

## MOBASY-Teilbericht

# PassivhausSozialPlus – Konzept, Umsetzung, Kosten und Ergebnisse des ersten Messjahres

Forschungsprojekt

### MOBASY

**Modellierung der Bandbreiten und systematischen  
Abhängigkeiten des Energieverbrauchs  
zur Anwendung im Verbrauchscontrolling  
von Wohngebäudebeständen**

(Verbundvorhaben Solares Bauen FKZ 03SBE0004A)

Darmstadt, 17.05.2021

Autoren: Marc Großklos  
Guillaume Behem  
André Müller  
Stefan Swiderek  
Britta Stein

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Titel: PassivhausSozialPlus – Konzept, Umsetzung, Kosten und Ergebnisse des ersten Messjahres

Autoren: Marc Großklos  
Guillaume Behem  
André Müller  
Stefan Swiderek  
Britta Stein

Darmstadt, 17.05.2021

ISBN 978-3-941140-68-4

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)  
Rheinstraße 65  
64295 Darmstadt  
Germany

Telefon +49 (0)6151 2904-0  
Fax +49 (0)6151 2904-97  
Internet [www.iwu.de](http://www.iwu.de)

# Inhalt

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Gebäudekonzept.....</b>	<b>5</b>
2.1 Gebäudehülle und Anlagentechnik .....	10
2.2 Ausstattung der Wohnungen .....	13
2.3 Pauschalierung von Betriebs- und Nebenkosten .....	13
<b>3 Ergebnisse des ersten Messjahres .....</b>	<b>17</b>
3.1 Wärmeverbräuche für Heizung und Warmwasser .....	17
3.2 Elektrische Energie .....	20
3.2.1 Stromverbrauch.....	20
3.2.2 Stromerzeugung, Batteriespeicher und Netzbezug/-einspeisung.....	22
3.3 Grauwasseranlage und Trinkwasserverbrauch gesamt.....	24
3.4 Wohnungsweise Verbräuche für Haushaltsstrom und Trinkwasser .....	25
3.4.1 Haushaltsstrom.....	25
3.4.2 Trinkwasserverbrauch .....	26
3.5 Raumtemperaturen und Raumluftfeuchten.....	28
<b>4 Baukosten .....</b>	<b>30</b>
4.1 Kosten der Außenbauteile im Neubau .....	31
4.1.1 Bodenplatte .....	31
4.1.2 Außenwände .....	32
4.1.3 Flachdach.....	33
4.2 Kosten einzelner technischer Anlagen .....	34
4.2.1 PV-Anlagen .....	36
4.3 Einordnung der Kosten .....	38
4.3.1 Neubau .....	38
4.3.2 Modernisiertes Bestandsgebäude.....	39
4.3.3 Fazit .....	41
<b>5 Erfahrungen bei der Umsetzung des Vorhabens .....</b>	<b>42</b>
5.1 Elektrotechnik.....	42
5.2 Heizung, Lüftung, Sanitär.....	43
5.3 Daten- und IT-Netze .....	43
5.4 Innovative Techniken.....	44
5.5 Planung aus Sicht des Bauherrn / Vermieters .....	44
5.6 Zusammenfassung.....	45
<b>6 Erfahrungen im Betrieb .....</b>	<b>46</b>
<b>7 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>47</b>



## Zusammenfassung

Die Neue Wohnraumhilfe gGmbH, Darmstadt, hat mit dem PassivhausSozialPlus (PHSP) 2018/19 insgesamt 42 geförderte Wohnungen mit Mieten deutlich unterhalb der örtlichen Vergleichsmiete und niedrigen Nebenkosten geschaffen. Das auf einem ehemaligen Kasernengelände in Darmstadt umgesetzte Projekt besteht aus einem modernisierten Bestandsgebäude, das zur Minimierung des Herstellungsenergieaufwandes erhalten wurde, und einem barrierefreien Ersatzneubau im Passivhaus-Standard. Eine Reihe besonderer Techniken und Konzepte soll die Nebenkosten reduzieren.

Die Wärmeverluste des Gebäudes wurden durch Dämmstärken zwischen 20 und 36 cm, durch Dreifach-Wärmeschutzverglasung im gedämmten Rahmen und durch die Installation von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung minimiert. Weiterhin wurde großen Wert auf die Reduktion der Wärmeverluste des Rohrleitungsnetzes gelegt, u. a. durch Verdopplung der Dämmstärke gegenüber den gesetzlichen Mindestanforderungen und teilweise Verlegung innerhalb der Kellerdeckendämmung. Die Warmwasserbereitung erfolgt mit Wohnungsstationen direkt in der Nähe der Zapfstelle auf ca. 45 °C. Durch die niedrige Temperatur, aber auch durch die Kombination von Heizung und Warmwasser in einem Verteilnetz werden die Wärmeverluste gegenüber herkömmlichen Systemen stark verringert. Zur Minimierung der Wasserkosten wird Grauwasser aufbereitet und für die Toilettenspülung verwendet. Auch der Haushaltsstromverbrauch steht im Fokus: Alle Wohnungen wurden vom Vermieter mit besonders sparsamen Haushaltsgeräten sowie mit LED-Beleuchtung ausgestattet. PV-Anlagen auf den Dächern und Batteriespeicher tragen zur Reduktion der Strombezugskosten bei. Eine weitere Besonderheit der Gebäude ist die pauschale Abrechnung fast aller Nebenkosten. Für den Verbrauch an Trinkwasser und Haushaltsstrom sind Budgets vorgesehen, die zu einem bewussten Umgang führen sollen und gleichzeitig die Wohnkosten planbar machen. Die Höhe ihres Strom- und Wasserverbrauchs sowie die Ausschöpfung der Budgets werden den Mietern in den Wohnungen auf einem Display visualisiert. Das modernisierte Bestandsgebäude ist im Spätsommer 2019 bezogen worden, der Neubau Anfang 2020.

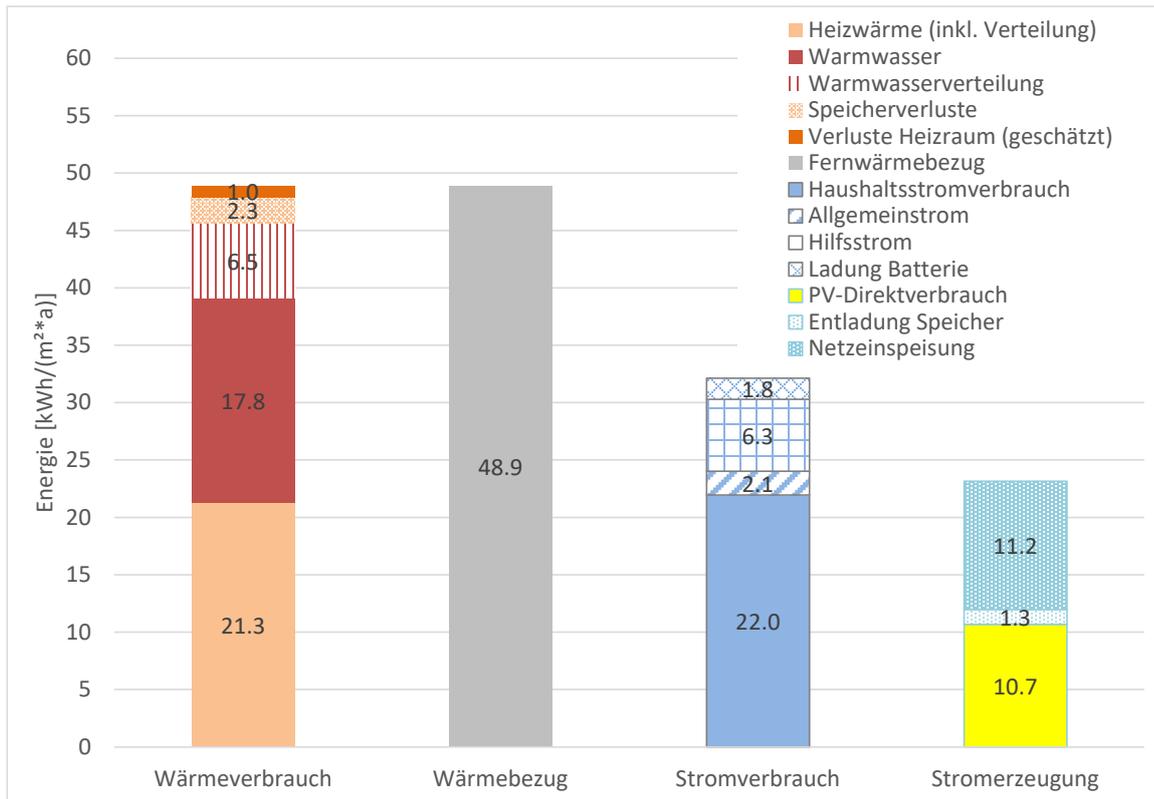
Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung konnte ein umfangreiches Messprogramm für das Modellprojekt umgesetzt werden. Die wichtigsten Ergebnisse des ersten Messjahres für das modernisierte Bestandsgebäude lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Das Komfortniveau in den Wohnungen des modernisierten Bestandsgebäudes lag mit 22,0 °C im Winter 2019/20 auf einem vergleichbaren Niveau wie bei anderen Passiv- oder Plusenergiehäusern im frei finanzierten Wohnungsbau. Die mittleren Raumluftfeuchten lagen in den Wohnungen im Mittel minimal bei ca. 40 % und damit auf einem komfortablen Niveau.

Der Wärmeverbrauch für die Beheizung des modernisierten Bestandsgebäudes (inkl. Verteilverluste) liegt bei 21,3 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) – das angestrebte Verbrauchsniveau knapp über dem Passivhaus-Standard (15 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) ohne Verteilverluste) wurde also tatsächlich erreicht (Bild 1). Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund zu sehen, dass der Heizenergieverbrauch der Haushalte nicht individuell abgerechnet wird und auch nicht der Budgetierung unterliegt.

Der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung von 17,8 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) liegt im Bereich üblicher Verbrauchswerte. Hierbei muss aber auch die hohe Personenbelegung in den Wohnungen von 22,5 m<sup>2</sup>/Person berücksichtigt werden, die den flächenbezogenen Verbrauch vergrößert. Pro Person liegt der Wärmeverbrauch etwa 20 % unter dem Planungswert für Passivhäuser.

Der Gesamtwärmebezug für Beheizung und Warmwasserbereitung am Fernwärmeanschluss liegt bei 48,9 kWh/(m<sup>2</sup>\*a), etwa ein Viertel davon entfällt auf Verteil- und Speicherwärmeverluste.

**Bild 1: Wärme- und Strombilanz des modernisierten Bestandsgebäudes**


Der Haushaltsstromverbrauch liegt mit  $22,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  in Anbetracht der hohen Personenbelegungsdichte im Gebäude sehr niedrig. Ordnet man die Haushalte in Abhängigkeit der Anzahl der Personen in Verbrauchsklassen nach dem Stromspiegel Deutschland ein, so liegen 50 % aller Wohnungen in der sparsamsten Verbrauchsklasse A des Stromspiegels, 32 % in der Verbrauchsklasse B und 18 % in der Klasse C – die Klasse D bis G mit hohen Verbräuchen werden in keiner Wohnung erreicht. Die niedrigen Verbräuche sind vermutlich unter anderem auf die Ausstattung der Wohnungen mit energiesparenden Küchengeräten und energieeffizienter LED-Beleuchtung zurückzuführen. Die Budgets für Haushaltsstrom waren je nach Haushaltsgröße in Anlehnung an die Verbrauchsklasse A des Stromspiegels für Deutschland festgelegt worden. In der Summe haben die Haushaltsstromverbräuche im ersten Messjahr das Gesamtbudget um lediglich 2 % überschritten. Allerdings sind in einigen Wohnungen deutliche Überschreitungen aufgetreten, für die die Mieter dann zusätzliches Budget kaufen mussten. Da die Budgetvisualisierung erst im Sommer 2020 in Betrieb gegangen ist, wird sich erst im laufenden Jahr zeigen, wie dies den Haushaltsstromverbrauch beeinflusst.

Der Allgemeinstromverbrauch ist mit  $2,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  unauffällig, beim Hilfsstromverbrauch von  $6,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  dominiert der Strom für die Lüftungsanlagen, der aber mit  $2,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  noch unter dem Bedarfswert nach PHPP liegt. Auch im Vergleich zu anderen energieeffizienten Mehrfamilienhäusern liegt der Lüftungsstromverbrauch im unteren Bereich für wohnungsweise Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Die zusätzliche Technik für Monitoring, Internetversorgung und Abrechnung führen zu einem zusätzlichen Stromverbrauch von  $1,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , der sich jedoch nach der dreijährigen Messphase deutlich reduzieren wird. Der Gesamtstromverbrauch des Gebäudes lag bei  $32,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

Die Solarstromerzeugung auf dem Dach des Gebäudes lag mit  $25 \text{ kWh}$  pro  $\text{m}^2$  Wohnfläche und Jahr aufgrund des sonnigen Sommers 2020 über dem prognostizierten Wert. Davon konnten 55 % direkt im Gebäude verbraucht werden. Hierzu hat auch der Batteriespeicher beigetragen, der im modernisierten Bestandsgebäude mit  $0,43 \text{ kWh}/\text{kW}_p$  recht klein dimensioniert ist – im Neubau liegt die Dimensionierung bei  $1 \text{ kWh}/\text{kW}_p$ . Der Batteriespeicher erreichte allerdings nur einen Wirkungsgrad von 70 %, was unter den Erwartungen lag, aber auch durch Zelldefekte verursacht worden sein kann, die zwischenzeitlich behoben wurden. Der solare

Deckungsgrad für die Stromversorgung des Bestandsgebäudes lag im Gesamtjahr bei rund 40 %, bestehend aus 10,7 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) Direktverbrauch und 1,3 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) Solarstrom aus dem Speicher.

Der gesamte Trinkwasserverbrauch in den Wohnungen lag 9 % über dem Budget von 21,0 m<sup>3</sup>/(Person\*a) aber ca. 28 % unter dem statistischen Mittelwert der deutschen Haushalte. Die Budgets waren so festgelegt, dass sie bei sparsamem Verhalten ausreichend sind. Bei Trinkwasser treten – noch stärker als bei Haushaltsstrom – deutliche Über- und Unterschreitungen der vereinbarten Budgets auf. Auch hier wird sich erst in der nächsten Auswerteperiode zeigen, welchen Einfluss die im Sommer 2020 gestartete Budgetrückmeldung hat. Der gesamte Wasserverbrauch für die Toilettenspülung liegt mit 1,0 bis 1,4 m<sup>3</sup>/(Person\*Monat) im Gesamtprojekt über den Planungsansätzen. Die Grauwasseranlage im PassivhausSozialPlus konnte davon in der Anfangszeit nur Deckungsgrade von 20 bis 40 % der gesamten Toilettenspülwassermenge erreichen. Nach einer Erweiterung der Anlage wurden Deckungsgrade zwischen 60 und 70 % gemessen. Da keine vollständige Deckung des Toilettenspülwasser durch die Grauwasseranlage erreicht wird, muss auch ein im Vergleich zu den Planungen höherer Frischwasserverbrauch in der Kalkulation der Nebenkostenpauschale berücksichtigt werden.

Die Auswertung der abgerechneten Baukosten ergab für das modernisierte Bestandsgebäude Kosten von 1.090 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) für die Kostengruppe 300 und 378 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) für die Kostengruppe 400. Die Gesamtkosten von Bestandsmodernisierung und Neubau liegen bei 3.174 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) für die Kostengruppen 100 bis 700. Weiterhin konnten die Kosten der technischen Anlagen detailliert ausgewertet werden.

Um die Erfahrungen zusammenzutragen, die bei der Planung und Umsetzung der technischen Gewerke gesammelt wurden, fand nach Ende der Baufertigstellung eine Besprechung statt, zu der die beteiligten Planer Vorschläge zu Optimierungsmöglichkeiten im Planungs- und Bauablauf lieferten. Es zeigte sich, dass das Gewerk Elektro eine zentrale Stellung einnimmt und hier viele Schnittstellen mit anderen Gewerken bestehen. Aus diesem Grund ist eine Schnittstellenkoordination wichtig, um die Baukosten niedrig zu halten und die reibungslose Funktion der Anlagentechnik zu erreichen. Für die Abnahme und Übergabe sind Checklisten wichtig, die auch bei einem engen Zeitplan für die Abnahme eine der Planung entsprechende Funktion sicherstellen. Schließlich müssen für den Gebäudebetreiber die Planungs- und Einstellwerte dokumentiert und bei Optimierungen nach der Inbetriebnahme fortgeschrieben werden.

Auf Basis der Erkenntnisse aus dem ersten Messjahr konnte außerdem eine Reihe von Verbesserungen beim Betrieb der Anlagentechnik identifiziert und umgesetzt werden.

Der vorliegende Bericht dokumentiert eine erste Auswertung der Verbrauchs- und Nutzungsdaten im modernisierten Bestandsgebäude. In einer weiteren Auswertung sollen die Messergebnisse des später fertiggestellten Neubaus sowie die Entwicklung der Messdaten innerhalb der dreijährigen Messphase untersucht werden.

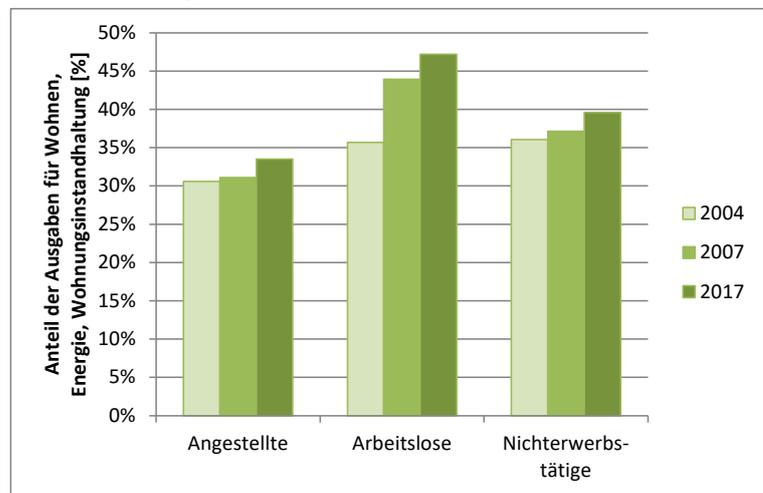
Die niedrigen Verbrauchswerte in Verbindung mit den sehr begrenzten Bau- und Betriebskosten zeigen, dass Klimaschutz und die Berücksichtigung sozialer Belange beim PassivhausSozialPlus gut in Einklang gebracht werden konnten.

# 1 Einleitung

Bezahlbarer Wohnraum stellt neben den Anforderungen an den Klimaschutz und dem sparsamen Verbrauch von Ressourcen eine wesentliche Herausforderung für die Bau- und Wohnungswirtschaft dar. Meist werden beide Aspekte scheinbar unvereinbar gegenübergestellt, da durch ambitionierte Effizienzmaßnahmen die Baukosten oft erhöht werden. Besonders Haushalte mit niedrigem Einkommen und Bezieher von Unterstützungsleistungen für das Wohnen (Wohngeld, KdU/KdH) sind häufig nicht in die Bestrebungen zur Erreichung klimagerechter und ressourcensparender Gebäude eingeschlossen.

Gleichzeitig sind die Mieten in Deutschland in den letzten Jahren generell stetig angestiegen, was besonders Haushalte mit niedrigem Einkommen vor finanzielle Probleme stellt. Doch nicht nur die Nettomieten steigen, auch die Nebenkosten bilden mittlerweile eine „zweite Miete“, die das verfügbare Einkommen der Haushalte reduziert. Betroffen sind davon große Teile der Bevölkerung – vor allem Geringverdiener, Rentner, Alleinerziehende, Arbeitslose und Familien mit vielen Kindern. Bild 2 zeigt den Anteil der Ausgaben für Wohnen, Energie und Wohnungsinstandhaltung in Prozent des Haushaltsnettoeinkommens für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen für die Jahre 2004, 2007 und 2017 [Stat. Bundesamt 2017]. Besonders in der Gruppe der Arbeitslosen ist der Anteil der Ausgaben für das Wohnen in diesem Zeitraum stark gestiegen, von 35 % auf über 47 %.

**Bild 2: Anteil der Ausgaben für Wohnen, Energie und Wohnungsinstandhaltung vom Haushaltsnettoeinkommen für die Jahre 2004, 2007 und 2017 (eigene Darstellung, Datenquelle: [Stat. Bundesamt 2017])**



Um einkommensschwache Haushalte zu entlasten, müssen somit neben den Netto-Kalmmieten auch die Nebenkosten niedrig gehalten werden. Erhalten diese Haushalte staatliche Transferleistungen in Form von Kosten der Unterkunft (KdU) oder Kosten der Heizung (KdH), ist eine Minimierung der Wohnkosten aus Miete und Nebenkosten auch im gesamtgesellschaftlichen Interesse, da diese Leistungen von den Kommunen und somit von der Allgemeinheit getragen werden.

Um speziell Menschen mit Zugangsschwierigkeiten zum Wohnungsmarkt mit kostengünstigem Wohnraum zu versorgen, hat die Neue Wohnraumhilfe gGmbH in Darmstadt das Projekt „PassivhausSozialPlus“ initiiert und umgesetzt. In diesem Vorhaben sollten im geförderten Wohnungsbau niedrige Mieten und geringe Nebenkosten mit modernen und klimagerechten Wohnungen kombiniert werden.

An diesen Gebäuden wurden die Möglichkeiten einer Reduktion der Nebenkosten in einer Vorstudie (siehe [Großklos et al. 2018]) im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz untersucht. Die Gebäude werden im Rahmen des Verbundprojekts MOBASY<sup>1</sup> nach ihrer Fertigung mit Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Solares Bauen FKZ 03SBE0004A und 03SBE0004C) in einem dreijährigen Intensivmonitoring im Hinblick auf die Verbräuche und das Nutzerverhalten detailliert wissenschaftlich vermessen. Weiterhin werden die Erfahrungen und die Akzeptanz der Mieter in einer sozialwissenschaftlichen Befragung erhoben.

An diesen Gebäuden wurden die Möglichkeiten einer Reduktion der Nebenkosten in einer Vorstudie (siehe [Großklos et al. 2018]) im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz untersucht. Die Gebäude werden im Rahmen des Verbundprojekts MOBASY<sup>1</sup> nach ihrer Fertigung mit Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Solares Bauen FKZ 03SBE0004A und 03SBE0004C) in einem dreijährigen Intensivmonitoring im Hinblick auf die Verbräuche und das Nutzerverhalten detailliert wissenschaftlich vermessen. Weiterhin werden die Erfahrungen und die Akzeptanz der Mieter in einer sozialwissenschaftlichen Befragung erhoben.

<sup>1</sup> In Kooperation von Neuer Wohnraumhilfe und IWU; [www.iwu.de/forschung/energie/2017/mobasy/](http://www.iwu.de/forschung/energie/2017/mobasy/)

## 2 Gebäudekonzept

Das PassivhausSozialPlus befindet sich in der Lincoln-Siedlung in Darmstadt, einem ehemaligen amerikanischen Kasernengelände, das ab ca. 2015 für die zivile Nutzung umgewidmet wurde. Auf dem Grundstück befand sich ein Gebäuderiegel mit drei Hauseingängen, in dem sich auf drei Stockwerken Wohnungen für Soldaten mit ihren Familien befanden. Die Gebäude wurden 1955 errichtet und waren insgesamt in einem guten Zustand. Aus diesem Grund wurde entschieden zwei Drittel des Bestandsgebäudes zu erhalten und energetisch zu modernisieren. Dadurch kann der Herstellungsenergieaufwand für einen Rohbau eingespart werden, da dieser weiter genutzt werden konnte. Allerdings waren die Wohnungen recht groß und entsprachen nicht den Anforderungen an Wohnungen im geförderten Wohnungsbau in Hessen. Außerdem wäre eine Barrierefreiheit nur sehr aufwändig herzustellen gewesen. Deshalb wurde ein Gebäudeteil (ein Treppenhaus) abgerissen und durch einen barrierefreien Ersatzneubau ersetzt, in dem auch sechs rollstuhlgerichte Wohnungen vorhanden sind. Das PassivhausSozialPlus besteht somit aus zwei Baukörpern – einem modernisierten Bestandsgebäude (Gebäudeteile A und B) und einem barrierefreien Ersatzneubau (Gebäudeteil C). Die wesentlichen Kenndaten des Projekts sind Tab. 1 zu entnehmen. Insgesamt entstanden 42 Wohnungen für ca. 132 Personen<sup>2</sup> auf insgesamt 3.186 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche.

