

Forschungsprojekt

MOBASY

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

SCHLUSSBERICHT

Förderkennzeichen:	03SBE0004A
Zuwendungsempfänger:	Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt
Vorhabenbezeichnung:	SolaresBauen: MOBASY - Modellierung der Bandbreiten und systematischen Abhängigkeiten des Energieverbrauchs zur Anwendung im Verbrauchscontrolling von Wohngebäudebeständen
Teilvorhaben:	Analyse, Modellbildung und Maßnahmen
Laufzeit des Vorhabens:	01.11.2017 bis 30.04.2022
Datum des Schlussberichts:	25.10.2023
Datum der Veröffentlichung:	28.11.2023
Autoren:	Tobias Loga, Marc Großklos, Ines Weber, Ulrike Hacke, Britta Stein, Guillaume Behem, Stefan Swiderek, André Müller, Jens Calisti
Projekt-Website:	https://www.iwu.de/forschung/energie/mobasy/
Lizenz:	 Lizenziert unter CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Verantwortung für den Inhalt dieser
Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Zitiervorschlag: Loga, Tobias; Großklos, Marc; Weber, Ines; Hacke, Ulrike; Stein, Britta; Behem, Guillaume; Swiderek, Stefan; Müller, André; Calisti, Jens (2023): Modellierung der Bandbreiten und systematischen Abhängigkeiten des Energieverbrauchs zur Anwendung im Verbrauchscontrolling von Wohngebäudebeständen. Schlussbericht des Forschungsprojekts MOBASY; IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2023

ISBN: 978-3-941140-80-6

Kooperation

Verbundpartner: Hochschule Darmstadt h_da
Neue Wohnraumhilfe, Darmstadt

Assoziierte Partner: Nassauische Heimstätte | Wohnstadt, Frankfurt am Main
Wohnbau Gießen GmbH
bauverein AG, Darmstadt

Wir bedanken uns sehr herzlich für die gute Zusammenarbeit!

Inhalt

1 Teil I – Kurzdarstellung	4
1.1 Aufgabenstellung	4
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	6
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand des Wissens	11
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	13
2 Teil II – Eingehende Darstellung	14
2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	14
2.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	25
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	25
2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	30
2.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	36
2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	37
2.6.1 Veröffentlichungen.....	37
2.6.2 Vorträge.....	40
2.6.3 Zeitungsberichte, Führungen und Sonstiges	42
2.7 Literatur.....	43

Teil I – Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Gegenstand des Forschungsprojekts MOBASY ist die Senkung des Energieverbrauchs von Mietwohngebäuden durch Effizienzmaßnahmen. Dabei werden zwei unterschiedliche Maßstabebenen und Handlungsräume betrachtet:

Teilprojekt A: „Entwicklung und Erprobung des Berechnungsmodells zum erwarteten Energieverbrauch“

Kurzbezeichnung: „Realbilanzierung“

Teilprojekt B: „Modellprojekt zum klimaneutralen Bauen und zur Minimierung der Nebenkosten im sozialen Wohnungsbau“

Kurzbezeichnung: „PassivhausSozialPlus“

Das Teilprojekt A "Realbilanzierung" geht der Frage nach, wie der Energieverbrauch und seine Reduktion durch Umsetzung von Maßnahmen im Gesamtbestand eines Wohnungsunternehmens verfolgt werden kann und welche Einsparungen in der Vergangenheit tatsächlich erreicht wurden. Hierfür musste eine auf größere Gebäudebestände anwendbare Methodik für die realistische Modellierung des Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser entwickelt und erprobt werden. Innerhalb der modellhaften Anwendung waren Daten von Gebäuden mit unterschiedlichem energetischem Zustand aus dem Bestand von drei Wohnungsunternehmen zu erfassen und der gemessene Energieverbrauch mit dem aus theoretischer Sicht erwarteten Wert zu vergleichen („Soll/Ist-Vergleich“). Die statistische Auswertung der Stichprobe zielte auf die Bestimmung von mittleren Verbrauchswerten für unterschiedlich gedämmte Häuser ab („Verbrauchsbenchmarks“). Mittelfristig soll das Konzept dazu beitragen, in Wohnungsunternehmen ein Verbrauchscontrolling zu etablieren, das einen wichtigen Beitrag für die zielgerichtete Weiterentwicklung der Modernisierungsstrategien in den Unternehmen leisten kann. Die realistischen Ansätze, die Quantifizierung der verbleibenden Unschärfen und der empirische Abgleich mit Verbrauchsdaten sollen die Prognose-Qualität erhöhen und insgesamt mehr Transparenz und Glaubwürdigkeit schaffen.

Das Teilprojekt B „PassivhausSozialPlus“ zielt darauf ab, die Möglichkeiten zur Reduktion der Nebenkosten im sozialen Wohnungsbau exemplarisch aufzuzeigen. Gegenstand der Untersuchungen sind zwei Mehrfamilienhäuser mit hohem energetischem Standard in Darmstadt, ein modernisiertes Bestandsgebäude und ein Ersatzneubau. Neben der Minimierung der Wärmeverluste durch hochwirksame Wärmedämmung und Lüftungswärmerückgewinnung entsprechend dem Passivhaus-Standard stand ein Fokus der Projektierung auf Verbrauchskosteneinsparungen bei Trinkwasser, Haushaltsstrom und weitere Nebenkostenarten. Besonderheiten sind die pauschale Nebenkostenabrechnung und die Budgets der Mieter für Trinkwasser und Haushaltsstrom. Um die Mieter über die Ausnutzung der Budgets zu informieren, sind Displays zur Verbrauchsrückmeldung in den Wohnungen installiert.

Neben der messtechnischen Untersuchung der Gebäude, der energieeffizienten Anlagentechnik und deren Optimierung sollten die Mieter in einer sozialwissenschaftlichen Untersuchung zu ihren Erfahrungen mit der Pauschalmiete und den Budgets sowie der Zufriedenheit mit dem Wohnen in den Gebäuden befragt werden. Teilprojekt-übergreifend sollte das PassivhausSozialPlus und die erhobenen Messdaten für die Anwendung der im Teilprojekt A entwickelten Realbilanz-Methodik zur Schätzung des Energieverbrauchs bei einem sehr gut dokumentierten Gebäude dienen.

In beiden Teilprojekten wurden zudem Befragungen durchgeführt, um Anhaltspunkte für das Verhalten der Bewohner zu finden.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Ausgangslage Teilprojekt A – „Realbilanzierung“

Die Hälfte der etwa 40 Millionen Wohnungen in Deutschland befindet sich in Mehrfamilienhäusern. Davon ist rund ein Drittel im Besitz von Wohnungsunternehmen. Viele dieser Unternehmen leisten große Anstrengungen bei der energetischen Sanierung, angetrieben durch die Herausforderungen der Klimakrise. Die meisten von ihnen verfolgen jedoch nicht systematisch die realisierten Maßnahmen und die erzielten Energieeinsparungen in ihren Beständen. Obwohl Energieausweise aufgrund gesetzlicher Vorgaben in der Regel verfügbar sind, werden die Eingangsdaten nur zur Erstellung der notwendigen Dokumente verwendet und selten in einer Datenbank gespeichert und gepflegt. Es gibt mehrere Softwarelösungen für Energiebedarfsausweise auf dem Markt – aber keine von ihnen kann Ein- und Ausgabedaten in einer Datenbank speichern. Daher ist eine statistische Auswertung des Dämmzustands, der Fensterarten oder der Heizungstypen für einen Wohnungsbestand nicht einfach. Weiterhin ist die im Energieausweis-Verfahren hinterlegte Methodik (DIN V 4108-6 / 4701-10¹ bzw. DIN V 18599) allein für einen öffentlich-rechtlichen Nachweis konzipiert und nicht für die Abbildung des tatsächlichen Energieverbrauchs. Eine Betrachtung der Unsicherheiten der Eingabedaten und der Berechnung findet nicht statt.

Ein großer Teil der deutschen Mietwohngebäude ist mit Zentralheizungen ausgestattet, die von den Vermietern betrieben werden. Die jährlichen Verbrauchskosten sind in der Regel Teil der Nebenkosten, die auf die Mieter entsprechend ihrem (gemessenen oder geschätzten) Anteil am Gesamtverbrauch des Gebäudes umgelegt werden. Zwar werden Datenbanken für die Wärmeabrechnung durch die Wohnungsunternehmen selbst oder durch beauftragte Messdienste genutzt, eine statistische Auswertung zur Bildung von Vergleichswerten oder ein Controlling zur Überwachung wird jedoch nur selten durchgeführt. Einige große Wärmemessdienstleister veröffentlichen statistische Auswertungen ihrer Datenbanken – aber diese beinhalten keine Mittelwerte für unterschiedliche energetischen Zustände ([Loga et al. 2019], S. 77 ff.). Dies liegt vor allem daran, dass wie oben beschrieben der Modernisierungszustand nicht systematisch erfasst wird und damit auch nicht mit den Abrechnungsdaten zusammengeführt werden kann.

Ausgangslage Teilprojekt B – „PassivhausSozialPlus“

Effizienztechniken für die Minimierung des Energieverbrauchs für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom, aber auch zur Minimierung des Trinkwasserverbrauchs können zur Verringerung der Nebenkosten beitragen. Die Techniken sind grundsätzlich verfügbar und technisch erprobt, allerdings kommen diese – wenn überhaupt – eher im frei finanzierten Wohnungsbau oder bei privaten Eigentümern zum Einsatz. Im sozialen bzw. geförderten Wohnungsbau mit seinen Obergrenzen für die Nettokaltmiete finden sie selten Anwendung. Dabei werden gerade im sozialen Wohnungsbau Lösungen für niedrige Mieten und gleichzeitig niedrige Nebenkosten benötigt, da diese Mieter über ein geringes Einkommen verfügen.

Pauschalen für die meisten Nebenkostenarten (inkl. Heizung und Warmwasser) machen die Wohnkosten für die Mieter planbarer. Zusätzlich bieten Budgets für Nebenkostenarten, die nur schwer in die Pauschale integriert werden können (z. B. Trinkwasser und Haushaltsstrom), das Potenzial die Mieter auch zu sparsamem Verhalten anzuregen. Gleichzeitig wird der Abrechnungsaufwand für die Vermieter reduziert.

Diese unterschiedlichen Konzepte sollten im PassivhausSozialPlus in Darmstadt umgesetzt, erprobt und ausgewertet werden.

¹ bis Ende 2023 als Nachweisverfahren zulässig

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Durchführung Teilprojekt A – „Realbilanzierung“

Methodisch liegt der Fokus im MOBASY-Teilprojekt A „Realbilanzierung“ auf der Entwicklung eines physikalisch-empirischen Modells zur Prognose des Energieverbrauchs von Mehrfamilienhäusern unterschiedlicher Modernisierungsstandards und die praktische Erprobung des Verfahrens für ein abgestuftes Verbrauchscontrolling und für die Bildung von Verbrauchsbenchmarks. Die mit dem Verfahren ermittelten Erwartungswerte des Energiebrauchs und zugehörigen Bandbreiten sowie die statistische Auswertung von Verbrauchswerten stellen eine Referenz für den Soll-Ist-Vergleich dar.

Der Umsetzung dieser Ziele diente die Entwicklung von Methodik-Bausteinen für

- die systematische Erfassung der wesentlich den Energieverbrauch bestimmenden Merkmale (Energieprofil-Indikatoren, siehe Erfassungsblätter in Bild 1);
- die darauf aufbauende realistische Schätzung des Energieverbrauchs mit Hilfe eines physikalischen Modells², losgelöst vom Energiebedarfsausweis bzw. Normnachweis nach GEG (MOBASY-Realbilanzierung, siehe Bild 9 im „Teil II – Eingehende Darstellung“);
- die Abschätzung der erwarteten Bandbreite des Energieverbrauchs, bedingt durch unterschiedliches Nutzerverhalten und andere in der Praxis unbekannt oder unsichere Daten (Unsicherheitsbetrachtung);
- die Erfassung, die Zusammenführung und den Vergleich von Verbrauchsdaten mit den aus physikalischer Sicht erwarteten Werten auf der Ebene von Einzelgebäuden (Verbrauchscontrolling, siehe Bild 5) sowie für Gesamtbestände (Verbrauchsbenchmarks, siehe Bild 6).

Diese Bausteine wurden auf eine Gebäuestichprobe angewendet, die vermietete Mehrfamilienhäuser der drei Wohnungsunternehmen Wohnbau Gießen GmbH, bauverein AG Darmstadt und Nassauische Heimstätte / Wohnstadt enthält. Die Anwendung umfasste:

- ein modellhaftes Verbrauchscontrolling, um Gebäude mit auffälligen Verbrauchswerten zu identifizieren, die Ursachen zu finden und ggf. Verbesserungen zu erreichen (Soll-/Ist-Vergleich; Qualitätssicherung Daten und Betrieb);
- ein modellhaftes Benchmarking, um empirische Verbrauchswerte als Vergleichswerte für unterschiedliche Dämmstandards von Mehrfamilienhäusern und deren Bandbreiten zu bestimmen;
- einen Vergleich des physikalischen Modells (MOBASY-Realbilanzierung) mit den empirisch ermittelten Verbrauchswerten und gegebenenfalls einer Kalibrierung des Modells.

² Der aus physikalischer Sicht erwartete Energieverbrauch wird im Folgenden als „Energiebedarf“ bezeichnet. Der mit der MOBASY-Realbilanzierung berechnete Energiebedarf ist nicht zu verwechseln mit dem im Nachweis nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) berechneten Norm-Energiebedarf.

Bild 1: Energieprofil-Monitoring-Indikatoren – zwei Formulare³ zur Erfassung von Basisdaten, die den energetischen Zustand von Gebäuden darstellen; Vergrößerung der Aspekte zur Gebäudeform und zum energetischen Zustand der Gebäudehülle

Energieprofil-Formulare Gebäude

Anlagentechnik

Indikatoren zur Erfassung der wichtigsten energierelevanten Merkmale der Gebäudehülle (Geometrie, Wärmedämmung, Fensterart)

direkt angrenzende Nachbargebäude

keins (freistehend)

auf einer Seite

auf zwei Seiten

keine Angabe / unbekannt

Grundriss

kompakt

normal

komplex / langgestreckt

keine Angabe / unbekannt

Dach

Flachdach oder flach geneigtes Dach

Dachgeschoss unbeheizt

Dachgeschoss teilweise beheizt

Dachgeschoss voll beheizt

keine Angabe / unbekannt

Keller

nicht unterkellert

Kellergeschoss unbeheizt

Kellergeschoss teilweise beheizt

Kellergeschoss voll beheizt

keine Angabe / unbekannt

Dachform

einfach Gauben / komplex unbekannt

Thermische Hülle (nicht-transparente Elemente)

	Konstruktionsart		Dämmung					Dämmstärke	Jahr der Modernisierung	Innendämmung der Wände	Dämmstärke	% der Fläche
	massiv	Holz	keine	original	Modernisierung	keine Angabe / unbekannt	keine Angabe / unbekannt					
Dach	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	cm	%					
oberste Geschossd.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	cm	%					
Außenwände	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	cm	%					
Fußboden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	cm	%					

bei ungedämmten Außenwänden: Dämmung von außen möglich? ja teilweise nein k.A. / unbekannt

Fenster

Haupttyp Fenster	weiterer Typ Fenster	% der Fensterfläche	Verglasung				Rahmen				gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)	Jahr des Fenstereinbaus (ca.):	
			1 Scheibe	2 Scheiben	3 Scheiben	keine Angaben / unbekannt	Holzrahmen	Kunststoffrahmen	Alu- oder Stahlrahmen	andere			unbekannt
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						

(Rest = Haupttyp Fenster) (U ≤ 0.8W/(m²K))

Bei den analysierten Daten handelt es sich um eine Stichprobe von 108 Geschosswohnbauten, in der Regel jeweils bestehend aus einem Gebäudeblock, in wenigen Fällen auch aus mehreren Blöcken (Tab. 1). Insgesamt sind 211 Häuser enthalten.⁴ Etwa 160.000 m² Wohnfläche verteilen sich auf etwa 2.400 Wohnungen.⁵

³ vergrößerte Darstellungen beider Formulare finden sich in [Loga et al. 2021]; PDF-Datei zum Download (mit aktiven Formularfeldern):

https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/EnergieProfil_FormularGebaeudeAnlagentechnik_Erfassung.pdf

⁴ Als „Haus“ oder „Hauseingang“ wird bei den beteiligten Wohnungsunternehmen eine Gebäudeeinheit bezeichnet, die jeweils eine eigene Adresse, einen Hauseingang und ein eigenes Treppenhaus aufweist. Als „Gebäudeblock“ oder „Block“ wird in der Regel eine Gruppe von aneinandergrenzenden Häusern bezeichnet, die baukonstruktiv und architektonisch eine Einheit bilden.

