

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

Inhalt

Zusammenfassung	1
1 Einleitung.....	4
2 Gebäudekonzept.....	5
2.1 Gebäudehülle und Anlagentechnik	10
2.2 Ausstattung der Wohnungen	13
2.3 Pauschalierung von Betriebs- und Nebenkosten	13
3 Ergebnisse des ersten Messjahres	17
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
4 Baukosten	30
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
5 Erfahrungen bei der Umsetzung des Vorhabens	42
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
6 Erfahrungen im Betrieb	46
7 Literaturverzeichnis.....	47

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.

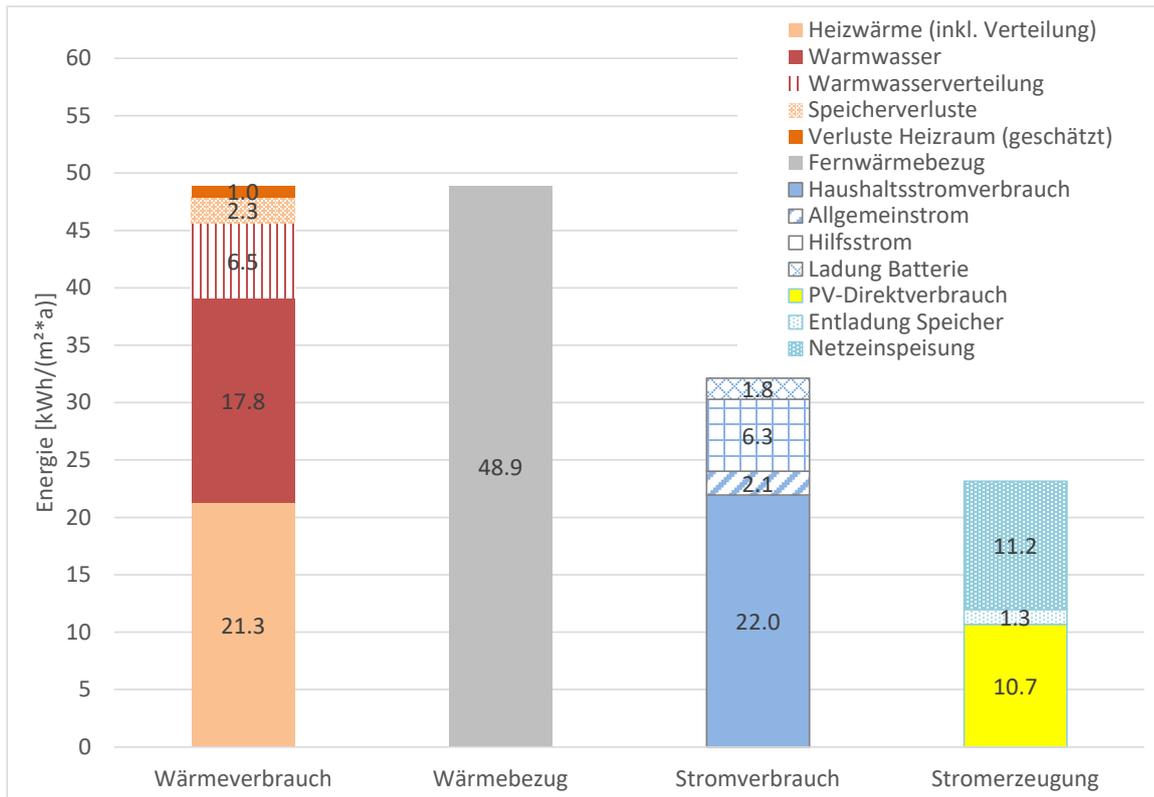
Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung konnte ein umfangreiches Messprogramm für das Modellprojekt umgesetzt werden. Die wichtigsten Ergebnisse des ersten Messjahres für das modernisierte Bestandsgebäude lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

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/(m²*a) – das angestrebte Verbrauchsniveau knapp über dem Passivhaus-Standard (15 kWh/(m²*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/(m²*a) liegt im Bereich üblicher Verbrauchswerte. Hierbei muss aber auch die hohe Personenbelegung in den Wohnungen von 22,5 m²/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/(m²*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 $25 \text{ kWh pro m}^2 \text{ Wohnfläche und Jahr}$ 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/(m²*a) Direktverbrauch und 1,3 kWh/(m²*a) Solarstrom aus dem Speicher.