**Tab. 1: Kenndaten des PassivhausSozialPlus in Darmstadt**

	Wohneinheiten	Anzahl Personen (Planung)	Vermietete Wohnfläche [m <sup>2</sup> ]	beheizte Wohnfläche [m <sup>2</sup> ]	Energiebezugsfläche (EBF) nach PHPP [m <sup>2</sup> ]	Gebäudenutzfläche A <sub>N</sub> nach EnEV [m <sup>2</sup> ]	energetischer Standard
Gebäudeteil Modernisierung (AB)	22	74	1.661	1.607	1.662	2.180	KfW-EH 55 bzw. Passivhaus-Komponenten
Gebäudeteil Neubau (C)	20	58	1.602	1.579	1.762	2.117	KfW-EH 40 Plus bzw. Passivhaus
<b>Summe</b>	<b>42</b>	<b>132</b>	<b>3.263</b>	<b>3.186</b>	<b>3.424</b>	<b>4.297</b>	

Seit Ende 2019 sind die beiden Gebäudeteile des PassivhausSozialPlus nach einer Bauzeit von ca. 1,5 Jahren fertiggestellt und alle Wohnungen bezogen. Bild 3 und Bild 5 zeigt das mit Passivhaus-Komponenten modernisierte Bestandsgebäude, Bild 4 und Bild 6 den Neubau.

<sup>2</sup> Die Personenbelegung hat sich im Laufe des Jahres 2020 von ursprünglich 132 auf 139 erhöht; bei den Auswertungen in diesem Bericht sind die Werte zum Einzug mit 132 zugrunde gelegt.

**Bild 3: Westansicht des Bestandsgebäudes**



**Bild 4: Westansicht des Neubaus**



**Bild 5: Nord-Ostansicht des Bestandsgebäudes**

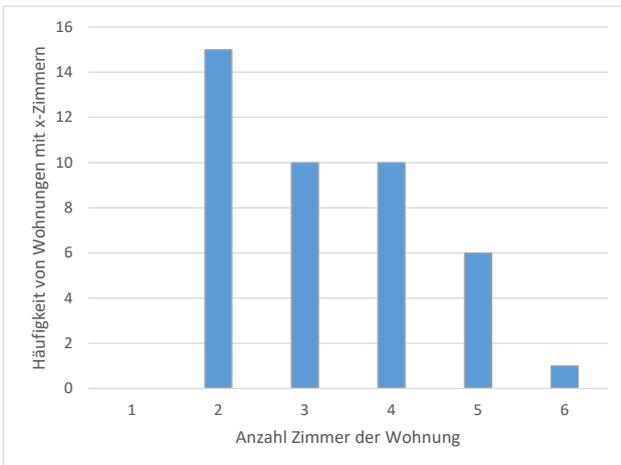


**Bild 6: Ostansicht des Neubaus**



Das Wohnungsangebot verteilt sich auf 15 2-Zimmer-, 10 3-Zimmer-, 10 4-Zimmer-, 6 5-Zimmer- und eine 6-Zimmer-Wohnung (siehe Bild 7). Die vermietete Wohnfläche der Wohnungen liegt zwischen 40 und 140 m<sup>2</sup> (Bild 8).

**Bild 7: Häufigkeit von Wohnungen mit 2 bis 6 Zimmern**



**Bild 8: Vermietete Wohnfläche und geplante Personenbelegung der Wohnungen**

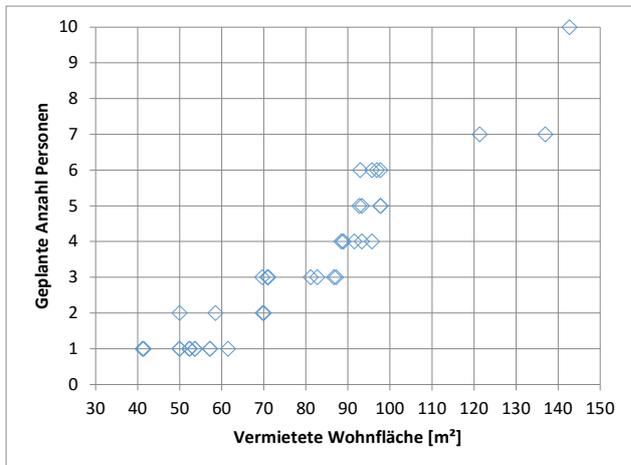
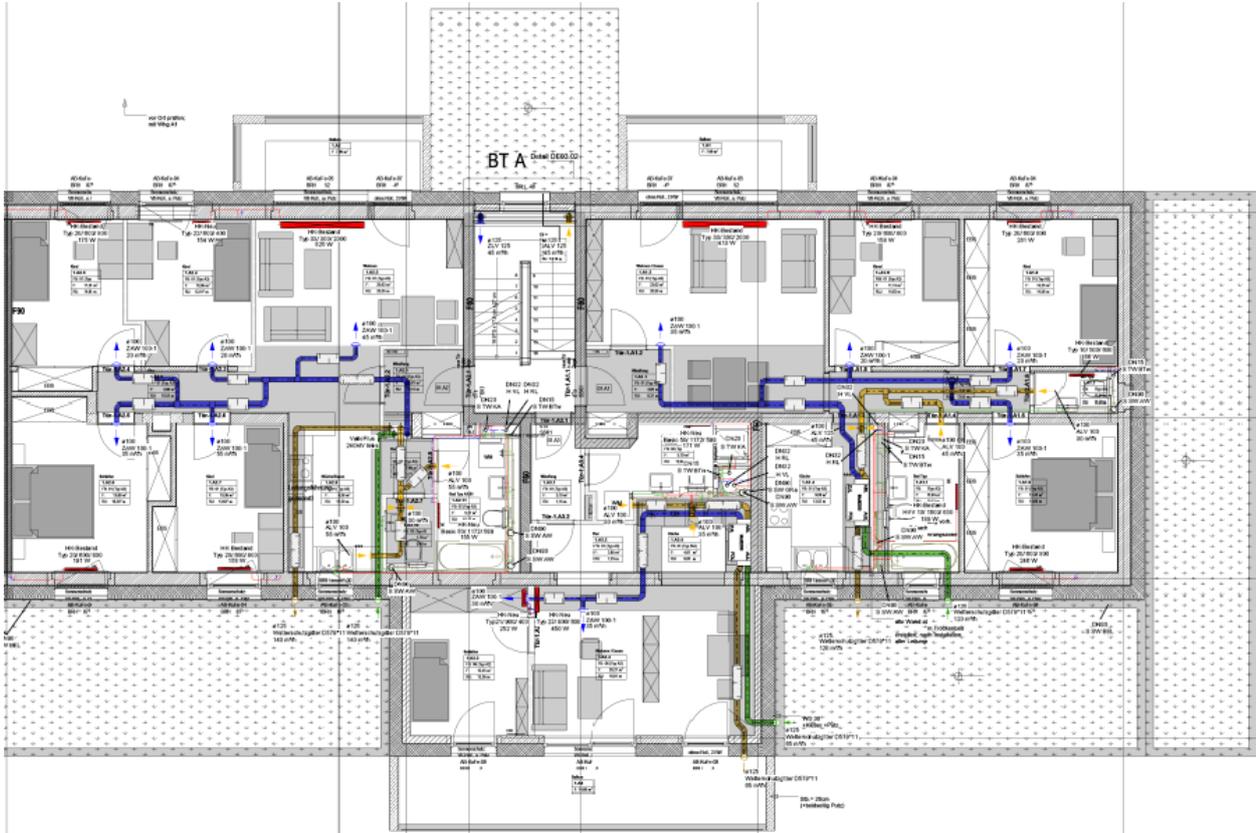
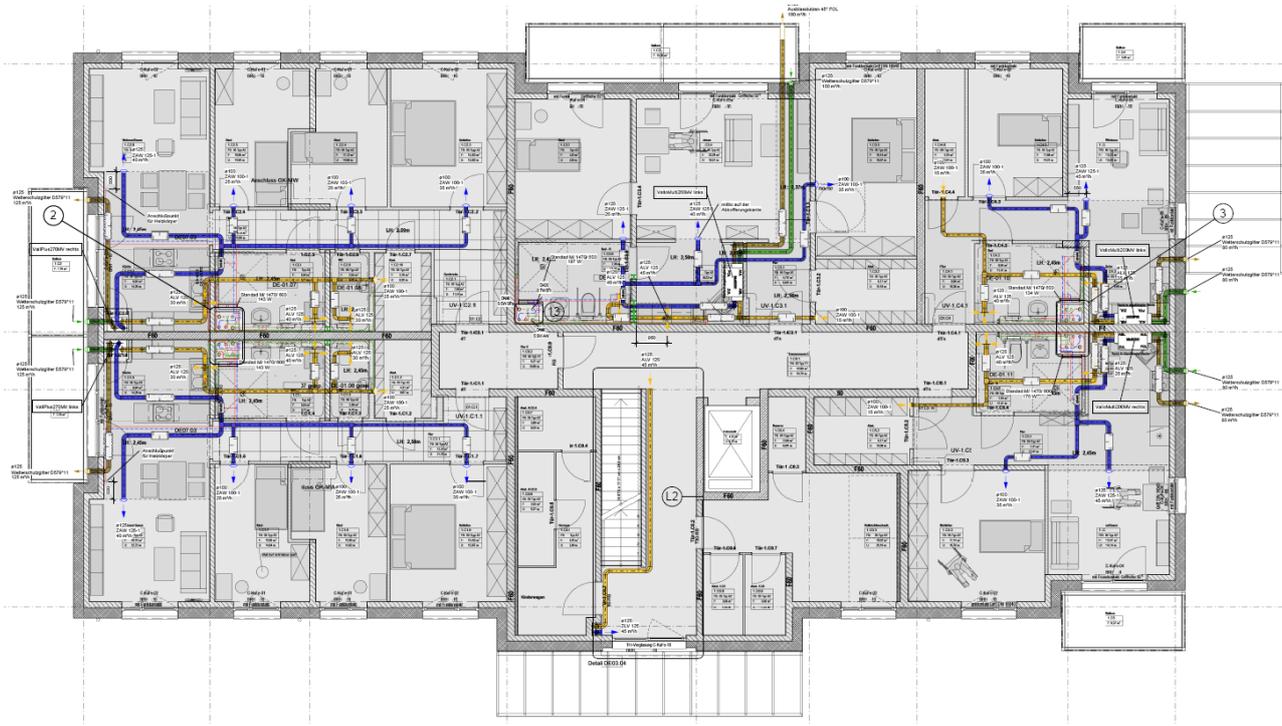


Bild 9 zeigt den Grundriss im 1. Obergeschoss im Bestandsgebäude und Bild 10 den Grundriss im Neubau. Abgebildet sind jeweils die Pläne mit den Lüftungskanälen (Quelle [ibs Energie 2019]).

**Bild 9: Wohnungsgrundrisse im 1. Obergeschoss des Bestandsgebäudes, linkes Treppenhaus (Foto: [ibs Energie 2019])**



**Bild 10: Wohnungsgrundrisse im 1. Obergeschoss des Neubaus (Foto: [ibs Energie 2019])**



Neben der Ertüchtigung der Gebäudehülle wurden auch zahlreiche Maßnahmen zur Reduktion der Nebenkosten umgesetzt. Dazu gehören:

- Passivhaus-Standard der Gebäudehülle (Neubau), Sanierung mit Passivhauskomponenten (Bestand) zur Reduktion der Heizkosten
- Wohnungsstationen zur Trinkwasserbereitung auf Nutztemperaturniveau (dadurch deutliche Reduktion der Kosten für Trinkwasseruntersuchungen)
- Verbesserte Wärmedämmung der Verteilleitungen zur Minimierung der Verteilverluste (doppelte Dämmstärke gegenüber den Anforderungen der EnEV)
- Vorinstallierte, energieeffiziente Küchengeräte zur Reduktion des Haushaltsstromverbrauchs
- Energieeffiziente LED-Beleuchtung in allen Räumen
- Energieeffiziente Anlagentechnik (Aufzug, Pumpen, LED-Beleuchtung – teilweise mit Präsenzmeldern – in Treppenhäusern und Keller)
- Spararmaturen zur Reduktion des Trinkwasserverbrauchs
- Grauwasseraufbereitungsanlage und Einsatz für die Toilettenspülung zur Reduktion des Trinkwasserverbrauchs
- Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher zur Reduktion der Stromkosten

Weiterhin wurden an den Gebäuden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Erhalt der Einbauschränke in den Bestandswohnungen, so dass die Mieter weniger Möbel anschaffen müssen
- Nahezu alle Fenster mit Rollläden als Verschattungsmöglichkeiten für den sommerlichen Wärmeschutz
- Gemeinschaftsraum im Keller des Bestandsgebäudes
- Überdachte Fahrradabstellplätze
- ein Büroraum für die Neue Wohnraumhilfe, um regelmäßige Termine der Sozialarbeiter/innen vor Ort wahrnehmen zu können
- Gründach für besseren sommerlichen Komfort im Quartier und Verzögerung des Regenwasserablaufs
- Regenwasserversickerung auf dem Grundstück

Für die Umsetzung der Projektziele mussten die Gebäude sowohl im Hinblick auf die Wohnungsgrundrisse und den energetischen Standard als auch bezüglich der Anzahl der Wohnungen angepasst werden. Die Bauarbeiten starteten im Sommer 2018. Im verbleibenden Gebäudeteil mit zwei Hauseingängen wurden die Bestandswohnungen um ein Zimmer verkleinert und zusammen mit zwei Anbauten im Osten insgesamt sechs zusätzliche kleine Wohnungen für jeweils eine Person geschaffen. Weiter wurde das Bestandsdach abgetragen und durch ein neues Vollgeschoss mit Flachdach ersetzt. Im Kellergeschoss wurde neben den Mieterkellern und Technikräumen auch ein Gemeinschaftsraum eingerichtet. Durch die Weiterverwendung eines Großteils des Bestandsrohbaus konnten die Herstellungskosten für das Projekt niedrig gehalten und gleichzeitig die Baukosten reduziert werden. Durch Weiterverwendung des Rohbaus konnten ca. 582 t CO<sub>2-eq</sub> eingespart werden, was bei einer angesetzten Lebensdauer von 50 Jahren jährlichen Einsparungen von ca. 7 kg CO<sub>2-eq</sub>/(m<sup>2</sup>\*a) entspricht. Die Wohnungen des Bestandsgebäudes wurden im August bzw. September 2019 an die Mieter übergeben und überwiegend auch sofort bezogen.

Der Ersatzneubau besitzt vier Geschosse und ist nicht unterkellert. Dadurch mussten die Abstellräume für die Mieter innerhalb der thermischen Hülle in den Wohnungen und im Bereich der Flure im Treppenhaus angeordnet werden. Das Gebäude verfügt über einen zentralen Aufzug, barrierefreie Zugänge zu allen Wohnungen und sechs Wohnungen, die rollstuhlgerecht ausgeführt sind. Neben diesen Wohnungen befindet sich in jedem Stockwerk noch jeweils ein Rollstuhlwechselplatz sowie im Erdgeschoss ein kleines Büro der Neuen

Wohnraumhilfe für Termine mit den Mietern. Der Neubau wurde im Dezember 2019 fertig gestellt und im Januar/Februar 2020 bezogen.

Die Konzeptentwicklung und Projektsteuerung lag beim Büro faktor10, die Planung und Bauleitung beim Büro Dörfer Grohnmeier Architekten, beide aus Darmstadt. Tab. 2 listet die am Modellvorhaben PassivhausSozialPlus beteiligten Firmen und Institutionen auf.

**Tab. 2: Übersicht der Projektbeteiligten (ohne Ausführende und Handwerksfirmen)**

Aufgabe	Verantwortlich
Bauherr, Konzeptentwicklung	Neue Wohnraumhilfe gGmbH (NWH), Darmstadt
Konzeptentwicklung, wirtschaftliche Baubetreuung, Projektsteuerung, Architektur Leistungsphasen 1-3	faktor10 Gesellschaft für Siedlungs- und Hochbauplanung mbH, Darmstadt
Architektur Leistungsphasen 4-9, Bauleitung	Dörfer Grohnmeier Architekten Partnerschaft mbB, Darmstadt
Tragwerksplanung	Bestand: Ingenieurbüro Peter, Darmstadt Neubau: Bauart Konstruktions GmbH, Darmstadt
Prüfingenieur	Ingenieurbüro für Bauwesen Lothar Strutt, Dreieich-Götzenhain
Brandschutz und Wärmeschutz	Bauart Konstruktions GmbH, Darmstadt
Haustechnikplanung	ibs Energie, Stromberg
Elektroplanung	Ingenieurbüro Richter Elektrotechnik, Mainhausen
Schallschutzkonzept	ITA Ingenieurgesellschaft für technische Akustik GmbH, Wiesbaden
Technische Schnittstellenkoordination	Econvis Ingenieurbüro für Energiemanagement, Münster
Förderung Bauvorhaben	Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen (Förderung im sozialen Wohnungsbau) über WI Bank, Wiesbaden Stadt Darmstadt (Komplementärmittel und Eigenkapitalersatzmittel)
Finanzierung	Umweltbank eG, Nürnberg KfW, Frankfurt: Energieeffizient Sanieren 55 bzw. Energieeffizient Bauen 40 Plus
Förderung Begleitforschung	Vorstudie: Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Monitoring, Betriebsoptimierung und Auswertung: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Projekt MOBASY, FKZ 03SBE0004A und FKZ 03SBE0004C)
Begleitforschung (Vorstudie, Monitoring)	Institut Wohnen und Umwelt GmbH
PV-Anlage	Energiegenossenschaft Darmstadt eG
Budgeterfassung und -abrechnung	isatech Water, Berlin und Comfine, Darmstadt

## 2.1 Gebäudehülle und Anlagentechnik

Das Bestandsgebäude wurde mit Passivhaus-Komponenten modernisiert, d. h. die U-Werte liegen in der Regel zwischen 0,10 und 0,15 W/(m<sup>2</sup>\*K) und entsprechen damit den Empfehlungen für ein Passivhaus. Nur im Kellerbereich 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 besitzen eine Dreifach-Wärmeschutzverglasung ( $U_g = 0,50$  bis  $0,54$  W/(m<sup>2</sup>\*K)) in Kunststoffrahmen ( $U_f = 0,94$  W/(m<sup>2</sup>\*K)). Nach Passivhaus Projektierungspaket (PHPP) ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 16,2 kWh/(m<sup>2</sup>\*a), gleichzeitig wurden die Anforderungen für das KfW-Effizienzhaus 55 erfüllt (siehe Tab. 3). Nach der neuen Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude ab 2021 würde das Gebäude die Anforderungen an das Effizienzhaus 40 in der Sanierung erfüllen.

Der Neubau erfüllt sowohl die Kriterien für das KfW-Effizienzhaus 40 Plus als auch für den Passivhaus-Standard, der Heizwärmebedarf nach PHPP liegt bei 9,8 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). In Tab. 3 sind die Kennwerte nach EnEV bezogen auf die Gebäudenutzfläche  $A_N$  und nach PHPP (bezogen auf die Energiebezugsfläche EBF) angegeben. Im Mittel über die Gesamtfläche wird sowohl nach EnEV als auch nach PHPP ein Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) unterschritten, wodurch die Ausnahmeregelung nach §11 HeizkostenV genutzt werden kann (siehe Kapitel 2.3).

**Tab. 3: Heizwärme- und Endenergiebedarf der Gebäude nach EnEV (ohne Gutschrift nach § 5 EnEV) und PHPP**

	EnEV 2016		PHPP	
	Heizwärmebedarf /Nutzenergie Heizung [kWh/(m <sup>2</sup> A <sub>N</sub> *a)]	Endenergiebedarf Wärme [kWh/(m <sup>2</sup> A <sub>N</sub> *a)]	Heizwärmebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> EBF*a)]	Endenergiebedarf Wärme [kWh/(m <sup>2</sup> EBF*a)]
Gebäudeteil Modernisierung (AB) Wärmebrückenzuschlag 0,018 W/(m <sup>2</sup> *K)	22,6 (Q <sub>h</sub> ) 3,5 (inkl. Wärme- einträge) nach DIN 4108-6	33,8 nach DIN 4108-6/ DIN V 4701	16,2	52,3
Gebäudeteil Neubau (C) Wärmebrückenzuschlag 0,002 W/(m <sup>2</sup> *K)	3,0 nach DIN V 18599	34,6 nach DIN V 18599	9,8	36,2
Gesamtgebäude (ABC)	3,3 bzw. 13,0	34,2	12,9	44,0

Jede Wohnung besitzt ein eigenes Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung. Im Bestandsgebäude wurden die alten Bestandsheizkörper aufgearbeitet und weiter benutzt. Die Lüftungsanlagen besitzen im Bestandsgebäude weder ein Heiz- noch ein Frostschutzregister und können von den Mietern in vier Stufen eingestellt werden. Im Fall von strengem Frost in der Außenluft können die Anlagen Frischluft-seitig takten, um ein Vereisen der Wärmetauscher zu verhindern.

Im Neubau erfolgt die Beheizung überwiegend über die Zuluft – nur in den Bädern sind zusätzlich Heizkörper vorhanden. Aus diesem Grund verfügen die Lüftungsanlagen im Neubau sowohl über ein Nachheizregister zur Beheizung der Wohnung als auch über ein elektrisches Vorheizregister zur Frostfreihaltung der Wärmetauscher. Dadurch steht die Leistung des Nachheizregisters auch bei niedrigen Außentemperaturen dauerhaft zur Verfügung.

Die Gebäudehülle wurde sehr gut gegen Leckagen abgedichtet, um die Wärmeverluste zu minimieren. Der Neubau erreichte bei der Luftdichtheitsprüfung nach DIN EN 13829 einen  $n_{50}$ -Wert von 0,24 1/h, das Bestandsgebäude einen Wert von 0,49 (Gebäude A) bzw. 0,54 1/h (Gebäude B). Somit wurde in allen Bauteilen der Grenzwert für Passivhäuser von 0,6 1/h unterschritten.

Das Trinkwasser wird dezentral in den Wohnungen über Wohnungs- bzw. Frischwasserstationen erwärmt. Dadurch muss kein warmes Wasser bevorratet werden und die Sicherstellung der Trinkwasserhygiene ist auch ohne thermische Desinfektion möglich, da zwischen den Zapfstellen und der Frischwasserstation weniger als 3 Liter Trinkwasservolumen enthalten sind. Gleichzeitig wurden die Wasserinstallationen von Zapfstelle zu Zapfstelle durchgeschleift, damit möglichst kein länger stehendes Wasser vorhanden ist. Die Warmwasser-Zapftemperatur kann so auf ca. 45 °C reduziert werden, was den Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung verringert.

Die Gebäude des PassivhausSozialPlus besitzen einen gemeinsamen Fernwärmeanschluss im Keller des Bestandsgebäudes. Von diesem aus wird die Wärme zu den beiden Heizräumen in Bestandsgebäude und Neubau geführt. Jeder Heizraum verfügt über zwei in Reihe geschaltete Pufferspeicher mit je 1.500 m<sup>3</sup> Volumen, aus denen die Wärme für die Beheizung und die Warmwasserbereitung verteilt wird. Die Speicher dienen der Pufferung von Lastspitzen bei der Warmwasserbereitung und damit der Reduktion der Fernwärme-Anschlussleistung, wodurch sich die Nebenkosten für die Bewohner reduzieren lassen. Die Fernwärmeübergabestation besitzt eine Leistung von 90 kW, die maximal durch den Versorger bereitzustellende Leistung wurde jedoch auf 60 kW reduziert, so dass eine Wärmeleistung für Heizung und Warmwasserbereitung von maximal 17,5 W/m<sup>2</sup> zur Verfügung steht. Zwei gekoppelte Regelungen steuern die Nachladung der Pufferspeicher über den Fernwärmeanschluss. Der lokale Versorger garantiert einen Primärenergiefaktor von 0,5 kWh<sub>PE</sub>/kWh<sub>End</sub> für die Fernwärme.

Das modernisierte Bestandsgebäude verfügt auf dem extensiv begrünten Flachdach über eine ost-west-orientierte PV-Anlage mit 40,9 kW<sub>p</sub> (monokristalline Module à 310 W<sub>p</sub>), der Neubau besitzt 43,3 kW<sub>p</sub>. Hinzu kommt ein Lithium-Ionen-Speicher mit 17,5 kWh Netto-Speicherkapazität im Bestandsgebäude und 43,8 kWh im Neubau (siehe Bild 11). Mit aktuellen Solar-Modulen, die zum Zeitpunkt der Berichterstellung bis zu 380 W<sub>p</sub> Leistung besitzen, könnte die installierte PV-Leistung der Gebäude bei gleicher Fläche um bis zu 25 % gesteigert werden.