⁵ Die Stichprobe umfasst deutlich mehr Gebäude-Datensätze, als hier dargestellt (siehe Zahlen in [Loga, Behem 2021]). Für ca. 50 Blöcke lagen jedoch keine Verbrauchsdaten vor, da deren Abrechnung kein Bestandteil der Nebenkostenabrechnung der Wohnungsunternehmen ist (in der Regel Gas-Etagenheizungen). Diese Gebäude werden in dem vorliegenden Bericht ganz ausgeklammert.

Tab. 1: Übersicht über die Gebäuestichprobe⁶

Datensätze für Gebäude*	108	
Gebäudeblöcke	113	
Häuser (Adressen / Hauseingänge)	211	
Wohnungen	2.405	
beheizte Wohnfläche	157.967	m ²
beheizte Netto-Raumfläche ⁷ (Referenzfläche der Energiebilanzierung)	173.762	m ²

In einem Teil dieses Bestandes wurde in Kooperation mit den Wohnungsunternehmen eine Befragung zum Nutzerverhalten durchgeführt, bei der das Heizverhalten (Bedienung von Heizkörperventilen bzw. Thermostaten) und das Lüftungsverhalten (Fensteröffnen, Nutzung von ggf. vorhandenen Lüftungsanlagen) im Fokus stand. Der dafür entwickelte Kurzfragebogen umfasste sechs Seiten und wurde so konzipiert, dass er auch in Teilprojekt B und über das Projekt hinaus eingesetzt werden kann.⁸ Die Einladung zur Befragung wurde mit Unterstützung der Wohnungsunternehmen inkl. eines vorfrankierten Briefumschlages für die Rückantwort an 2.941 Haushalte versendet. Zwei Wohnungsunternehmen lieferten dem IWU Kontaktdaten der Mieterhaushalte, das dritte Wohnungsunternehmen erhielt die vorbereiteten Befragungsunterlagen und verteilte diese eigenverantwortlich. Im Anschreiben sowie dem beiliegenden Hinweisblatt wurde der Inhalt der Befragung erläutert sowie auf die anonymisierte Datenauswertung hingewiesen. Die kontaktierten Mieterhaushalte konnten alternativ zu der versendeten Papierversion online an der Befragung teilnehmen. Die Online-Befragung wurde auf Deutsch, Russisch, Arabisch, Englisch, Türkisch und Französisch programmiert. Von den 2.941 versendeten Fragebögen wurde nach einem Erinnerungsschreiben ein unbereinigter Rücklauf von 567 Fragebögen (inklusive Online-Befragung, davon 15 fremdsprachlich) bzw. 19,3 % erreicht. Nach Beenden der Befragung wurden die Papier-Fragebögen eingelesen und gemeinsam mit den Daten der Online-Befragung für die Datenauswertung aufbereitet.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde das oben beschriebene Verfahren zum Verbrauchscontrolling auf die beiden im Teilprojekt B realisierten PassivhausSozialPlus-Gebäude angewendet, um mit den vorliegenden Daten den Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser zu schätzen und mit dem gemessenen Energieverbrauch zu vergleichen. Da für die Gebäude qualitätsgesicherte Planungsdaten vorliegen, konnte hier der Effekt unterschiedlicher Informationstiefe beim Soll-/Ist-Vergleich analysiert werden.

Die wichtigsten Ergebnisse der beschriebenen Arbeitsschritte werden im Kapitel 2.1 dargestellt. Dort finden sich auch Verweise auf die jeweiligen Teilberichte mit detaillierten Informationen zur Methodik, zu den Datensätzen und zu den Resultaten.

⁶ Die Datensätze wurden von den als assoziierte Partner im Projekt mitwirkenden drei Wohnungsunternehmen zur Verfügung gestellt: der bauverein AG in Darmstadt, der Wohnbau Gießen GmbH und der Nassauischen Heimstätte | Wohnstadt in Frankfurt am Main.

⁷ Referenzfläche des hier verwendeten TABULA-Berechnungsverfahrens; mit einem pauschalen Faktor 1,1 aus der Wohnfläche geschätzt

⁸ Der Einsatz identischer Fragen in zukünftigen Projekten ermöglicht die Vergleichbarkeit der Erhebungen sowie ggf. eine Metaanalyse.

Durchführung Teilprojekt B – „PassivhausSozialPlus“

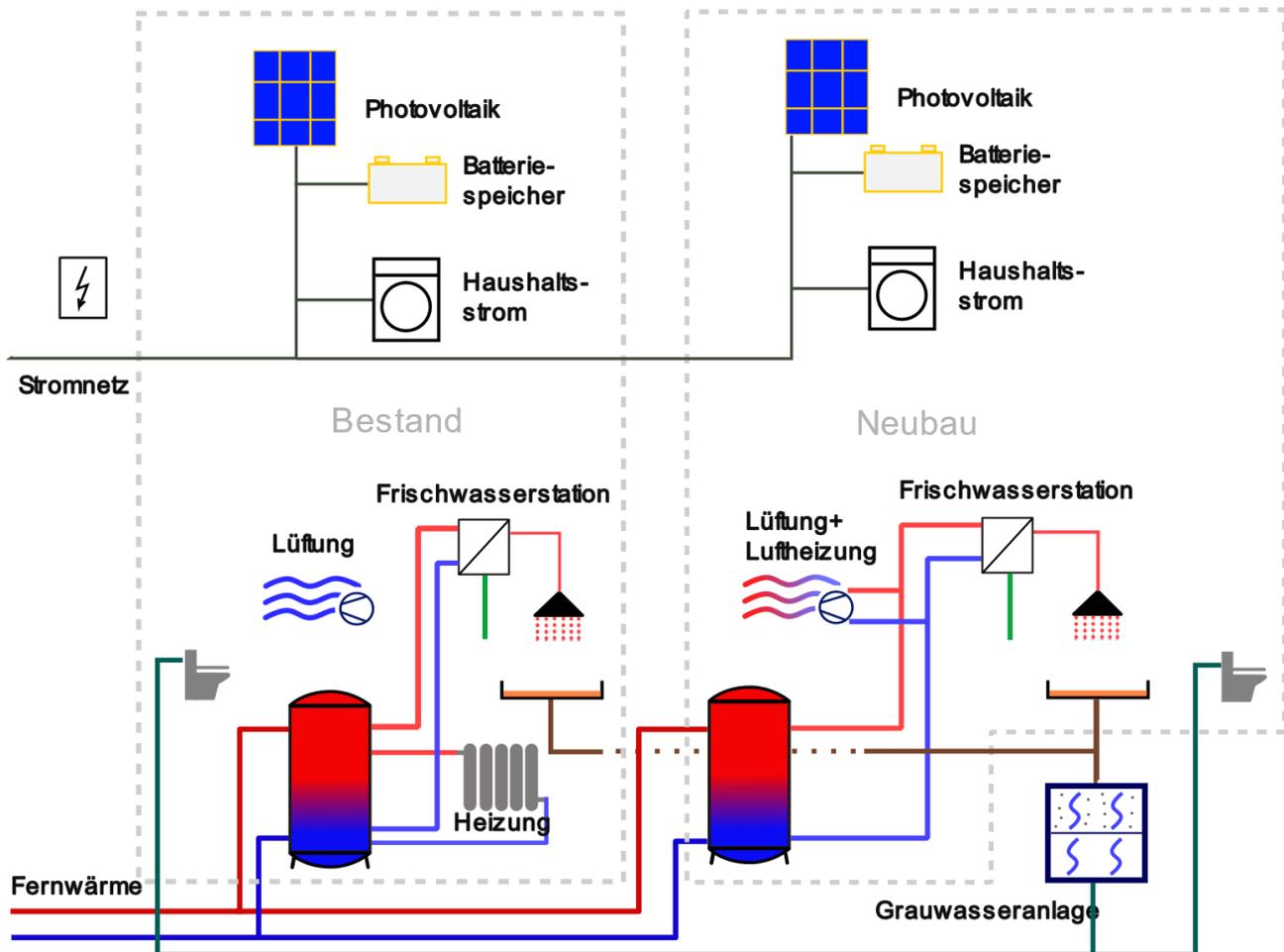
Dem Forschungsprojekt ist eine langjährige Konzeptionsphase vorausgegangen, um die Möglichkeiten der Reduktion der Nebenkosten zu untersuchen – insbesondere für die Neue Wohnraumhilfe (NWH) als Bauherr. Außerdem wurde 2018 vom Institut Wohnen und Umwelt mit Förderung durch das Land Hessen eine Vorstudie zu den rechtlichen und organisatorischen Realisierungsmöglichkeiten durchgeführt [Großklos et al. 2018].

Die Realisierung des PassivhausSozialPlus auf einem ehemaligen Kasernengelände der US-Armee in Darmstadt erfolgte überwiegend in den Jahren 2018/19. Die NWH übernahm einen Block mit Unterkünften für Soldatenfamilien mit drei Hauseingängen aus dem Jahr 1955 (Bild 2 oben). Zwei Drittel des Gebäudes wurden energetisch umfassend mit Passivhaus-Komponenten modernisiert. Ein Teil der Wohnungen sollte barrierefrei bzw. rollstuhlgerecht sein. Da dies in Bestandsgebäuden nur mit hohem Aufwand und hohen Kosten umsetzbar ist, wurde ein Drittel des Gebäudes abgerissen und durch einen barrierefreien Neubau im Passivhaus-Standard ersetzt. Der verbleibende Teil des Gebäudes wurde als Rohbau verwendet, um den Herstellungsenergieaufwand zu minimieren. Der Neubau erreicht den Förderstandard KfW Effizienzhaus 40 Plus, das modernisierte Bestandsgebäude den Standard KfW Effizienzhaus 55 im Bestand. Insgesamt verfügen die Gebäude über 42 Wohnungen – davon 6 rollstuhlgerecht – und besitzen 3.199 m² beheizte Wohnfläche für ca. 136 Bewohner (Bild 2 unten). Das Anlagenkonzept ist in Bild 3 dargestellt.

Bild 2: PassivhausSozialPlus: obere Reihe Ausgangszustand, untere Reihe modernisiertes Bestandsgebäude (links) und Neubau (rechts)

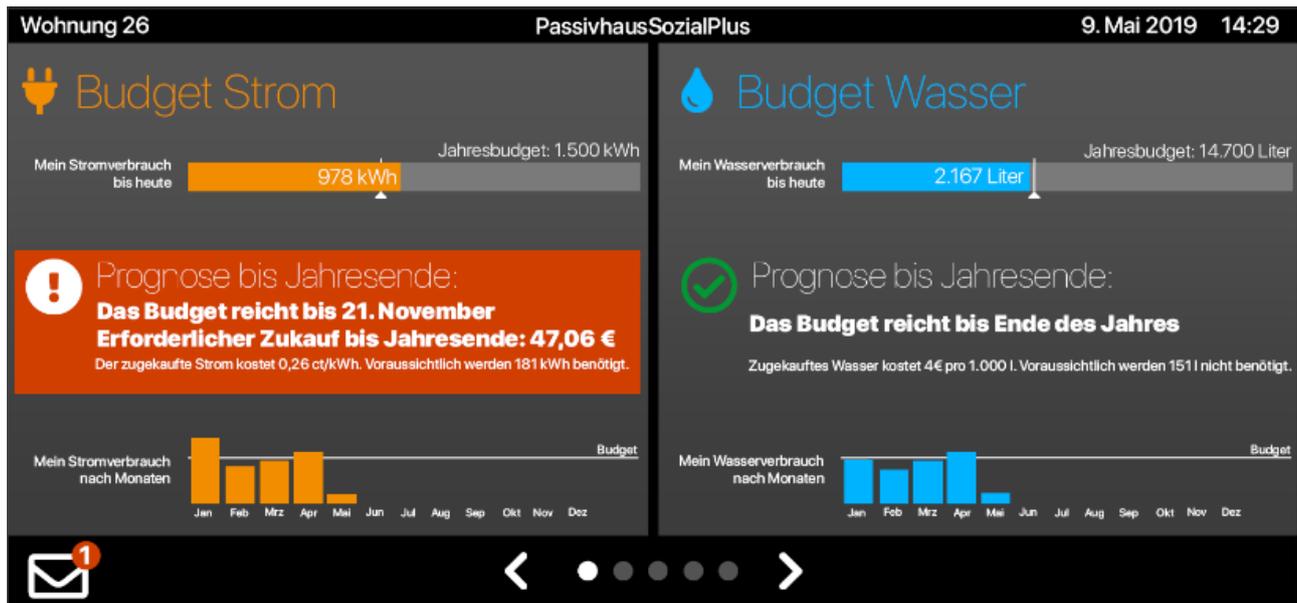


Bild 3: Anlagenkonzept im PassivhausSozialPlus



In den Gebäuden wurde über ca. 3 Jahre ein Intensivmonitoring durchgeführt, bei dem alle Erzeugungs- bzw. Verbrauchsdaten sowie umfangreiche Nutzungsdaten in den Wohnungen erfasst wurden. Außerdem wurde die Budgeterfassung und -visualisierung implementiert (beides über den Verbundpartner NWH). Damit wurde die Möglichkeit geschaffen die umgesetzten Konzepte zu evaluieren und Messdaten für den Abgleich des Berechnungsmodells in Teilprojekt A von MOBASY (Realbilanzierung) geschaffen. Außerdem wurde der Betrieb der Anlagentechnik in den Gebäuden mit den Messdaten mit einer hohen zeitlichen Auflösung ausgewertet und damit Fehlfunktionen aufgedeckt sowie für den weiteren Betrieb Optimierungsvorschläge erarbeitet. Die Messdatenerfassung lieferte von Oktober 2019 (in den Bestandsgebäuden) bis August 2022 (offizielles Ende des Monitorings) auswertbare Daten. Für die Auswertung wurde auch die Höhe der Budgets der einzelnen Wohnungen berücksichtigt.

