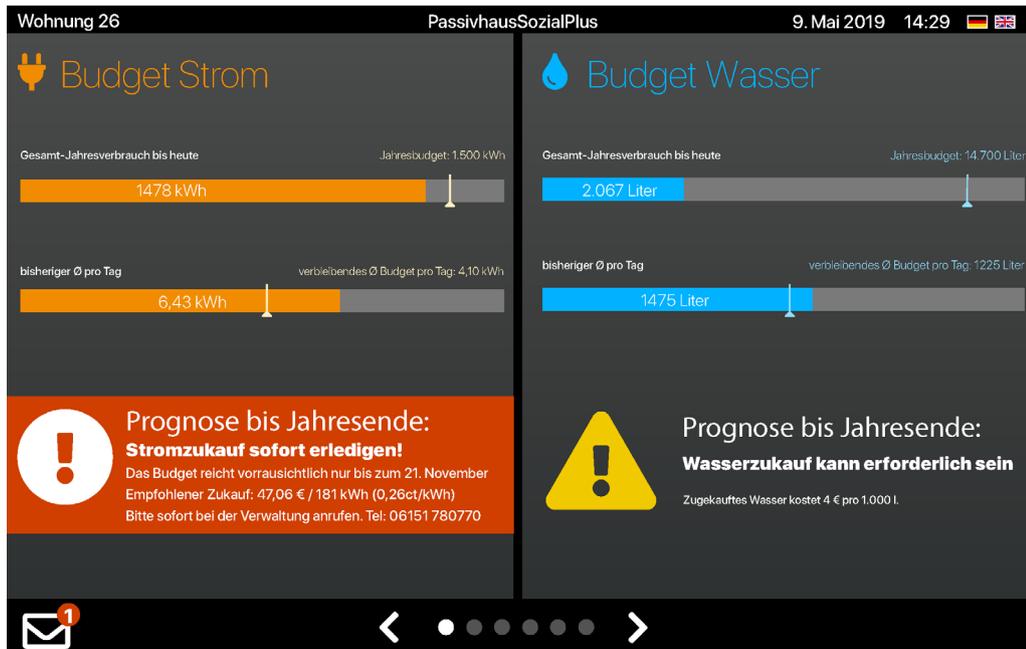


Abbildung 6: Anzeige des Display bei Überschreitung des Budgets für Haushaltsstrom



3. Ergebnisse im Betrieb

Im PassivhausSozialPlus, das im Rahmen des Forschungsprojekts „MOBASY“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert wird, werden die Verbrauchs- und Nutzungsparameter über einen Zeitraum von knapp drei Jahren detailliert gemessen und untersucht. Mehr als 600 Zähler und Sensoren mit mehr als 1.100 Messpunkten sind verbaut. Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf den Zeitraum Oktober 2019 bis September 2021 (Modernisierung) bzw. März 2020 bis September 2021 (Neubau). Für die flächenbezogenen Kennwerte wurde die Energiebezugsfläche „EBF“ von 1.662 m² (Modernisierung) und 1.762 m² (Neubau) nach PHPP verwendet (siehe Tabelle 1).

3.1 Wärmeverbrauch

Das modernisierte Gebäude hatte in der ersten Heizperiode inklusive der Verteilungsverluste zwischen Pufferspeicher und Wohnung einen Heizenergieverbrauch von 20,6 kWh/(m²*a) (Abbildung 7 links). Der Heizwärmebedarf lag inklusive Verteilverlusten laut PHPP bei 19,2 kWh/(m²*a).

Wärmeverbrauch von saniertem Bestand und Neubau

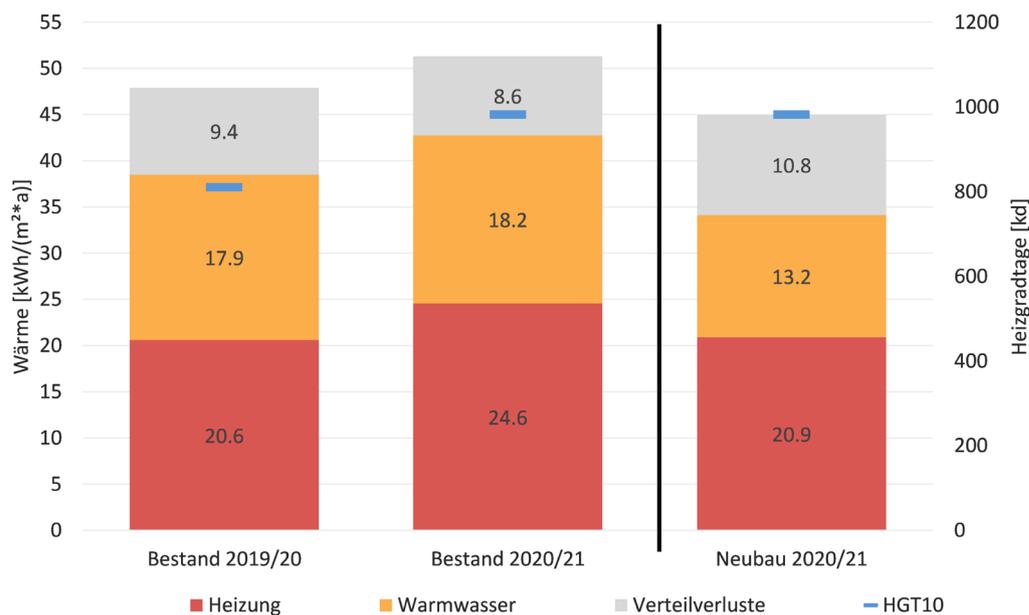


Abbildung 7: Wärmeverbrauch für Heizung, Warmwasser und Verteilverluste der Modernisierung (linke und mittlere Spalte, zwei Heizperioden) und des Neubaus (rechte Spalte, eine Heizperiode) sowie Heizgradtage vor Ort