**Bild 11: PV-Anlage auf dem Neubau (links, Foto: [Perspektive D 2021]) und Batteriespeicher (rechts)**



Zur Reduktion des Trinkwasserverbrauchs verfügen die Gebäude über eine gemeinsame Grauwasseraufbereitungsanlage. Hierfür wird gering belastetes Abwasser aus Duschen/Badewannen und Handwaschbecken im Badezimmer getrennt gesammelt und der Grauwasseraufbereitungsanlage zugeführt. Abwasser aus der Küche wurde wegen der dort zu erwartenden höheren Fettbelastung nicht für die Grauwasseranlage verwendet. Die Grauwasseranlage befindet sich im Keller des Bestandsgebäudes und besteht aus einem Filter für das Grauwasser, einem Aufbereitungstank mit biologischer Reinigung und einem Speichertank für

aufbereitetes Betriebswasser (siehe Bild 12 links). Das aufbereitete Betriebswasser wird ausschließlich für die Toilettenspülung verwendet; hierfür werden die Toiletten mit einer separaten Wasserinstallation versorgt. Reicht die Betriebswassermenge nicht aus, so wird Trinkwasser in den Speichertank nachgespeist. Die Anlage verfügt über eine eigene Druckerhöhungsanlage.

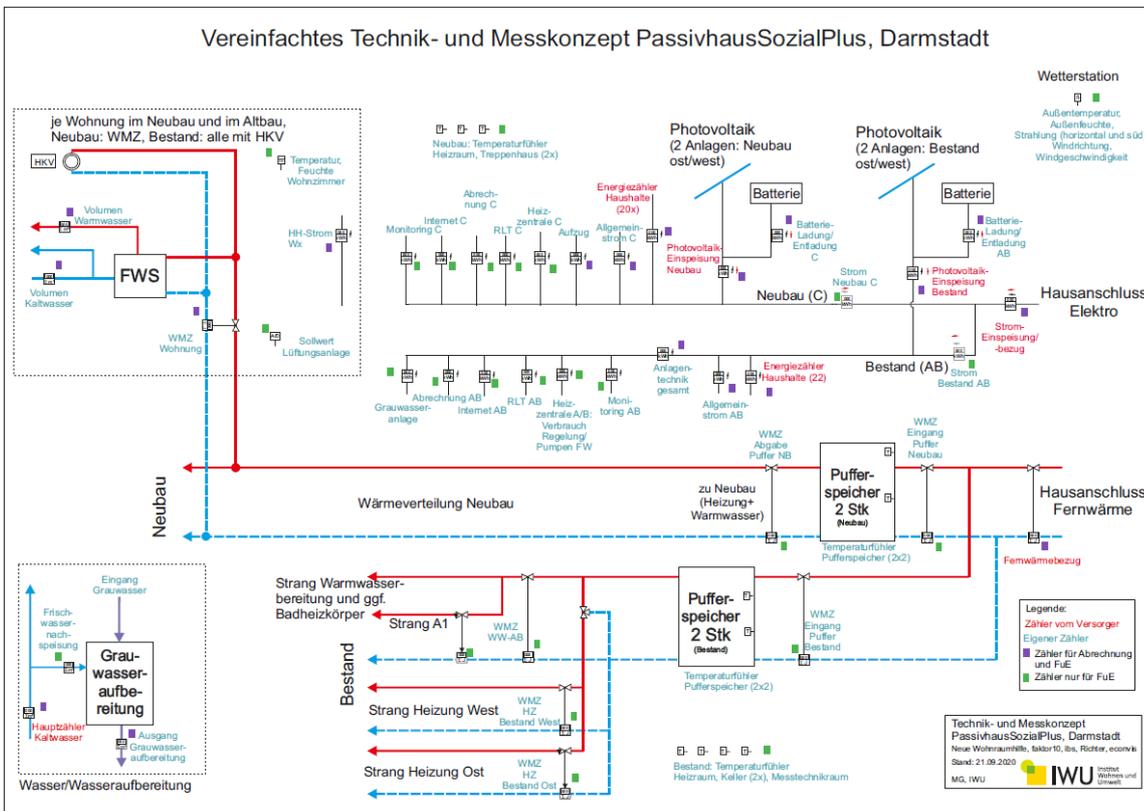
**Bild 12: Grauwasseranlage mit Speichertanks (links) und nachgerüsteter Zusatzfilter (rechts)**



Im Sommer 2020 wurde die Grauwasseranlage um einen zusätzlichen Filter erweitert, um die Aufbereitungsleistung zu erhöhen (siehe Bild 12 rechts).

Bild 13 zeigt das Anlagen- und Messschema des PassivhausSozialPlus sowohl thermisch als auch elektrisch und die Messstellen der Zähler und Sensoren in der Grundausstattung aller Wohnungen (ohne Detailmessungen in den Wohnungen).

**Bild 13: Anlagen- und Messschema des PassivhausSozialPlus**



## 2.2 Ausstattung der Wohnungen

Alle Wohnungen in den Bestandsgeschossen verfügen neben der üblichen Ausstattung auch über Einbauschränke in allen Zimmern, die noch aus dem Originalbestand der Kaserne stammen und für die neue Nutzung aufgearbeitet wurden. Die Bäder im Bestandsgebäude wurden überwiegend weiter genutzt, teilweise um einzelne Komponenten ergänzt. Im Neubau sind alle Wohnungen barrierefrei und auch die Bäder sind ohne Schwellen zugänglich und nutzbar. Zusätzlich wurden sechs Wohnungen als Rollstuhlwohnungen ausgestattet, d. h. niedrigere, rollstuhlgerechte Griffe an Türen und Fenstern, Anpassung der Badarmaturen (siehe Bild 14) sowie in der Küche und bei den Elektroschaltern.

Alle Wohnungen besitzen Küchen, die vom Vermieter gestellt werden. Hierzu wurden im Bestandsgebäude die noch vorhandenen Küchen ausgebaut, eingelagert und wiederaufgearbeitet, so dass weiter nutzbare Einbauküchen nicht entsorgt werden mussten und Ressourcen geschont wurden. Als Küchengeräte (Kühlschrank, Herd, Geschirrspülmaschine, Dunstabzugshaube) wurden nur neue Geräte der Effizienzklassen A++ und A+++ unterschiedlicher Hersteller eingesetzt (Bild 15). Damit sollen die Stromkosten für die Mieter so weit wie möglich reduziert werden.

Alle Zimmer wurden mit einer energiesparenden LED-Beleuchtung versehen, die für eine normale Nutzung ausreichend dimensioniert ist. Damit wurden weitere Voraussetzungen für einen niedrigen Haushaltsstromverbrauch geschaffen. Eigene Beleuchtungen können die Mieter aber auch zusätzlich montieren.

**Bild 14: Rollstuhlgerechtes Badezimmer (Neubau)**  
(Foto: [Perspektive D 2021])



**Bild 15: Einbauküche (Neubau)**  
(Foto: [Perspektive D 2021])



## 2.3 Pauschalierung von Betriebs- und Nebenkosten

Ein wichtiges Ziel beim PassivhausSozialPlus war es, die Nebenkosten zu minimieren. Nebenkosten sind in diesem Fall die Betriebskosten nach der Betriebskostenverordnung sowie weitere Wohnkosten wie Haushaltsstrom oder Internetgrundversorgung. Dazu wurde im Vorfeld eine Untersuchung durchgeführt, um die Möglichkeiten der Reduktion bei unterschiedlichen Nebenkostenarten zu eruieren [Großklos et al. 2018]. Ergänzend zu den Möglichkeiten einer Reduktion der Nebenkosten wurde in dieser Vorstudie auch untersucht, welche Nebenkostenarten zur Vereinfachung der Verwaltung pauschal abgerechnet werden können. Bei den verbrauchsabhängigen Betriebskosten besitzt die Wärmeversorgung für Beheizung und Warmwasserbereitung einen großen Anteil. Für die Wärmeversorgung wurde mit dem energetischen Standard der Gebäude die Voraussetzung für niedrige Verbrauchskosten geschaffen. Nach §11 Heizkostenverordnung kann bei einem Heizwärmebedarf unter  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  auf die verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung

verzichtet werden. Einige Wohnungsunternehmen haben hiermit bereits gute Erfahrungen gesammelt (siehe z. B. [Großklos et al. 2016]). Die Gebäude werden als gemeinsame Abrechnungseinheit behandelt und erreichen im Mittel einen Heizwärmebedarf von maximal  $13,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ A}_N \cdot \text{a})$ . Die Wärmemenge für Heizung und Warmwasser wird im Rahmen des Intensivmonitorings zwar je Wohnung erfasst, die Gesamtverbrauchskosten für Heizung werden jedoch nur quadratmeterbezogen abgerechnet.

Bei der Warmwasserbereitung sind bauliche Vorkehrungen zur Reduktion des Energieverbrauchs schwieriger, zumindest wurden alle Zapfstellen mit Spararmaturen zur Reduktion des Volumenstroms ausgestattet. Auch die Wassererwärmung ist in der Nebenkostenpauschale enthalten, das Wasservolumen wird aber gemessen und im Budget für Trinkwasser berücksichtigt (siehe folgender Absatz). Für das erste Betriebsjahr liegen die angesetzten Kosten für die Wärmeversorgung bei  $0,53 \text{ €/}(\text{m}^2 \cdot \text{Mon})$ .

Das Trinkwasservolumen soll einerseits durch die bereits erwähnten Spararmaturen reduziert werden, andererseits durch die Nutzung von aufbereitetem Grauwasser für die Toilettenspülung. Für das verbleibende Trinkwasser wurde je nach Haushaltsgröße ein Budget je Person berechnet, das bei sparsamem Verhalten auskömmlich ist und in der Nebenkostenpauschale berücksichtigt wurde. Wird das Budget überschritten, so muss ein zusätzliches Guthaben für Strom oder Trinkwasser zugekauft werden (siehe unten).

Zur Reduktion des Haushaltsstromverbrauchs wurden die Wohnungen mit hocheffizienten Küchengeräten sowie LED-Beleuchtung in allen Räumen ausgestattet. Flure und Treppenhäuser wurden ebenfalls mit präsenzgesteuerten LED-Leuchten versehen. Bei der Anlagentechnik wurde großer Wert auf niedrige Nebenkosten gelegt, z. B. auf einen niedrigen Standby-Verbrauch beim Aufzug im Neubau. Auch für Haushaltsstrom ist in der Nebenkostenpauschale ein Budget enthalten, das sich an der Effizienzklasse A des Stromspiegel Deutschland [Stromspiegel 2019] orientiert und bei sparsamem Verhalten auskömmlich ist.

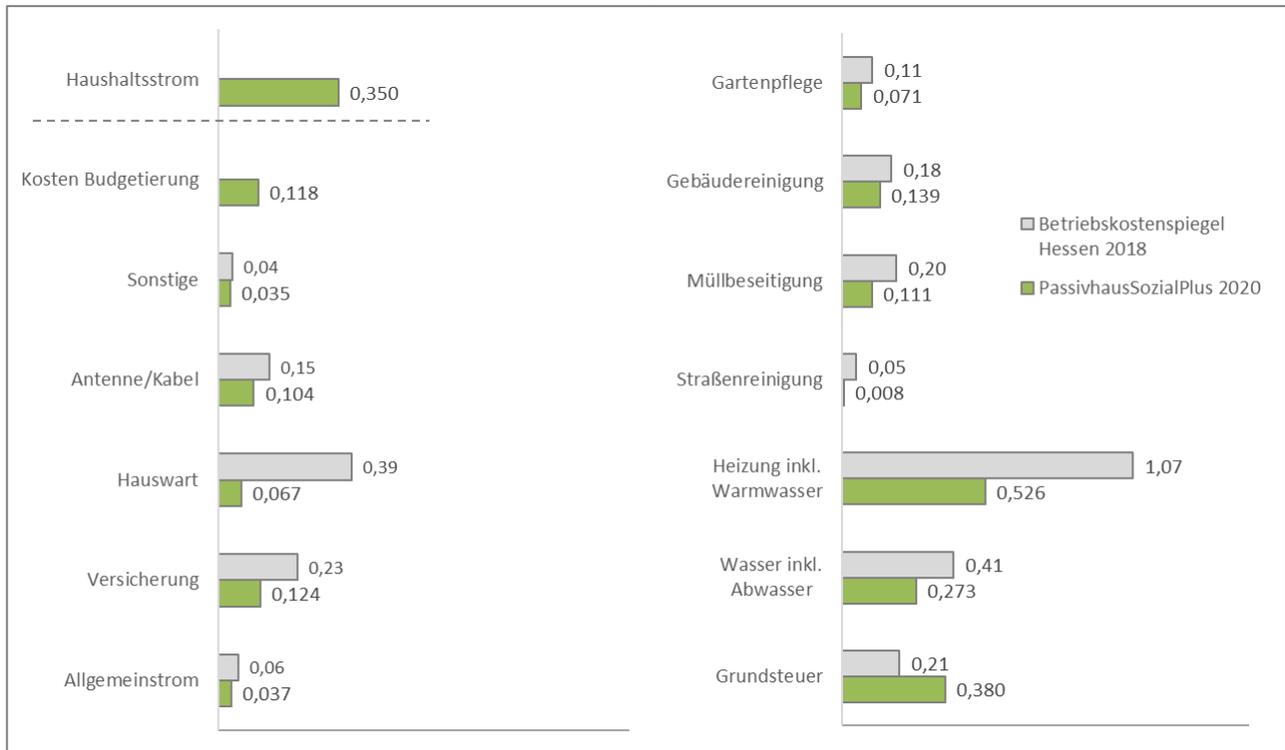
Um neben dem Stromverbrauch auch die Stromkosten je kWh zu reduzieren, wurden sowohl Photovoltaik-Anlagen als auch Stromspeicher installiert. Da die rechtlichen Hürden für eine Lieferung von Strom an Endkunden durch die Neue Wohnraumhilfe zu hoch waren, wurde die Energiegenossenschaft Darmstadt mit dem Betrieb der Anlagen und der Belieferung der Mieter beauftragt. Es wurden getrennte Strompreise für PV-Strom und für Reststrom (Lieferung über die Bürgerwerke eG) vereinbart. Im Mittel ergibt sich ein Brutto-Strompreis von ca.  $27,0 \text{ ct/kWh}$ .

Zur Reduktion der Betriebskosten bei haushaltsnahen Dienstleistungen und sonstigen fixen Betriebskosten werden einfache Wartungsarbeiten von den Hausmeistern der Neuen Wohnraumhilfe durchgeführt (z. B. Filterwechsel bei den Lüftungsanlagen) oder der Müll wird wo möglich nachsortiert, wodurch die Nebenkostenpauschale weiter abgesenkt werden kann.

Schließlich können die Mieter das WLAN, das für die Budgetabrechnung aufgebaut wurde, innerhalb der Nebenkostenpauschale mit einer begrenzten Bandbreite nutzen, so dass kein eigener Internetanschluss erforderlich ist. Dennoch sind alle Wohnungen für Glasfaseranschlüsse vorgerüstet.

Den Vergleich der angesetzten Betriebs- und Nebenkosten im PassivhausSozialPlus im Jahr 2020 und die Vergleichswerte aus dem Betriebskostenspiegel für Hessen (Auswertejahr 2018) des Deutschen Mieterbundes [DMB 2020] findet sich in Bild 16. Im PassivhausSozialPlus lag 2020 die Pauschale für die Betriebskosten inklusive der Kosten der Budgetierung und der WLAN-Grundversorgung bei  $1,99 \text{ €/}(\text{m}^2 \cdot \text{Monat})$ . Im Vergleich lagen die mittleren Kosten nach Betriebskostenspiegel bei  $3,10 \text{ €/}(\text{m}^2 \cdot \text{Monat})$ . D. h. die Kosten lagen etwa 36 % unter dem Durchschnitt, wobei die höhere Personenbelegung und die damit verbundenen höheren Kosten bei Wasser und Müll noch nicht berücksichtigt sind. Beim PassivhausSozialPlus kam noch das Budget für Haushaltsstrom von  $0,35 \text{ €/}(\text{m}^2 \cdot \text{Monat})$  hinzu, so dass Nebenkosten von insgesamt  $2,34 \text{ €/}(\text{m}^2 \cdot \text{Monat})$  angefallen sind.

**Bild 16: Vergleich der angesetzten Nebenkosten im PassivhausSozialPlus und Werte Betriebskostenspiegel Hessen 2018 [DMB 2020] [€/m<sup>2</sup>]**



Für Trinkwasser und Haushaltsstrom wurden Budgets innerhalb der Nebenkostenpauschale vereinbart. Damit die Mieter einen Überblick über den aktuellen Stand der Ausnutzung des Budgets haben und auch eine Prognose für den möglichen Zukauf für Strom oder Wasser bis zum Jahresende angezeigt bekommen können, werden die Verbräuche für diese Größen kontinuierlich erfasst und auf einem Display im Flur der Wohnungen zusammen mit Prognosen zum Jahresverbrauch und den Verbräuchen der letzten 30 Tage angezeigt (Bild 17). Das System wurde für die speziellen Anforderungen im PassivhausSozialPlus weiterentwickelt.

**Bild 17: Wohnungsdisplay zur Visualisierung der Verbrauchswerte und der Budgets für Strom und Trinkwasser**



Aufgaben für den Endbericht:

- Dokumentation der Wandaufbauten und U-Werte für Bestandsgebäude und Neubau
- Dokumentation der Gleichwertigkeitsnachweise für die Wärmebrücken
- Nachführung der abgerechneten Nebenkosten und Budgets im zeitlichen Verlauf
- Dokumentation der Sensoren und der Messunsicherheiten
- Auswertung Verbräuche und Nutzungsbedingungen Neubau
- Auswertung der Verbräuche und Nutzungsbedingungen im Zeitverlauf
- Auswertung der detaillierten Nutzungsbedingungen (Raumtemperaturen- und -feuchten, Fensteröffnung, Anwesenheit, CO<sub>2</sub>-Gehalt in den Messräumen)
- Abgleich von Befragungs- und Messdaten
- Batteriespeicher und der Grauwasseranlage im Zeitverlauf dokumentieren
- Gesamtbilanz für die Treibhausgasemissionen, Übertragbarkeit, Lessons learned

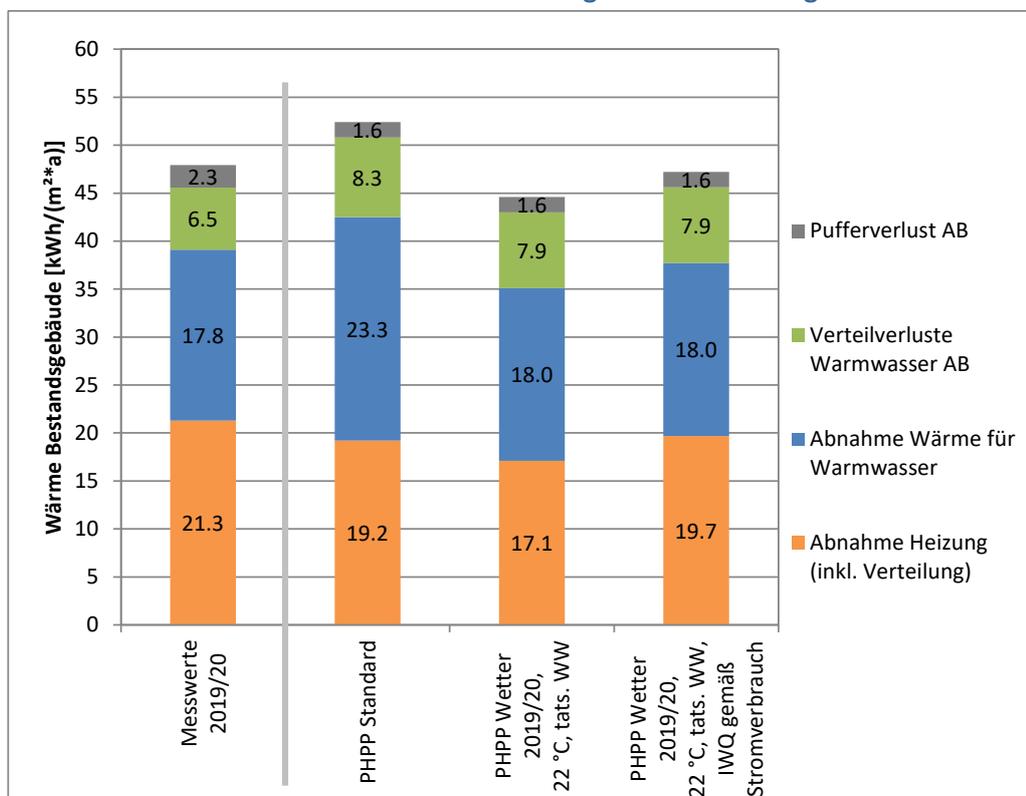
### 3 Ergebnisse des ersten Messjahres

In den Gebäuden werden die Verbrauchs- und Nutzungsparameter detailliert über drei Jahre messtechnisch untersucht. Es sind über 600 Zähler und Sensoren mit mehr als 1.100 Messpunkten installiert. Nach dem Bezug der Wohnungen des sanierten Bestandsgebäudes im August/September 2019 stehen seit Oktober 2019 Messdaten im vollvermieteten Zustand zur Verfügung<sup>3</sup>, die in diesem Bericht überblicksartig ausgewertet und dargestellt werden. Bei den im Folgenden genannten flächenbezogenen Kennwerten wurde, wenn nicht anders angegeben, die Energiebezugsfläche „EBF“ nach PHPP aus Tab. 1 verwendet.

#### 3.1 Wärmeverbräuche für Heizung und Warmwasser

Für die Beheizung des Bestandsgebäudes wurden von Oktober 2019 bis Ende September 2020 insgesamt 35.364 kWh Wärme abgenommen (inklusive Verteilverluste), was einem Verbrauchskennwert von 21,3 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) entspricht (Bild 18). Da bei dem modernisierten Bestandsgebäude die alten Steigleitungen der Wärmeverteilung jeweils in den Fensterachsen erhalten wurden, ist es in diesem Gebäude nicht möglich, den Heizwärmeverbrauch in den Wohnungen direkt zu messen. Die montierten Heizkostenverteiler erlauben jedoch eine Verteilung der insgesamt abgenommenen Wärme auf die Heizkörper und Wohnungen. Eine Differenzierung nach Heizwärmeverbrauch und Verteilverlusten ist hingegen durch diese Konfiguration nicht möglich. Somit umfasst der oben genannte Heizwärmeverbrauch auch die Verteilverluste inklusive der alten Bestandssteigleitungen in den Außenwänden ab dem Ausgang des Pufferspeichers.

**Bild 18: Gesamtwärmeabnahme des Bestandsgebäudes und Vergleich mit Bedarfsdaten nach PHPP**



<sup>3</sup> Der Neubau wurde ab Januar 2020 bezogen, wobei sich der Bezug bis März hinzog, so dass die Verbrauchsdaten für Heizung hier bis zum Auswertzeitpunkt noch nicht belastbar sind.

Wird nur der Zeitraum der üblichen Heizperiode von Oktober bis Ende März betrachtet, dann liegt der Heizwärmeverbrauch bei  $19,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Somit wurden  $2,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  im Sommerhalbjahr verbraucht, da einerseits die Heizkreise erst ab Mitte April abgeschaltet wurden und andererseits die Heizkörper in den Badezimmern an die Wärmeversorgung für die Frischwasserstationen angeschlossen sind und ganzjährig betrieben werden können. Somit können die Mieter auch im Sommerhalbjahr Heizwärme abnehmen.

In Bild 18 ist auf der linken Seite die Gesamtwärmeabnahme des Bestandsgebäudes von Oktober 2019 bis September 2020 zusammenfassend dargestellt. Insgesamt wurden  $47,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  an Wärme vom Bestandsgebäude abgenommen, hinzu kommen noch die Verluste vom Fernwärmeanschluss zum Eingang des Pufferspeichers, die nicht von den Verteilverlusten für die Versorgung des Neubaus getrennt ausgewiesen werden können und für das Bestandsgebäude auf 2 % bzw.  $1,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  abgeschätzt werden. Von der Gesamtwärmemenge wurden  $21,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  für die Beheizung verbraucht. Der Bedarfswert für Heizwärme und Verteilverluste liegt nach PHPP mit Standardrandbedingungen ( $20,0^\circ\text{C}$  Raumtemperatur, mittleres Klima Frankfurt am Main, Standardwert für die inneren Wärmequellen) bei  $19,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , die Verteilverluste nach PHPP sind darin mit  $3,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  enthalten.

Berücksichtigt man die gemessene mittlere Raumtemperatur in der Heizperiode von  $22,0^\circ\text{C}$  (siehe Kapitel 3.5), das tatsächliche Klima vor Ort im Untersuchungszeitraum 2019/20 sowie den tatsächlichen Warmwasserverbrauch (siehe unten), so ergibt sich ein angepasster Bedarfswert von  $17,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , von dem  $2,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  auf die Verteilverluste entfallen und  $14,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  den Nutzenergiebedarf für Raumwärme darstellen. Der tatsächliche Stromverbrauch beeinflusst über die inneren Wärmequellen auch den Heizwärmebedarf. Berücksichtigt man zusätzlich den tatsächlichen Stromverbrauch und die daraus resultierenden inneren Wärmequellen<sup>4</sup>, so liegt der Heizwärmebedarf bei  $19,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  (davon  $2,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  für die Verteilverluste). Der gemessene Verbrauch liegt somit  $1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  über dem angepassten Bedarfswert bei lokalem Klima und bei Berücksichtigung der tatsächlichen Raumtemperatur und inneren Wärmequellen. In Anbetracht des Sommerverbrauchs von  $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  stimmen gemessener Heizwärmeverbrauch und angepasster Bedarfswert sehr gut überein. Dennoch gab es im Messjahr in begrenztem Umfang auch Fensterlüftung sowie Verschattung der Fenster im Winter, wodurch die solaren Gewinne reduziert wurden.