Zur Evaluation der umgesetzten Konzepte gehörte auch die Einbeziehung der Meinungen und Erfahrungen der Bewohnerschaft. Daher fand – nach pandemiebedingten Verzögerungen – im März 2022 eine Mieterbefragung in Form von persönlichen Interviews im Gemeinschaftsraum vor Ort statt. An der als Vollerhebung konzipierten Befragung nahmen 33 Bewohnerhaushalte teil, was einer Ausschöpfung von 79 % entspricht. Als Befragungsinstrument diente ein standardisierter Fragebogen, der in Teilen dem Kurzfragebogen aus dem MOBASY-Teilprojekt A entsprach, jedoch um darüberhinausgehende spezifische Fragestellungen zum PassivhausSozialPlus ergänzt wurde. Diese wurden häufig als offene Fragen formuliert. Daher wurden die Interviews in den allermeisten Fällen auch von zwei Interviewern durchgeführt, wobei eine Person hauptsächlich mit dem Notieren der freien Antworten beschäftigt war. Um möglichen Verständnisproblemen vorzubeugen, wurde unterstützend mit Bildern und Listen gearbeitet, die als DIN A3-Ausdrucke gezeigt wurden. Teilweise wurden die Interviews in englischer Sprache durchgeführt.

Bild 4: Visualisierung der Budgets für Strom und Trinkwasser über Displays in den Wohnungen

Der Schwerpunkt der Mieterbefragung lag in der Beurteilung der Pauschaliete inklusive der Budgetierung für Haushaltsstrom und Trinkwasser sowie deren Verbrauchsrückmeldung über das in jeder Wohnung verfügbare Display (Bild 4). Für Aussagen zur Auskömmlichkeit der Budgets waren Fragen zur Ausstattung/Nutzung von elektrischen Geräten und zum Wasserverbrauch relevant. Ferner wurde das Nutzerverhalten (Heizen, Fensteröffnen, Verschattung) im Winter thematisiert, welches zum Teil mit Messdaten aus dem Intensivmonitoring gespiegelt werden konnte. Schließlich widmete sich die Befragung noch weiteren Besonderheiten des PassivhausSozialPlus wie bspw. die Akzeptanz der Grauwassernutzung und des Mieterstroms oder die Beurteilung der vorinstallierten energieeffizienten Beleuchtung und Einbauküchen.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand des Wissens

Stand des Wissens: Modellierung des Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser

Wie in der Beschreibung der Ausgangslage in Abschnitt 1.2 dargestellt ist die in Deutschland eingeführte und verbreitete Methodik zur energetischen Bilanzierung und die zugehörigen DIN-Normen in der Praxis hauptsächlich auf den gesetzlichen Nachweis ausgerichtet. Ein Abgleich des berechneten Endenergiebedarfs von energetisch hochwertigen Gebäuden mit dem realen Verbrauch findet bisher für Einzelgebäude (z.B. [Osterhage et al. 2015], [Großklos 2016]) oder für Siedlungen oder Quartiere im Rahmen von Forschungsprojekten statt (z.B. [Stein et al. 2014], [Peper 2015], [Stockinger et al. 2015]) - Schwerpunkt ist dabei die Querauswertung von Gebäuden mit einem bestimmten energetischen Standard.

Für größere Gebäudebestände gibt es bereits empirisch hergeleitete Kalibrierungsfaktoren, um auf der Basis rechnerischer Energiebilanzen Aussagen über das typische Niveau von Verbrauchswerten machen zu können [Loga, Diefenbach 2013] [Loga et al. 2015a] [IWU 2016]. Allerdings sind dies nur globale Faktoren ohne weitere Differenzierung der Zustandsdaten – insbesondere für energetisch hochwertige Gebäude basieren sie bisher auf aus Erfahrungen in Modellprojekten abgeleitete Expertenschätzungen.

Auch im Zusammenhang mit der Energiekostenabrechnung findet eine Verknüpfung von Zustands- und Verbrauchsdaten in der Regel nicht statt. Abrechnungsunternehmen verfügen über große und aktuelle Datenbestände von Energieverbrauchswerten – in den Abrechnungsdatenbanken sind jedoch meist keine belastbaren Informationen zur energetischen Qualität der Gebäude enthalten. Allerdings wurden und werden bei der Erstellung von Energieverbrauchsausweisen Informationen zum energetischen Zustand erhoben, die dann für die Ausgabe der nach EnEV geforderten Empfehlungen genutzt werden. Der Zusammenhang der

Verbrauchswerte mit dem so ermittelten Gebäudezustand wurde z.B. in [Schroeder et al. 2009] und in [Fisch et al. 2012] untersucht. Diese Analysen liefern sehr nützliche Anhaltspunkte für die Verbrauchswerte von unsanierten Bestandsgebäuden. Da jedoch der energetische Zustand im Fragebogen zum Verbrauchsausweis eher grob und unvollständig erhoben worden ist und keine Informationen zum Prozess der Datenerhebung und -übermittlung in den Wohnungsunternehmen vorliegen, bleibt unklar, wie zuverlässig diese Aussagen gerade mit Blick auf energetisch hochwertige Gebäude sind (siehe [Loga et al. 2019]).

Eine Verknüpfung von Verbrauchsdaten aus der Nebenkostenabrechnung eines Wohnungsunternehmens mit den Energieausweisdaten wurde in [Loga et al. 2020] modellhaft für ein Mehrfamilienhaus-Quartier realisiert. Hier konnte auf bereits 2008 im Zuge des EU-Projekts ESAM⁹ für den Gesamtbestand des betreffenden Wohnungsunternehmens eingeführten und seither jährlich aktualisierte Zustandsindikatoren (Energieprofil-Indikatoren entsprechend [Loga et al. 2005]) ein Soll/Ist Vergleich umgesetzt werden.

Querauswertungen mit Daten aus unterschiedlichen Quellen sind bisher nur mit kleinen Stichproben möglich gewesen (z.B. [Stolte et al. 2013], [Zeine 2015], [Graf 2015]), da die Beschaffung valider Daten zur Gebäudequalität und die Zuordnung von Energieverbrauchswerten auf Grund fehlender Standardisierungen oder unterschiedlich strukturierter Datenquellen sehr mühsam und fehlerträchtig ist.

Untersuchungen, die Anhaltspunkte über mögliche nutzerbedingte Schwankungsbreiten des Energieverbrauchs enthalten, sind Studien zum Nutzereinfluss auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern [Richter et al. 2002] und zur Heizkostenverordnung [Oschatz 2009], Klassifizierung des Nutzerverhaltens bei der Fensterlüftung [Reiß, Erhorn 2009], Modellierung und Bewertung unterschiedlichen Nutzerverhaltens in hochwärmedämmten Einfamilienhäusern [Klesse 2012], Nutzereinfluss auf den Energieverbrauch in Wohngebäuden [Hartmann 2009]. Eine Quer-Auswertung des damaligen Stands der publizierten Streuung von Nutzungsparametern findet sich auch in [Loga et al. 2003].

Die bei der Entwicklung des Realbilanz-Verfahrens in Teilprojekt A konkret genutzten Konzepte und Verfahren sind:

- **Basis-Monitoring-Indikatoren zur Erfassung des energetischen Zustands von Gebäudebeständen**
Es wird an die in [Loga et al. 2005] entwickelten Indikatoren angeknüpft, die in ähnlicher Form auch bei den beiden Erhebungen zum energetischen Zustand des deutschen Wohngebäudebestands [Diefenbach et al. 2010] [Cischinsky, Diefenbach 2018] sowie in dem oben dargestellten Projekt zum Verbrauchscontrolling in Wohnungsunternehmen [Loga et al. 2020] verwendet wurden.
- **Energiebilanzverfahren**
Ausgangspunkt der Entwicklung des Realbilanzierungsverfahrens ist die in [Loga et al. 2013] dokumentierte Methodik zur energetischen Gebäudebilanzierung und zur Ermittlung des Energiebedarfs für Heizung und Warmwasser. Bei den Ansätzen für realistische Eingangsdaten und für die Kalibrierung auf das typische Verbrauchsniveau flossen die in [Loga et al. 2019] entwickelten Methodik-Bausteine ein.
- **Nutzerverhalten**
In die Ansätze für die Modellierung des durchschnittlichen Verhaltens von Bewohnern und dessen Bandbreite flossen in [Loga et al. 2019] recherchierte Ergebnisse aus Messprojekten und Befragungen mit ein.
- **Schätzverfahren zur Ermittlung der Bilanz-Eingangsgrößen aus den Basis-Monitoring-Indikatoren**
Für die Hüllfläche und die U-Werte werden die in [Loga et al. 2005] dokumentierten Schätzverfahren verwendet (für die Hüllfläche aktualisiert und plausibilisiert in: [Loga et al. 2015b]). Für die Wärmedurchgangskoeffizienten konnten neue Daten aus der Recherche von U-Werten unsanierter Bauteile nach Baualterklassen [Renhof 2018] genutzt werden. Weiterhin stehen Durchschnittswerte und Bandbreiten aus den Erhebungen zum energetischen Zustand des deutschen Wohngebäudebestands [Diefenbach et al. 2010] [Cischinsky, Diefenbach 2018] zur Verfügung, um Pauschalwerte und Unsicherheiten abzuleiten, die im Verfahren eingesetzt werden können, wenn der tatsächliche Zustand nicht bekannt ist.
- **Verbrauchscontrolling**
Für die Aufbereitung der Verbrauchsdaten und die Gegenüberstellung von Vergleichswerten im Soll-/Ist-Vergleich konnte an die in [Loga et al. 2020] dargestellte Methodik angeknüpft werden.

⁹ <https://www.iwu.de/forschung/handlungslogiken/esam/>

Stand des Wissens Querschnittsthema Nutzerverhalten

Bisherige sozialwissenschaftliche Untersuchungen zum Nutzerverhalten in energieeffizienten Wohngebäuden stellten breite Streuungen des Wärmeverbrauchs in weitgehend baugleichen Wohnungen oder Gebäuden fest (z.B. [Keul 2001], [Flade et al. 2003], [Emmerich et al. 2004], [Hacke et al. 2012]). Zurückgeführt werden konnte diese Varianz auf unterschiedliche Ansprüche an die als komfortabel empfundenen Raumtemperaturen und unterschiedliche Präferenzen bezüglich der Fensterlüftung, die zudem in Abhängigkeit von der Zimmernutzung, aber auch innerhalb des Nutzerhaushalts differieren können [Schloman et al. 2004]. Dabei zeigte sich auch, dass mangelndes Wissen oder falsche Annahmen beispielsweise zum optimalen Umgang mit neuen energieeffizienten Technologien das vollständige Ausschöpfen der Energieeinsparpotentiale zum Teil beträchtlich vermindern können [Hacke et al. 2012]. Ferner weisen interdisziplinäre Untersuchungen auf einen Zusammenhang zwischen installierter Gebäudetechnik / energetischem Gebäudezustand und dem Nutzerverhalten hin (z.B. [Guerra-Santin 2013], [Schröder et al. 2018], [Rinaldi et al. 2018]). Darüber hinaus spielen aber auch Nutzereinflüsse wie die Belegungsdichte (z. B. Großfamilie oder Singlehaushalt), die Belegungsdauer (z. B. Vollzeitberufstätige oder Rentnerhaushalt) und die aktuelle Lebenssituation (z. B. Zusammenleben mit kleinen Kindern oder älteren Menschen mit einem höheren Wärmebedürfnis) eine Rolle, die durch Verhaltensanpassungen kaum veränderbar sind [Reusswig 1994].

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Ein intensiver Austausch fand statt zwischen den Verbundpartnern Institut Wohnen und Umwelt (IWU), der Hochschule Darmstadt (h_da) und der Neuen Wohnraumhilfe Darmstadt (NWH). Der besondere Fokus der h_da lag auf Messungen in den Wohnungen (TP A), der der NWH auf der Messtechnik für das Intensivmonitoring im PassivhausSozialPlus sowie auf der Technik für Budgeterfassung und -visualisierung (TP B) – jeweils in Kooperation mit dem IWU.

Als assoziierte Partner waren die drei Wohnungsunternehmen Nassauische Heimstätte Wohnstadt (Frankfurt am Main), Wohnbau Gießen GmbH und die bauverein AG (Darmstadt) beteiligt. Eine intensive Kooperation mit dem IWU fand bei der Datenerfassung der Mehrfamilienhaus-Stichprobe und Qualitätsüberprüfung mit Vor-Ort-Begehung im Rahmen des Verbrauchscontrollings sowie bei der Durchführung der Befragung von Bewohnern statt. Weiterhin gab es bei der Installation der Messtechnik in den Wohnungen der Unternehmen eine enge Zusammenarbeit mit der h_da.

Bei der Konzeptentwicklung, der Umsetzung und der Interpretation der Ergebnisse fand ein intensiver Austausch zwischen den Projektpartnern und den Mitgliedern des wissenschaftlichen Projektbeirats statt.

Teil II – Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

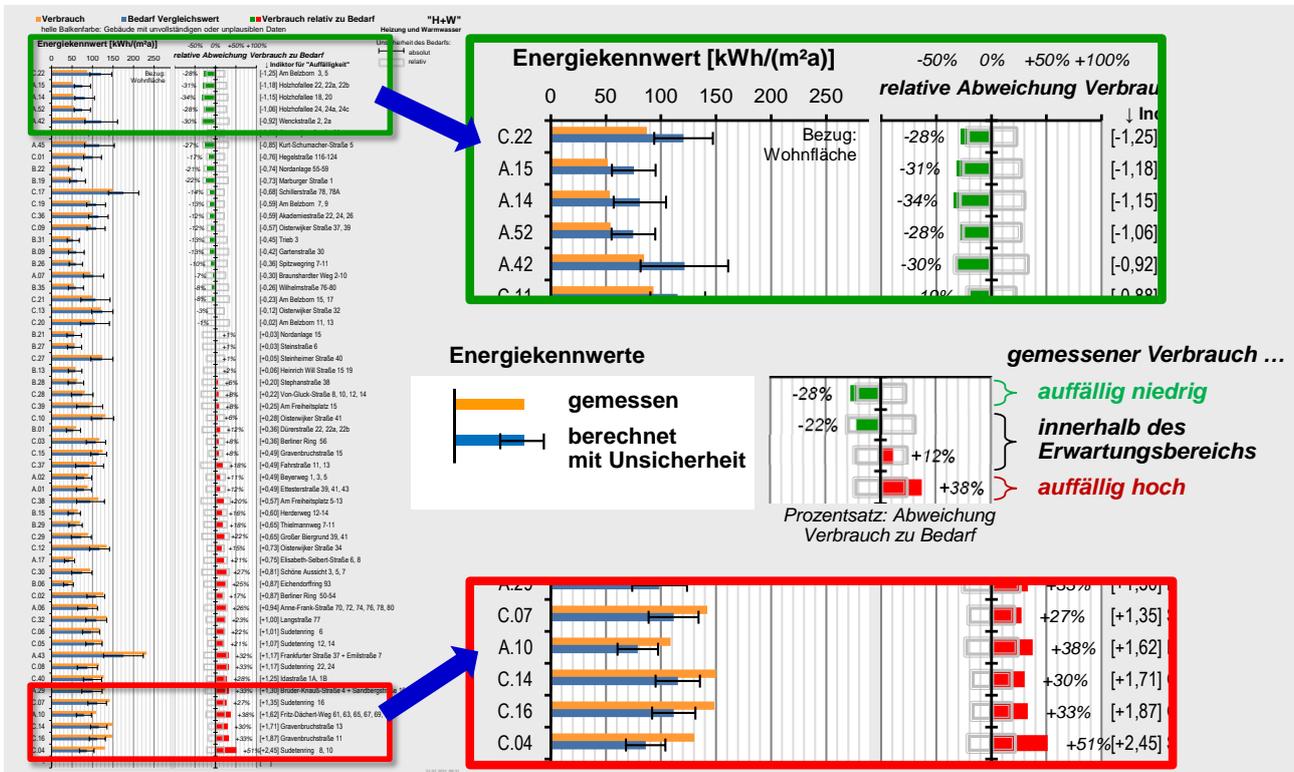
Ergebnisse der Verbrauchs- und Bedarfsanalysen für die Gebäudestichprobe der drei Wohnungsunternehmen (Teilprojekt A)

Ergebnis der Entwicklung sind verschiedene Methodik-Bausteine, die im Folgenden mit dem Überbegriff MOBASY-„Realbilanzierung“ subsummiert werden. Die Anwendung zielt ab zum einen auf den Soll/Ist-Vergleich („Verbrauchscontrolling“) von Einzelgebäuden, zum anderen auf die statistische Auswertung und Bereitstellung von Vergleichswerten („Benchmarks“).