Obwohl die Werte gut übereinstimmen, muss bei der Interpretation berücksichtigt werden, dass das Außenklima 2019/20 sehr mild war (die Heizgradtage betragen nur 810 Kd gegenüber einem langjährigen Mittel von 1018 Kd). Gleichzeitig lag die durchschnittliche Raumtemperatur bei etwa 22 °C (siehe auch Punkt 3.2.). Berücksichtigt man diese Faktoren sowie den tatsächlichen Stromverbrauch der Haushalte (interne Wärmequellen) im PHPP, ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 19,8 kWh/(m²*a). Verbrauch und angepasster Wärmebedarf passen daher ebenfalls gut zusammen. Neben der Heizwärme wurden 17,9 kWh/(m²*a) für die Warmwasserbereitung verbraucht, zusätzlich sind 9,4 kWh/(m²*a) an Verteilverlusten angefallen (nur Verteilung für Warmwasser und Speicherverluste). Diese Werte stimmen sehr gut mit den Planungswerten für das angepasste Außenklima überein. Der Gesamtwärmeverbrauch erreichte 2019/20 einen Wert von 47,9 kWh/(m²*a).

Im Jahr 2020/21 betrug der Heizwärmeverbrauch 24,6 kWh/(m²*a) (Abbildung 7 Mitte). Dieser Mehrverbrauch gegenüber dem ersten Messjahr lässt sich sehr gut mit der niedrigeren Außentemperatur erklären (982 Kd von April bis März 2020 bis März 2021). Durch die längere Heizperiode sind die nicht nutzbaren Verteilungsverluste etwas geringer ausgefallen, der Warmwasserverbrauch blieb nahezu unverändert. Der Gesamtwärmeverbrauch erreichte 51,3 kWh/(m²*a).

Im Neubau wurden 2020/21 insgesamt 20,9 kWh/(m²*a) für Heizung gemessen (Abbildung 7 rechts), wobei die Verteilungsverluste hier nicht in diesem Wert enthalten sind. Der Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung liegt mit 13,2 kWh/(m²*a) unter dem des Bestandsgebäudes, passt aber aufgrund der geringeren Belegungsdichte im Neubau gut zu den Planungswerten. Die Verteilungsverluste (hier mit Beheizung, Warmwasserbereitung und Speicherverlusten) liegen mit 10,8 kWh/(m²*a) nur geringfügig über dem Bestandsgebäude. Der Gesamtwärmeverbrauch erreichte im Neubau 45,0 kWh/(m²*a).

3.2 Raumtemperaturen

Im Rahmen des Monitorings wurde auch in den Wohnzimmern aller 42 Wohnungen die mittlere Raumtemperatur gemessen. Abbildung 8 zeigt die aufsteigend sortierten Wohnzimmertemperaturen getrennt für das modernisierte Bestandsgebäude (links in blau) und den Neubau (rechts in grün). Im Bestandsgebäude ergibt sich eine sehr große Temperaturspreizung zwischen 19,9 °C und 26,4 °C (die Messwerte der ersten Heizperiode in hellblau daneben dargestellt). Hier muss berücksichtigt werden, dass das Bestandsgebäude über die existierenden Heizkörper bei eine Vorlauftemperatur von 48 °C beheizt wird. Auch wenn keine raumweise Heizlastberechnung vorliegt, ist zu vermuten, dass die verfügbare Heizleistung deutlich über der benötigten Heizlast liegt und somit erst die Möglichkeit geschaffen wird Raumtemperaturen über 25 °C zu erreichen. Im Mittel aller Wohnungen des Bestandsgebäudes liegen die Raumtemperaturen bei 21,9 °C in der ersten und 22,4 °C in der zweiten Heizperiode.