Mit Standardrandbedingungen ergibt sich nach PHPP ein Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung von  $23,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , der fast die Hälfte des Gesamtwärmebedarfs ausmacht. Gemessen wurde für die Warmwasserbereitung<sup>5</sup> ein Verbrauch von  $29.621 \text{ kWh}$ , was einem Kennwert von  $17,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  entspricht. Bei dem Kennwert muss die hohe Personenbelegung in dem Gebäude von ca.  $22,5 \text{ m}^2/\text{Person}$  berücksichtigt werden (Mittelwert in Mietwohnungen in Deutschland im Jahr 2014 [Bundestag 2020]:  $39,3 \text{ m}^2/\text{Person}$ ), die auch zu einem höheren flächenbezogenen (Warm-)Wasserverbrauch im Vergleich zu Mehrfamilienhäusern im frei finanzierten Wohnungsbau führt.

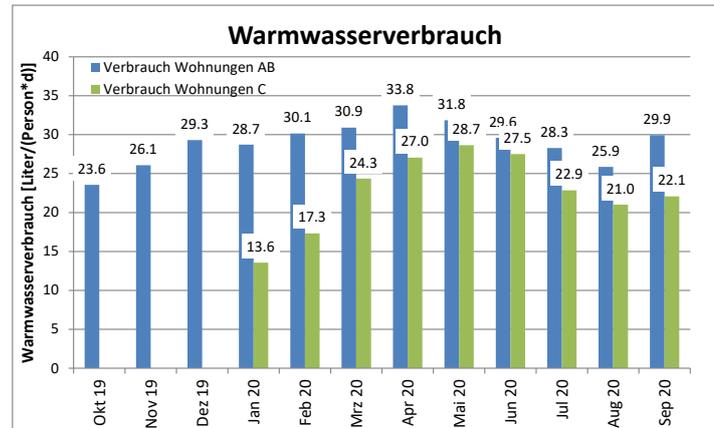
---

<sup>4</sup> Für das Mehrfamilienhaus rechnet das PHPP mit einem Standardwert für die inneren Wärmequellen von  $2,76 \text{ W}/\text{m}^2$ . Rechnet man die Personenabwärme und die Erwärmung der Kaltwasserleitungen sowie die Verdunstung heraus, so wird ein Haushaltsstromverbrauch von  $29,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  angesetzt, der gemessene Verbrauch liegt jedoch nur bei  $22,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , so dass real geringere innere Wärmequelle zur Verfügung stehen und mehr Heizwärme benötigt wird.

<sup>5</sup> Bei der Aufteilung der Wärme in Heizung und Warmwasserbereitung musste in Wohnungen, in denen die Wärmeabnahme des Badheizkörpers zusammen mit der Frischwasserstation gemessen wird, aus dem gezapften Warmwasservolumen der zugehörige Energieinhalt rückgerechnet werden. Dies erfolgte sowohl über physikalische Berechnungen mit angenommenen Kaltwasser- und Zapftemperaturen als auch mit einer monatlichen linearen Regression aus Messdaten von Wohnungen, in denen Warmwasservolumen und erforderlich Wärme für die Warmwasserbereitung getrennt gemessen wurden.

Der Jahresverlauf des Warmwasserverbrauchs für das Bestandsgebäude und den Neubau sind in Bild 19 dargestellt. Abgesehen vom Oktober 2019 liegen die Verbräuche im Bestandsgebäude (AB) - blaue Säulen - in einem Bereich zwischen 26 und 31 Liter/(Person\*d). In den Wohnungen sind weder Wasch- noch Geschirrspülmaschinen an die Warmwasserversorgung angeschlossen. Zum Vergleich sind in dem Bild auch die jeweiligen Verbräuche des Neubaus (C) in grün dargestellt. Das verbrauchte Warmwasservolumen lag im Bestandsgebäude im Jahresmittel bei 29 Liter/(Person\*d) und somit ebenfalls etwas über dem Planungswert des PHPP von 25 Liter/(Person\*d).

**Bild 19: Jahresgang des Warmwasserverbrauchs der Wohnungen für Bestandsgebäude und Neubau**



Berücksichtigt man jedoch die Zapftemperatur, die im Bestandsgebäude auf ca. 42 bis 45 °C eingestellt ist und rechnet die Energiemenge auf 60 °C wie beim PHPP-Standardwert um<sup>6</sup>, so ergibt sich ein äquivalenter Verbrauch von 20,0 Liter/(Person\*d). Wird in der angepassten PHPP-Berechnung dieser gegenüber dem Standardwert um 20 % geringere Warmwasserverbrauch eingesetzt, so ergibt sich ein Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung von 18,0 kWh/(m<sup>2</sup>\*a), was recht genau dem Verbrauchswert von 17,8 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) entspricht (Bild 18).

Die Verteilverluste für die Warmwasserbereitung liegen im Messzeitraum 2019/20 bei 6,5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) und damit um 18 % unter dem PHPP-Bedarfswert mit dem realen Klima. Ursache ist vermutlich, dass die horizontalen Verteilleitungen im Keller durch die Verlegung innerhalb der Kellerdeckendämmung noch weniger Wärme abgeben als kalkuliert und gleichzeitig der Keller durch die Dämmung der Außenwände mit 17,9 °C wärmer ist, als sich nach dem Berechnungsverfahren des PHPP ergibt. Die Verluste der Pufferspeicher liegen mit 2,3 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) nur leicht über dem berechneten Wert aus dem PHPP von 1,6 kWh/(m<sup>2</sup>\*a).

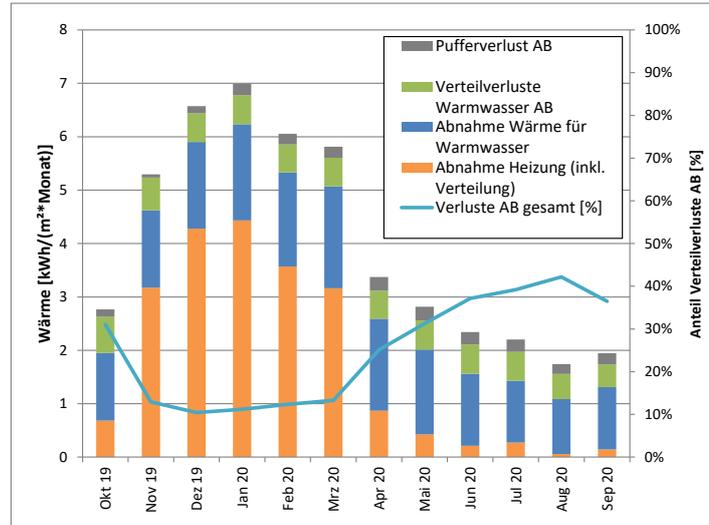
Insgesamt liegt der gemessene Wärmeverbrauch mit 47,9 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) unter dem Bedarfswert mit Standardbedingungen von 52,4 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) und etwa bei dem Bedarfswert mit tatsächlichem Klima, tatsächlichen Raumtemperaturen, tatsächlichem Warmwasserverbrauch und angepassten inneren Wärmequellen von 47,2 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Zu den angegebenen Verbrauchswerten sind noch ca. 2 % Verluste zwischen dem Fernwärmeanschluss und dem Pufferspeicher hinzuzurechnen, die aber nicht getrennt von der Pufferladung des Neubaus ausgewiesen werden können.

<sup>6</sup> Ansatz: Kaltwassertemperatur in den Wohnungen im Jahresmittel 13 °C

Bild 20 zeigt den monatlichen Verlauf der Wärmeabnahme im Bestandsgebäude sowie die sich ergebenden prozentualen Speicher- und Verteilverluste. Wie bereits weiter oben beschrieben, findet auch im Sommer eine geringe Wärmeabnahme über die Badheizkörper statt, die im Gegensatz zu den übrigen Heizkörpern nicht zentral abgeschaltet werden können. Allerdings ist auch zu berücksichtigen, dass der exakte Anteil der Wärmeabgabe über die Badheizkörper nur überschlägig bestimmt werden kann.

Die Puffer- und Verteilverluste unterliegen im Jahresverlauf absolut nur geringen Schwankungen, so dass im Sommer, wenn die Wärmeabnahme insgesamt geringer ist, die Verluste relativ von etwa 10 % im Winter auf bis zu 40 % im Sommer ansteigen.

**Bild 20: Jahresgang des Wärmeverbrauchs der Wohnungen für das Bestandsgebäude**



### 3.2 Elektrische Energie

#### 3.2.1 Stromverbrauch

Im Bestandsgebäude wurden in den Wohnungen von Oktober 2019 bis September 2020 insgesamt 36.489 kWh Haushaltsstrom verbraucht, außerdem 3.412 kWh für Allgemeinstrom und 10.337 kWh für die Anlagentechnik und Hilfsstrom. Auf die Energiebezugsfläche bezogen liegen die Haushaltsstromverbräuche bei 22,0 kWh/(m²\*a), Allgemeinstrom bei 2,1 kWh/(m²\*a) sowie die Anlagentechnik bei 6,3 kWh/(m²\*a). In Tab. 4 sind zusätzlich auch die aus 9 Monaten auf den Zeitraum eines Jahres hochgerechneten Werte für den Neubau dargestellt.

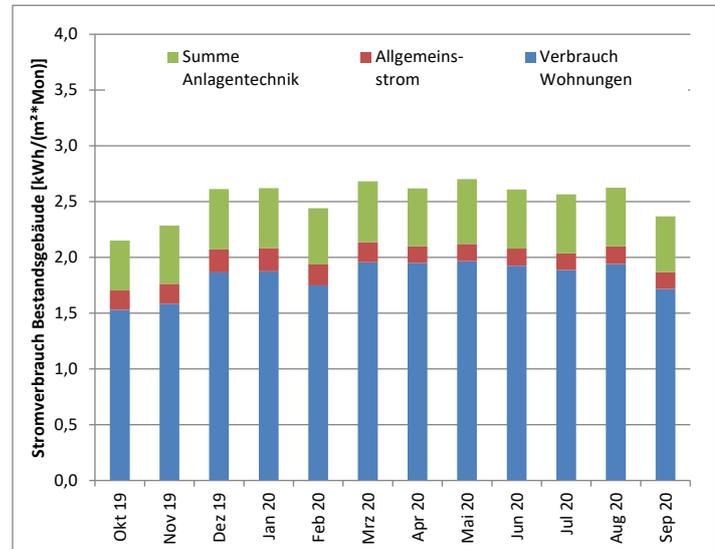
**Tab. 4: Jahresstromverbrauch des Bestandsgebäudes (AB) und hochgerechneter Verbrauch des Neubaus (C) [kWh/(m²\*a)]**

	Gesamtverbrauch [kWh/(m²*a)]	
	AB	C*
Wohnungen	22,0	20,6
Allgemeinstrom	2,1	1,1
Summe Anlagentechnik	6,3	6,6
<b>Summe Haus</b>	<b>30,3</b>	<b>28,3</b>

\* hochgerechnet

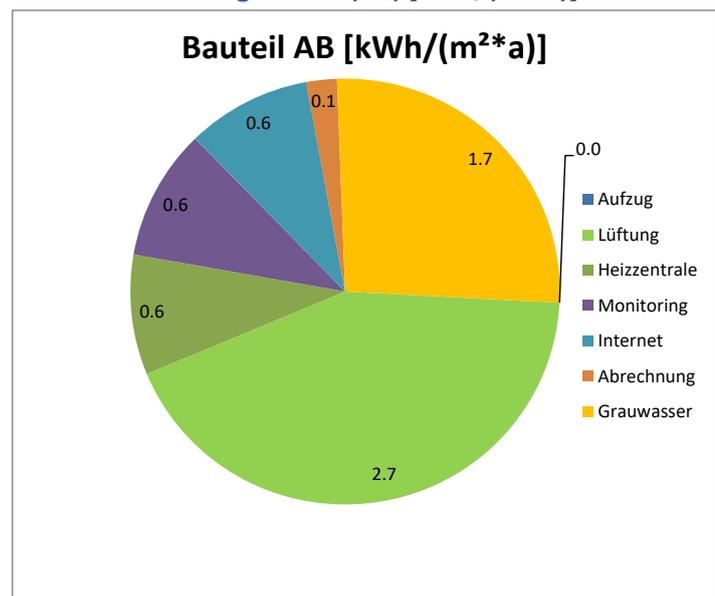
Der Jahresgang der Stromverbräuche des Bestandsgebäudes für Haushalts-, Allgemein- und Hilfsstrom ist in Bild 21 zu sehen. In den ersten beiden Monaten liegt der Haushaltsstromverbrauch noch unter den Werten der nachfolgenden Monate, was auf eine noch nicht vollständig vorhandene Ausstattung an Elektrogeräten hindeuten könnte. Von Oktober bis April ist bei den monatlichen Tagesmittelwerten des Haushaltsstromverbrauchs ein permanenter Anstieg festzustellen. Im Mai und Juni verbleiben die Monatsmittelwerte nahezu auf dem Wert von April und von Juli bis September sind sie wieder leicht abgesunken. Die leicht höheren Werte im Frühjahr 2020 könnten durch die Corona-Pandemie und das Homeschooling bedingt sein.

**Bild 21: Jahresgang der Stromverbräuche des Bestandsgebäudes**



Am gesamten Hilfsstromverbrauch von 6,5 kWh/(m²\*a) im Bestandsgebäude (Bild 22) nimmt der Strombezug für die Lüftungsanlagen mit 2,7 kWh/(m²\*a) den größten Anteil ein. Er liegt dabei unter dem rechnerisch nach PHPP abgeschätzten Wert von 3,0 kWh/(m²\*a). Dann folgt die Grauwasseranlage mit 1,7 kWh/(m²\*a), die jedoch ab Januar 2020 für alle Gebäudeteile das Grauwasser aufbereitet, aber im Bestandsgebäude erfasst wird. Für die Grauwasseranlage liegen keine Vergleichszahlen zur Einordnung vor. Hinzu kommen jeweils ca. 0,6 kWh/(m²\*a) für die Heizzentrale, das Monitoring und die Internetversorgung sowie 0,1 kWh/(m²\*a) für die Abrechnung und Budgeterfassung. Ein Aufzug ist nur im Neubau vorhanden, so dass dieser Verbrauch im Bestandsgebäude bei 0,0 kWh/(m²\*a) liegt.

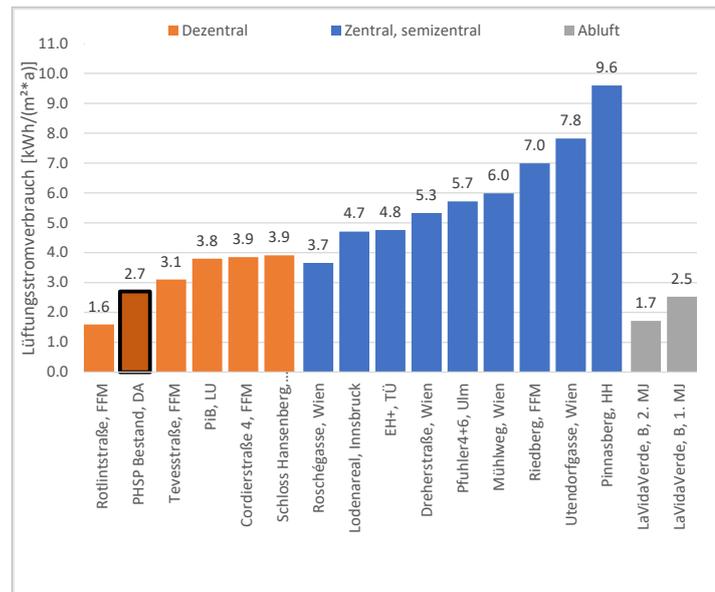
**Bild 22: Zusammensetzung der Hilfsstromverbräuche Bestandsgebäude (AB) [kWh/(m²\*a)]**



Zur Einordnung der Lüftungsstromverbräuche sind in Bild 23 die Messdaten von unterschiedlichen Mehrfamilienhäusern im Passivhaus- bzw. Effizienzhaus-Plus-Standard dargestellt, differenziert nach wohnungsweisen dezentralen Anlagen und zentralen Anlagen für das gesamte Gebäude bzw. ein komplettes Treppenhaus. Weiterhin sind die Werte von zwei Messjahren eines Mehrfamilienhauses mit feuchtegesteuerter Abluftanlage dargestellt.

Der Messwert im PassivhausSozialPlus mit den dezentralen Lüftungsanlagen (schwarz umrandet) liegt mit 2,7 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) im unteren Bereich der dezentralen Lüftungsanlagen und unter dem Mittelwert der ausgewerteten Gebäude von 3,1 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Im Vergleich dazu lag der niedrigste Messwert bei zentralen Anlagen bei 3,7 kWh/(m<sup>2</sup>\*a), im Mittel erreichten diese einen Verbrauch von 6,1 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Die feuchtegesteuerte Abluftanlage des Gebäudes LaVidaVerde in Berlin erreichte im Mittel über beide Messjahre einen Lüftungsstromverbrauch von 2,1 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) und liegt damit nur 23 % unter der dezentralen Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung im PassivhausSozialPlus, ohne dessen Komfort (vorgewärmte Zuluft) und Energieeffizienz zu erreichen.

**Bild 23: Gemessene Lüftungsstromverbräuche in Passiv- oder Effizienzhaus Plus-Häusern von dezentralen und zentralen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung** ([Großklos 2013], [Großklos et al. 2016], [PHI 2005], [PHI 2008], [PHI 2011], [Schöberl, Hofer 2012], [Lodenareal 2012], [EH+ 28 2016], [EH+ 33 2017], [EH+ 37 2018], [EH+ 41 2018], [EH+ Bestand 2018])



### 3.2.2 Stromerzeugung, Batteriespeicher und Netzbezug/-einspeisung

Die Photovoltaikanlagen auf dem Bestandsgebäude wurden Ende Oktober 2019 in Betrieb genommen und haben im Zeitraum November 2019 bis September 2020 insgesamt 41.533 kWh an Strom erzeugt. Dies entspricht einer Erzeugung von 23,7 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) bzw. 963 kWh/kW<sub>p</sub>. Dieser Wert liegt ca. 18 % über dem prognostizierten PV-Ertrag nach PHPP im gleichen Zeitraum<sup>7</sup>. Da auch die solare Einstrahlung auf die Horizontale im gleichen Zeitraum um 24 % über dem langjährigen Mittelwert der für die Ertragsprognose verwendeten Wetterstation Frankfurt am Main lag, kann von einer noch guten Übereinstimmung bei Berücksichtigung der tatsächlichen solaren Einstrahlung gesprochen werden.

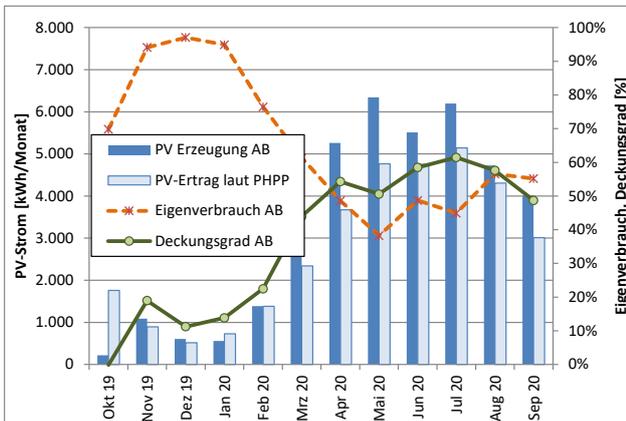
Der Batteriespeicher wurde im September 2019 montiert, war aber im Winter 2019/20 mehrmals außer Betrieb und auch im Verlauf des Jahres 2020 musste er aufgrund von erforderlichen Zellwechseln mehrmals vom Netz genommen werden. Insgesamt wurde der Speicher mit 3.058 kWh geladen (dies entspricht 1,84 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)), entnommen wurden 2.152 kWh bzw. 1,3 kWh/(m<sup>2</sup>\*a), womit sich ein Speichergesamtwirkungsgrad von 70 % ergibt. Dieser liegt deutlich unter dem vom Hersteller geschätzten Wert von ca. 80 %. Nach dem Austausch der Batteriezellen im Oktober 2020 wird erwartet, dass der Speicherwirkungsgrad ansteigt.

<sup>7</sup> Bei den dargestellten Messwerten handelt es sich um zeitlich hoch aufgelöst gemessene Daten, die auf Monats- oder Jahreswerte aufsummiert wurden und die tatsächlichen Verbräuche widerspiegeln. Die Bedarfswerte nach EnEV bzw. PHPP werden auf Basis von Monatsbilanzen berechnet und können zeitlich hoch aufgelöste Vorgänge im Gebäude nicht abbilden.

Von den 23,7 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) PV-Erzeugung wurden 48 % direkt im Gebäude verbraucht, der Rest ins Netz eingespeist. Zusammen mit der aus der Batterie entnommenen Energiemenge ergibt sich ein Eigenverbrauch von 55,3 % für den gesamten Zeitraum.

Bild 24 zeigt die gemessene PV-Stromerzeugung, den prognostizierten PV-Ertrag nach PHPP mit Standardklima sowie den Eigenverbrauch und den solaren Deckungsgrad für elektrische Energie. Im Winter liegt der Eigenverbrauch bei nahezu 100 %, da der Bedarf nicht vollständig durch PV-Strom gedeckt werden kann. Im Frühjahr und Sommer wird ein Eigenverbrauch zwischen ca. 40 % und 60 % erreicht, im Mittel der 11 Monate – wie bereits oben beschrieben – ein Wert von 55 %. Höhere Eigenverbräuche können kaum erwartet werden, da der Elektrospeicher aus Kostengründen mit nur ca. 18 kWh bei 22 Wohneinheiten sehr klein ausgelegt wurde. Der solare Deckungsgrad beim Stromverbrauch, also der Anteil des Stromverbrauchs, der durch die PV-Anlage zusammen mit dem Batteriespeicher gedeckt werden kann, lag im Mittel der 11 Monate bei 40 % – im Sommer bei 50 bis 60 %, im (Kern-)Winter bei 10 bis 20 %.

**Bild 24: PV-Stromerzeugung lokal und Prognose nach PHPP sowie Eigenverbrauchsanteil und Deckungsgrad PV-Strom im Jahresverlauf**



**Bild 25: PV-Stromerzeugung, Gesamtverbrauch des Gebäudes sowie Netzbezug und Netzeinspeisung im Jahresverlauf**

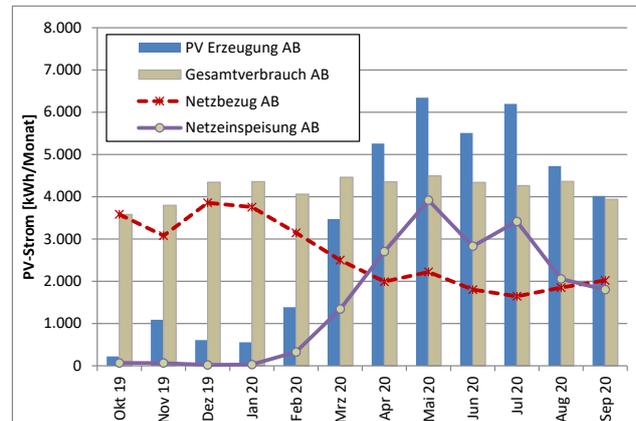
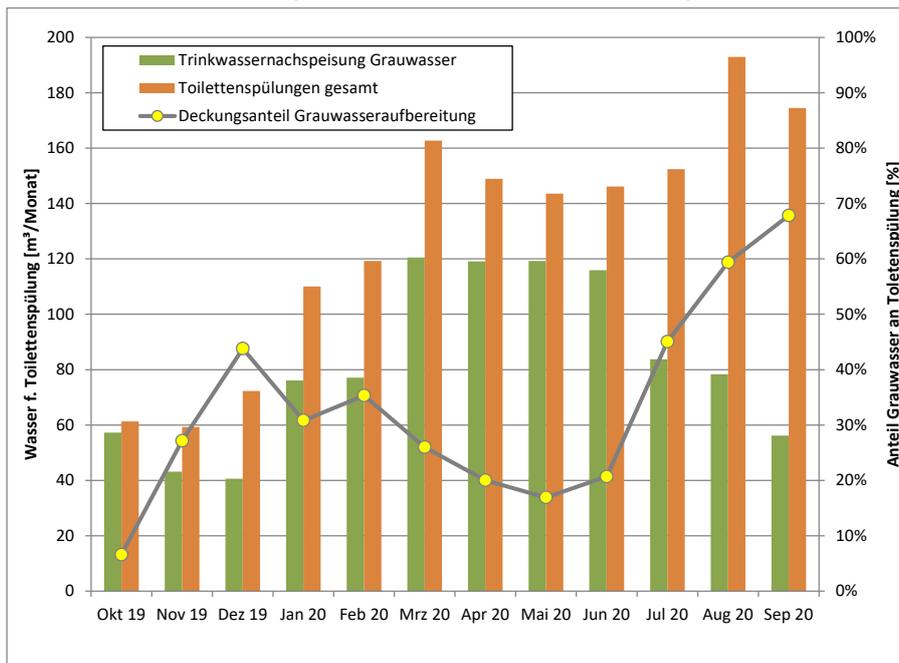


Bild 25 zeigt neben der PV-Stromerzeugung auch den Gesamtstromverbrauch des Gebäudes sowie den Netzbezug und die Netzeinspeisung. Im Winterhalbjahr liegt der Netzbezug nahezu in der Höhe des Gesamtstromverbrauchs und es wird fast keine Energie ins Netz zurück gespeist. Wenn ab März die PV-Stromerzeugung deutlich ansteigt, sinkt der Netzbezug auf unter 50 % des Gesamtstromverbrauchs und die Netzeinspeisung steigt gleichzeitig deutlich an.