Beim MOBASY-Verbrauchscontrolling wird der gemessene Energieverbrauch mit einem Intervall verglichen, in dem der Energieverbrauch aus theoretischer Sicht erwartet wird (Bild 5). In der Mitte dieses Intervalls liegt der Erwartungswert, also der von allen möglichen Verbrauchswerten wahrscheinlichste Wert. Dieser wird mit einem physikalischen Modell berechnet, in das für alle Eingangsgrößen möglichst realistische Ansätze eingehen (MOBASY-Realbilanz).

Bild 5: Vergleich des gemessenen Energieverbrauchs mit dem Vergleichswert aus der MOBASY-Realbilanz für die untersuchte Gebäudestichprobe: Sortierung nach relativer Abweichung und Identifikation von Gebäuden mit auffällig niedrigem und auffällig hohem Verbrauch (hier: Bilanzraum Heizung und Warmwasser <H+W>)

Linke Seite: alle Datensätze, sortiert nach relativer Abweichung; rechte Seite: Ausschnitte am oberen und unteren Rand des sortierten Diagramms mit den auffälligsten Werten; Energieskala: helle Balken (orange) = gemessener Verbrauch / dunkle Balken (blau) = berechneter Bedarf; relative Skala: positive (rot) und negative (grün) Balken = relative Differenz von gemessenen zu berechneten Werten; hellgraue Rahmen: relative Unsicherheit des berechneten Energieverbrauchs; Zahlen in eckigen Klammern [-1,25]: relative Überschreitung der Unsicherheit



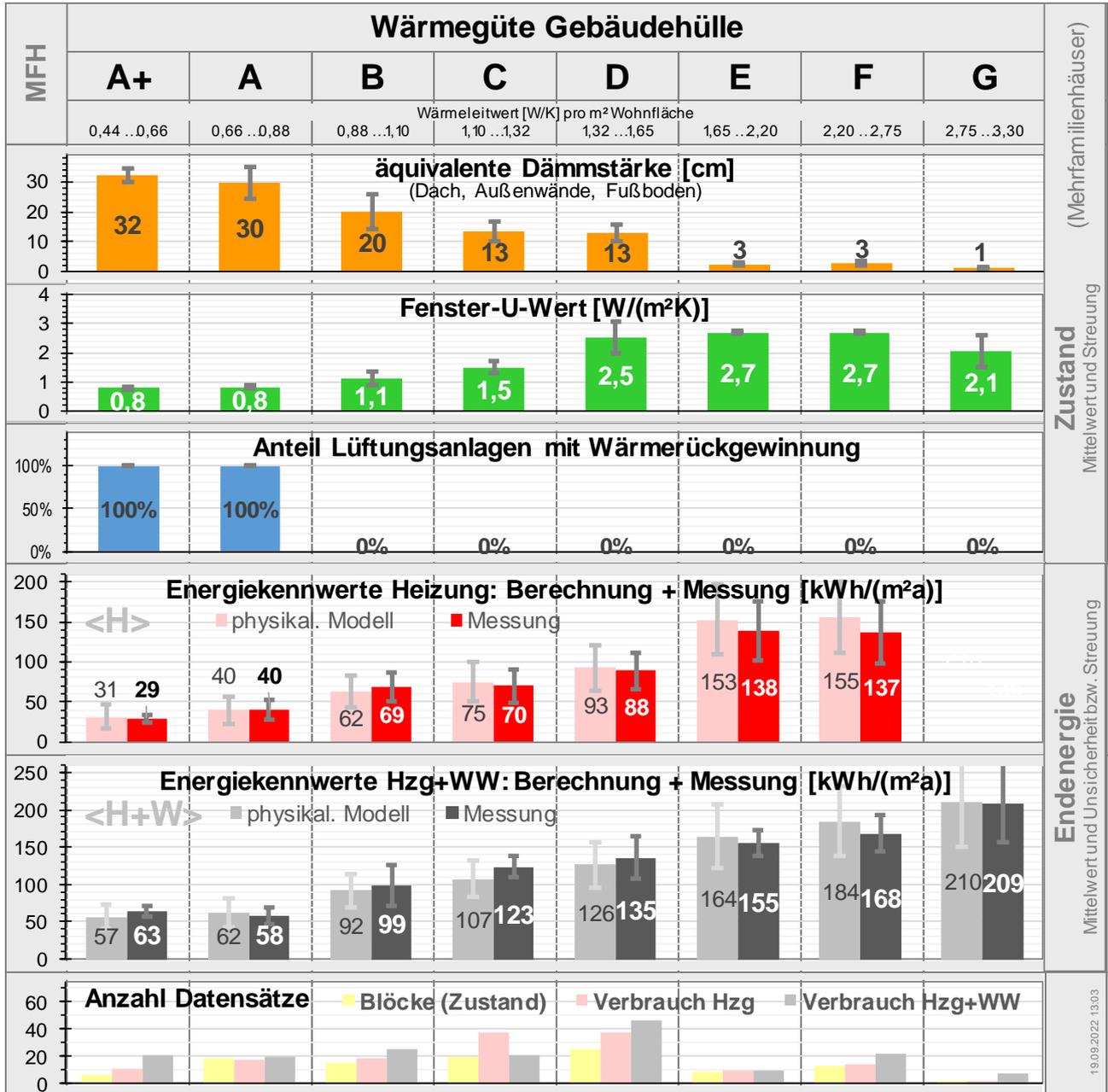
Eine besondere Herausforderung stellte dabei die realistische Einschätzung der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) von opaken Konstruktionen und Fenstern dar. Hier wurden aus verfügbaren Statistiken und aus einer Sammlung von Typologiedaten für den unsanierten Zustand typische U-Werte und deren Bandbreite sowie für Modernisierungen typische Dämmstärken und Flächenanteile erarbeitet. Die Breite des Erwartungsintervalls ergibt sich aus der Unsicherheit der energetischen Bilanzierung, die wiederum eine Folge der Unsicherheit der Energiebilanz-Eingangsgroßen ist. Eine ausführliche Darstellung findet sich im MOBASY-Teilbericht „Realbilanzierung für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich“ [Loga et al. 2021], eine Zusammenfassung in Englisch in [Loga, Behem 2021].

Ergebnis der Analyse des Verbrauchs der mehr als 100 Mietwohngebäude und des aus den Informationen zum Zustand abgeleiteten Bedarfs ist, dass der gemessene Energieverbrauch mit dem realistischen physikalischen Modell sehr gut nachvollzogen werden kann. Besonders auffällige Verbrauchswerte, die nur durch ein Fehlverhalten der Bewohner zu erklären wären, wurden in den Gebäuden nicht festgestellt. Meist konnte als Ursache für eine zunächst auffällig große Soll/Ist-Abweichung bei genauerer Analyse und Vor-Ort-Begehung eine fehlende Aktualisierung oder unpassende Zuordnung von Daten festgestellt werden [Loga et al. 2021] [Loga, Behem 2021].

Während beim MOBASY-Verbrauchscontrolling jeweils für Einzelgebäude ein Soll-/Ist-Vergleich vorgenommen wird, geht es bei den MOBASY-Verbrauchsbenchmarks um die statistische Analyse der Gesamtheit an Gebäuden. Auf Basis der nun qualitätsüberprüften und bereinigten Daten wurden Mittelwerte des Verbrauchs für unterschiedliche Klassen der Wärmegüte der Gebäudehülle gebildet (siehe MOBASY-Teilbericht „Verbrauchsbenchmarks für unterschiedliche Dämmstandards bei vermieteten Mehrfamilienhäusern“ [Loga et al. 2022a]). Diese Vergleichswerte oder Benchmarks belegen sehr klar, dass Wärmedämmung, Qualität der Fenster und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung einen entscheidenden Einfluss auf den Verbrauch haben (siehe Bild 6). Die aus physikalischer Sicht erwartete Wirkung der Energieeffizienzmaßnahmen spiegelt sich also in den gemessenen Verbrauchswerten wieder. Der direkte Vergleich der Mittelwerte von Verbrauchs- und Bedarfskennwerten je Wärmegüte-Klasse zeigt eine recht gute Übereinstimmung (Bild 6, unterer Teil). Eine Kalibrierung der Realbilanz-Berechnung auf das typische Verbrauchsniveau erscheint (zumindest bei der vorliegenden Stichprobe) nicht notwendig (allenfalls für den Energiebedarf der unsanierten Gebäude wäre eine Kalibrierung mit einem Faktor von ca. 0,9 möglich). Darüber hinaus passt die Streuung der Verbrauchswerte relativ gut zur mittleren Unsicherheit der Bedarfskennwerte. Die erfreulich gute Übereinstimmung spricht für die Qualität des Berechnungsmodells und für die Qualität der Zustands- und Verbrauchsdaten der Stichprobe [Loga et al. 2022a] [Loga, Stein 2022].

Bild 6: Zentrales Ergebnis von Teilprojekt A

Benchmark-Diagramm: Wärmedämmung, gemessener Energieverbrauch und Schätzwerte des Verbrauchs differenziert nach der Warmegüte der Gebäudehülle (für genaue Erläuterungen siehe: [Loga et al. 2022a]); Statistische Auswertung der Zustands- und Verbrauchsdaten der MOBASY-Gebäudestichprobe (108 Geschosswohnbauten), differenziert nach Warmegüte der Gebäudehülle, zuzüglich Auswertung berechneter Energiebedarf („physikal. Modell“ = Schätzung MOBASY-Realbilanz); Mehrfamilienhäuser mit konventioneller Wärmeversorgung (Fernwärme, fossile Brennstoffe); **Flächenbezug: Wohnfläche**



MOBASY-Mehrfamilienhaus-Stichprobe; Mittelwert und Standardabweichung je Indikator und Klasse; Kennwerte bezogen auf beheizte Wohnfläche; Wärmeleitwert Gebäude [W/K] = Wärmetransferkoeffizient Transmission + Lüftung (rechnerische Wärmeverluste je Grad Temperaturdifferenz zwischen innen und außen); äquivalente Dämmstärke ermittelt aus dem mittleren U-Wert der opaken Bauteile, bei Annahme einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K) und einem Ausgangs-U-Wert von 1,5 W/(m²K), für Fußboden/Kellerdecke wird der U-Wert mit einem Faktor 0,5 gewichtet; gemessener Verbrauch: Endenergie Brennstoffe (bezogen auf Brennwert) oder Fernwärme; physikalisches Modell: Mittelwert und Unsicherheit des berechneten Bedarfs (Realbilanz, Durchschnittsklima am Standort); Energiekennwerte bezogen auf beheizte Wohnfläche;

Ergebnisse für das „PassivhausSozialPlus“: Betriebserfahrungen, Verbrauchswerte und Kosten (Teilprojekt B)

Die Ergebnisse des Teilprojekts B sind im entsprechenden Gesamtbericht [Großklos et al. 2023] ausführlich dokumentiert. Wesentliche Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst.

Verbräuche in den Wohnungen

Die Heizwärmeverbräuche der Wohnungen lagen bezogen auf die gesamte Energiebezugsfläche zwischen 18,2 und 13,9 kWh/(m²a) und somit extrem niedrig. Im Bestandsgebäude lag der Heizwärmeverbrauch zwischen 20,3 (2019/20) und 26,7 kWh/(m²a) (2020/21), hier sind aber die Verteilverluste für die Heizwärmeverteilung von ca. 4 kWh/(m²a) mit enthalten. Rechnet man diese Verluste heraus, ergeben sich Heizwärmeverbräuche zwischen 16,0 und 22,7 kWh/(m²a). Insgesamt liegen die Verbräuche sehr niedrig.

Für Trinkwasser (Kaltwasser) erreichten beide Gebäude Verbräuche von ca. 21 m³/(Person·a). Diese Werte liegen ca. 35 % unter dem mittleren Trinkwasserverbrauch in Deutschland. Auch hier wurde eine vergleichsweise große Streuung zwischen den einzelnen Wohnungen beobachtet, besonders bei Wohnungen mit wenigen Bewohnern, was aber gerade bei Trinkwasser nicht unüblich ist. Das Budget für Trinkwasser wurde im Mittel nur um 3 % (2020) bzw. 8 % (2021) überschritten.

Die Warmwasserverbräuche erreichten Anteile zwischen 40 und 50 % des Kaltwasserverbrauchs. Rechnet man zum Vergleich die Verbräuche auf eine Zapftemperatur von 60 °C um, so wurden Warmwasserverbräuche von ca. 20 l/(Person·d) erreicht, die somit noch deutlich unter dem Planungswert von 25 l/(Person·d) des Passivhaus-Projektierungspaket liegen.