Der gesamte Trinkwasserverbrauch in den Wohnungen lag 9 % über dem Budget von 21,0 m³/(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 m³/(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 €/ (m² Wfl.) für die Kostengruppe 300 und 378 €/ (m² Wfl.) für die Kostengruppe 400. Die Gesamtkosten von Bestandsmodernisierung und Neubau liegen bei 3.174 €/ (m² 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.

- PassivhausSozialPlus

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

Eine Untersuchung des IWU, Institut Wohnen und Umwelt in Darmstadt

Überblick

Bauherr Neue Wohnraumhilfe gGmbH, Darmstadt, 2018/19 mit insgesamt **42 geförderten Wohnungen** mit Mieten deutlich unterhalb der örtüblichen Vergleichsmiete und niedrigen Nebenkosten:

modernisiertes Bestandsgebäude und ein barrierefreier Ersatzneubau im Passivhaus-Standard

- **Wärmeverluste werden minimiert**
 - **Reduktion der Wärmeverluste des Rohrleitungsnetzes**
 - **Warmwasserbereitung** mit Wohnungsstationen
 - **Grauwasser-Aufbereitung** und für die Toilettenspülung verwendet
 - **Haushaltsstromverbrauch** besonders sparsamen Haushaltsgeräten sowie mit LED-Beleuchtung
 - **Reduktion der Strombezugskosten** durch **PV-Anlagen** auf den Dächern und **Batteriespeicher**
 - **pauschale Abrechnung fast aller Nebenkosten**
 - **Verbrauch an Trinkwasser und Haushaltsstrom sind Budgets** vorgesehen,
 - Visualisierung der Budgets und Verbräuche für die **Mieter auf einem Display**
 - Bezug des Bestandsgebäudes im Spätsommer 2019, der Neubau Anfang 2020

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung durch das Institut Wohnen und Umwelt 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 mit 22,0 °C im Winter
- Mittlere **Raumlufffeuchten** in den Wohnungen im Mittel minimal bei ca. 40 %
- **Wärmeverbrauch** für die Beheizung des modernisierten Bestandsgebäudes (inkl. Verteilverluste) liegt bei 21,3 kWh/(m²*a)
- **Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung** von 17,8 kWh/(m²*a)
- **Gesamtwärmebezug** für Beheizung und Warmwasserbereitung am Fernwärmeanschluss liegt bei 48,9 kWh/(m²*a), etwa ein Viertel davon entfällt auf Verteil- und Speicherwärmeverluste.
- **Haushaltsstromverbrauch** mit 22,0 kWh/(m²*a)
- **Überschreitung des Gesamtbudget um lediglich 2 %**
- **zusätzliches Budget musste von einigen Mietparteien gekauft werden**
- **Allgemeinstromverbrauch** ist mit 2,1 kWh/(m²*a)
- **Gesamtstromverbrauch** des Gebäudes lag bei 32,2 kWh/(m²*a).
- **Solarstromerzeugung** mit 25 kWh pro m² Wohnfläche und Jahr 55 % direkt im Gebäude verbraucht

- **Batteriespeicher** im modernisierten Bestandsgebäude mit 0,43 kWh/kW_P recht klein dimensioniert, im Neubau liegt die Dimensionierung bei 1 kWh/kW_P.
- **Der solare Deckungsgrad** für die Stromversorgung des Bestandsgebäudes lag im Gesamtjahr bei rund 40 %, bestehend aus 10,7 kWh/(m²*a) Direktverbrauch und 1,3 kWh/(m²*a) Solarstrom aus dem Speicher.
- Der gesamte **Trinkwasserverbrauch** in den Wohnungen lag 9 % über dem Budget von 21,0 m³/(Person*a) aber ca. 28 % unter dem statistischen Mittelwert der deutschen Haushalte.
- Der gesamte **Wasserverbrauch für die Toilettenspülung** liegt mit 1,0 bis 1,4 m³/(Person*Monat) im Gesamtprojekt über den Planungsansätzen.
- Die **Grauwasseranlage** in der Anfangszeit nur Deckungsgrade von 20 bis 40 % der gesamten Toilettenspülwassermenge
- Nach einer **Erweiterung der Anlage** wurden Deckungsgrade zwischen 60 und 70 % gemessen.

Abgerechneten Baukosten für das modernisierte Bestandsgebäude Kosten von 1.090 €/ (m² Wfl.) für die Kostengruppe 300 und 378 €/ (m² Wfl.) für die Kostengruppe 400.

Die Gesamtkosten von Bestandsmodernisierung und Neubau liegen bei 3.174 €/ (m² Wfl.) für die Kostengruppen 100 bis 700.

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.

Hinweis auf Dokumentation des IWU

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