Wohnzimmertemperaturen in der Heizperiode

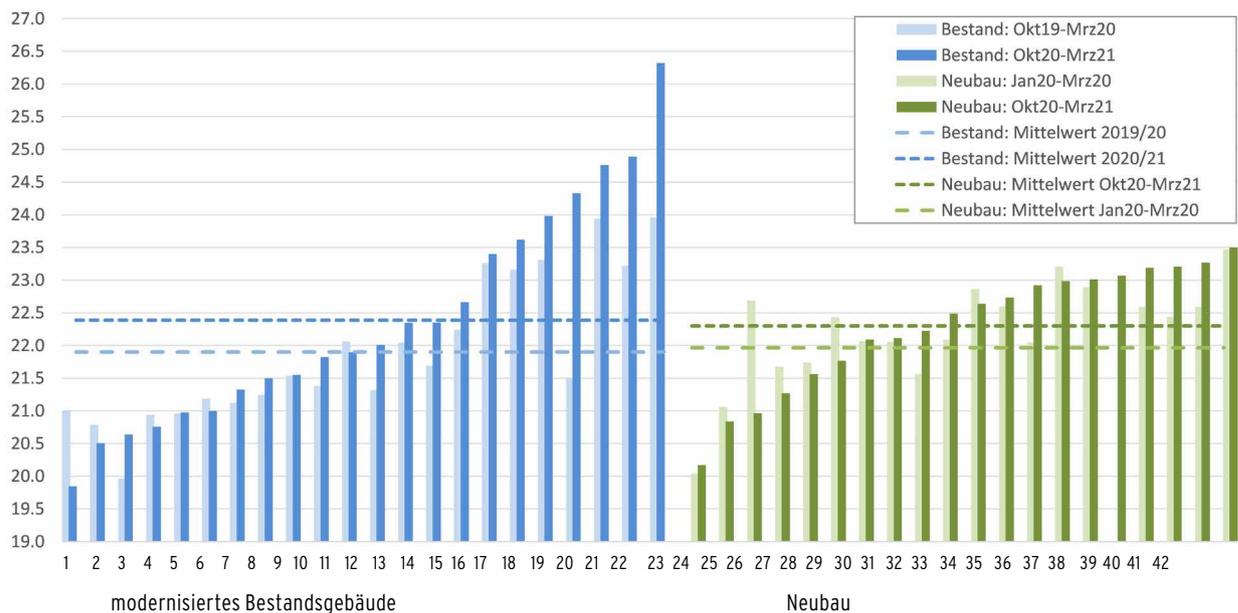


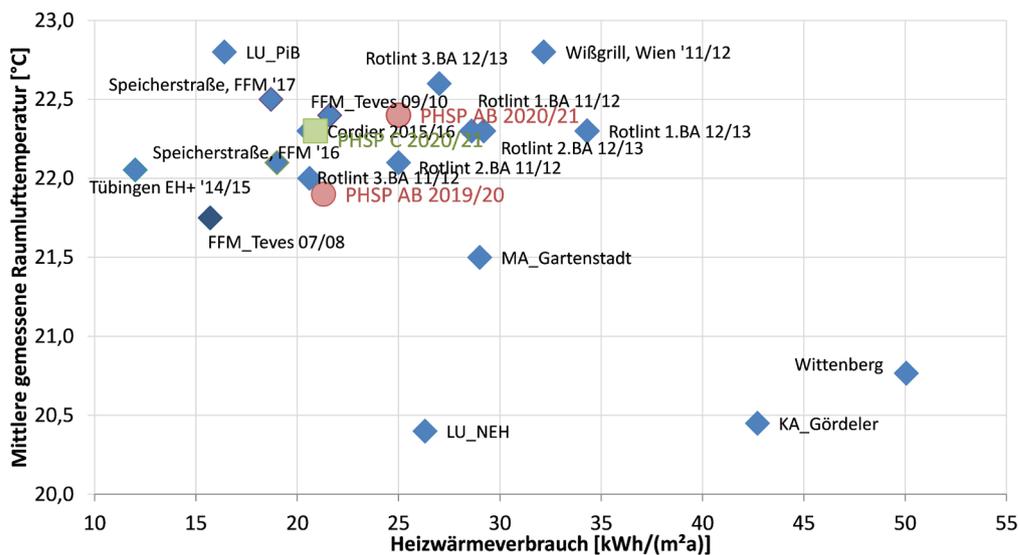
Abbildung 8: Aufsteigend geordnete Wohnzimmertemperaturen im modernisierten Bestandsgebäude und im Neubau für die Heizperioden Oktober 2019 (bzw. Januar 2020) bis September 2020 sowie Oktober 2020 bis September 2021

Beim Neubau liegt die Spreizung der Wohnzimmertemperaturen zwischen 20,0 °C und 23,5 °C deutlich geringer. Die Wohnungen im Neubau werden im Gegensatz zum Bestandsgebäude überwiegend über Nachheizregister in der Zuluft der Lüftungsanlage bei sehr begrenzter Heizleistung beheizt. Die sich einstellenden Mitteltemperaturen unterscheiden sich mit 22,0 °C bzw. 22,3 °C kaum vom Bestandsgebäude.

In 20 der insgesamt 42 Wohnungen wurden die Raumtemperaturen auch differenziert in jedem Raum erfasst. Ein Vergleich mit den Wohnzimmertemperaturen zeigt, dass die Unterschiede zwischen Wohnzimmertemperatur und Mitteltemperatur der Wohnung in der Regel gering sind. Nur in den Badezimmern herrschen teilweise höhere Temperaturen.

Raumtemperaturen zwischen 21,5 °C und 23 °C wurden auch in anderen energieeffizienten Mehrfamilienhäusern in Monitoring-Projekten gemessen (Abbildung 9). Die Raumtemperaturen sind weitgehend unabhängig davon, ob es sich um geförderten oder frei finanzierten Wohnungsbau handelt und auch die Art der Heizkostenabrechnung (nach Verbrauch oder pauschal) scheint keinen wesentlichen Einfluss auf die Raumtemperaturen bei hohem Gebäudestandard zu haben. Die Messwerte des PassivhausSozialPlus sind in Abbildung 9 in rot bzw. grün dargestellt.

Abbildung 9: Gemessene Raumtemperaturen energieeffizienter Mehrfamilienhäuser



Für die Planung ergibt sich aus der Abbildung 9, dass für eine realistische Abschätzung des Heizwärmeverbrauchs in Mehrfamilienhäusern neben der Bilanzierung mit gesetzlichen oder normativen Standardrandbedingungen auch eine Berechnung mit ca. 22 °C Raumtemperatur durchgeführt werden sollte.