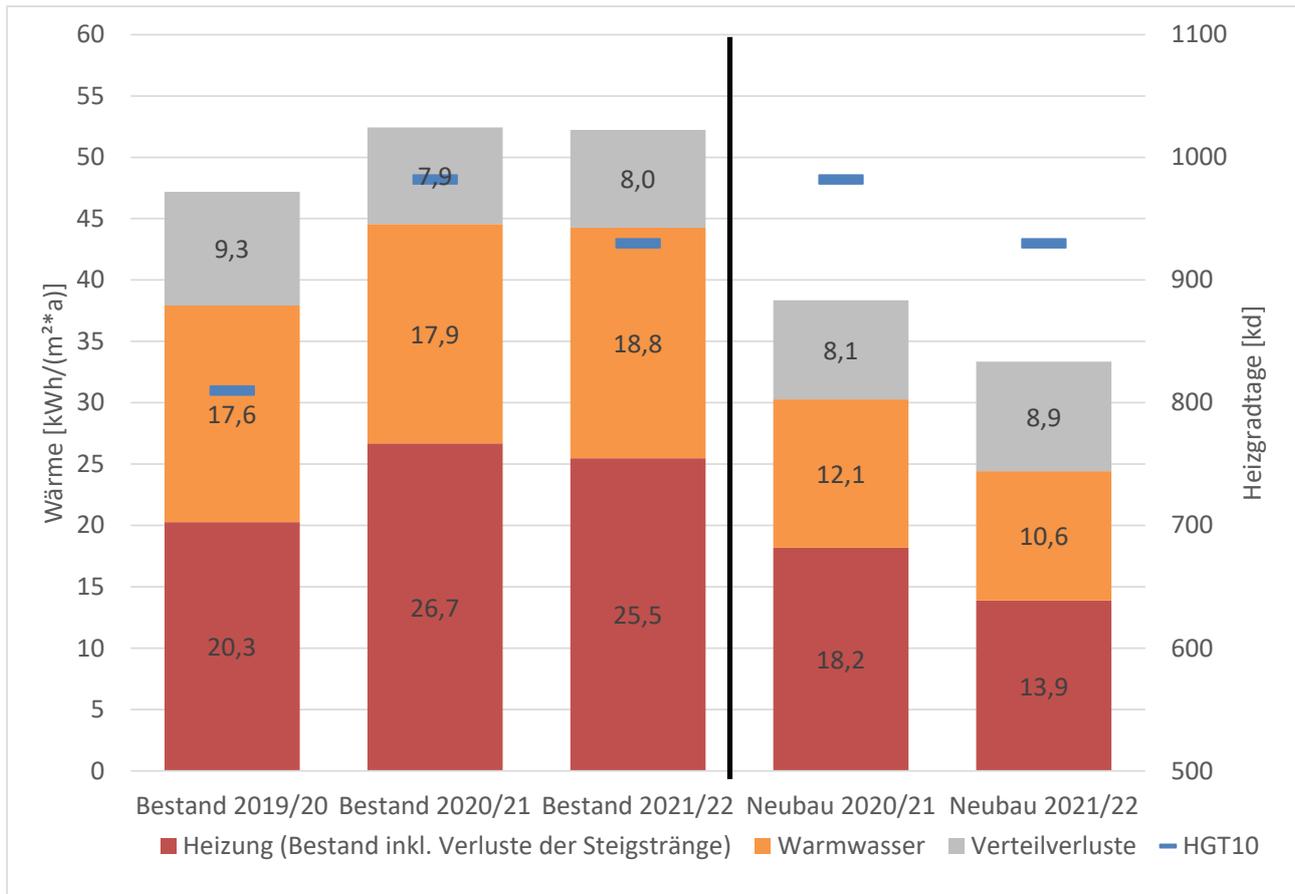
Der Haushaltsstromverbrauch erreichte Kennwerte zwischen 24 und 26 kWh/(m²a). Zwar wurde hier das Budget 2020 um 13 % und 2021 um 19 % überschritten, die Werte liegen jedoch um 51 % unter dem deutschen Durchschnitt, wenn man die personenbezogene Verbrauchskennwerte berechnet. Gleichzeitig erreichen im Bestandsgebäude alle Wohnungen die drei besten Effizienzklassen A bis C des Stromspiegels Deutschland. Im Neubau lagen in einzelnen Wohnungen auch höhere Verbräuche vor.

Verbräuche im Gesamtprojekt

Der Gesamtverbrauch an Fernwärme lag mit 48,1 bzw. 45,3 kWh/(m²a) für Heizung, Warmwasserbereitung sowie Speicher- und Verteilverluste extrem niedrig. Die Verbrauchskennwerte Wärme lagen beim Bestandsgebäude zwischen 47,2 und 52,4 kWh/(m²a), beim Neubau zwischen 38,3 und 33,4 kWh/(m²a) (Bild 7). Hinzu kommen 2,8 kWh/(m²a) Verteilverluste zwischen Fernwärmeanschluss und Heizraum des Neubaus.

Der Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung erreichte beim Bestandsgebäude ca. 18 kWh/(m²a), beim Neubau 12,1 bzw. 10,6 kWh/(m²a). Das Bestandsgebäude lag über dem Planungswert für den Warmwasserenergiebedarf von 11 kWh/(m²a) – allerdings wohnen dort mehr Menschen als im Durchschnitt. Der Neubau erreichte den Planungswert trotz hoher Personenanzahl.

Bild 7: Verbrauchskennwerte der beiden Gebäude im Messzeitraum sowie Heizgradtage des jeweiligen Jahres



Die Grauwasseranlage erreichte nach der Nachrüstung eines zusätzlichen Filters Deckungsgrade zwischen 60 und 70 % am gesamten Wasserverbrauch für die Toilettenspülung. Dieser lag jedoch zwischen 8 bis 25 % über dem mittleren deutschen Trinkwasserverbrauch für diese Anwendung. Im Betrieb zeigte sich, dass die Anlage nach ca. einem Jahr gewartet werden musste, um den ursprünglichen Deckungsgrad wieder annähernd zu erreichen.

Der Allgemeinstromverbrauch lag bei ca. 1,9 kWh/(m²a) im Bestandsgebäude und bei 1,1 kWh/(m²a) im Neubau. Für Hilfsstrom wurden jeweils ca. 6 kWh/(m²a) verbraucht. Die Lüftungsanlagen sind darin mit ca. 2,7 kWh/(m²a) im Bestandsgebäude bzw. 4,3 kWh/(m²a) im Neubau enthalten. Die Grauwasseranlage, die im Bestandsgebäude angeordnet ist und beide Gebäudeteile versorgt, wies einen Stromverbrauch von 1,6 kWh/(m²a) auf, der Aufzug im Neubau 1,2 kWh/(m²a).

Stromerzeugung und Speicherung

Die Ost-/West-orientierten PV-Anlagen auf den Dächern erzeugten zwischen 23 (2021) und 24 kWh/(m²a) (2020) elektrische Energie. Dies liegt etwa in der Größenordnung des Haushaltsstromverbrauchs der Wohnungen. Von der PV-Erzeugung wurden ca. 9 kWh/(m²a) ins öffentliche Netz eingespeist und ca. 11 kWh/(m²a) direkt im Gebäude verbraucht. Für die Ladung der Batteriespeicher wurden zusätzlich ca. 3 kWh/(m²a) PV-Strom verwendet, der Wirkungsgrad der Speicher lag im Mittel bei 71 % im Bestandsgebäude und 75 % im Neubau.

Zwischen 58 und 63 % der PV-Stromerzeugung wurden im Gebäude selbst verbraucht, davon entfielen 45 bis 49 % auf Direktverbrauch und der Rest auf die Nutzung in den Batteriespeichern. Insgesamt wurde ein Deckungsgrad des Gesamtstromverbrauchs im Gebäude zwischen 41 und 44 % erreicht.

Der Netzbezug der Gebäude lag bei 16,8 kWh/(m²a) im Jahr 2020 und bei 18,6 kWh/(m²a) im Jahr 2021.

Nebenkosten

Die Auswertung der Betriebskosten ergab, dass diese im Jahr 2020 bei 2,02 und 2021 bei 2,36 €/m²Monat lagen und damit für 2020 in der Höhe der Planwerte. Allerdings waren verbrauchsabhängige und verbrauchs-unabhängige Kosten anders verteilt und es war auch keine Reserve für unvorhergesehene Ausgaben vorhanden, so dass die Betriebskostenpauschale 2021 von 2,10 €/m²Monat auf 2,50 €/m²Monat erhöht werden musste. Nach dem Betriebskostenspiegel 2019 lagen die mittleren Betriebskosten in Hessen bei 3,19 €/m²Monat – die Kosten im PassivhausSozialPlus lagen somit um 22 % unter diesen mittleren Betriebskosten. Im sozialen Wohnungsbau in Darmstadt lagen 2020 die mittleren Betriebskosten bei 3,54 €/m²Monat, somit liegen die Betriebskosten des PassivhausSozialPlus um 40 % unter diesem Vergleichswert.

Bei den Wohnkosten der Mieter muss zusätzlich das Budget für Haushaltsstrom berücksichtigt werden, das 2020 bei 0,52 €/m²Monat und 2021 bei 0,68 €/m²Monat im Jahr lag. Die hohen energetischen Standards und die Nutzung von PV-Strom haben bei dem deutlichen Energiepreisanstieg 2021 und vor allem im Jahr 2022 den Kostenanstieg für die Bewohner deutlich begrenzt, so dass die umgesetzten Konzepte auch die Robustheit gegenüber Preisanstiegen verbessern.

Baukosten

Die Baukosten für die Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276 lagen mit 1.468,63 €/m² Wfl.) im Bestandsgebäude und 1.744,94 €/m² Wfl.) im Neubau vergleichsweise niedrig. Für das Bestandsgebäude liegen kaum geeignete Vergleichswerte vor, für den Neubau ergab eine Auswertung, dass das PassivhausSozialPlus im untersten Bereich der Kosten von entsprechend dem Standard KfW-Effizienzhaus 40 errichteten Neubauten liegt (PV-Anlage und Batteriespeicher herausgerechnet) und auch noch innerhalb der Kostenspanne von Neubauten nach EnEV 2016. Somit konnte das Projekt trotz seines hohen Standards (Passivhaus, Grauwasseranlage, ...) sehr kostengünstig umgesetzt werden.

Erfahrungen

Die Erfahrungen aus der Umsetzung des Projekts wurden auf Basis der Betriebsoptimierung und eines Workshops mit den beteiligten Planern und einigen Lieferanten zusammengetragen. In der Inbetriebnahmephase mussten Störungen und Fehlfunktionen behoben werden, weiterhin gab es Probleme, die durch Software-Updates bei den Lüftungsanlagen, den Batteriespeichern oder der Grauwasseranlage behoben werden konnten. Auch die Heizungsregelung wurde durch die Betriebsoptimierung verbessert, wodurch Kosten für den Vermieter und damit auch die Mieter eingespart werden.

Generell ist eine sorgfältige Inbetriebnahme der Anlagentechnik für den ordnungsgemäßen und energieeffizienten Betrieb sehr wichtig. Das zeigte sich auch in einem Workshop, der mit den Planern der Gebäude durchgeführt wurde. Darüber hinaus kommt dem Gewerk Elektro mit der Vernetzung der verschiedenen anlagentechnischen Komponenten eine zentrale Rolle im heutigen Bauprozess zu. Zusätzlich ist eine Schnittstellenkoordination zwischen den Gewerken für den reibungsarmen und kostensparenden Bauprozess von großer Bedeutung.

Fazit

Insgesamt zeigen die Projektergebnisse, dass mit dem PassivhausSozialPlus bei vergleichsweise niedrigen Baukosten Gebäude mit einem hohen Komfort und gleichzeitig niedrigen Verbräuchen bei Heizwärme, Trinkwasser und Haushaltsstrom erreicht wurden. Die Nebenkosten liegen ca. 40 % unter denen vergleichbarer Wohnungen im sozialen Wohnungsbau in Darmstadt. Das Konzept der Pauschalierung in Verbindung mit einer Budgetierung von Verbrauchskosten bietet Mietern die Chance niedrige Betriebskosten zu erreichen und kann Vermieter vom Aufwand der Betriebskostenabrechnung entlasten und gleichzeitig Anreize für Investitionen in hohe energetische Standards sowie Konzepte für niedrige Nebenkosten schaffen.

Ergebnisse für die Integration der beiden PHSP-Gebäude im MOBASY-Verbrauchscontrolling mit Abschätzung der Unsicherheit der Bilanzierung

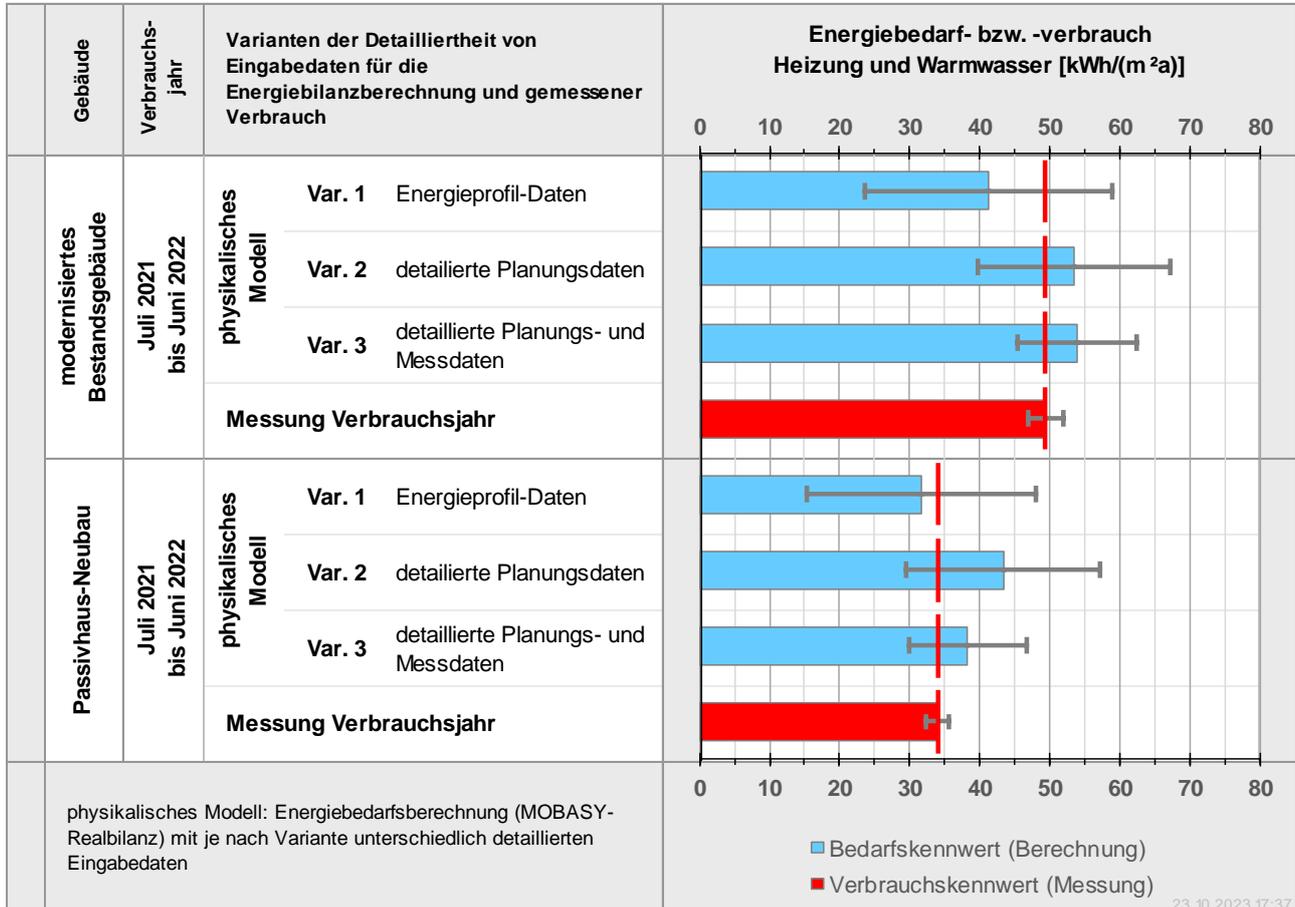
Als weiterer Schritt wurde parallel zu den oben dargestellten Auswertungen der PHSP-Messdaten eine Übertragung der Planungsdaten und der gemessenen Verbrauchswerte in das Schema des MOBASY-Verbrauchscontrollings vorgenommen (detaillierte Darstellung im entsprechenden MOBASY-Teilbericht [Loga et al. 2023]). Die qualitätsgesicherten technischen Daten wurden aus dem Passivhaus-Projektierungspaket in die Realbilanzierung übertragen und entsprechend dem MOBASY-Schema jeweils standardisiert Unsicherheiten zugeordnet. Ferner wurden Nutzungs- und Klimabedingungen möglichst realistisch angesetzt und auch hier die typische Variationsbreite und damit die Unsicherheit geschätzt.