### 3.3 Grauwasseranlage und Trinkwasserverbrauch gesamt

In den Wohnungen wird gering verschmutztes Abwasser im Bad getrennt erfasst und in der zentralen Grauwasseranlage im Keller für die Toilettenspülung aufbereitet. In Bild 26 sind die monatlichen Mengen für die Toilettenspülung im Jahresverlauf dargestellt sowie die Trinkwassernachspeisung, wenn die Aufbereitungsleistung der Anlage nicht ausgereicht hat oder der Grauwasserzufluss zu gering war. Mitte Oktober 2019 wurde die Anlage in Betrieb genommen und bis Dezember wurde nur der sanierte Altbau (Haus AB) versorgt. Die Menge an Wasser für die Toilettenspülung lag im Bereich von 60 m<sup>3</sup>/Monat, in die Anlage musste aber noch nennenswert Trinkwasser nachgespeist werden, so dass der Deckungsanteil des Betriebswassers am Toilettenwasserverbrauch zwischen 30 und 40 % lag. Ab Januar 2020 kamen die Wohnungen des Neubaus hinzu, wodurch der Wasserverbrauch für die Toilettenspülung bis März kontinuierlich bis auf 140 bis 160 m<sup>3</sup>/Monat angestiegen ist. Der Deckungsanteil sank durch den steigenden Verbrauch auf unter 20 % im Frühjahr 2020. Mitte Juli wurde eine weitere Aufbereitungs- bzw. Filteranlage parallelgeschaltet. Der Deckungsgrad ist dadurch angestiegen und lag im September 2020 bei 68 %. Dass der Wasserverbrauch im August und September weiter angestiegen ist, könnte am Betriebswasserverbrauch für die Spülung der neuen Anlage und dem wieder Einstellen der biologischen Aufbereitung nach verschiedenen Optimierungen des Anlagenbetriebs liegen.

**Bild 26: Wassermengen für Toilettenspülung und Trinkwassernachspeisung sowie Deckungsanteil Grauwasseraufbereitung**



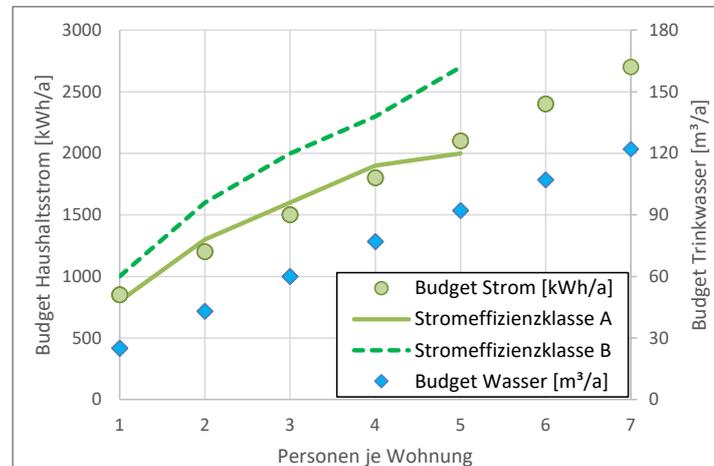
Rechnet man den Wasserverbrauch für die Toilettenspülung aus den Werten für die Monate März bis September (Zeitraum mit Vollbelegung von Bestandsgebäude und Neubau) auf ein Jahr hoch, so ergibt sich ein Verbrauchskennwert von 13,9 m<sup>3</sup>/(Person\*a). Der Trinkwasserverbrauch für die Toilettenspülung liegt im Mittel in Deutschland nach [BDEW 2020] bei 12,3 m<sup>3</sup>/(Person\*a), der gemessene Verbrauch liegt somit etwa 13 % über dem bundesdeutschen Mittelwert<sup>8</sup>. Allerdings wurden im gleichen Zeitraum nur 8,6 m<sup>3</sup>/(Person\*a) an Trinkwasser dafür verbraucht, der Rest konnte mit aufbereitetem Grauwasser gedeckt werden. Dieser mittlere Deckungsgrad von 38 % soll sich zukünftig nach den Änderungen an der Anlage im Sommer 2020 deutlich erhöhen.

<sup>8</sup> Anteil der Toilettenspülung 27 % am Gesamttrinkwasserverbrauch von 125 Liter/(Person und Tag) in Haushalten und Kleingewerbe [BDEW 2020].

### 3.4 Wohnungsweise Verbräuche für Haushaltsstrom und Trinkwasser

Haushaltsstrom und Trinkwasser stellen in den Gebäuden eine besondere Verbrauchsposition dar, da über die Nebenkostenpauschale nicht automatisch der komplette Verbrauch umgelegt wird, sondern nur ein vorab ermitteltes Budget. Die Höhe der Budgets für Wasser und Strom ist in Bild 27 in Abhängigkeit der Anzahl der Personen dargestellt. Bei Haushaltsstrom orientiert sich die Budgethöhe bei Wohnungen mit wenigen Bewohnern an der Stromeffizienzklasse A des [Stromspiegel 2019]. Da dieser nur Werte bis 5 Personen liefert, wurde bei höherer Personenbelegung das Budget je Person fortgeschrieben. Für Mietparteien mit besonderem Bedarf (z. B. pflegebedürftige Bewohner), kann das Budget auch angepasst werden.

**Bild 27: Höhe der Budgets für Wasser und Strom je Wohneinheit und Personenanzahl sowie Effizienzklassen A und B nach [Stromspiegel 2019]**

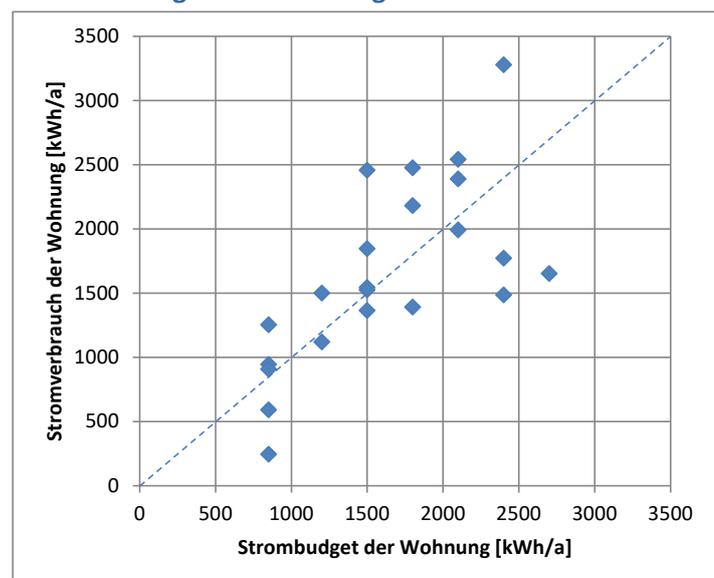


Eine Budgetüberwachung soll die Mieter über ihren aktuellen Verbrauch und die Ausschöpfung des Budgets informieren (siehe Kapitel 2.3). Allerdings ist bei der Interpretation der folgenden Ergebnisse zu berücksichtigen, dass die Budgeterfassung und -visualisierung erst im Sommer 2020 in Betrieb gegangen ist, so dass die ausgewerteten Verbräuche überwiegend ohne direkte Rückmeldung an die Mieter entstanden sind.

#### 3.4.1 Haushaltsstrom

Die Wohnungen wurden von der Neue Wohnraumhilfe gGmbH als Vermieter bereits mit besonders sparsamen Haushaltsgeräten (A+++), ausgestattet, außerdem ist eine komplette Beleuchtung mit LED-Lampen vorhanden. Mit dem Mietvertrag wurde ein Budget für Haushaltsstrom je Wohnung vereinbart, das sich je nach Personenbelegung an der Effizienzklasse A des Stromspiegels für Deutschland orientiert [Stromspiegel 2019]. In Bild 28 ist für jede Wohnung der gemessene Jahresverbrauch über das Budget der jeweiligen Wohnung aufgetragen. Die gepunktete Diagonale zeigt an, wo die Verbräuche liegen würden, wenn sie exakt dem Budget entsprächen. In 9 Wohnungen liegen die Verbräuche in Höhe des Budgets oder darunter, 13 Wohnungen überschreiten das Budget, jedoch in der Regel nur geringfügig. Die Summe der Haushaltsstromverbräuche des Bestandsgebäudes liegt bei 36.489 kWh/a, das Budget war mit 35.750 kWh/a angesetzt – das Gesamtbudget wurde somit um 2 % überschritten. Wohnungen, die das Budget überschritten haben, mussten entsprechende Kontingente zukaufen, im Mittel der Wohnungen mit Überschreitung des Budgets entstanden

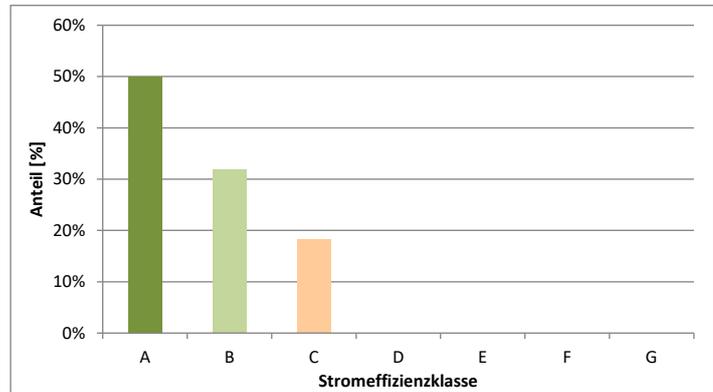
**Bild 28: Gemessener Jahres-Haushaltsstromverbrauch des Bestandsgebäudes und zugehöriges Strombudget der Wohnung**



Kosten von 98 €/a bzw. 8,19 € pro Monat, bei der Wohnung mit dem höchsten Mehrverbrauch waren es 20,78 €/Monat.

In Bild 29 sind die Wohnungen mit ihren Haushaltsstromverbräuchen in die Verbrauchsklassen des Stromspiegels 2019 eingeordnet und nach der Häufigkeit der Klassen aufsummiert. Die Hälfte der Wohnungen weist einen Stromverbrauch entsprechend der Effizienzklasse A auf. 32 % erreichen die Effizienzklasse B und nur 18 % sind in die Effizienzklasse C einzuordnen. Höhere Verbräuche wurden im Bestandsgebäude nicht gemessen. Insgesamt ist somit festzuhalten, dass die Bewohner wenig Strom verbrauchen und die Orientierung der Budgets an der sparsamsten Effizienzklasse A möglich ist.

**Bild 29: Einordnung der gemessenen Haushaltsstromverbräuche des Bestandsgebäudes in die Stromeffizienzklassen des Stromspiegel Deutschland [Stromspiegel 2019]**



### 3.4.2 Trinkwasserverbrauch

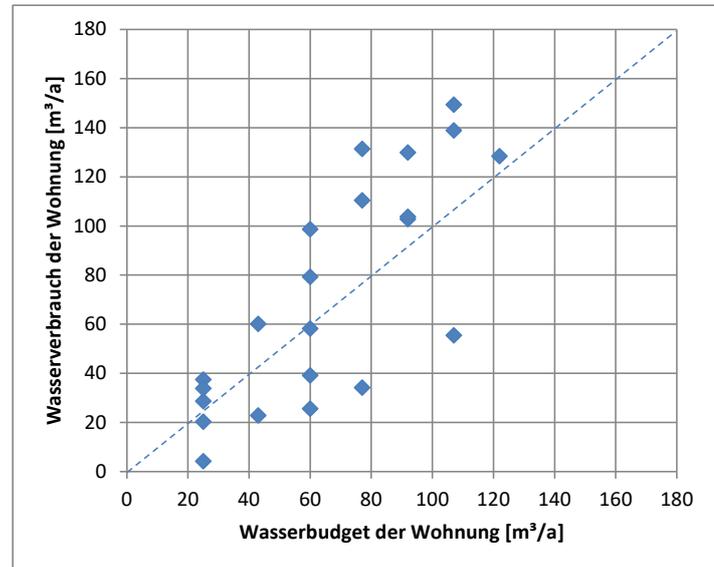
Der Trinkwasserverbrauch, der in den Wohnungen gemessen wurde, umfasst sowohl das kalte wie auch das warme Trinkwasser – letzteres wird direkt in der Wohnung erwärmt. Für Trinkwasser wurde mit den Mietern ein Budget im Mietvertrag vereinbart, das in Abhängigkeit der Personenanzahl in der Wohnung kalkuliert wurde (25 m<sup>3</sup>/a für die erste Person, für die zweite Person zusätzlich 18 m<sup>3</sup>/h, für die dritte und vierte Person 17 m<sup>3</sup>/a zusätzlich und jede weitere Person 15 m<sup>3</sup>/a zusätzlich; siehe Bild 27). Bei der Bemessung der Budgets wurde auf Messdaten von Mehrfamilienhäusern zurückgegriffen und die Höhe in Abhängigkeit der Personenbelegung festgelegt. Zur Reduktion der Verbräuche wurden bauseits alle Zapfstellen mit Spararmaturen ausgestattet. Die Toilettenspülung wird aus der Grauwasseranlage gespeist und ist in den folgenden Zahlen nicht enthalten<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Das Wasservolumen für die Toilettenspülung steht nur als Summenwert für alle 42 Wohneinheiten zur Verfügung (siehe Kap. 3.3).

Bild 30 zeigt für jede Wohneinheit das Wasserbudget sowie den tatsächlichen Wasserverbrauch. Wie schon beim Haushaltsstrom streuen die Werte um die eingezeichnete Diagonale. Bei 8 Wohnungen liegt der Verbrauch in der Höhe der Pauschale oder darunter, 14 Wohnungen überschreiten das Budget – jedoch unterschiedlich stark. In der Summe für das gesamte Bestandsgebäude wurden 1.593,9 m<sup>3</sup> Wasser in den Wohnungen verbraucht, das Gesamtbudget lag bei 1.461 m<sup>3</sup> und wurde somit um 9,1 % überschritten. Die Kosten der Überschreitungen sind individuell jedoch sehr unterschiedlich. Im Mittel ergibt sich ein Zukauf im Wert von 94 €/a je Wohneinheit bzw. 7,85 €/Monat, wobei der höchste Wert bei 18,14 €/Monat liegt. Da das Budgeterfassungssystem erst im Laufe der Sommers 2020 in Betrieb gegangen ist, hatten die Mieter noch kaum Rückmeldung zu ihrem individuellen Verbrauch, so dass die erwartete verbrauchsbegrenzende Wirkung der Visualisierung in diesem Abrechnungsjahr noch nicht richtig greifen konnte. Bei Mietern, bei denen die Wohnkosten (inklusive Wasser) vom Jobcenter übernommen werden, entsteht dem Mieter nur ein organisatorischer, nicht jedoch ein finanzieller Mehraufwand. Auch für diese Fälle können die Auswirkungen des Zukaufs von Wasserbudgets noch nicht abgeschätzt werden.

Der gesamte Trinkwasserverbrauch in den Wohnungen von 1.593,9 m<sup>3</sup>/a entspricht einem Verbrauch von 21,0 m<sup>3</sup>/(Person\*a). Der mittlere Trinkwasserverbrauch in Haushalten in Deutschland liegt nach [BDEW 2020] ohne Toilettenspülung und ohne Kleingewerbeanteil bei 29,2 m<sup>3</sup>/(Person\*a) und wurde somit um 28 % unterschritten.

**Bild 30: Gemessener Jahres-Wasserverbrauch im Bestandsgebäude und zugehöriges Wasserbudget der Wohnungen**

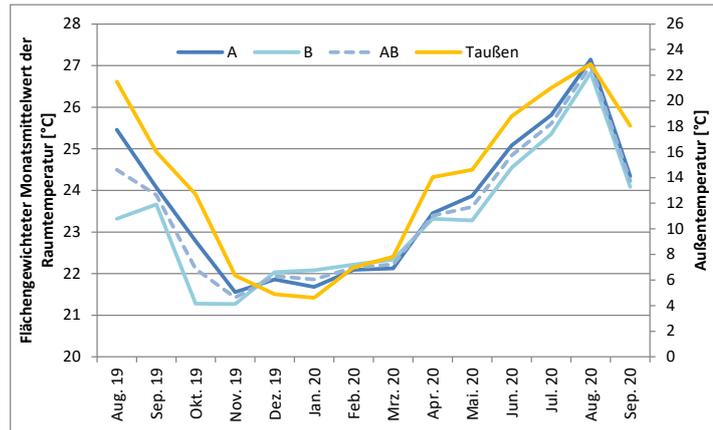


### 3.5 Raumtemperaturen und Raumlufffeuchten

Jede Wohnung wurde mit mindestens einem Temperaturfühler im Wohnzimmer ausgestattet, in 7 detailliert vermessenen Wohnungen im Bestandsgebäude wurden in allen Räumen Temperatur- und Feuchtefühler montiert. Die Messwerte wurden viertelstündlich erfasst und dann als wohnflächengewichtete Mittelwerte angegeben.

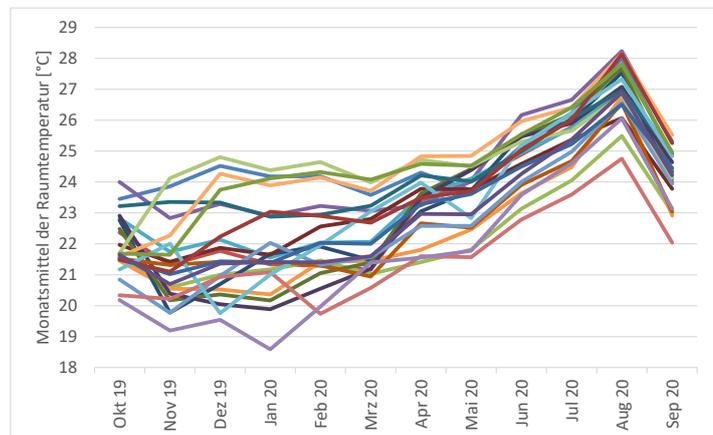
Die flächengewichteten Mittelwerte der beiden Gebäudeteile des Bestandsgebäudes (Bauteile A und B) sind in Bild 31 im Jahresverlauf dargestellt (Raumtemperaturen auf der linken Y-Achse, Außentemperatur auf der rechten Y-Achse). Es zeigt sich, dass nach Bezug von Bauteil B (Vermietung ab September 2019) sich die Temperaturen in beiden Bauteilen A und B ab November 2019 sehr stark annähern. Die flächengewichtete mittlere Raumtemperatur lag in der Heizperiode von Oktober bis März bei 22,0 °C. Im Juni und Juli lagen die Raumtemperaturen im Mittel unter 26 °C, im sehr heißen August 2020 wurden bei 22,9 °C mittlerer Monats-Außentemperatur 27,1 °C im Mittel in den Wohnungen gemessen.

**Bild 31: Flächengewichtete Monatsmitteltemperaturen im modernisierten Bestandsgebäude**



In Bild 32 sind die Raumtemperaturen der einzelnen Wohnungen im Jahresverlauf dargestellt. Im Winter zeigt sich eine große Streuung zwischen den Temperaturen der Wohnungen. Die kühlfte Wohnung lag im Januar bei knapp 19 °C, die wärmste bei über 24 °C. Im Frühjahr verkleinert sich die Spanne zwischen wärmster und kühlfte Wohnung und bleibt über den Sommer nahezu gleich. Im sehr warmen August 2020 weisen diejenigen Wohnungen die höchsten Temperaturen auf, die auch im Winter hohe Raumtemperaturen besitzen und umgekehrt.

**Bild 32: Raumtemperaturen der Wohnungen im Jahresverlauf**



In Bild 33 die Mittelwerte der gemessenen Raumtemperaturen des modernisierten Bestandsgebäudes (roter Punkt) und anderer energieeffizienter Mehrfamilienhäuser in Abhängigkeit des Heizwärmeverbrauchs dargestellt. Die Raumtemperaturen im Winterhalbjahr von Gebäuden mit einem sehr niedrigen gemessenen Heizwärmeverbrauch von 10 bis 30 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) liegen bis auf ein Gebäude alle zwischen 21,5 °C und 22,8 °C. Ein Teil der Gebäude besitzt eine pauschale Abrechnung der Heizkosten, die meisten jedoch eine verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung. Das PassivhausSozialPlus (PHSP) liegt mit einem Mittelwert der gemessenen Raumtemperaturen von 22,0 °C somit - trotz gefördertem Wohnungsbau und pauschaler Abrechnung - im üblichen Bereich energieeffizienter Gebäude und ist im Vergleich nicht auffällig.

**Bild 33: Gemessener Heizwärmeverbrauch und mittlere Raumtemperatur um Winterhalbjahr des PHSP sowie anderer energieeffizienter Mehrfamilienhäuser in Abhängigkeit vom Heizwärmeverbrauch (Quelle: [Großklos 2013] erweitert um [EH+28 2016], [EH+38 2018], [Wißgrill])**

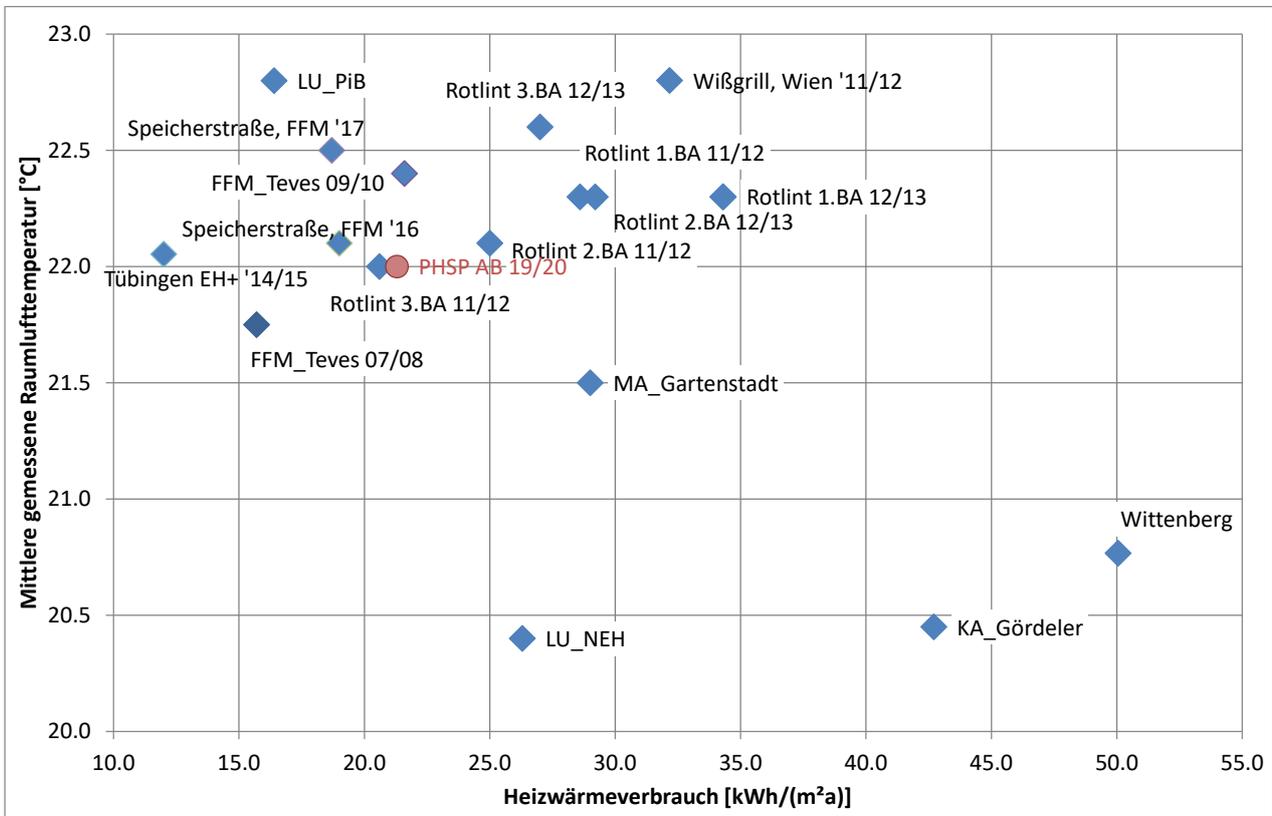
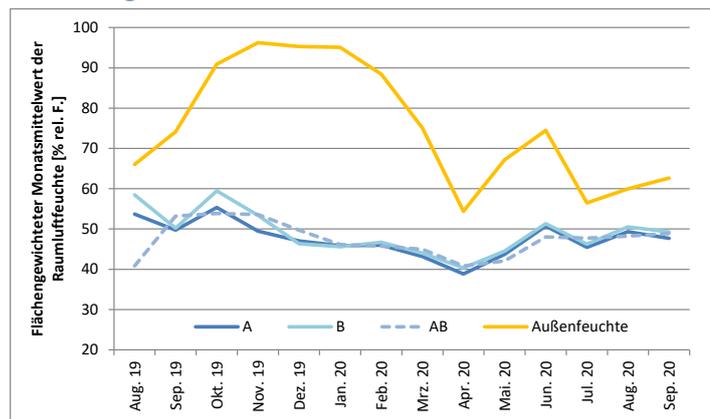


Bild 34 zeigt die flächengewichteten Monatsmittelwerte der Raumluftfeuchte im Bestandsgebäude sowie die Außenluftfeuchte im jeweiligen Monat. Von Oktober bis April sinkt die Raumluftfeuchte kontinuierlich von ca. 55 % rel. Feuchte auf 40 % rel. Feuchte ab, um dann über den Sommer wieder auf ca. 50 % rel. Feuchte anzusteigen. Insgesamt ist die Schwankung der Monatsmittelwerte Raumluftfeuchte im Jahresverlauf vergleichsweise gering. Berücksichtigt werden muss jedoch, dass im aktuellen Betrachtungszeitraum nur wenige Frosttage vorhanden waren, die die Raumluftfeuchte stark beeinflussen können. In den kommenden Jahren sollen die Raumluftfeuchten des Bestandsgebäudes (keine Zuluftheizung, Abschaltung an Frosttagen) mit denen im Neubau (mit Zuluftheizung) verglichen werden.