3.3 Stromverbrauch

Für Haushaltsstrom wurden im modernisierten Gebäude 2020/21 insgesamt 23,2 kWh/(m²*a) gemessen, 25,8 kWh/(m²*a) im Neubau (Tabelle 2). Zur Einordnung dieser Werte ist die geringe pro-Kopf-Wohnfläche in den Gebäuden zu berücksichtigen, die mit 24,1 m²/Person 39 % unter dem Durchschnitt von 39,3 m²/Person für Mietwohnungen in Deutschland liegt [Bundestag 2020]. Der Allgemeinstromverbrauch lag bei 2,0 (Bestandsgebäude) bzw. 1,2 kWh/(m²*a) (Neubau). Der Gesamtstromverbrauch beträgt 31,6 kWh/(m²*a) für das modernisierte und 34,5 kWh/(m²*a) für den Neubau.

Tabelle 2: Stromverbräuche des modernisierten Gebäudes und des Neubaus Juli 2020 bis Juni 2021

	Bestandsgebäude [kWh/(m²*a)]	Neubau [kWh/(m²*a)]
Haushaltsstrom	23,2	25,8
Allgemeinstrom	2,0	1,2
Hilfsstrom	6,4	7,5
Gesamtstromverbrauch	31,6	34,5

Das Gesamtbudget für Haushaltsstrom, das in den Mietverträgen vereinbart worden war, betrug 65.950 kWh/a, der tatsächliche Verbrauch lag bei 79.652 kWh/a, d.h. das Budget wurde um 21 % überschritten. Die folgenden Abbildungen zeigen für jede Wohnung den Stromverbrauch über dem Strombudget 2020/21. Befindet sich die markierte Raute über der gestrichelten Diagonale, hat die Wohnung mehr Haushaltsstrom verbraucht, als im Budget vorgesehen ist.

Im modernisierten Gebäude (Abbildung 10) befinden sich unterhalb der gestrichelten Linie etwa so viele Wohnungen wie darüber. Im Mittel liegt der Verbrauch 9 % über dem kalkulierten Budget. 41 % der Wohnungen erreichen die Stromeffizienzklasse A, 23 % Klasse B, 32 % Klasse C und nur eine Wohnung mit 5 % die Klasse D, die den mittleren Stromverbrauch in Deutschland repräsentiert [Stromspiegel 2019]. Abbildung 11 zeigt den gleichen Zusammenhang für den Neubau. Hier legen deutlich mehr Wohnungen über dem Budget und im Durchschnitt wird das Budget um 35 % überschritten. Im Neubau erreichen nur 20 % die Effizienz-Klasse A, 25 % die Klasse B, 20 % die Klasse C, 15 % die Klasse D und jeweils 10 % die Klasse E und F. Die Gründe für die unterschiedlichen Stromverbräuche zwischen modernisiertem Gebäude und Neubau sind nicht bekannt.

Haushaltsstromverbrauch je Wohnung und Budget 2020/21

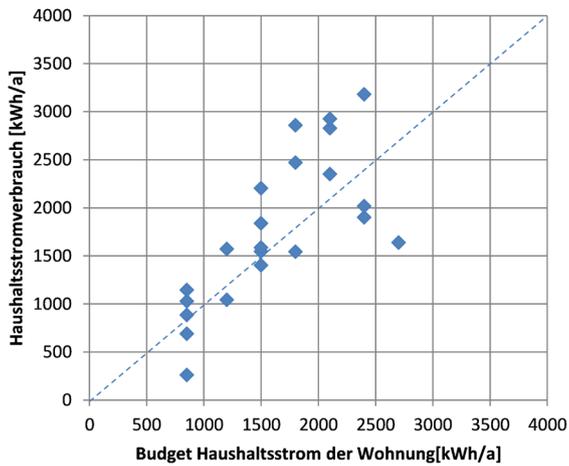


Abbildung 10: Haushaltsstromverbrauch Bestandsgebäude je Wohnung und Budget der Wohnung 2020/21

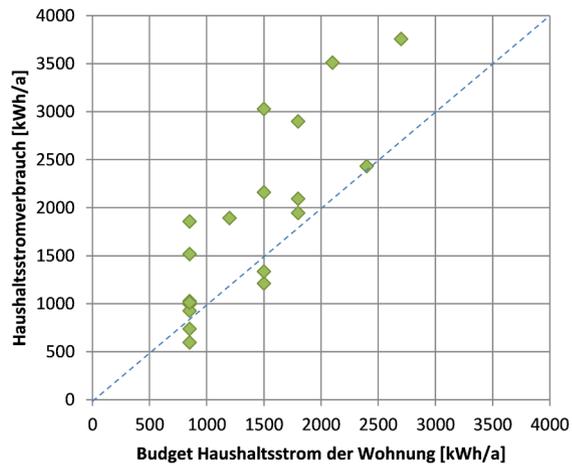


Abbildung 11: Haushaltsstromverbrauch Neubau je Wohnung und Budget der Wohnung 2020/21

3.4 Stromerzeugung

Im modernisierten Gebäude wurde 2020/21 ein PV-Ertrag von 24,6 kWh/(m²*a) gemessen, der in der Größenordnung des Stromverbrauchs der Haushalte liegt. Von diesem Ertrag wurden 11,6 kWh/(m²*a) direkt verbraucht, 1,6 kWh/(m²*a) zum Laden der Batterie verwendet und 11,4 kWh/(m²*a) ins Netz eingespeist (Tabelle 3).