Die Analysen wurden je Gebäude für drei unterschiedliche Niveaus der Verfügbarkeit von Daten vorgenommen, die unterschiedliche praktische Situationen widerspiegeln:

- Var. 1: „Energieprofil-Daten“: grobe Informationen zu den baulichen und anlagentechnischen Eigenschaften, ermittelt per Befragung des Gebäudeeigentümers und ergänzender Begehung;
- Var. 2: „detaillierte Planungsdaten“: detaillierte und qualitätsgesicherte Planungsdaten;
- Var. 3: „detaillierte Planungs- und Messdaten“: wie Var. (2), zusätzlich Messdaten zu Nutzung, Anlagenbetrieb und Klima aus dem wissenschaftlichen Begleitprogramm des Forschungsprojekts.

Ergebnis ist, dass durch qualitätsgesicherte Planungsdaten die Unsicherheit der Verbrauchsprognose gegenüber der auf Energieprofil-Indikatoren basierenden Bilanzierung von ca. ± 17 auf ± 14 kWh/(m²a) reduziert werden kann, also um ca. 20% (siehe Bild 8).

Bild 8: Ergebnisse der Untersuchung für das Verbrauchsjahr 2021/2022 – Prognose in drei Varianten des Detaillierungsgrads von Eingangsdaten und Vergleich mit dem gemessenen Energieverbrauch (Auszug aus [Loga et al. 2023])



Diese überraschend geringe Verbesserung der Genauigkeit lässt sich darauf zurückführen, dass für Gebäude dieser energetischen Qualität das bei der Planung noch unbekanntere Nutzerverhalten die Unsicherheit der Verbrauchsschätzung dominiert, was die in [Loga et al. 2022b] aus einer Parameterstudie an einem fiktiven Gebäude abgeleiteten Aussagen bestätigt.

Die zusätzliche Einbeziehung von Messdaten zu Nutzung und Betrieb reduzierte die Unsicherheit auf $\pm 9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, führte also zu einer Halbierung des Prognose-Intervalls gegenüber der Energieprofil-Variante. Die verbleibende Unsicherheit wird zu 70 % durch die Lüftungswärmeverluste dominiert. Weder Luftströme noch Temperaturdifferenzen noch Luftdruckdifferenzen können für alle Fenster eines Mehrfamilienhauses über eine Heizperiode genau gemessen werden. Einflüsse wie offene oder geschlossene Zimmertüren, Minderungen durch geschlossene Vorhänge oder Rollläden vor Fenstern sind schwer erfassbar und modellierbar. Der Vergleichswert des gemessenen Verbrauchs lag für beide Gebäude für jede der drei Stufen der Datendetaillierung innerhalb des Erwartungsbereichs.

Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Untersuchungen zum Bewohnerverhalten (Teilprojekt A)

Die Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Untersuchungen des Teilprojekts A sowie der eingesetzte Kurzfragebogen sind im MOBASY-Teilbericht „Nutzerverhalten in energetisch modernisierten Gebäuden. Ergebnisse einer schriftlichen Mieterbefragung“ [Weber et al. 2022] ausführlich dokumentiert. Wesentliche Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst.

Verknüpfung der Befragungsdaten mit Gebäudeinformationen

Für die Analyse des Nutzerverhaltens in energetisch modernisierten Gebäuden wurden die Gebäudeinformationen mit den Befragungsdaten verknüpft. Die gebäudespezifischen Daten umfassen neben dem Baujahr des Gebäudes die Anzahl der beheizten Geschosse und Wohneinheiten. Darüber hinaus sind Informationen zu der Energiebezugsfläche, Fläche der thermischen Hülle sowie Dachflächen, Bodenfläche gegen Erdreich und Fensterflächen in Quadratmetern verfügbar. Den entsprechenden Bauteilen sind U-Werte (in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$) zugeordnet. Mit diesen Werten kann pro Gebäude ein Transmissionswärmeverlust pro m^2 Energiebezugsfläche in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ berechnet werden, welcher in der Stichprobe zwischen 0,3 und 1,3 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ liegt. Für die Auswertung wurden die Gebäude nach dem Transmissionswärmeverlust klassifiziert. Ein Transmissionswärmeverlust $\leq 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ entspricht dem Passivhausstandard, Transmissionswärmeverlust zwischen 0,4 und $\leq 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ wurden als verbesserter Modernisierungsstandard, Transmissionswärmeverlust größer 0,6 als normalen Modernisierungsstandard klassifiziert. Zudem wurden technische Ausstattungen wie das Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung oder eine Abluftanlage berücksichtigt.

Heizverhalten

Das Heizverhalten wurde im Rahmen der Befragung erfasst, indem die Thermostatstufe für die einzelnen Zimmer einer Wohnung (sofern vorhanden) tagsüber bei Anwesenheit, tagsüber bei Abwesenheit sowie nachts erhoben wurde. Die höchste Thermostateinstellungen werden tagsüber bei Anwesenheit im Wohnzimmer vorgefunden. Schlafzimmer und Küche werden sowohl tagsüber als auch nachts gar nicht oder nur auf kleiner Stufe beheizt. Insgesamt fiel in der Befragung auf, dass die Haushalte in den energetisch sanierten Gebäuden und insbesondere in den Neubauten sehr sparsam heizen. Der Mittelwert der Thermostateinstellung in der Wohnung tagsüber bei Anwesenheit liegt bei 1,5. Das Maximum auf Wohnungsebene liegt im Mittel bei 2,6. Die höchste, im Tagesverlauf vorkommende Raumsolltemperatur (Thermostateinstellung) wirkt prägend auf die mittlere Raumtemperatur.

Je höher der energetische Standard, desto höher der Anteil an Haushalten, die tagsüber die Heizung in der gesamten Wohnung auf 0 stehen haben (21 % in Gebäuden mit Passivhausstandard (PH) im Vergleich zu 7 % in Gebäuden mit einem normalen Modernisierungsstandard (Mod) in der Stichprobe). Die auffällig niedrigen mittleren Thermostateinstellungen sind demnach darauf zurückzuführen, dass ein Teil der Haushalte die

Heizung kaum oder zumindest in einem größeren Teil der Räume kaum benutzt. Dabei ist die Mehrheit der Befragten mit der Temperatur in den Wohnungen zufrieden, im Wohnzimmer liegt der Anteil der Haushalte, die die Temperatur für „genau richtig“ halten, bei 89 %.

Darüber hinaus unterscheidet sich die höchste je Wohnung gewählte Thermostatstufe tagsüber in Abhängigkeit des energetischen Standards. Diese liegt bei Gebäuden mit Passivhausstandard bei ca. 2,3; bei Gebäuden mit einem verbesserten Modernisierungsstandard 2,6 und bei Gebäuden mit einem normalen Modernisierungsstandard bei rund 2,8. Darüber hinaus lässt sich für Wohnungen in Gebäuden mit Passivhausstandard erkennen, dass der Teilbeheizungsgrad (Anteil der Räume pro Wohnung, die aktiv nicht beheizt sind) tagsüber im Mittel mit 56 % höher ausfällt als der Teilbeheizungsgrad für Wohnungen in Gebäuden mit einem verbesserten (40 %) bzw. normalen Modernisierungsstandard (43 %).

In einem linearen Regressionsmodell erweist sich die Existenz einer Person über 65 Jahre im Haushalt als signifikanter Einflussfaktor auf die höchste Thermostatstufe einer Wohnung am Tag. Weitere nutzerspezifische Faktoren, wie z. B. die Anwesenheit eines Kindes, das bedarfsgewichtete Haushaltseinkommen oder auch der Bezug von Sozialleistungen zeigen keinen signifikanten Einfluss auf das Heizverhalten. Dafür zeigt sich ein Einfluss des energetischen Standards auf das Heizverhalten: im Durchschnitt stellen Haushalte in Gebäuden mit Passivhausstandard ihre Thermostate tagsüber etwa eine halbe Stufe niedriger ein. Ein direkter Rebound-Effekt beim Heizverhalten ist hier demnach nicht zu erkennen.

Lüftungsverhalten

Das Lüftungsverhalten wurde für die Heizsaison und die einzelnen Zimmer der Wohnung abgefragt. Differenziert wurde dabei zwischen Fenster „ganz geöffnet“ (< 15 min, 15 min und mehr) und „gekippt“ (< 1 Stunde, 1 bis 6 Stunden, mehr als 6 Stunden). Für die Analysen wurde die Ausstattung der Wohnung berücksichtigt (Lüftungsanlage, Abluftanlage, keine Lüftungstechnik).

Die Auswertung zeigt, dass sich die Ausstattung der Wohnung nur marginal darauf auswirkt, wie häufig bzw. wie lange die Fenster ganz geöffnet werden. Die Fenster werden tagsüber pro Raum durchschnittlich 12-15 Minuten ganz geöffnet. Deutlicher ist der Unterschied bei der Kipplüftung: tagsüber werden die Fenster in Wohnungen ohne Lüftungsanlage pro Raum im Durchschnitt über einen Zeitraum von 1,5 Stunden gekippt. In Wohnungen, die mit einer Abluftanlage ausgestattet sind, beträgt die durchschnittliche Öffnungsdauer ca. 1 Stunde. In Wohnungen, die mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) ausgestattet sind, werden die Fenster deutlich kürzer, nämlich im Mittel pro Raum über einen Zeitraum von etwa einer halben Stunde, gekippt.

Nachts zeigen sich kaum Unterschiede zwischen der Ausstattung in Bezug darauf, wie lange das Fenster ganz geöffnet wird. Insgesamt werden die Fenster nachts pro Raum weniger als 5 Minuten, ganz geöffnet. Bei der Kipplüftung zeigen sich größere Unterschiede: in Wohnungen ohne Lüftungs- oder Abluftanlage sind die Fenster im Mittel pro Raum 0,8 Stunden gekippt. In Wohnungen mit Abluftanlage liegt die durchschnittliche Kipplüftungsdauer bei 0,6 Stunden, in Wohnungen mit einer WRG-Lüftungsanlage bei 0,3 Stunden.

Es ist denkbar, dass manche Haushalte nie kipplüften, dafür aber ihr Fenster für lange Zeiten ganz geöffnet haben. Um dies zu untersuchen, wurde die Dauer der Lüftungsarten zusammengeführt. Für die Aggregation der Lüftungsdauern wurde ein Verhältnis von 8:1 aus der Literatur für die Umrechnung angenommen. Demnach entspricht ein 15 Minuten lang ganz geöffnetes Fenster 2 Stunden Kipplüften. Auf dieser Grundlage wurde eine raumgewichtete, äquivalente Kipplüftungsdauer für jeden Haushalt berechnet. Auch die raumgewichtete äquivalente Kipplüftungsdauer unterscheidet sich nach Vorhandensein einer Abluft- bzw. WRG-Lüftungsanlage: Bewohner in Gebäuden, die mit einer WRG-Lüftungsanlage ausgestattet sind, lüften insgesamt weniger. Der Unterschied zwischen Haushalten in Wohnungen ohne Lüftungsanlage und Haushalten in Wohnungen mit einer Lüftungsanlage ist statistisch signifikant. Dennoch zeigt sich in einem multivariaten Regressionsmodell, dass die meisten Haushalte trotz einer Lüftungsanlage noch zusätzlich lüften. Je mehr Wohnungen in einem Gebäude sind, desto länger wird insgesamt tagsüber gelüftet. In Bezug auf nutzerspezifische Faktoren beeinflusst insbesondere die Wohndichte das Lüftungsverhalten: je höher die Wohndichte, desto stärker wird gelüftet. Ebenso zeigt sich, dass Haushalte mit einem höheren Bildungsniveau im Mittel weniger lüften.

Fazit

Insgesamt wurden im Rahmen der Befragung einzelne verbrauchsrelevante Muster identifiziert, die sich auch in anderen Studien wiederfinden, sodass diese Ergebnisse gestützt werden können. Jedoch wurde auch deutlich, dass die Varianz im Nutzerverhalten mit den erhobenen Befragungsdaten und den verfügbaren Gebäudedaten nicht umfassend erklärt werden kann.

Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Untersuchungen zur Budgetierung und zum Bewohnerverhalten im PassivhausSozialPlus (Teilprojekt B)

Die Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung sind im separaten Bericht zur Mieterbefragung „PassivhausSozialPlus - Pauschalmiete, Nebenkostenbudgets und Wohnverhalten. Ergebnisse einer Mieterbefragung“ [Hacke, Großklos t.b.p.] dokumentiert. Wesentliche Ergebnisse zur Akzeptanz der Pauschalmiete sind im Folgenden zusammengefasst.

Budgetierungen für Trinkwasser und Haushaltsstrom

Die Mieterinnen und Mieter im PassivhausSozialPlus zahlen eine Pauschalmiete für die meisten Nebenkosten inklusive Heizung und Warmwasserbereitung sowie Internet. In der Pauschalmiete sind zudem individuelle, nach Haushaltsgröße gestaffelte Budgetierungen für Trinkwasser und Haushaltsstrom enthalten.

Trinkwasserbudgets

Bei den Überlegungen zur Budgetstaffelung war zum einen davon ausgegangen worden, dass es einen bestimmten Grundbedarf in jeder Wohnung unabhängig von der Personenzahl gibt. Zum anderen wurde angenommen, dass sich der Wasserverbrauch von Erwachsenen und Kindern unterscheidet. Danach stehen für die erste Person im Haushalt 25 m³/a, für die zweite bis vierte Person 17 m³/a und für jede weitere Person 15 m³/a zur Verfügung. Eine zentrale Forschungsfrage war folglich, ob die entsprechend der Haushaltsgröße festgelegten und an sparsamen Haushalten orientierten Budgets auskömmlich sind bzw. welche Ursachen möglichen Überschreitungen des Budgets zugrunde liegen.

Die Höhe der Trinkwasserbudgets war für gut die Hälfte der befragten Haushalte ausreichend (2020: n = 16, 52 %; 2021: n = 17, 55 %). Der andere Teil musste Zukäufe über das vereinbarte Budget hinaus vornehmen (2020: n = 15, 48 %; 2021: n = 14, 45 %). Für die meisten Haushalte stellte sich dies in beiden betrachteten Jahren (2020 und 2021) stabil dar. Bei etwa einem Viertel der Haushalte lagen die Abweichungen bei +/- 10 % und darunter, in einzelnen Fällen (n = 2 bis 5) bei +/- 50 % und darüber.

In der Gesamtbetrachtung aller einbezogenen Haushalte der Befragung passten Budgets und Verbrauch recht gut zusammen (Budgetunterschreitung von 3 % in 2020 bzw. gut 5 % in 2021; zum Vergleich: bezogen auf alle Wohnungen im PassivhausSozialPlus waren es Überschreitungen von 3 % bzw. 8 %).