**Bild 34: Flächengewichtete Monatsmittelwerte der Raumluftfeuchte im modernisierten Bestandsgebäude**



## 4 Baukosten

Das Bauvorhaben PassivhausSozialPlus wurde in den Jahren 2018/19 umgesetzt. Für die Auswertung der abgerechneten Kosten wurden vom Büro faktor10 sowie von der Energiegenossenschaft Darmstadt entsprechende Daten zur Verfügung gestellt. Es handelt es sich um Bruttokosten 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 (siehe Tab. 1).

Die Gesamtkosten für Bestandsgebäude und Neubau zusammen sind in Tab. 5 dargestellt und lagen für die Kostengruppen 100 bis 700 bei 10,36 Mio. € bzw. 3.174,77 €/m<sup>2</sup> Wfl.). Die PV-Anlagen wurden von der Energiegenossenschaft Darmstadt errichtet und sind in den angegebenen Kosten nicht enthalten, jedoch die Unterkonstruktionen für die Module als Teil der Dachkonstruktion (siehe Kapitel 4.2.1). Berücksichtigt man die PV-Anlagen, so erhöhen sich die Kosten in KG 400 und die Gesamtkosten um 18,04 €/m<sup>2</sup> Wfl.) beim Bestandsgebäude bzw. 16,54 €/m<sup>2</sup> Wfl.) beim Neubau. Die Kosten für die Budgetvisualisierung und das wissenschaftliche Monitoring sind in Tab. 5 ebenfalls nicht enthalten und werden in Kapitel 4.2 gezeigt.

Die Zusammensetzung der Gesamtkosten ist prozentual in Bild 35 dargestellt für die Kostengruppen 100 bis 700. Mit einem Anteil von 38 % verursachte die Kostengruppe 300 (Baukonstruktion) die höchsten Kosten, gefolgt von KG 100 (Grundstück, 27 %) und KG 700 (Baunebenkosten, 16 %) sowie KG 400 (Technische Anlagen, ohne PV-Anlagen, 13 %). Alle weiteren Kostengruppen spielen eine untergeordnete Rolle.

Da die Randbedingungen für Bestandsgebäude und Neubau sehr unterschiedlich waren, sind in Tab. 6 die Kostengruppen 300, 400 und 600 getrennt ausgewiesen. Bei dem Bestandsgebäude entstanden in KG 300 (Baukonstruktion) Kosten von 1.090,30 €/m<sup>2</sup> Wfl.), in KG 400 (Technische Anlagen, ohne PV) lagen diese bei 378,33 €/m<sup>2</sup> Wfl.) und bei KG 600 (Ausstattungen) bei 70,19 €/m<sup>2</sup> Wfl.). Insgesamt lagen die Kosten bei KG 300 und KG 400, die häufig für Vergleiche mit anderen Bauvorhaben herangezogen werden, bei 1.468,63 €/m<sup>2</sup> Wfl.). Hierin sind auch die Wohnflächenerweiterung durch Anbauten und Dachaufstockung enthalten.

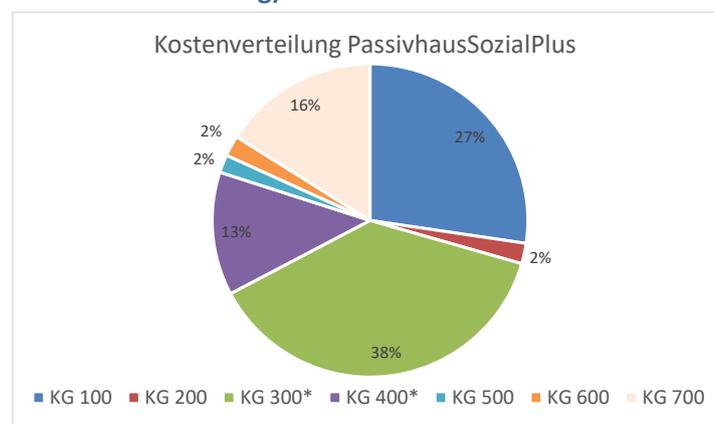
Beim Neubau sind in KG 300 Kosten von 1.314,34 €/m<sup>2</sup> Wfl.) angefallen, in KG 400 waren es ohne PV-Anlage 430,60 €/m<sup>2</sup> Wfl.) und in KG 600 65,78 €/m<sup>2</sup> Wfl.). In der Summe der KG 300 und 400 lagen die Kosten beim Neubau bei 1.744,94 €/m<sup>2</sup> Wfl.).

**Tab. 5: Kosten des Gesamtvorhaben nach Kostengruppen nach [DIN 276] (inkl. MwSt.)**

	Gebäude A, B und C	
	absolute Kosten [€]	spezifische Kosten [€/m <sup>2</sup> Wfl.]
KG 100	2.832.660,77	868,04
KG 200	218.732,74	67,03
KG 300*	3.916.935,98	1.200,31
KG 400*	1.318.355,25	404,00
KG 500	191.553,07	58,70
KG 600	221.598,20	67,91
KG 700	1.660.305,64	508,79
<b>Gesamtkosten</b>	<b>10.360.141,65</b>	<b>3.174,77</b>

\* ohne Monitoring und Visualisierung/Budgetierung

**Bild 35: Zusammensetzung der Gesamtkosten des PassivhausSozialPlus (ohne Monitoring und Visualisierung)**



**Tab. 6: Aufteilung der Kostengruppen 300, 400 und 600 auf Bestandsgebäude und Neubau**

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

\* ohne Monitoring und Visualisierung/Budgetierung

## 4.1 Kosten der Außenbauteile im Neubau

Die Kosten für die Außenbauteile (Bodenplatte, Außenwände und Dach) im Neubau lagen insgesamt bei 557.524,17 €. Im Folgenden werden die Kostenzusammensetzungen für die Bodenplatte, die Außenwände und das Dach detailliert dargestellt.

### 4.1.1 Bodenplatte

Die Tragschicht für die Bodenplatte besteht aus Recyclingmaterial, das aus dem Abbruch des dritten Bestandsgebäudes generiert wurde. Die Stahlbetonbodenplatte wurde auf eine schwimmende Dämmung betoniert und verfügt über eine Fläche von 550 m<sup>2</sup>. Sie ist mit Abdichtung, schwimmenden Zementestrich und Bodenbelag bedeckt. Die Kosten für die Bodenplatte sind in Tab. 7 dargestellt und lagen insgesamt bei 169.081,28 €.

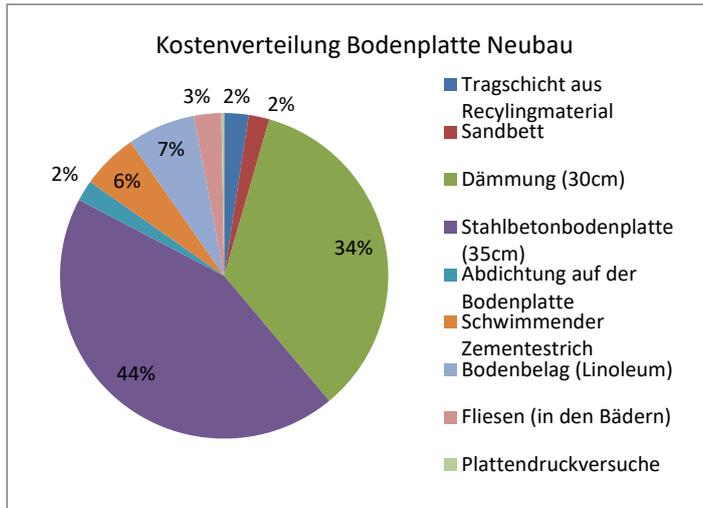
**Tab. 7: Absolute und spezifische Kosten für die Bodenplatte im Neubau (inkl. MwSt.)**

	absolute Kosten [€]	Spezifische Kosten [€/m <sup>2</sup> Bodenpl.]*
Tragschicht aus Recyclingmaterial	4.071,51	7,40
Sandbett	3.448,03	6,27
Dämmung (30cm)	58.310,00	106,02
Stahlbetonbodenplatte (35cm)	74.040,31	134,62
Abdichtung auf der Bodenplatte	3.512,39	6,39
Schwimmender Zementestrich	9.360,54	17,02
Bodenbelag (Linoleum)	11.291,29	20,53
Fliesen (in den Bädern)	4.600,96	8,37
Plattendruckversuche	446,25	0,81
<b>Summe</b>	<b>169.081,28</b>	<b>307,42</b>

\* Berücksichtigung der Bruttofläche von 550m<sup>2</sup> bei der Bodenplatte

Mit einem Anteil von 44 % verursachte die Stahlbetonbodenplatte die höchsten Kosten, gefolgt von der Dämmung (ein Drittel) und den Bodenbelägen Linoleum und Fliesen (7 % bzw. 6 %). Die weiteren Kostengruppen spielen eine untergeordnete Rolle (Bild 36).

**Bild 36: Zusammensetzung der Kosten für die Bodenplatte im Neubau**



### 4.1.2 Außenwände

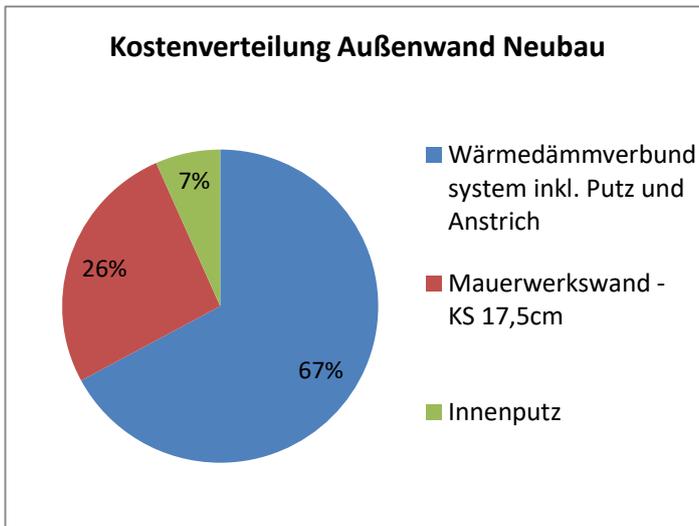
Die Außenwände weisen eine Fläche von 1.147 m<sup>2</sup> auf, und bestehen aus einer 17,5 cm starken Kalksandstein-Wand und einem 30 cm dicken Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit Putz und Anstrich. Die Kosten für die Außenwände sind in Tab. 8 dargestellt und lagen insgesamt bei 235.828,55 €.

**Tab. 8: Absolute und spezifische Kosten für die Außenwände im Neubau (inkl. MwSt.)**

	absolute Kosten [€]	Spezifische Kosten	
		in [€/m <sup>2</sup> Wfl.]	in [€/m <sup>2</sup> Wandfl.]*
Wärmedämmverbundsystem inkl. Putz und Anstrich	158.293,80	98,79	138,01
Mauerwerkswand - KS 17,5cm	61.879,11	38,62	53,95
Innenputz	15.655,64	9,77	18,42
<b>Summe Außenwand brutto</b>	<b>235.828,55</b>	<b>147,18</b>	<b>205,60</b>

\* Die spezifischen Kosten für Dämmung, Mauerwerk und die Gesamtkosten beziehen sich auf der Außenwandfläche von 1147 m<sup>2</sup>, und die spezifischen Kosten für Innenputz beziehen sich auf der Innenwandfläche von 850 m<sup>2</sup>

Mit einem Anteil von 67 % verursachte das WDVS die höchsten Kosten, gefolgt von der Mauerwerkswand (ein Viertel) und von dem Innenputz (7 %) (Bild 37).

**Bild 37: Zusammensetzung der Kosten für die Außenwände im Neubau**

#### 4.1.3 Flachdach

Das Flachdach hat eine Fläche von 550 m<sup>2</sup> und besteht aus einer Stahlbetondachdecke mit Dampfsperre, Dämmung und Abdichtung und ist mit einem Attikakranz aus einer wärmebrückenminierten Holzkonstruktion umgeben. Die extensive Dachbegrünung wurde in der Kostenübersicht mitberücksichtigt. Die Kosten für die PV-Anlage und Aufständering sind hier nicht enthalten und werden in Kapitel 4.2.1 betrachtet. Die Kosten für das Dach sind in Tab. 9 dargestellt und lagen insgesamt bei 152.614,35 €.

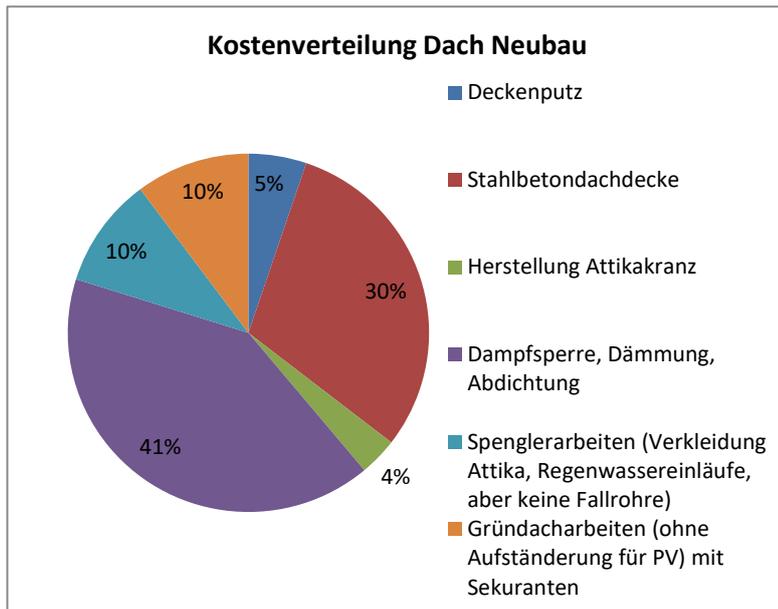
**Tab. 9: Absolute und spezifische Kosten für das Dach im Neubau (inkl. MwSt.)**

	Absolute Kosten [€]	Spezifische Kosten [€/m <sup>2</sup> Dachfl.]*
Deckenputz	7.930,16	16,66
Stahlbetondachdecke	46.211,82	84,02
Herstellung Attikakranz	5.236,00	9,52
Dampfsperre, Dämmung, Abdichtung	62.466,04	113,57
Spenglerarbeiten (Verkleidung Attika, Regenwassereinläufe, aber keine Fallrohre)	15.189,80	27,62
Gründacharbeiten (ohne Aufständering für PV) mit Sekuranten	15.580,53	28,33
<b>Summe Dachfläche brutto</b>	<b>152.614,35</b>	<b>277,48</b>

\* Die spezifischen Kosten für Innenputz beziehen sich auf der inneren Deckenfläche von 476 m<sup>2</sup>, alle andere Kosten und die Gesamtkosten beziehen sich auf der Dachfläche von 550 m<sup>2</sup>

Die höchsten Kosten wurden von der Position Dampfsperre, Dämmung und Abdichtung (41 %) verursacht, gefolgt von der Stahlbetondecke (30 %). Die Spengler- und Gründacharbeiten tragen jeweils mit 10 % zu den Kosten bei. Deckenputz und die Herstellung der Attikakranz verursachen 5 % bzw. 4 % der Kosten (Bild 38).

**Bild 38: Zusammensetzung der Kosten für das Dach im Neubau**



## 4.2 Kosten einzelner technischer Anlagen

In Tab. 10 sind die Kosten für diejenigen Positionen in KG 400 dokumentiert, für die separate Kosten bzw. Positionen in den Abrechnungen für Bestandsgebäude und Neubau vorlagen.

Die Kosten der Heizzentralen liegen mit 13,94 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) beim Bestandsgebäude bzw. 11,74 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) im Neubau in der gleichen Größenordnung, wobei in der Heizzentrale des Bestandsgebäudes der Anschluss an die Fernwärmeübergabestation und die Druckhaltung/Wassernachspeisung für alle Gebäudeteile vorhanden ist. Die Wohnungs- bzw. Frischwasserstationen kosteten (ohne Leitungsnetz) 29,66 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 26,73 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.), das entspricht je Wohneinheit ca. 2.200 €. Die Mehrkosten im Bestandsgebäude liegen an den geringfügig kleineren Wohnungen und einer großen Wohnung im Dachgeschoss, die über zwei Frischwasserstationen verfügt.

Für die Ertüchtigung der vorhandenen Heizungsverteilung und der Heizkörper in den Wohnungen des Bestandsgebäudes sind 18,85 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) angefallen. Darin enthalten ist die neue Anbindung der Steigstränge mit Volumenstromreglern, die horizontale Verteilung im Keller sowie eine Einlagerung und Reinigung der Bestandsheizkörper. In dem zum Vollgeschoss erweiterten Dachgeschoss wurde außerdem eine neue Heizungsverteilung mit Heizkörpern installiert. Im Neubau lagen die Kosten mit 22,78 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) für die Beheizung (Nachheizregister und Badheizkörper) 17 % über denen des Bestandsgebäudes.

Die Lüftungsanlagen in den Wohnungen des Bestandsgebäudes verursachten Kosten von 76,90 €/ (m<sup>2</sup> 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 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 7.168,41 €/WE. Die Lüftungsgeräte besitzen im Neubau eine aufwändigere Regelung und ein Frostschutzregister, um die Beheizung der Wohnungen auch bei Frostgefahr sicherstellen zu können. Aus diesem Grund waren die Lüftungsgeräte mit 3.275 €/WE ca. 500 € teurer als im Bestandsgebäude. Aber auch die Verlegung der Lüftungsleitungen verursachte Mehrkosten von 563 €/WE. Ursache ist hier u. a. die größere Wohnfläche je Wohnung im Neubau. Für die Geräte für Treppenhaus- und Kellerlüftung sowie Gemeinschaftsraum im Bestandsgebäude sind Kosten von 3,14 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) angefallen, anteilig umgelegt auf die Wohnungen lagen diese bei 237,25 €/WE. Im Neubau entstanden Kosten für das Treppenhauslüftungsgerät sowie die Lüftung im Büro von 2,82 €/ (m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 225,89 €/WE.

**Tab. 10: Kosten der technischen Ausstattung (KG 400) getrennt nach Bestandsgebäude und Neubau**

	Bestandsgebäude			Neubau		
	Gesamtkosten [€]	Kosten je m <sup>2</sup> Wfl. [€/m <sup>2</sup> Wfl.]	Kosten je Wohneinheit [€/WE]	Gesamtkosten [€]	Kosten je m <sup>2</sup> Wfl. [€/m <sup>2</sup> 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 PV-Anlagen kosteten 30,41 €/m<sup>2</sup> Wfl.) im Bestandsgebäude und 31,71 €/m<sup>2</sup> Wfl.) im Neubau, wobei die Anlage im Neubau eine um 6 % höhere Peakleistung besitzt. Eine detaillierte Auswertung hierzu findet sich in Kapitel 4.2.1.

Für den Batteriespeicher im Bestandsgebäude ergaben sich Kosten von 13,61 €/m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 1.291,93 €/kWh Nettokapazität. Im Neubau lagen die Kosten mit 1.222,85 €/kWh Nettokapazität leicht darunter, da die installierte Nettokapazität mit 43,8 kWh aufgrund der Anforderungen für das KfW-Effizienzhaus 40 Plus deutlich höher war. Die flächenbezogenen Kosten liegen im Neubau bei 33,43 €/m<sup>2</sup> Wfl.). Bezieht man die Kosten auf die Bruttokapazität – die Nettokapazität ist immer auch von der Betriebsweise des Herstellers abhängig und kann variieren – so ergeben sich Werte von 1.023 €/kWh im Bestandsgebäude und 970 €/kWh im Neubau.

Der Aufzug im Neubau wurde mit 29,54 €/m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 2.366,83 €/WE abgerechnet.

Alle Wohnungen wurden mit Einbauküchen und sehr energieeffizienten Küchengeräten ausgestattet. Im Bestandsgebäude ergaben sich Kosten von 67,59 €/m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 5.102,87 €/WE (hier wurden vorhandene Küchenmöbel aufgearbeitet, die Elektrogeräte wurden alle erneuert). Im Neubau lagen die Kosten mit 63,00 €/m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 5.047 €/WE leicht niedriger, obwohl in den sechs Rollstuhlwohnungen Zusatzkosten für die Anpassung der Küchen von 1.500 bis 2.000 € angefallen sind. Zusätzlich sind in den Rollstuhlwohnungen 2.251,60 €/WE für zusätzliche Objekte und andere Ausstattung in den Bädern angefallen (nicht in Tab. 10 dargestellt).

Die flächendeckende Installation von LED-Beleuchtung in allen Räumen der Wohnungen verursachte im Bestandsgebäude Kosten von 6,72 €/m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 507,68 €/WE. Im Neubau lagen die Kosten bei 6,06 €/m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 485,20 €/WE.

Die in Tab. 11 dargestellten Techniken 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 €/m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 640,22 €/WE. 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.

Die Installation der WLAN-Versorgung, die für die Displays zur Budget-Visualisierung in den Wohnungen benötigt und außerdem den Mietern in Form einer Internet-Grundversorgung kostenfrei zur Verfügung gestellt wurde, verursachte Kosten von 3,01 €/m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 233,85 €/WE.

Das Budgetabrechnungs- und Visualisierungssystem inklusive Displays in den Wohnungen erzeugte Kosten von 38,02 €/m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 2.954 €/WE. Hier muss berücksichtigt werden, dass es sich teilweise um Technik handelt, die für das Vorhaben speziell (weiter-)entwickelt wurde und somit kein Serienprodukt darstellt.

Schließlich lagen die Kosten für das wissenschaftliche Intensivmonitoring bei 91,12 €/m<sup>2</sup> Wfl.) bzw. 7.080,12 €/WE. Diese Kosten sind aufgrund der umfangreichen der Begleitforschung entstanden, wurden wie die Budgetabrechnung vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert und fallen bei Bauvorhaben ohne wissenschaftliche Begleitung nicht an.