Tabelle 3: Stromerzeugung und Netzeinspeisung des modernisierten Gebäudes und des Neubaus Juli 2020 bis Juni 2021

	Bestandsgebäude [kWh/(m ² *a)]	Neubau [kWh/(m ² *a)]
PV-Stromerzeugung gesamt	24,6	26,7
Direktverbrauch	11,6	12,1
Ladung Batteriespeicher	1,6	4,9
Netzeinspeisung	11,4	9,7

Der PV-Ertrag im **Neubau** war mit 26,7 kWh/(m²*a) etwas höher und mit 12,1 kWh/(m²*a) wurde mehr Strom direkt im Gebäude verbraucht. Zum Laden der Batterien wurden 4,9 kWh/(m²*a) verwendet und nur 9,7 kWh/(m²*a) ins Netz eingespeist. Der PV-Ertrag im Neubau ist höher als der jährliche Haushaltsstromverbrauch.

Der Anteil des Direktverbrauchs im modernisierten Gebäude betrug 47 % der PV-Stromerzeugung, der gesamte Eigenverbrauch inklusive Batteriespeicher lag bei 54 %. 40 % des gesamten Stromverbrauchs des Bestandsgebäudes wurden physikalisch durch die PV-Anlage gedeckt. Beim Neubau lag der Direktverbrauch bei 45 %, der Eigenverbrauch erreichte 64 % und der Deckungsgrad der PV-Anlage am Gesamtstromverbrauch betrug 46 % .

Der Wirkungsgrad des Batteriespeichers lag 2020/21 bei 68 % im modernisierten Gebäude und bei 75 % beim größeren Speicher im Neubau. Damit liegt er unter dem Erwartungswert von ca. 80 %.

Nach der Inbetriebnahme traten eine Reihe von Problemen mit den Batteriespeichern auf (Zellenladung, Software). Diese wurden im Verlauf des ersten Betriebsjahres behoben. Von März bis August 2021 erreichte der Wirkungsgrad des Batteriespeichers im modernisierten Gebäude 75 % und im Neubau 78 %.

3.5 Trinkwasser

Ein wichtiges Thema bei der Kostensenkung war der sparsame Umgang mit Trinkwasser, da die Kosten von 3,75 €/m³ für Trinkwasser (inkl. Abwasser) in Darmstadt für die Nebenkosten relevant sind. Das Gesamtbudget für Trinkwasser in allen Wohnungen, das keine Wassermenge für die Toilettenspülung enthält (siehe unten), betrug 2.663 m³/a. Der Verbrauch von 2.810 m³/a bzw. 20,4 m³/(Person*a) lag im Auswertungszeitraum 2020/21 rund 5,5 % über dem im Budget geplanten Wert. Beim Neubau wurde das Budget sogar leicht unterschritten, im modernisierten Gebäude lag der Verbrauch 10 % über dem Budget. Der durchschnittliche jährliche Trinkwasserverbrauch in Deutschland liegt bei 44,9 m³ pro Person [BDEW 2020], wobei ein Anteil von 27 % (das sind 12,1 m³/(Person*a)) auf die Toilettenspülung entfällt. Ohne diesen Anteil für die Toilettenspülung ergibt sich ein Vergleichswert von 32,8 m³/(Person*a). Damit liegen die Wohnungen um 38 % unter dem Durchschnittsverbrauch.

Für Toilettenspülung wurden in den beiden Gebäuden im Mittel 16,7 m³/(Person*a) gemessen, der Wert liegt damit rund 37 % über dem deutschen Durchschnitt von 12,1 m³/(Person*a). Dennoch konnte der Trinkwasserverbrauch für die Toilettenspülung durch die Grauwasseranlage deutlich auf 5,57 m³/(Person*a) gesenkt werden, was eine Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs um 54 % gegenüber dem deutschen Mittelwert bedeutet.

4. Baukosten

Das Bauvorhaben PassivhausSozialPlus wurde in den Jahren 2018 und 2019 umgesetzt. Bei den im Folgenden angegebenen Baukosten handelt es sich um Bruttowerte inkl. 19 % Mehrwertsteuer. Bei den Auswertungen wurde in der Regel die vermietete Wohnfläche als Bezugsgröße verwendet, d. h. Balkone sind mit 25 % der Fläche berücksichtigt.

Tabelle 4 zeigt die Baukosten für die Kostengruppen 300 (Bauwerk - Baukonstruktionen) und 400 (Bauwerk - Technische Anlagen) sowie die Kostengruppe 600 (Ausstattungen) [Großklos et al. 2021]. Die Kostengruppen 300 und 400 entsprechen den Kostengruppen 2 + 3 + 4 nach ÖNORM B 1801-1.

Bei dem Bestandsgebäude entstanden in KG 300 (Bauwerk - Baukonstruktion) Kosten von 1.090,30 €/m² Wfl., in KG 400 (Bauwerk - Technische Anlagen, ohne PV) lagen diese bei 378,33 €/m² Wfl. und bei KG 600 (Ausstattungen) bei 70,19 €/m² Wfl. Insgesamt lagen die Kosten bei KG 300 und KG 400, die häufig für Vergleiche mit anderen Bauvorhaben herangezogen werden, bei 1.468,63 €/m² Wfl. Hierin ist auch die Wohnflächenerweiterung durch Anbauten und Dachaufstockung enthalten.