Angesichts der großen Streuung stellte sich die Frage, ob systematische Unterschiede im Verbrauchsverhalten dafür ursächlich waren. Die abgefragten und zumeist in Pro-Kopf-Angaben überführten Aspekte mit Bezug zum Wasserverbrauch (z.B. Alter und Fassungsvermögen der Waschmaschine, Häufigkeit der Waschmaschinen- und Spülmaschinennutzungen, Duschhäufigkeit und -dauer der einzelnen Haushaltsmitglieder bezogen auf eine „normale“ Woche) ergaben keine auffälligen Verhaltensunterschiede zwischen den Gruppen mit und ohne Wasserzukauf. Beim Vergleich von Haushalten mit Kindern und ohne Kinder zeigte sich jedoch, dass es etwa zwei Dritteln der Haushalte mit Kindern (63 % in 2020; 68 % in 2021) nicht gelang, im vereinbarten Budget für Trinkwasser zu bleiben. Der durchschnittliche Pro-Kopf-Verbrauch von Haushalten mit Kindern lag im Jahr 2021 um 46 % höher als der von Haushalten ohne Kinder (22,5 vs. 15,5 m³/a und Person). Feststellbar war weiterhin, dass Haushalte mit Übernahme der Kosten der Unterkunft (KdU) deren Wasserverbrauch in den Kosten der Unterkunft enthalten ist, also vom Jobcenter bezahlt wird, im Mittel ihr Budget knapp überschritten (ca. 3,5 - 7 %), während die übrigen Haushalte im Mittel etwa 15 - 16 % unter der Budgetgrenze blieben. Da sich die Gruppe der KdU-Empfänger zu etwa zwei Dritteln (65 %) aus Familien mit Kindern und zu einem Drittel aus Haushalten ohne Kinder zusammensetzt, aber auch angesichts der

insgesamt kleinen Fallzahl, lassen sich beide Effekte nicht sauber voneinander trennen. Für den „Familien-Effekt“ spricht, dass von den sechs Transferleistungsempfängerhaushalten ohne Kinder nur ein Haushalt (17 %) in 2021 Wasserbudget zukaufen musste, von den 11 Familien im KdU-Bezug jedoch acht (73 %). Dass ein Transferleistungsbezug dennoch nicht ohne Einfluss zu sein scheint, zeigt sich darin, dass der Pro-Kopf-Wasserverbrauch von KdU-Haushalten mit Kindern, die ihr Wasserbudget in 2021 überschritten hatten, um 19 % höher lag als der von Familien mit Kindern ohne Transferleistungsbezug, die ebenfalls Budget zukaufen mussten.

Haushaltsstrombudgets

Die auf die jeweilige Anzahl der Personen im Haushalt bezogenen Strombudgets lagen ursprünglich bei 850 kWh/a für die erste, 350 kWh/a für die zweite und 300 kWh/a für jede weitere Person. Ab dem Jahr 2022 waren die Strombudgets erhöht worden – auf dann 1000 kWh/a für die erste Person und 500 kWh/a für jede weitere Person im Haushalt. Diese Anpassung hat dazu geführt, dass die Budgets danach für deutlich mehr Haushalte auskömmlich waren: Während in 2021 noch gut drei Viertel der betrachteten Miethaushalte (n = 24 von 31; 77 %) Strombudget zukaufen mussten, war es in 2022 nur noch ein gutes Viertel (n = 8 von 31; 26 %). Ein knappes Viertel der Befragten (23 %) blieb in beiden Jahren mit dem Haushaltsstromverbrauch innerhalb des vereinbarten Budgets. In 2021 wurde das Gesamtbudget – bezogen auf alle betrachteten Haushalte in der Befragung – noch um 16 % überschritten, in 2022 dagegen mit 11 % unterschritten.

Im Mittel lag der Stromverbrauch der Haushalte, die Strombudget zukaufen mussten, in 2022 um etwa 50 % über dem von Haushalten ohne Zukauf (868 vs. 579 kWh/a und Person). Als Ursachen für die Mehrverbräuche ließen sich Unterschiede in der Ausstattung und Nutzung großer Elektrogeräte feststellen. So sind in den Haushalten mit Zukauf häufiger zusätzliche Gefriergeräte oder ein zweiter Kühlschrank im Keller vorhanden. Außerdem wird in diesen Haushalten vergleichsweise häufiger gekocht.

Akzeptanz der Pauschalmiete

Die überwiegend meisten der 33 Befragten finden die Pauschalmiete gut (70 %) bzw. gerecht (58 %). Allerdings war festzustellen, dass sich etliche Befragte zum Befragungszeitpunkt noch nicht mit diesen beiden Fragestellungen auseinandergesetzt hatten, was sich auch in den relativ hohen Anteilen an „weiß nicht“-Antworten (18 % bzw. 27 %) zeigt. Die übrigen Befragten begründeten – teilweise erst nach kurzer Reflexion im Interview – ihre überwiegend positiven Einschätzungen zum einen damit, darüber eine mittelfristige Kostensicherheit und Kontrolle über die Wohnkosten zu erlangen. Andere Befragte fanden es ganz einfach praktisch, sämtliche mit der Wohnung zusammenhängende Kosten in einer Summe gebündelt zu haben und bspw. nicht mehr zusätzlich separate Abschläge an einen Stromversorger o. ä. zu zahlen, wie dies noch in der vorherigen Wohnsituation üblich war. Die wenigen ablehnend oder indifferent eingestellten Befragten konnten ihr Unbehagen dagegen nicht begründen.

In Einzelfällen wurde darüber hinaus über (anfängliche) „bürokratische Hürden“ bspw. bei einem Wohngeldantrag berichtet, weil den bearbeitenden Behörden eine Pauschalmiete bis dato ebenfalls unbekannt war.

Beurteilung des Displays zur Verbrauchsrückmeldung

Die Vereinbarung der Budgets ist Teil der Einsparziele im PassivhausSozialPlus, indem monetäre Anreize geschaffen werden – nämlich innerhalb der vereinbarten (sparsamen) Verbrauchsgrenzen zu bleiben, um Zukaufe zu vermeiden. Der Erfolg einer solchen Strategie ist eng damit verbunden, dass die Betroffenen zeitnah und kontinuierlich über Verbrauchsentwicklungen informiert werden. Zu diesem Zweck findet sich in allen Wohnungen ein festinstalliertes Display (etwa in der Größe eines Tablets), welches u. a. die jeweils individuell vereinbarten Budgets, die aktuellen Verbräuche sowie die Verbrauchsprognose bis zum Jahresende aufzeigt.

Das Display hat im Alltag der meisten Befragten eine große Relevanz. Mehr als die Hälfte der Befragten (58 %) informiert sich täglich, zwei Drittel der Befragten beurteilen die Informationen des Displays als eher (15 %) bis sehr sinnvoll (52 %). Besonderes Augenmerk in der Wahrnehmung der Befragten finden das bereits verbrauchte Budget (94 %) und die Prognose zum Jahresende (42 %).

Von besonderem Interesse war in diesem Kontext auch die Frage, ob das Feedback zu Verhaltensänderungen motivieren kann. Im Hinblick auf die Stromnutzung gaben zwei Drittel der Befragten (67 %) an, sich durch die Informationen des Displays beeinflusst zu fühlen. Dies führt laut Befragten z. B. zu Einschränkungen in der Gerätenutzung und Diskussionen mit den Kindern, aber auch – unspezifischer – zu Versuchen, allgemein sparsamer zu sein. In Bezug auf den Wasserverbrauch fiel die Zustimmung etwas geringer aus (52 %) – etwa die Hälfte davon sieht keine Möglichkeit für weitere Einsparungen.

Fazit

In der Zusammenschau der Befunde zeigt sich eine hohe Akzeptanz der Pauschalmiete. Hinsichtlich der Budgetierung für Trinkwasser ist anzuregen, dass die Budgetstaffelung nach Haushaltsgröße bzw. die Unterscheidung zwischen Erwachsenen und Kindern überdacht werden sollte, da es vergleichsweise häufiger große Haushalte sind, die Wasserbudget zukaufen müssen. Hinsichtlich des Haushaltsstroms lässt sich ein solches Muster nicht feststellen. Solche Haushalte, die auch noch nach der Anhebung der Budgets in 2022 Überschreitungen des Budgets aufweisen, nutzen zusätzlich oder häufiger große Elektrogeräte (z.B. Gefrierschränke, Backofen/Herd). Die Rückmeldungen zum Budget via Display treffen auf große Zustimmung und beeinflussen größere Teile der Befragten in ihren Verhaltensweisen.

In der zugehörigen Projektpublikation finden sich zudem Befragungsergebnisse zur Wohnzufriedenheit und zum Nutzerverhalten (Heizen und Lüften im Winter) sowie weitere Einschätzungen zu Spezifika im PassivhausSozialPlus (z. B. Grauwassernutzung).

2.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Hierfür wird auf die Zwischennachweise und den Verwendungsnachweis verwiesen.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

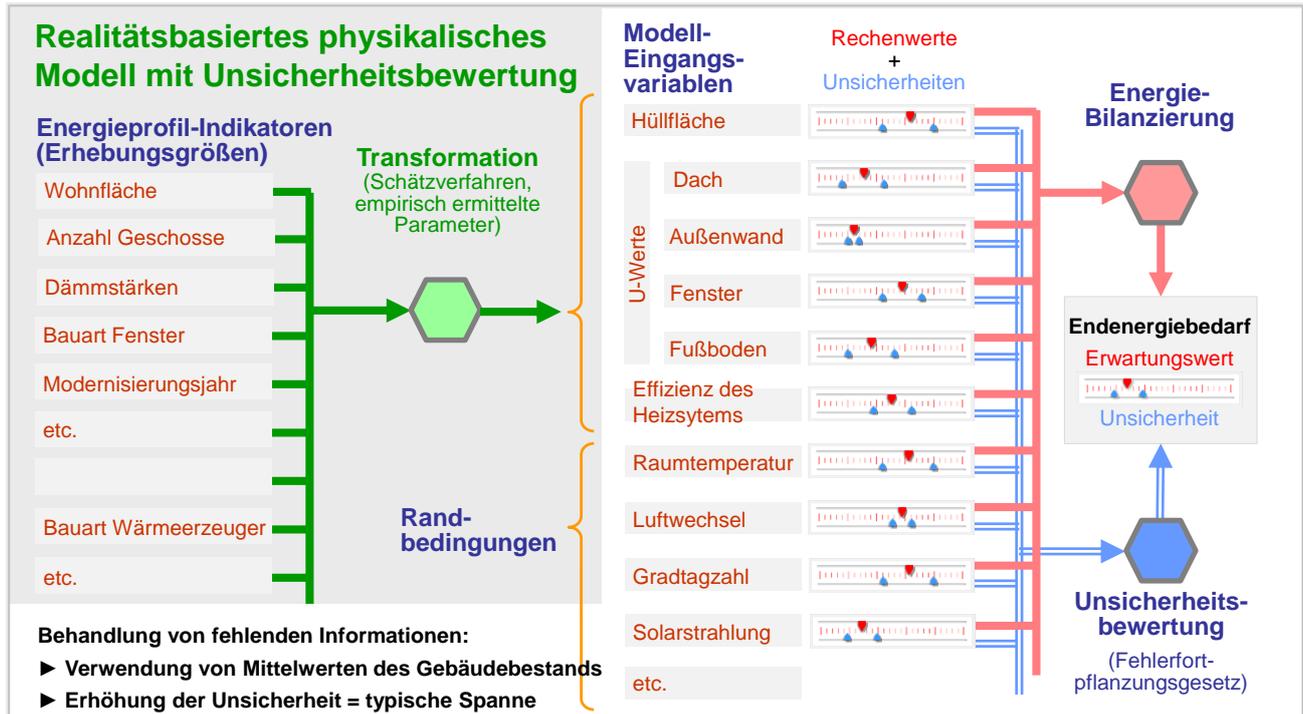
Arbeiten Teilprojekt A – „Realbilanzierung“

Um die oben zusammengefassten und in den Teilberichten [Loga et al. 2020] [Loga et al. 2021] [Loga et al. 2022] und [Loga et al. 2023] differenziert dargestellten Projektergebnisse zur MOBASY-Realbilanzierung zu erzielen, waren eine Reihe von Arbeiten notwendig, die sowohl die Entwicklung von Methoden, die Umsetzung und Anwendung in Werkzeugen, das Erheben und Auswerten von Daten und die Verbreitung auf verschiedenen Ebenen umfasste. Dies sind im Einzelnen:

- Methodik-Entwicklung: Konzept und Algorithmen für die Einstufung der Unsicherheit bei gegebener Datenquelle und abhängig von der Vollständigkeit der Daten;
- Standardwerte und Parameter für die Energiebilanz: Erarbeitung realistischer Pauschalwerte und Spannen (U-Werte, Nutzungs- und Klimadaten, ...);
- Umsetzung der Methodik-Bausteine in einem geschlossenen Verfahren, der MOBASY-Realbilanzierung (Bild 9);
- Gebäudestichprobe: in Kooperation mit den drei Wohnungsunternehmen Auswahl der Gebäude für die Stichprobe, Zusammentragen von Daten zum Zustand (aus dem Bestandsmanagement bzw. der Modernisierungsplanung) und zum Verbrauch (aus der Nebenkosten- bzw. Energiekostenabrechnung);
- Soll/Ist-Vergleich im Verbrauchscontrolling für die Gebäudestichprobe: Identifikation von Gebäuden mit auffälligen Verbrauchswerten; Überprüfung weiterer Unterlagen; Vor-Ort-Überprüfung in 12 Gebäuden;

- Verbrauchsbenchmarks für die Gebäudestichprobe: statistische Auswertung verschiedener Ein- und Ausgabedaten der Stichprobe sowie des Verbrauchs (differenziert nach der Wärmegüte);
- Soll/Ist-Vergleich für die beiden PassivhausSozialPlus-Gebäude: Parameter-Studie mit schrittweiser Verbesserung der Datenlage, von der einfachsten Ebene (wie bei der Stichprobe) zu den qualitätsgesicherten Planungsdaten (entsprechend Passivhaus-Projektierungspaket); zusätzlich Einbeziehung von Messdaten zu Nutzung, Betrieb und Außentemperaturen;
- Dokumentation in Projektberichten, Verbreitung in Fachartikeln, Vorträge auf Fachtagungen und auf anderen Veranstaltungen (siehe Aufstellung in Abschnitt 2.6).

Bild 9: Schema der MOBASY-Realbilanzierung



Parallel zu den methodischen Arbeiten wurden eine Reihe Hilfsmittel bzw. Tools entwickelt, die im Rahmen des Projekts eingesetzt und anschließend auch öffentlich auf der Projekt-Website bereitgestellt wurden. Die Arbeiten an den Hilfsmitteln können wie folgt zusammengefasst werden (Auflistung bei den Projekt-Veröffentlichungen in Abschnitt 2.6.1):

- Umsetzung der MOBASY-Realbilanzierung im Excel-Berechnungstool „EnergyProfile.xlsm“ zur operativen Verwendung im Projekt (oben genannte Arbeitsschritte): Methodik / Rechengang in Excel-Formeln, Datentabellen für Standardwerte / Parameter; Monitoring-Tabelle für Gebäudedaten (Struktur- und Verbrauchsdaten); Erfassungsblätter (umschaltbar: Deutsch oder Englisch); Schema für Soll-/Ist-Vergleich (Einzelgebäude und Gesamtheit); Schema für Verbrauchsbenchmarks;
- Übertragung aller Algorithmen von „EnergyProfile.xlsm“ in die Programmiersprache R (R-Paket „Mobasy-Model“) für wissenschaftliche Analysen und für die Anwendung im WebTool; Anwendungstest; Vergleich mit Excel-Tool;
- Erarbeitung von Analyse-Funktionen als R-Skript für die Erstellung der Benchmark-Tabellen (Grundlage der Benchmark-Diagramme) und für komplexe Diagramme zur Darstellung des Verbrauch-Bedarf-Vergleichs (z. B. inklusive Darstellung der Unsicherheiten): „ProcessSampleData.R“ und „PlotCharts.R“;
- Erarbeitung zusätzlicher Arbeitshilfen / Tools: „UValEst-CalcPad.xlsx“ (Ermittlung Schätzwerte und Bandbreiten von U-Werten opaker Konstruktionen); „Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx“ (Überarbeitung und Inklusion des Schätzverfahrens auf der Basis der drei nächsten DWD-Wetterstationen); PDF-Versionen des Energieprofil-Fragebogens mit aktiven Formularfeldern zur Datenerfassung (Deutsch und Englisch).