**Tab. 11: Kostenpositionen der technischen Ausstattung (KG 400) für das Gesamtvorhaben**

	Anlagen für das gesamte PassivhausSozialPlus		
	Gesamtkosten [€]	Kosten je m <sup>2</sup> Wfl [€/m <sup>2</sup> 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

#### 4.2.1 PV-Anlagen

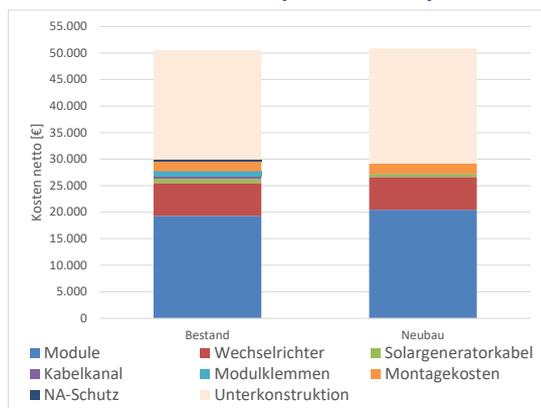
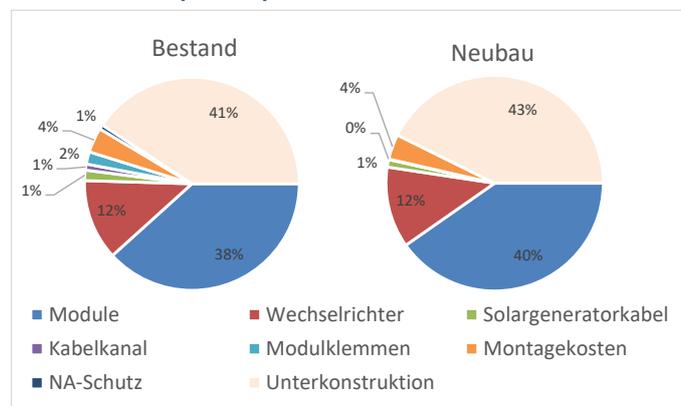
Sowohl das Bestandsgebäude wie auch der Neubau wurden je mit einer PV-Anlagen ausgestattet. Die Anlage auf dem Bestandsgebäude wurde im Frühjahr 2019 installiert. Hier wurden 132 monokristalline Module à 310 W<sub>p</sub> in Ost/West-Ausrichtung verlegt (insgesamt 40,92 kW<sub>p</sub>). Im Sommer 2019 wurde die PV-Anlage auf dem Neubau installiert. Zu diesem Zeitpunkt waren nur noch Module des Herstellers mit 305 W<sub>p</sub> Leistung verfügbar, von denen 142 montiert wurden (insgesamt 43,31 kW<sub>p</sub>). Eine Besonderheit der Anlage stellt die Montage auf einem 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.

Da beide Gebäude einen gemeinsamen Hausanschluss besitzen, erfolgt die elektrische Einbindung im Hausanschlussraum im Keller des Bestandsgebäudes. Dort ist auch der gemeinsame Netz- und Anlagenschutz (NASchutz) für die PV-Anlagen installiert, der aber bei den Kosten des Bestandsgebäudes enthalten ist. Kosten für das Messkonzept und die Zähler sind nicht in der Aufstellung der Kosten der PV-Anlage enthalten.

**Tab. 12: Absolute und spezifische Kosten für das Dach im Neubau (inkl. MwSt.)**

	absolut		Kosten pro kWp	
	Bestand [€]	Neubau [€]	Bestand [€/kW <sub>p</sub> ]	Neubau [€/kW <sub>p</sub> ]
Module	19.317,70	20.446,58	472,08	472,10
Wechselrichter	6.180,76	6.180,76	151,05	142,71
Solargeneratorkabel	797,30	571,20	19,48	13,19
Kabelkanal	464,10	45,70	11,34	1,06
Modulklemmen	944,19	0,00	23,07	0,00
Montagekosten	1.904,00	1.904,00	46,53	43,96
NA-Schutz	352,25	0,00	8,61	0,00
Unterkonstruktion	20.553,20	21.664,19	502,28	500,21
<b>Summe</b>	<b>50.513,51</b>	<b>50.812,43</b>	<b>1.234,45</b>	<b>1.173,23</b>

Tab. 12 und Bild 39 zeigen die einzelnen Positionen der beiden Anlagen. Die Gesamtkosten lagen bei 1.234,45 €/kW<sub>p</sub> beim Bestandsgebäude und 1.173,23 €/kW<sub>p</sub> beim Neubau. Die Kosten der speziellen Unterkonstruktion lagen dabei über denen der PV-Module. Bild 40 zeigt die prozentuale Verteilung der Kosten für beide Gebäude.

**Bild 39: Zusammensetzung der Kosten der PV-Anlagen für Bestandsgebäude und Neubau (inkl. MwSt.)**

**Bild 40: Prozentuale Verteilung der Kosten der PV-Anlagen für Bestandsgebäude (links) und Neubau (rechts)**


Für die PV-Anlage liegt auch ein separates Angebot mit einer Standard-Unterkonstruktion für die Montage der PV-Module auf den Flachdächern vor, so dass die Mehrkosten der Konstruktion für das Gründach ausgewiesen werden können. Mit Standard-Unterkonstruktion hätten die Gesamtkosten für die PV-Anlagen bei 950 €/kW<sub>p</sub> gelegen. Die spezielle Gründachkonstruktion führte somit zu Mehrkosten von 284,42 €/kW<sub>p</sub> (Bestand) bzw. 223,21 €/kW<sub>p</sub> (Neubau) und erhöhen den Anlagenpreis somit um 30 bzw. 23 %.

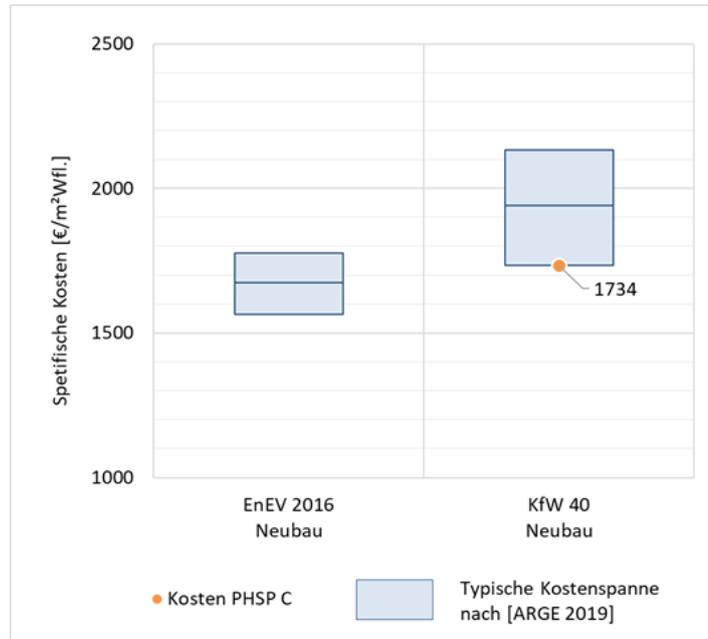
### 4.3 Einordnung der Kosten

In diesem Kapitel werden die abgerechneten Kosten für Neubau und modernisiertes Bestandsgebäude anhand von Vergleichswerten aus der Literatur eingeordnet.

#### 4.3.1 Neubau

Die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (ARGE) untersuchte Beispielgebäude unter anderem im Hinblick auf die Baukosten und liefert eine Datenbasis, um die Bauwerkskosten vom Neubau einzuordnen. In [ARGE 2014] und [ARGE 2019] wurden typische Spannen für die Bauwerkskosten je nach Energieeffizienzstandard auf Basis eines Typengebäudes<sup>10</sup> für Mehrfamilienhäuser im Geschosswohnungsneubau ermittelt. Bild 41 zeigt den Kostenvergleich für die spezifischen Brutto-Bauwerkskosten (Kostengruppen 300 und 400 nach [DIN 276]) bezogen auf die Wohnfläche. Der Stand für die Referenzkosten ist das 2. Quartal 2019, was zum Zeitpunkt des Bauvorhabens PassivhausSozialPlus passt. Typische Baukosten für einen Neubau im EnEV-Standard (ab 2016) liegen laut ARGE zwischen 1.565 und 1.776 €/m<sup>2</sup> Wfl., mit einem Median von 1.666 €/m<sup>2</sup> Wfl. und beim KfW-Effizienzhaus 40-Standard zwischen 1.735 und 2.132 €/m<sup>2</sup> Wfl. mit einem Median von 1.926 €/m<sup>2</sup> Wfl. Mit 1.734 €/m<sup>2</sup> Wfl. liegen die Kosten des PassivhausSozialPlus Neubaus ohne PV-Anlage (Module und Unterkonstruktion) im untersten Kostenbereich der ARGE für den KfW-Effizienzhaus 40-Standard und sogar noch innerhalb der Kostenspanne von EnEV Neubauten, wie auf Bild 41 zu sehen ist.

**Bild 41: Vergleich der spezifische Brutto-Bauwerkskosten des Neubaus des PassivhausSozialPlus mit typische Kostenspannen von [ARGE 2019]**



Im Rahmen des EU-Projekts CoNZEBs wurden die Baukosten von sechs Mehrfamilienhäusern im KfW-Effizienzhaus 40- und KfW-Effizienzhaus 40 Plus-Standard erfasst und verglichen [CoNZEBs 2017]. Die zwischen 2013 und 2016 gebauten Häuser weisen eine breite Bauwerkskostenspanne auf: zwischen 1.854 €/m<sup>2</sup> Wfl. und 4.821 €/m<sup>2</sup> Wfl. für die Kostengruppen 300 und 400. Die entsprechenden Kosten liegen mit 1.734 €/m<sup>2</sup> Wfl. beim Neubau des PassivhausSozialPlus deutlich darunter, auch wenn die Kosten für die PV-Anlagen (Module und Unterkonstruktion) von 31,70 €/m<sup>2</sup> Wfl. noch in den Vergleich mit einbezogen werden müssen.

Was die Kosten für Wärmedämmmaßnahmen betrifft, lag 2016 nach [ARGE 2016] der typische Kostenanteil für das Verlegen eines Wärmedämmverbundsystem (WDVS) bei 5,5 % der Kosten für die KG 300-400 im EnEV-Standard. Im PassivhausSozialPlus Neubau liegt dieser Kostenanteil 2019 mit 5,87 % leicht darüber. Laut [ARGE 2016] lag außerdem 2016 der typische Kostenanteil der gesamten Dämmarbeiten an den Bauwerkskosten (unterer Gebäudeabschluss, Dach und Außenwände) für den KfW-Effizienzhaus 40-Standard bei 8 %. Für das PassivhausSozialPlus liegt der Kostenanteil bei 8,9 % leicht oberhalb des Medianwertes für den Standard KfW-Effizienzhaus 40.

<sup>10</sup> Mehrfamilienhaus mit 5 Geschossen, 12 Wohneinheiten und 880 m<sup>2</sup> Wohnfläche.

### 4.3.2 Modernisiertes Bestandsgebäude

Die im Folgenden genannten Vergleichswerte stammen aus der Auswertung des IWU von Kostenfeststellungen bei Sanierungsprojekten bei Wohngebäuden [Hinz 2015]. Die Werte wurden im Nachhinein über den Baupreisindex aktualisiert, um den Kostenstand des Jahres 2019 abzubilden [Koch et al. 2021].

Zur Bildung der Kostenkennzahlen wurden die absoluten Kostenangaben auf eine jeweils gleiche Fläche bezogen. Für die anlagentechnischen Komponenten (Heizungsperipherie, Fernwärme) ist dies die beheizte Wohnfläche. Für die Lüftungsanlage ist die Bezugsfläche die durchschnittliche beheizte Wohnfläche je Wohneinheit. Für die Bauteile der thermischen Hülle (Wärmedämmverbundsystem, Kellerdeckendämmung, Dach, Fenster) ist dies die jeweilige tatsächlich gedämmte Bauteilfläche.

Die nach [Hinz 2015] ermittelten Kostenfunktionen verfügen jeweils über einen Gültigkeitsbereich (i. d. R. ein Intervall von Dämmdicken), in dem die Ergebnisse statistisch abgesichert sind. Beim PassivhausSozialPlus wurden im Vergleich zu herkömmlichen energetischen Sanierungen überdurchschnittliche Dämmdicken verwendet, was dazu führt, dass einige Sanierungsmaßnahmen leicht außerhalb des statistisch abgesicherten Bereichs liegen, dies betrifft die Außenwanddämmung sowie die Dach- und Kellerdeckendämmung.

**Tab. 13: Vergleich der spezifischen Kosten von Sanierungsmaßnahmen mit typischen Kostenspannen nach [Hinz 2015] für das modernisierte Bestandsgebäude**

	Kosten Passivhaus- SozialPlus-Bestand [€/m <sup>2</sup> ] bzw. [€/WE]*	Typische Kostenspanne nach [Hinz 2015], ak- tualisiert für 2019 [Koch et al. 2021], [€/m <sup>2</sup> ] bzw. [€/WE]*	
		Niedrige Kosten	Hohe Kosten
<b>Lüftungsanlage</b>	80,04	71,28	114,02
<b>Heizungsperipherie</b>	49,07	10,22	21,87
<b>WDVS</b>	183,52	191,18	221,30
<b>Fenster und Fenstertüren</b>	384,60	419,40	643,71
<b>Kellerdecken- dämmung</b>	mit Bekleidung	117,16	100,50
	ohne Bekleidung	68,64	76,34
<b>Fernwärme</b>	13,94	18,02	23,47
<b>Dach</b>	287,29	251,73	318,91
<b>Außentüren</b>	1.380,51	1.365,95 (durchschnittliche Kosten für MFH)	

\* Spezifische Kosten bezogen auf Nettogrundfläche, Wohneinheit oder Bauteilfläche

**Lüftungsanlage:** Die spezifischen Kosten liegen bei 80,04 € pro m<sup>2</sup> Wohnfläche in einer Wohneinheit mit durchschnittlich 75,5 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Nach [Hinz 2015] sind diese Kosten in den unteren Kostenbereich für dezentrale Lüftungsanlagen einzuordnen. Dabei muss aber beachtet werden, dass im Gegensatz zu der Systematik von [Hinz 2015] beim PassivhausSozialPlus die Kosten für eine Verkleidung der Lüftungsleitungen nicht enthalten sind.

**Heizungsperipherie:** Die spezifischen Kosten liegen bei 49,07 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche, was oberhalb des Maximums der Kostenspanne nach [Hinz 2015] liegt. Enthalten sind die Kosten für die Ertüchtigung bestehender Heizwärmeverteilung, für die Erneuerung von Kaltwasserleitungen mit Aufschlag für Formteile, Brandschutzrohrschale sowie die Kosten für die Erneuerung von Abwasserleitungen mit Rohrschott und Rohrbelüfter.

**Wärmedämmverbundsystem (WDVS):** Die spezifischen Kosten betragen 183,52 €/m<sup>2</sup> Bauteil. Diese Kosten sind niedriger als das Minimum der Kostenspanne nach [Hinz 2015], obwohl im PassivhausSozialPlus die

Dämmstärke von 30 cm im Vergleich zur typischen Dämmstärke von 8 bis 25 cm, die die Berechnungsgrundlage von [Hinz 2015] bildet, stärker ausgeführt wurde.

**Fenster und Fenstertüren:** Die spezifischen Kosten betragen 384,60 €/m<sup>2</sup> Bauteil. Diese Kosten liegen niedriger als das Minimum der Kostenspanne nach [Hinz 2015]. Grund für die weite Kostenspanne ist, dass die Kosten von zwei verschiedene Fenstertypen berücksichtigt wurden: passivhaustaugliche Fenster, und Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, wobei die zweiten deutlich preiswerter als die erste sind. Mit  $U_f$ -Werten zwischen 0,94 und 1 W/(m<sup>2</sup>K) sind die im PassivhausSozialPlus eingesetzte Fenster hocheffiziente 3-fach verglaste Fenster, aber keine zertifizierten Passivhausfenster ( $U_f \leq 0,92$  W/(m<sup>2</sup>K)).

Die von [Hinz 2015] berücksichtigten Kosten enthalten die Demontage und Entsorgung der alten Fenster, die Kosten der neuen Fenster und deren Montage. Dabei muss aber beachtet werden, dass im Gegensatz zu der Systematik von [Hinz 2015] beim PassivhausSozialPlus die Kosten für zusätzliche Bearbeiten (Rahmenverbreiterungen, Stulpe und Kämpfer, Anschlussprofile, Rolloschienen, ...) nicht enthalten sind. Die Kosten scheinen aber im Hinblick auf die von [Hinz 2015] erhobene Fensterkosten für Mehrfamilienhäuser in Passivhausstandard nicht unplausibel, da in der Studie vier Gebäude mit spezifischen Kosten zwischen 375 und 400 €/m<sup>2</sup> ausgewiesen wurden. Außerdem betont Hinz, dass „die Entwicklung hin zu qualitativ hochwertigen und gleichzeitig auch kostengünstigen Passivhausfenstern zu deutlich geringeren Kosten als nach [seiner] Studie ermittelt, führen kann.“

**Kellerdeckendämmung:** Die spezifischen Kosten für die Kellerdeckendämmung ohne Bekleidung liegen bei 68,64 €/m<sup>2</sup> Bauteil, was im unteren Kostenbereich nach [Hinz 2015] liegt. Wenn die Bekleidung dabei berücksichtigt wird, liegen die Kosten bei 117,16 €/m<sup>2</sup> Bauteil, was das Maximum der Kostenspanne nach [Hinz 2015] überschreitet. Im PassivhausSozialPlus liegt die Dämmstärke bei 25 cm, was die typischen Dämmstärken von 5 bis 18 cm, die die Berechnungsgrundlage von [Hinz 2015] bilden, überschreitet.

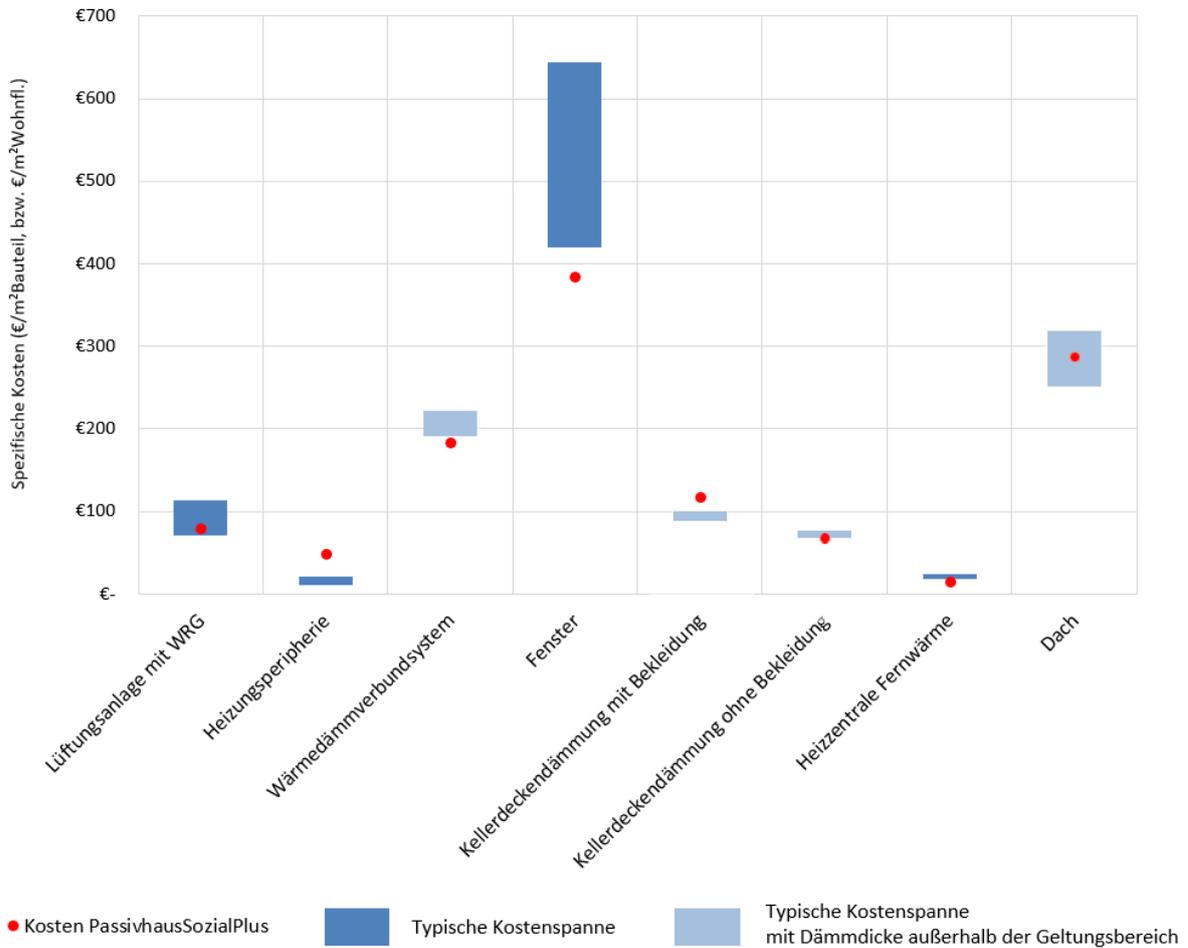
**Fernwärme (Heizzentrale):** Die spezifischen Kosten liegen bei 13,94 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche, was unterhalb des Minimums der Kostenspanne nach [Hinz 2015] liegt.

**Außentüren:** Nach [Hinz 2015] liegen typische Kosten für Außentüren in Mehrfamilienhäusern bei 1365,95 €/m<sup>2</sup> Bauteil. Beim PassivhausSozialPlus liegen die Kosten mit 1.380,51 €/m<sup>2</sup> leicht darüber. Dabei ist auch zu beachten, dass die Kosten für Demontage und Entsorgung der alten Türen nicht enthalten sind.

**Flachdach:** Die spezifischen Kosten liegen bei 287,29 € pro m<sup>2</sup> Bauteil. Nach [Hinz 2015] sind diese Kosten in den mittleren Kostenbereich für Flachdächer einzuordnen. Dabei ist auch zu beachten, dass die Kosten wegen der Insolvenz von einem der verantwortlichen Unternehmen höher ausfielen als geplant. Außerdem ist die Dämmstärke im PassivhausSozialPlus von 36 cm etwas größer als die typischen Dämmstärken von 6 bis 34 cm, die die Berechnungsgrundlage von [Hinz 2015] bilden.

Das folgende Bild 42 zeigt die Einordnung der Kosten des PassivhausSozialPlus noch einmal grafisch.

**Bild 42: Grafischer Vergleich der spezifischen Kosten von Sanierungsmaßnahmen mit typischen Kostenspannen nach [Hinz 2015] für das modernisierte Bestandsgebäude**



### 4.3.3 Fazit

Die Bauwerkskosten des Neubaus (KG 300 und KG 400) sind mit 1.734 €/m<sup>2</sup> Wfl.) im Vergleich zu dem typischen Kostenbereich für Mehrfamilienhäuser im KfW-Effizienzhaus 40-Standard besonders niedrig und liegen sogar noch innerhalb der Kostenspanne von EnEV Neubauten, auch wenn die Kosten für die PV-Anlagen von ca. 31 €/m<sup>2</sup> Wfl.) noch mitberücksichtigt werden müssen.

Beim modernisierten Bestandsgebäude liegen die Kosten für Lüftungsanlage mit WRG und Dachsanierung innerhalb der zu erwartende Kostenspanne. Die Kosten für WDVS, Fenster, Heizzentrale und Kellerdeckendämmung ohne Bekleidung, liegen leicht darunter, und die Kosten für die Ertüchtigung der bestehenden Heizungsperipherie sowie für die Kellerdeckendämmung mit Bekleidung liegen leicht darüber.

## 5 Erfahrungen bei der Umsetzung des Vorhabens

Nach Abschluss des Bauvorhabens fand am 08.10.2020 eine Besprechung mit Bauherrenvertretern, Projektsteuerung, Fachplanern und einigen Herstellern von innovativen Komponenten im Projekt statt, um die Erfahrungen aus dem Bauvorhaben für weitere Projekte zusammenzutragen. Von weiteren Beteiligten wurden im Vorfeld zusätzlich Statements zu folgenden Fragen eingereicht, die bei dem Termin diskutiert wurden:

- Welche Erfahrungen wurden in den verschiedenen Gewerken bei Technik, Planung, Ausführung und Inbetriebnahme gesammelt?
- Welche Verbesserungsmöglichkeiten werden von den Beteiligten gesehen?
- Wo traten an Schnittstellen zwischen Gewerken und Firmen Reibungsverluste auf?
- Welche Erfahrungen hat der Bauherr als Vermieter gesammelt?
- Welche Schlüsse lassen sich daraus für zukünftige Projekte ziehen?

Die wichtigsten Erkenntnisse sollen im Folgenden gewerkebezogen kurz dargestellt werden.