Beim Neubau sind in KG 300 Kosten von 1.314,34 €/m² Wfl. angefallen, in KG 400 waren es ohne die PV-Anlage 430,60 €/m² Wfl. und in KG 600 65,78 €/m² Wfl. In der Summe der KG 300 und 400 lagen die Kosten beim Neubau bei 1.744,94 €/m² Wfl.

Tabelle 4: Brutto-Baukosten der Kostengruppen 300, 400 und 600 nach DIN 276 getrennt für modernisiertes Bestandsgebäude und Neubau; Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276 entsprechen den Kostengruppen 2.3.4 nach ÖNORM B 1801-1

	Bestandsgebäude[€/m² Wfl.]	Neubau[€/m² Wfl.]
KG 300*	1.090,30	1.314,34
KG 400*	378,33	430,60
Summe KG 300 + KG 400	1.468,63	1.744,94
KG 600	70,19	65,78

* ohne Monitoring und Visualisierung/Budgetierung

Von der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen [ARGE 2019] wurden typische Spannen für die Bauwerkskosten je nach Energieeffizienzstandard auf Basis eines Typengebäudes¹ für Mehrfamilienhäuser im Geschosswohnungsneubau ermittelt. Typische Baukosten für einen Neubau im gesetzlichen Mindeststandard (EnEV ab 2016) liegen laut ARGE zwischen 1.565 und 1.776 €/m² Wfl.) und beim KfW-Effizienzhaus 40-Standard² zwischen 1.735 und 2.132 €/m² Wfl.). Mit 1.734 €/m² Wfl.) liegen die Kosten des PassivhausSozialPlus-Neubaus ohne PV-Module und Unterkonstruktion im untersten Kostenbereich der von der ARGE für den KfW-Effizienzhaus 40-Standard angegebenen Werte und sogar noch innerhalb der Kostenspanne von Neubauten nach dem gesetzlichen Mindeststandard nach EnEV.

In Tabelle 5 sind die Kosten für diejenigen Positionen in KG 400 dokumentiert, für die separate Kosten bzw. Positionen in den Abrechnungen für Bestandsgebäude und Neubau vorlagen. Besonders hervorgehoben werden sollen die Kosten für die Lüftungsanlagen sowie die PV-Anlagen und die Batteriespeicher.

Die Lüftungsanlagen in den Wohnungen des Bestandsgebäudes verursachten Kosten von 76,90 €/m² Wfl.) bzw. 5.805,50 €/Wohneinheit. Darin enthalten sind die Lüftungsgeräte (48 % der Gesamtkosten), die Verlegung der Kanäle (50 % der Gesamtkosten) und die Leitungsdämmung. Die Verkleidung der Lüftungskanäle ist Bestandteil des Trockenbaus und konnte nicht separat ausgewiesen werden. Im Neubau entstanden für die Lüftungsanlagen insgesamt Kosten von 89,47 €/m² Wfl.) bzw. 7.168,41 € je Wohneinheit. Die Lüftungsgeräte im Neubau besitzen eine aufwändigere Regelung und ein Frostschutzregister, um die Beheizung der Wohnungen auch bei Frost sicherstellen zu können. Aus diesem Grund waren die Lüftungsgeräte mit 3.275 € je Wohneinheit ca. 500 € teurer als im Bestandsgebäude. Aber auch die Verlegung der Lüftungsleitungen verursachte Mehrkosten von 563 € je Wohneinheit. Ursache sind hier u. a. die größeren Wohnflächen je Wohnung im Neubau.

Die PV-Anlagen kosteten 30,41 €/m² Wfl.) im Bestandsgebäude und 31,71 €/m² Wfl.) im Neubau, wobei die Anlage im Neubau eine um 6 % höhere Peakleistung besitzt. Eine Besonderheit der Anlage stellt die Montage auf dem Gründach dar. Um für die Dachbegrünung ausreichend Freiraum unter den Modulen zu erhalten, wurden spezielle Halterungen des Gründach-Systemanbieters verwendet, die die Module bei 15 ° Neigung über dem Gründach aufständern und die Ballastierung in das Gründach integrieren. Der Anteil der Kosten dieser speziellen Unterkonstruktion an den Gesamtkosten der PV-Anlage lagen mit ca. 41 % noch über dem Anteil der PV-Module (38 %). Mit einer Standard-Unterkonstruktion hätten die Gesamtkosten für die PV-Anlagen bei 950 €/kW_p gelegen. Die spezielle Gründachkonstruktion führte zu Mehrkosten von 284,42 €/kW_p beim modernisierten Bestandsgebäude bzw. 223,21 €/kW_p beim Neubau und erhöhen den Anlagenpreis um 30 bzw. 23 %.

1 Mehrfamilienhaus mit 5 Geschossen, 12 Wohneinheiten und 880 m² Wohnfläche.

2 Höchster in Deutschland von der staatlichen KfW-Bank geförderter Standard

Tabelle 5: Brutto-Kosten der technischen Ausstattung (KG 400 nach DIN 276) getrennt nach Bestandsgebäude und Neubau

	Bestandsgebäude			Neubau		
	Gesamtkosten [€]	Kosten je m ² Wfl [€/m ² Wfl.]	Kosten je Wohneinheit [€/WE]	Gesamtkosten [€]	Kosten je m ² Wfl [€/m ² Wfl.]	Kosten je Wohneinheit [€/WE]
Heizzentralen	23.156,89	13,94	1.052,59	18.812,02	11,74	940,60
Frischwasserstationen	49.254,78	29,66	2.238,85	42.830,24	26,73	2.141,51
Heizungen	31.304,40	18,85	1.422,93	36.499,78	22,78	1.824,99
Lüftungsanlagen inkl. Leitungen und Verkleidung	127.720,93	76,90	5.805,50	143.368,12	89,47	7.168,41
Lüftungsgeräte Treppenhäuser + Keller	5.219,57	3,14	237,25	4.517,72	2,82	225,89
PV-Anlagen	50.513,51	30,41	2.296,07	50.812,43	31,71	2.540,62
Batteriespeicher	22.608,78	13,61	1.027,67	53.560,68	33,43	2.678,03
Aufzug				47.336,64	29,54	2.366,83
Küchen	112.263,21	67,59	5.102,87	100.950,90	63,00	5.047,55
Beleuchtung Wohnungen	11.169,00	6,72	507,68	9.704,00	6,06	485,20

Die in Tabelle 6 dargestellten Komponenten konnten nicht auf die einzelnen Gebäudeteile aufgeteilt werden und werden aus diesem Grund für das Gesamtprojekt dargestellt. Die Grauwasseranlage, die das gesamte PassivhausSozialPlus versorgt, verursachte Kosten von 8,24 €/m² Wfl.) bzw. 640,22 € je Wohneinheit. In den Kosten ist die Erweiterung der Anlage im Sommer 2020 nicht berücksichtigt, da es sich um eine Testanlage des Herstellers handelt. Sie wird im PassivhausSozialPlus getestet, ohne dass zusätzliche Investitionskosten für die Neue Wohnraumhilfe angefallen sind.

Tabelle 6: Kostenpositionen der technischen Ausstattung (KG 400 nach DIN 276, Angaben brutto) für das Gesamtvorhaben

	Anlagen für das gesamte PassivhausSozialPlus		
	Gesamtkosten [€]	Kosten je m ² Wfl [€/m ² Wfl.]	Kosten je Wohneinheit [€/WE]
Grauwasseranlage	26.889,31	8,24	640,22
Fernwärmeanschluss	6.941,20	2,13	165,27
WLAN/Internet	9.821,78	3,01	233,85
Budgetabrechnung und Visualisierung	124.067,78	38,02	2.953,99
Monitoring (inkl. Planungskosten)	297.365,24	91,12	7.080,12
Zusatzkosten Küchen in Rollstuhlwohnungen ca.	10.500,00		1.750,00
Zusatzkosten Ausstattung Bäder in Rollstuhlwohnungen	13.509,57		2.251,60

Die Kosten für das Monitoring entstanden aufgrund der umfangreichen Begleitforschung. Sie wurden wie die Budgetabrechnung vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert und fallen bei Bauvorhaben ohne wissenschaftliche Begleitung nicht an.

5. Mieten und Nebenkosten

Die Netto-Kaltnieten im geförderten Wohnungsbau in Hessen dürfen $6,50 \text{ €/}(m^2 \cdot \text{Monat})$ nicht überschreiten. Die staatliche Förderung soll das angestrebte Mietniveau garantieren. Die Mieten in den Wohnungen liegen damit deutlich unter der Vergleichsmiete, die in diesem Stadtteil bei vergleichbarer Ausstattung bei $10,04 \text{ €/}(m^2 \cdot \text{Monat})$ liegt. Gleichzeitig wurden der Passivhaus-Standard, PV-Stromerzeugung und ein sehr guter Ausstattungsstandard (inkl. Küchen, Batteriespeicher etc.) umgesetzt.

Die abgerechneten Nebenkosten im Jahr 2020 betragen $1,14 \text{ €}$ bei den Verbrauchskosten für Wärme und Trinkwasser, $0,87 \text{ €}$ für sonstige Nebenkosten wie Grundsteuer, Gebäudeeinigung oder Müllentsorgung und $0,52 \text{ €}$ für Haushaltsstrom, der in der Regel nicht in den Nebenkosten enthalten ist. Die vereinbarte Nebenkostenpauschale und die abgerechneten Kosten lagen im Jahr 2020 etwa in der gleichen Größenordnung, sodass die Ausgaben des Vermieters gedeckt waren. Allerdings fehlen die notwendigen Sicherheitszuschläge, sodass die Nebenkostenpauschale (ohne Haushaltsstrom) von ca. $2,10 \text{ €/}(m^2 \cdot \text{Monat})$ zu Mietbeginn auf $2,50 \text{ €/}(m^2 \cdot \text{Monat})$ erhöht werden musste. Dennoch liegen die Nebenkosten noch deutlich unter dem Vergleichswert von $3,59 \text{ €/}(m^2 \cdot \text{Monat})$ im geförderten (sozialen) Wohnungsbau in Darmstadt im Jahr 2016 [Großklos et al. 2018].