### 5.1 Elektrotechnik

Die Elektroinstallation besitzt aufgrund der steigenden Technisierung der (Wohn-)Gebäude eine zunehmende Bedeutung im Bauwesen und es bestehen wichtige Verknüpfungen und Schnittstellen zu weiteren Gewerken. Neben der klassischen Elektroinstallation sind auch spezielle Aufgaben wie Regelungstechnik, PV- und Batterietechnik, Aufzugstechnik oder Daten- und IT-Technik in den Bauablauf zu integrieren. Diese speziellen Komponenten werden teilweise von den Fachfirmen direkt geplant. Die Anforderungen sind dann an die Elektroplanung und -installation zurück zu koppeln und mit dieser abzustimmen. Hier hilft ein Schnittstellenkoordinator, der die Anforderungen der unterschiedlichen Parteien zusammenträgt, in der Planungsrunde kommuniziert und nachvollziehbar dokumentiert. Ist eine solche Institution nicht im Planungs- und Bauprozess vorhanden, muss in der Planungs- und Bauphase der direkte Kontakt zwischen den ausführenden Firmen sichergestellt werden. Bei Schwierigkeiten müssen die (Fach-)Planer den Kontakt koordinieren.

Hinzu kommen kleinere Aufgaben des Gewerks Elektrotechnik, die als Dienstleistung für andere Gewerke übernommen werden, besonders im Bereich Heizung, Lüftung, Sanitär. Hier sind frühzeitig Kabelzuglisten zu erstellen und Routinen aufzubauen, um diese auf Vollständigkeit zu prüfen. Das Eintakten von zusätzlichen Verkabelungen für andere Gewerke in den Bauablauf stellt teilweise eine Herausforderung dar, da je nach Art des Bauvorhabens die Elektrofirma zu Beginn des Ausbaus mit der Rohinstallation vor Ort ist und dann erst gegen Ende des Vorhabens die Fertiginstallation vornimmt. Dazwischen sind u. U. keine oder nicht ausreichend personelle Kapazitäten auf der Baustelle vorhanden. Aus Gewährleistungsgründen wäre eine Ausführung durch eine einzige Firma vorteilhaft.

Die Anforderungen im Bauvorhaben müssen auch mit den ausführenden Handwerkern vor Ort durchgesprochen werden, besonders im Bereich IT- und Datenverkabelung, z. B. Kabeltypen, Verlauf der Kabel und Verkabelungstopologie. Kabelfarben und Klemmsystematik sollten klar festgelegt und bei der Abnahme überprüft werden. Hier kommt der Bauleitung auch bei Zeitdruck auf der Baustelle oder fehlendem Material vor Ort eine entscheidende Rolle zu. Dabei ist bei Auswahl der ausführenden Firmen darauf zu achten, dass besonders im Bereich Niederspannungs- und Datentechnik qualifiziertes Personal vorhanden ist und auch eingesetzt werden kann.

Beim Einsatz von Komponenten, die (noch) nicht zum üblichen Umfang von Wohngebäuden gehören (PV-Anlagen, Batteriespeicher, ...) ist eine sehr frühzeitige Absprache mit dem Netzbetreiber erforderlich, um Hausanschluss- und Messkonzept rechtzeitig klären und planen zu können.

Wenn für stromerzeugende Anlagen wie Photovoltaik oder Batteriespeicher kein separater Fachplaner beauftragt werden soll, müssen die Schnittstellen zwischen „Standardinstallation“, Solarfirma und Netzbe-

treiber rechtzeitig und detailliert besprochen werden, um Reibungsverluste, Kostensteigerungen und Verzögerungen bei der Inbetriebnahme zu vermeiden.

Die im Bauvorhaben eingesetzte Verkabelung der Wohnungen in Sockelleisten hat sich bewährt, allerdings sollten senkrechte Einführungen in den Kanal vermieden werden. Werden Küchen durch den Bauherren eingebaut, so sollte auch die Küchenplanung rechtzeitig beim Elektroplaner vorliegen, damit ein reibungsloser Ablauf möglich ist.

Bei PV- und Batteriespeicher-Anlagen kommt der Installation der Messtechnik eine große Bedeutung zu, weswegen diese ebenfalls im Vorfeld mit allen Beteiligten abzustimmen ist. Werden PV-Wechselrichter innerhalb der thermischen Hülle installiert, so ist auf die maximalen Betriebstemperaturen der Elektronik zu achten und für den Sommer ggf. eine entsprechende Lüftung vorzusehen.

## 5.2 Heizung, Lüftung, Sanitär

In diesem Gewerk gelten ähnliche Randbedingungen wie im Gewerk Elektro. Wird die Regelung im Gebäude von einer spezialisierten Firma geplant, installiert und in Betrieb genommen, so kommt in der Planungsphase der Kommunikation der Ziele und Anforderungen im Gebäude mit klaren Regelschemata und Vorgaben für die Parametrierung eine hohe Bedeutung zu. Sonst besteht die Gefahr, dass die installierte Regelungstechnik nicht die gewünschte Funktionalität besitzt oder die Regelung aufgrund fehlender Informationen mit Standardeinstellungen übergeben wird.

Umplanungen im Bauablauf führen bei allen Beteiligten zu erhöhtem Aufwand und somit zu höheren Kosten, so dass einer gründlichen Planung eine große Bedeutung zukommt, dazu gehört u. a. auch die Durchbruchplanung. Auch sollten bei Änderung geplanter Standards die Auswirkungen auf andere Komponenten berücksichtigt werden, z. B. wenn sich Dämmstärken ändern, damit die Zugänglichkeit gewahrt bleibt oder keine Wärmebrücken durch nicht oder schlecht isolierte Bauteile entstehen. Beim Installationsraum für die Leitungsnetze sollte nicht zu sehr gespart werden, da sonst der Verlegeaufwand steigt und die Qualität abnehmen kann. Dabei zahlt sich eine Standardisierung der Bäder sowohl bei der Installationszeit als auch bei den Kosten aus. Auch hier kommen der Inbetriebnahme und Dokumentation eine hohe Bedeutung zu, da nicht alle Geräte (z. B. Wohnungsstationen) und Regelungen ab Werk gleich parametrierbar sein müssen.

## 5.3 Daten- und IT-Netze

Im vorliegenden Bauvorhaben der Neuen Wohnraumhilfe bestanden besondere Herausforderungen an die Datennetze. Es wurden Datennetze für die Budgeterfassung und -visualisierung, das W-LAN für die Displays in den Wohnungen und außerdem für das Intensivmonitoring installiert.

Bei der Budgetüberwachung handelt es sich um Komponenten, die so bisher noch nicht im Wohnungsbau eingesetzt wurden. Bei der Fachfirma musste das Know-how für die Vergabe der Installation an eine Elektrofirma erst noch aufgebaut werden, z. B. über klare Vorgaben für die Verdrahtung, den Anschluss von Steckern und die Inbetriebnahme. Letztere war aufgrund von unklaren Verlegungstopologien äußerst aufwändig. Bei der Inbetriebnahme ist es außerdem sinnvoll, dass die ausführende Elektrofirma vor Ort ansprechbar ist, um Probleme kurzfristig lösen zu können. Im Projektverlauf wurden auch Ansätze zur Vereinfachung der Installationen und zur Reduktion der Schnittstellen identifiziert.

Bei der Verkabelung hat sich der Einsatz von Doppelkabeln bewährt, um bei dem innovativen Vorhaben mit vielfältigen Anforderungen, die in der Planungsphase noch nicht abschließend geklärt werden konnten, ausreichend Flexibilität bei der Umsetzung oder bei Problemen zu gewährleisten, z. B. für nachträgliche Änderungen von Bus-Topologien oder die zusätzliche Spannungsversorgung von Komponenten. Strangübergreifende Bus-Systeme sind schwer zu verlegen und bergen deswegen die Gefahr von Verkabelungsfehlern, so dass sie, wenn möglich, vermieden werden sollten. Da heutzutage viele Komponenten der Anlagentechnik

einen Netzwerkanschluss benötigen, ist es hilfreich, wenn die entsprechende Fachfirma auch bei der Inbetriebnahme z. B. von PV-Anlage oder Batteriespeicher vor Ort anwesend ist. Für die Installation und Inbetriebnahme von Sensoren, die nicht im üblichen Installationsumfang enthalten sind oder von anderen Firmen montiert werden, ist im Bauablauf entsprechend Zeit für die Installation und Inbetriebnahme vorzusehen.

## 5.4 Innovative Techniken

Neue Techniken sichern die Innovation im Bauwesen, bergen im Planungsprozess, bei der Umsetzung und im Betrieb aber auch Risiken. Werden neue, bisher bei den Beteiligten wenig erprobte Techniken eingesetzt, so sind diese im Planungsprozess besonders zu berücksichtigen. Dies galt im Rahmen dieses Projekts besonders für den Batteriespeicher, die Photovoltaik-Anlage, die Grauwasseranlage und die Budgetierung sowie die Displays in den Wohnungen. Auch hier müssen die Planungsziele und Randbedingungen im Bauvorhaben klar kommuniziert werden. Wenn noch keine Erfahrung bei der Dimensionierung oder beim Einsatz vorliegen, sind die Unsicherheiten und Unwägbarkeiten abzufragen und zu dokumentieren.

Liefernde und ausführende Firmen sind einerseits in der Zeitplanung einzubinden, andererseits sind Überprüfungs- und Abnahmemöglichkeiten zu besprechen und vorzusehen. Auch nach der Inbetriebnahme ist die korrekte Funktion der innovativen Komponenten nachzuweisen und bei Fehlfunktionen, die nie auszuschließen sind, kurzfristig nachzubessern. Dies muss schon bei der Ausschreibung kommuniziert und vertraglich vereinbart werden.

Weiterhin ist bei der Planung zu prüfen, wie ein Betrieb der Technik dauerhaft sicherzustellen ist. Dies betrifft Fragen der Ersatzteilversorgung über 10 bis 20 Jahre, der Wartung (besonders im IT-Bereich) oder wie bei einer Insolvenz des Anbieters der Weiterbetrieb sichergestellt werden kann, wenn dieser z. B. Cloud-Dienste anbietet oder Dienstleistungen über ein Portal des Anbieters bereitgestellt werden.

Können Teile der Technik bis zum Bezug der Wohnungen nicht fertig gestellt werden, so steigt der Aufwand für den Zugang zu den Wohnungen deutlich an. Handelt es sich um Komponenten, die die Bewohner sehen oder nutzen sollen, so ist auch der aktuelle Entwicklungsstand bzw. Status (noch nicht in Betrieb, Probebetrieb, regulärer Betrieb) klar zu kommunizieren.

Bei der Budgeterfassung und -abrechnung entstanden Probleme aufgrund einer fehlenden galvanischen Trennung bei Zählern, die gleichzeitig für Budgeterfassung und Monitoring genutzt wurden. Hier wurden zwar Lösungen nachgerüstet, es sollte mit den Anbietern der Sensorik frühzeitig auch die möglichen Wechselwirkungen besprochen werden.

## 5.5 Planung aus Sicht des Bauherrn / Vermieters

Wenn die Randbedingungen des Bauherrn es erlauben, empfiehlt es sich die Abteilung, durch die die Anlagen später betrieben werden, in der Planungsphase mit zu beteiligen. Dadurch können die Planungsziele für den späteren Betrieb besser kommuniziert werden und Ansprechpartner sind bei Planern und ausführenden Firmen frühzeitig bekannt.

Wenn nach Bezug des Objekts noch Probleme auftreten, ist es wichtig, dass die Ansprechpartner in der Vermietungsabteilung bzw. technischen Abteilung Kenntnisse über den Stand der Fehlerbehebung bekommen. Auch die Frage, wie Gewährleistungen und Wartungsverträge zu handhaben sind, muss rechtzeitig im Planungsprozess geklärt werden.

Werden Küchen vom Vermieter gestellt, so hat sich ein Küchenhandbuch mit den Bedienungsanleitungen der Geräte bewährt. Der Vermieter benötigt dazu auch eine Verwaltung der Elektrogeräte, um den Austausch defekter Geräte nachverfolgen zu können.

## 5.6 Zusammenfassung

Zu Beginn der Planungen sollte festgehalten werden, welcher Planer und welche Firma welche Teilaufgaben plant und ausführt, welche Informationen über das Gesamtprojekt dafür erforderlich sind und wo bzw. welche Schnittstellen abzustimmen sind. Werden Vergaben oder Abläufe geändert, so muss das auch in dieser Schnittstellendokumentation angepasst und kommuniziert werden. Analog gilt dies für die Bauausführung und -überwachung. Da das Brandschutzkonzept eine Reihe von Gewerken betrifft, sollte dies neben der ausführlichen Fassung auch zusammengefasst an alle Beteiligte verteilt werden. Die Häufigkeit der Bauteamsitzungen ist der Arbeitsphase auf der Baustelle anzupassen, darüber hinaus ist ein enger Kontakt zwischen Planer und ausführenden Firmen erforderlich, an die die Planungsvorgaben kommuniziert werden müssen. Schließlich muss bei der Inbetriebnahme die Zusammenführung der unterschiedlichen Teilaufgaben sichergestellt werden. Hierfür sind Checklisten erforderlich, die auch die gewerke- und firmenübergreifenden Anforderungen berücksichtigen. Die einzustellenden Parameter bzw. die Soll-Funktionsweise technischer Anlagen müssen vorab festgehalten werden.

Vor Fertigstellung der Wohnungen, wenn diese bereits verschlossen sind und einzelne Firmen noch Restarbeiten ausführen, reicht ein Schlüsselsatz u. U. nicht aus. Ggf. kann in dieser Phase eine elektronische Schließung, die auch den Zutritt protokolliert, hilfreich sein. Generell ist eine personell gut besetzte und engagierte Bauleitung für das Gelingen des Vorhabens von großer Bedeutung.

In der Übergabephase muss ausreichend Zeit für die Inbetriebnahme und Einregulierung eingeplant werden, die Einregulierung darf nicht in die Betriebsphase verlegt werden. Für die Zeit direkt nach Übergabe der Anlagen ist festzuhalten, wer diese betreibt und optimiert. Dies kann durch die ausführende Firma, den Fachplaner oder ggf. den Bauherrn/Vermieter erfolgen. Eine Betriebsoptimierung ist für den wirtschaftlichen Betrieb in der Regel immer sinnvoll. Für den kontinuierlichen Dauerbetrieb sind die Planungsziele und -werte, aber auch die Veränderungen während der Betriebsoptimierungsphase zu dokumentieren.

## 6 Erfahrungen im Betrieb

Mit der Fertigstellung des Gebäudes begann auch die Optimierung der Anlagentechnik. War in den ersten Wochen die Regelung für die Wärmeversorgung noch im Handbetrieb, so zeigte sich beim Übergang zum automatischen Betrieb folgende Punkte:

Die Sommerabschaltung der Heizkreise wird über die Heizgrenztemperatur gewährleistet, wobei die Außentemperatur im gleitenden Durchschnitt 48 Stunden über der eingestellten Heizgrenztemperatur liegen muss. Um die Anlage zu optimieren sind abhängig von der solaren Einstrahlung im Frühjahr und Herbst unterschiedliche Schwellen erforderlich. Im April kann die Tagesmitteltemperatur noch unter 10 °C liegen, aufgrund der reichlich vorhandenen Solarstrahlung können die Heizkreise aber schon abgeschaltet werden. Wird zur zuverlässigen Abschaltung der Heizkreise die Heizgrenztemperatur sehr niedrig eingestellt, so kann es im Herbst zu Beschwerden der Mieter aufgrund zu geringer Temperaturen kommen. Hier wäre ein zusätzliches Zeitprogramm hilfreich.

Bei der Be- und Entladung der Pufferspeicher musste ein Kompromiss gefunden werden zwischen Ausgleich der Lastspitzen für die Warmwasserbereitung, niedrigem Pumpenstromverbrauch und einer Begrenzung der Rücklauftemperatur auf 50 °C, die vom Fernwärmeversorger gefordert wird. Im Sommer lag die Temperaturspreizung im Warmwasserkreis nur bei 3 bis 4 K, was mit sehr hohen Pumpenvolumenströmen und damit erhöhtem Stromverbrauch sowie hohen Rücklauftemperaturen in der Fernwärme verbunden war. Aus den Wärmezählern in den Wohnungen konnte ermittelt werden, dass das Überströmventil in einer Frischwasserstation auf eine zu hohe Grenztemperatur eingestellt war und dadurch kontinuierlich Wasser aus dem Vorlauf in den Rücklauf geleitet wurde. Durch eine korrekte Einstellung in Verbindung mit einer angepassten Nachladehysterese der Pufferspeicher konnte auch die Rücklauftemperatur der Fernwärme deutlich abgesenkt werden. Eine solche Fehleinstellung konnte nur durch das Intensivmonitoring aufgedeckt und zielgerichtet behoben werden.

Nach dem Defekt eines Mischers bzw. einer Umwälzpumpe wurden durch einen Servicetechniker, der die Anlage nicht kannte, sowohl die Regelung als auch die Einstellungen der Pumpen gänzlich umparametriert, so dass die Anlage danach im Sommer auf maximaler Leistung betrieben wurde. Erst nach einer Kontrolle und Korrektur der Einstellwerte funktionierte sie wieder korrekt.

Bei der Stromerzeugung verzögerte sich die Inbetriebnahme der PV-Anlage durch Liefer- und Abstimmungsschwierigkeiten zwischen Netzbetreiber und Messstellenbetreiber, wodurch sich auch die Einspeisevergütung verringert hat. Bei den Batteriespeichern traten sowohl ein Defekt an einem Wechselrichter als auch ungleiche Ladezustände der Batteriezellen auf, die durch ein Softwareupdate sowie einen Zelltausch behoben werden mussten.

Die Inbetriebnahme der Budgeterfassung und -visualisierung verzögerte sich insbesondere durch Probleme bei der Verkabelung der Wohnungen und eine fehlende galvanische Trennung zwischen den Bus-Systemen für Budgeterfassung und Monitoring. Dadurch, dass sowohl die Hardware (Displays, galvanische Trennung) als auch die Software (Visualisierung der Werte auf dem Display) neu entwickelt bzw. weiterentwickelt werden mussten, haben sich auch die Kosten erhöht. Dies muss bei der Interpretation der Kosten des Budgeterfassungssystems berücksichtigt werden.

Bei den pauschalen Nebenkosten zeigt sich nach einem Jahr, dass insbesondere der Wärmeverbrauch in der Pauschale nicht ausreichend berücksichtigt worden ist. Die Budgets für Haushaltsstrom und Trinkwasser sind im Mittel ausreichend, ggf. sollen hier aber die individuellen Bedürfnisse einiger Haushalte besser berücksichtigt werden. Da keine vollständige Deckung des Toilettenspülwassers durch aufbereitetes Grauwasser erreicht wird, muss der damit verbundene Trinkwasserverbrauch auch bei den Nebenkosten entsprechend berücksichtigt werden. Außerdem sind die Müllmengen an der oberen Grenze der bestellten Müllbehälter und konnten durch Nachsortierung nicht so weit reduziert werden, wie geplant. Die Nebenkostenpauschalen sollen aus diesem Grund für das Jahr 2021 angepasst werden. Im weiteren Verlauf des Projekts wird untersucht, welche Pauschale für Mieter und Vermieter auskömmlich ist.

## 7 Literaturverzeichnis

- [ARGE 2014] ARGE Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.: Untersuchung und Umsetzungsbetrachtung zum bautechnisch und kostenoptimierten Mietwohnungsbau in Deutschland. Bauforschungsbericht Nr. 66. Kiel, 2014.
- [ARGE 2016] ARGE Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.: Anteil der Kosten für die Dämmarbeiten bei unterschiedlichen energetischen Standards. Bauforschungsbericht Nr. 72. Kiel, 2016.
- [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.  
[www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/trinkwasserverwendung-im-haushalt/](http://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/trinkwasserverwendung-im-haushalt/)
- [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>
- [CoNZEBS 2017] CoNZEBS Solution sets for the Cost reduction of new Nearly Zero-Energy Buildings: Overview of Cost Baselines for three Building Levels. European Union's Horizon 2020 research and innovation programme, 2017.
- [DIN 276] DIN 276:2018-12: Kosten im Bauwesen. Beuth Verlag, Berlin, 2018.
- [DMB 2018] Deutscher Mieterbund: Betriebskostenspiegel für Hessen 2018.  
[www.dmb-hessen.de/info/betriebskostenspiegel-hessen.html](http://www.dmb-hessen.de/info/betriebskostenspiegel-hessen.html)
- [EH+ 28 2016] Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus Licht + Luft in Tübingen. Modellhäuser im „Plus-Energie-Standard“. BMI, 2016.
- [EH+ 33 2017] Effizienzhaus Plus „LaVidaVerde“. Modellhäuser im „Plus-Energie-Standard“. BMI, 2017.
- [EH+ 37 2018] Effizienzhaus Plus, FFM Riedberg EnergiePLUS im Geschosswohnungsbau. Modellhäuser im „Plus-Energie-Standard“. BMI, 2018.
- [EH+ 38 2018] Aktiv-Stadthaus Speicherstraße. Endbericht zum energetischen Monitoring. Modellhäuser im „Plus-Energie-Standard“. BMI, 2018.
- [EH+ 41 2018] Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus der Internatsschule Schloss Hansenberg, Geisenheim. Modellhäuser im „Plus-Energie-Standard“. BMI, 2018.
- [EH+ Bestand 2018] Endbericht Modellvorhaben Effizienzhäuser Plus im Altbau Energetisches Monitoring der Effizienzhäuser Plus im Altbau Pfuher Str. 4+6 und 12+14 in Neu-Ulm. Modellhäuser im „Plus-Energie-Standard“. BMI, 2018.
- [Großklos 2013] Großklos, M.: Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung Rotlintstraße 116-128 in Frankfurt a. M. Ergebnisse der messtechnischen Erfolgskontrolle. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2013.
- [Großklos et al. 2016] Großklos, M.; Schaede, M.; Hinz, E.: Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 24. Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus Cordierstr. 4 in Frankfurt, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, 2016.
- [Großklos et al. 2018] Großklos, M.; Krapp, M.-C.; v Malottki, C.; Stein, B.: Ansätze zur Reduktion der Nebenkosten im sozialen Wohnungsbau am Beispiel des Vorhabens „PassivhausSozialPlus“ in Darmstadt, Untersuchung im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2018.  
[www.iwu.de/forschung/handlungslogiken/passivhaussozialplus/](http://www.iwu.de/forschung/handlungslogiken/passivhaussozialplus/)
- [Hinz 2015] Hinz, E.: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2015.
- [ibs energie 2019] Planungsunterlagen Ingenieurbüro Schäfer (Stromberg) auf Basis von Plänen von dörferr grohnmeier architekten (Darmstadt). Stromberg/Darmstadt 2019.

- [Koch et al. 2021] Koch, T.; Achenbach, S.; Müller, A.: Anpassung der Kostenfunktionen energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten auf das Preisniveau 2020. Werkstattpapier. Institut Wohnen und Umwelt, 2021.
- [Lodenareal 2012] Autorenkollektiv: Forschungsprojekt Passivhauswohnanlage Lodenareal - Endbericht. Gleisdorf, 2012.
- [Perspektive D 2021] Perspektive Studio D Dominique Gängler- Architekturfotografie Plus.
- [PHI 2005] Peper, S.; Schnieder, J.; Feist, W.: Mehrgeschoss-Passivhaus Hamburg Pinnaßberg. Passivhaus-Institut, Darmstadt, 2005.
- [PHI 2008] Peper, S.; Feister, W.: Gebäudesanierung "Passivhaus im Bestand" in Ludwigshafen / Mundenheim - Messung und Beurteilung der energetischen Sanierungserfolge. Passivhaus-Institut, Darmstadt, 2008.
- [PHI 2011] Peper, S.; Schnieder, J.; Feist, W.: Monitoring Altbausanierung zum Passivhaus - Verbrauch, Raumluftqualität, Kellerfeuchte. Messtechnische Untersuchungen an den Sanierungsbauten Tevesstraße Frankfurt a. M.. Passivhaus-Institut, Darmstadt, 2011.
- [PHI 2015] Peper, S.; Feist, W.: Die Energieeffizienz des Passivhaus-Standards: Messungen bestätigen die Erwartungen in der Praxis. Passivhaus-Institut, Darmstadt, 2015.
- [Schöberl, Hofer 2012] Schöberl, H.; Hofer, R.: Betriebskosten- und Wartungskostenvergleich zwischen Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 3/2012, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2012.
- [Stat. Bundesamt 2017] Statistisches Bundesamt, Fachserie 15/1 Wirtschaftsrechnung – Einnahmen und Ausgabe privater Haushalte, Ausgaben für die Jahre 2004, 2007, 2017; Wiesbaden.
- [Stromspiegel 2019] co2online [Hrsg.]: Stromspiegel für Deutschland 2019. Berlin, 2019.  
[www.stromspiegel.de/](http://www.stromspiegel.de/)
- [Wißgrill] Gründerzeit mit Zukunft Demonstrationsprojekt Wißgrillgasse, Dokumentation und Monitoring. e7 Energie Markt Analyse GmbH, Wien, ohne Jahr.