6. Schlussfolgerungen

Im sozialen Wohnungsbau entstanden 22 Wohnungen in einem hocheffizient modernisierten Bestandsgebäude und 20 Wohnungen in einem Neubau im Passivhausstandard. Besonderheiten des Projekts sind die Nebenkostenpauschale und das Budget für Trinkwasser und Haushaltsstrom, die ebenfalls in der Pauschale enthalten sind. Der Verbrauch des Haushalts und die erwartete (Rest-)Reichweite des Budgets bis zum Jahresende werden in jeder Wohnung auf einem Display angezeigt.

Die Messergebnisse zeigen, dass der Heizwärmeverbrauch trotz Pauschalabrechnung sehr gering ist und unter Berücksichtigung der tatsächlichen Raumtemperaturen und des Außenklimas nur geringfügig über den erwarteten Werten liegt. Der Gesamtwärmeverbrauch für Heizung, Warmwasserbereitung und Verteilungsverluste liegt zwischen 45 und $51 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$ und ist damit ebenfalls gering - vor allem wenn man die hohe Personendichte in den Wohnungen berücksichtigt.

Haushaltsstrom- und Trinkwasserverbräuche liegen über den vereinbarten Budgets. Dennoch verbrauchen 81% der Haushalte im PassivhausSozialPlus weniger Strom als der Durchschnitt in Deutschland und nur 10% liegen über dem Durchschnitt. Die PV-Anlagen liefern im Jahr etwa so viel Strom, wie in den Haushalten insgesamt verbraucht wird. 40 bzw. 46% des Stromverbrauchs der Gebäude konnten tatsächlich mit Solarenergie gedeckt werden. Der Trinkwasserverbrauch liegt um 38% unter dem durchschnittlichen Verbrauch in Deutschland. Bei der Toilettenspülung lag der durchschnittliche Trinkwasserverbrauch trotz hohem Absolutverbrauch aufgrund der Grauwasseraufbereitung und -wiederverwendung 54% unter dem Mittelwert in Deutschland.

Die Ergebnisse des Monitorings sind überwiegend positiv und es konnte eine deutliche Reduzierung der Nebenkosten erreicht werden, auch wenn noch Verbesserungspotenzial besteht. Das PassivhausSozialPlus-Konzept wird zur Zeit in weiteren Gebäuden umgesetzt und weiterentwickelt.

Danksagung

Das Institut Wohnen und Umwelt dankt dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Förderung des Projekts „MOBASY“ im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen“, Förderkennzeichen FKZ O3SBE0004A. Ein weiterer Dank geht an Petra Grenz und Folkmer Rasch vom Büro faktor10 sowie Wolfgang Bauer-Schneider und Doreen Petri von der Neuen Wohnraumhilfe.

Literatur

[ARGE 2019] ARGE Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.: Auswirkungen energetischer Standards auf die Bauwerkskosten und die Energieeffizienz im Geschosswohnungsneubau in Deutschland. Bauforschungsbericht Nr. 78. Kiel, 2019.

[BDEW 2020] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Trinkwasseranwendung im Haushalt. Berlin, 2020.

[Behr, Großklos 2017] Behr, I., Großklos, M. 2017: Praxishandbuch Mieterstrom. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden.

[Bundestag 2020] Wohnflächenentwicklung in Deutschland. Antwort der Bundesregierung (19/23056) vom 02.10.2020 auf eine Kleine Anfrage der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen.
<https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/230/1923056.pdf>

[Großklos et al. 2018] Großklos, M., Krapp, M.-C., v Malottki, C., Stein, B. 2018. Ansätze zur Reduktion der Nebenkosten im sozialen Wohnungsbau am Beispiel des Vorhabens „PassivhausSozial-Plus“ in Darmstadt, Institut Wohnen und Umwelt

[Großklos et al. 2021] Großklos, M.; Behem, G.; Müller, A.; Swiderek, S.; Stein, B.: PassivhausSozialPlus - Konzept, Umsetzung, Kosten und Ergebnisse des ersten Messjahres. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2021.

[Großklos 2021] Großklos, M.: Betriebserfahrungen zweier Passivhäuser im sozialen Wohnungsbau. Tagungsbeitrag zur 25. Passivhaus-Tagung 2021 (Online)

[Stat. Bundesamt 2017] Statistisches Bundesamt, 2017. Fachserie 15/1 Wirtschaftsrechnung - Einnahmen und Ausgabe privater Haushalte, Bände von 2004, 2007, 2017, Wiesbaden

[Stromspiegel 2019] co2online [Hrsg.]: Stromspiegel für Deutschland 2019. Berlin, 2019

Impressum

Herausgeber

Energieinstitut Vorarlberg, Campus V, Stadtstraße 33, 6850 Dornbirn
www.energieinstitut.at, info@energieinstitut.at

DI Arch. Martin Ploss

Autoren

Maarten Hommelberg, Stroomversnelling NL
Marc Großklos, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt
Bernhard Breuer, Architekt, Schruns
Stefan Oehler, Architekt, Berlin
Martin Ploss, Energieinstitut Vorarlberg

Graphik

studio altenried · bernd altenried, jonas altenried · www.almo.de

Bezug

Energieinstitut Vorarlberg

Die von den Autoren in ihren Beiträgen wiedergegebenen Positionen müssen nicht in allen Fällen mit denen des Herausgebers oder der Träger übereinstimmen.

1. Auflage, Dornbirn 2022

Die economicum Veranstaltungsreihe wird unterstützt von:



3500

3000

2500

2000

1500

1000

500