- Umsetzung der Energieprofil-Erfassung und der Energiebilanz-Berechnung im MOBASY-WebTool (Bild 10) zur Verbreitung des Konzepts (Frontend + Backend); Implementierung der Energieprofil-Formulare in Deutsch und Englisch (umschaltbar), Integration des R-Rechenkerns, Online-Zugriff auf Gebäudedaten-Tabelle, Ausgabe von Diagrammen; Anzeige der Werte der Ein- und Ausgabe-Variablen.

Bild 10: Screenshot vom MOBASY-WebTool¹⁰

The screenshot displays the MOBASY-WebTool interface. On the left, there are input fields for 'Energieprofil' (Variant, heated floor area, number of dwellings, full floors) and 'Fragebogen Gebäude' (Year built, room height). Below these are sections for 'direkt angrenzende Nachbargebäude', 'Grundriss', 'Dach', and 'Keller'. At the bottom left, there are options for 'Thermische Hülle' and 'bei ungedämmten Außenwänden'. On the right, two bar charts show energy balance and annual energy demand. Below the charts are two tables:

Property	Heat losses - kWh/(m²a)	Color
Transmission thermal bridging	4.99	purple
Ventilation	32.39	blue
Transmission roof	0	red
Transmission ceiling	22.63	pink
Transmission walls	48.81	green
Transmission floor	10.67	light blue
Transmission windows	34.04	orange
Heat gains		
Passive solar gains	11.71	yellow
Internal heat	16.07	dark green

Energieware	Heating	DHW	Total	Color
Produced electricity	0	0	0	pink
Other	0	0	0	red
District heating	0	0	0	light blue
Biomass	0	0	0	green
Coal	0	0	0	black
Oil	0	0	0	yellow
Gas	200.9	35.48	236.38	yellow
Electricity	0.5	0.8	1.3	red

Arbeiten Teilprojekt B – „PassivhausSozialPlus“

Für die Bearbeitung der wissenschaftlichen Fragestellungen beim PassivhausSozialPlus mussten folgende Schritte bearbeitet werden:

- Entwicklung eines geeigneten Messkonzept, Implementierung im Planungsprozess, Umsetzung und Inbetriebnahme;
- Entwicklung und Klärung des Datenschutzkonzepts und Absprachen mit dem Hessischen Datenschutzauftragten;
- detaillierte Kontrolle der einlaufenden Messdaten auf Plausibilität und die korrekte Zuordnung zu den einzelnen Nutzungseinheiten.

¹⁰ Zugang zum WebTool über: <https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/energieprofil/>

- Abbildung der energetischen Konzepte beider Gebäude mit verschiedenen Bilanzierungsverfahren zum späteren Bedarfs-/Verbrauchsabgleich;
- Entwicklung eines Auswertekonzepts für die Verbrauchs- und Nutzungsdaten, das sowohl die Erstellung von Gesamtbilanzen erlaubt wie auch die Analyse von zeitlich hoch aufgelösten Entwicklungen in der Anlagentechnik ermöglicht. Damit wurden einerseits die jährlichen Bilanzen ausgewertet und auch mit der NWH als Überblick für die Kontrolle der Nebenkosten besprochen, wie auch die korrekte Funktion der unterschiedlichen Anlagenkomponenten überprüft sowie Optimierungsvorschläge für die Betriebsführung entwickelt;
- Entwicklung eines Auswerte-Tools für die NWH, um auch nach Ende des Forschungsprojekts einen schnellen Überblick über die wichtigsten Kenn- und Betriebsdaten des Gebäudes zu erhalten und somit die Betriebsführung zu vereinfachen;
- Um die Erfahrungen aus der Planungs- und Umsetzungsphase auch für andere Projekte zusammenzutragen, fand ein Workshop mit Fachplanern und einigen Firmen statt, bei dem offen Verbesserungspotenziale und Schnittstellen zwischen den Gewerken diskutiert wurden.
- Um die entwickelten und im PassivhausSozialPlus erprobten Konzepte insbesondere in der Wohnungswirtschaft und bei kommunalen Entscheidungsträgern bekannter zu machen, wurde ein Online-Workshop zu diesem Thema durchgeführt.
- Auswertung und Dokumentation der Baukosten sowie der Nebenkosten über zwei Jahre;
- Dokumentation in Projektberichten, Verbreitung in Fachartikeln, Vorträge auf Fachtagungen und auf anderen Veranstaltungen (siehe Aufstellung in Abschnitt 2.6).

Die umfangreichen Ergebnisse des Monitorings sowie der Auswertung der Workshops, der Investitions- und Betriebskosten sowie der Betriebsoptimierungen konnten nur durch die oben beschriebenen Arbeitsschritte erzielt werden.

Arbeiten bei den sozialwissenschaftlichen Untersuchungen in Teilprojekt A

Um die oben zusammengefassten und im MOBASY-Teilbericht „Nutzerverhalten in energetisch modernisierten Gebäuden“ [Weber et al. 2022] differenziert dargestellten Projektergebnisse zu erzielen, war in Teilprojekt A eine Reihe von Arbeitsschritten notwendig:

- Aufarbeitung des Forschungsstands zum Wärmenutzungsverhalten in Gebäuden;
- Fragebogenentwicklung und Pretest der Befragung;
- Klärung datenschutzrelevanter Aspekte im Rahmen der Befragung, Einbinden der Wohnungsunternehmen für die Adressübermittlung bzw. den Fragebogenversand sowie Unterstützung der Befragung mittels Begleitschreiben;
- Übersetzung der Befragung in Russisch, Englisch, Türkisch, Französisch;
- Online-Programmierung der Befragung bzw. Druck der Befragungsunterlagen, Organisation der Rücksendung mittels RESPONSEPLUS;
- Monitoring der Feldphase, Versand von Erinnerungsschreiben;
- Einlesen und Aufbereiten der Befragungsdaten, Matching der Gebäudecharakteristika mit den Befragungsdaten mittels Gebäude-ID, Plausibilitätskontrollen;
- Auswertung der Befragungsdaten in Anlehnung an die im Projekt formulierten Forschungsfragen, Dokumentation der Ergebnisse.

Arbeiten bei den sozialwissenschaftlichen Untersuchungen in Teilprojekt B

Um die im MOBASY-Teilbericht „PassivhausSozialPlus - Pauschalermiete, Nebenkostenbudgets und Wohnverhalten. Ergebnisse einer Mieterbefragung“ [Hacke / Großklos t.b.p.] dokumentierte Bewohnerbefragung im Teilprojekt B (PassivhausSozialPlus) durchzuführen, war eine Reihe von Arbeitsschritten notwendig:

- Fragebogenentwicklung in Deutsch und Englisch und Entwicklung der Befragungshilfen (unterstützende DIN A3-Ausdrucke im Interview in Deutsch, Englisch und Französisch);
- Pretest der Befragung mit drei Bewohnerinnen;
- Klärung des Zugangs zu den Bewohnerhaushalten und der Mieteransprache mit Unterstützung durch die Neue Wohnraumhilfe unter Wahrung der Datenschutzerfordernisse;
- Kontaktaufnahme und Terminierung der Interviews (zum Teil mehrmalig);
- Durchführung der Interviews durch im Regelfall zwei Interviewer im Gemeinschaftsraum vor Ort;
- Eingabe der Befragungsdaten inkl. Codierung der offenen Fragen in Statistiksoftware SPSS;
- Aufbereiten der Daten inkl. Zuspätschieben von Messdaten aus dem Monitoring sowie Abrechnungsdaten für Wasser und Strom und Plausibilitätskontrollen;
- Auswertung der Befragungsdaten entsprechend der Forschungsfragen und Dokumentation der Ergebnisse.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Resümee und Ausblick Teilprojekt A – „Realbilanzierung“

Es wurden verschiedene methodische Bausteine entwickelt und mit Unterstützung von drei Wohnungsunternehmen auf Teile ihrer Bestände angewendet. Aus den Analysen können wichtige Erkenntnisse zum Heizenergieverbrauch von Mehrfamilienhäusern gewonnen werden. Aus den Erfahrungen werden Empfehlungen zur Weiterentwicklung, Ausdehnung, Verbreitung und Vernetzung abgeleitet.

Statistische Auswertung: Wirkung der Dämmung auf den Verbrauch

Die Analyse der Daten von über 100 Geschosswohnbauten belegt eine starke Abhängigkeit des Energieverbrauchs vom Dämmstandard. Gebäude mit einem in üblicher Qualität verbesserten Wärmeschutz zeigen gegenüber unsanierten Gebäuden einen um etwa 50 % niedrigeren Heizenergieverbrauch. Bei Gebäuden mit ambitionierten Dämmstärken, 3-fach-Wärmeschutzverglasung und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung liegt der Heizenergieverbrauch sogar um etwa 75 % niedriger (Bild 11). Die Reduzierung der Wärmeströme durch die Gebäudehülle hat also einen erheblichen Einfluss auf den Verbrauch. Je ambitionierter der Wärmeschutz, desto stärker sinken die gemessenen Verbräuche. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass die Verbrauchsunterschiede recht gut mit theoretischen Erwartungen übereinstimmen. Insgesamt ist es gelungen, ein konsistentes Bild der Wirkung des baulichen Wärmeschutzes auf den Energieverbrauch bei den betrachteten Mehrfamilienhäusern aufzuzeigen. Die durch die Wohnungsunternehmen umgesetzten Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes entfalten die beabsichtigte Wirkung.

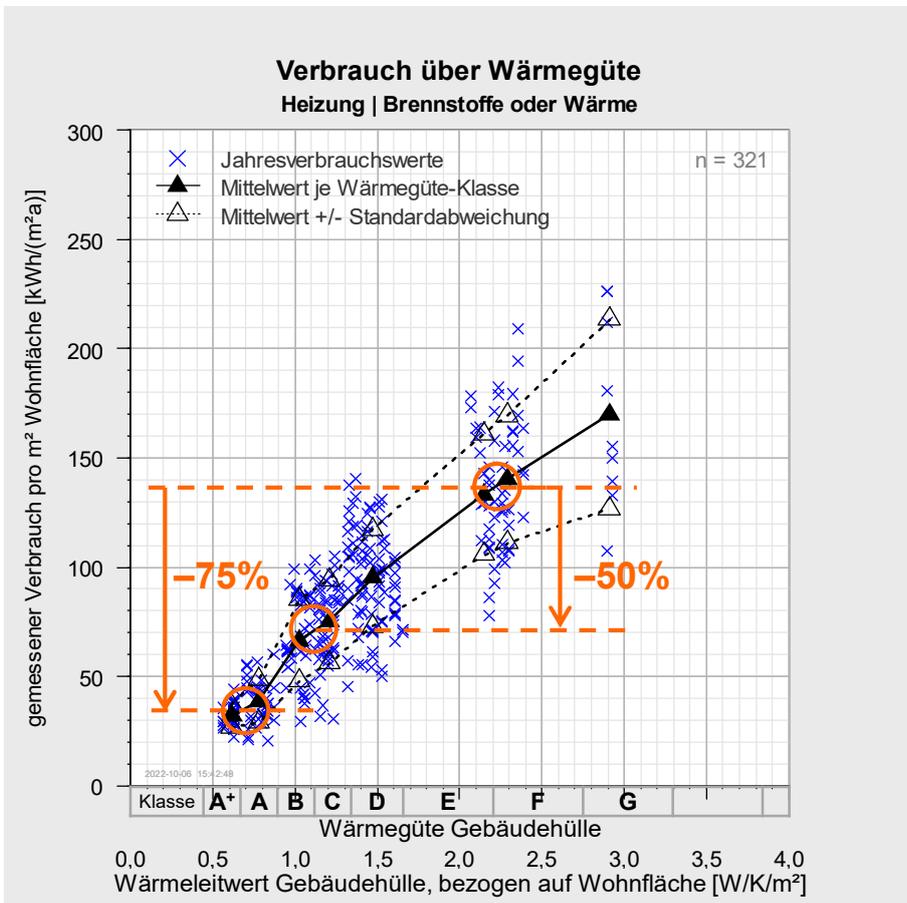


Bild 11

Bereinigter Heizenergieverbrauch (Endenergie) aufgetragen über der Wärmegüte

blaue Datenpunkte „x“: Einzelwerte des Endenergieverbrauchs Heizung und Auswertung je Klasse (Mittelwert und Streuung)

orange Markierungen: Verbrauchsunterschiede zwischen verschiedenen Niveaus der Wärmegüte (Gruppierung von Wärmegüte-Klassen):

E/F Altbau unsaniert

B/C Wärmedämmniveau „herkömmlich“

A+/A Wärmedämmniveau „ambitioniert“

Verbrauch Heizung, zusammengeführt aus Messwerten <H> „Heizung“ und <H+W> „Heizung + Warmwasser“, bereinigt auf lokales Durchschnittsklima und Endenergie; bei <H+W> Verbrauchswert abzüglich Rechenwert Warmwasser (Realbilanz); Brennstoffe (bezogen auf Brennwert) oder Wärme; Flächenbezug: Wohnfläche

Weiterentwicklung der Verbrauchsbenchmarks

Für unterschiedliche Niveaus des Wärmeschutzes der Gebäudehülle, ausgedrückt in „Wärmegüte-Klassen“, gibt es nun empirisch ermittelte Energieverbrauchskennwerte, die bei konventioneller Wärmeversorgung (Kessel, Fernwärme) als Vergleichswerte herangezogen werden können (siehe Projektergebnisse in Abschnitt 2.1 / Bild 3). Bei der Weiterentwicklung und -verbreitung der Methodik sollte zum einen eine größere Bandbreite von Wärmeversorgungstypen anvisiert werden – insbesondere wären in größerer Anzahl Systeme mit thermischen Solaranlagen sowie Elektro-Wärmepumpen mit und ohne PV-Anlagen zu berücksichtigen. Des Weiteren wäre eine Ausdehnung auf den Bereich der Einfamilienhäuser sinnvoll, weil auch hier nach Wärmedämmstandard differenzierte Vergleichswerte für den Energieverbrauch fehlen. Aus der Erfahrung in MOBASY scheint dabei die Umsetzung einer Qualitätssicherung mit der Möglichkeit zu Stichprobenkontrollen für die Zustands- und Verbrauchsdaten als Voraussetzung für aussagekräftige Statistiken unerlässlich.

Bei weiteren Bestrebungen zur Umsetzung des Verbrauchsbenchmark-Konzepts sollte in Zukunft auch die Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse mit Blick auf verschiedene Zielgruppen einbezogen werden. Mögliche Anwendungsbereiche sind:

- Bereitstellung von Vergleichswerten für den Energieverbrauch in der Heizkostenabrechnung von Mietern, in der Abrechnung durch Energieversorger für Gebäudeeigentümer usw.;
- Bereitstellung von Vergleichswerten für die Einordnung des in einem Energieverbrauchsausweis für ein konkretes Gebäude angegebenen Verbrauchswertes.

Für die Umsetzung wäre es hilfreich, wenn Eigentümern für die Zuordnung ihres Gebäudes zu einer Wärmegüte-Klasse eine einfache z.B. webbasierte Software zur Verfügung stehen würde. Als Bausteine können die im Projekt geleistete Umsetzung des Verfahrens in der Programmiersprache R und das MOBASY-WebTool verwendet werden.

Mögliche Anwendungsbereiche für das MOBASY-Realbilanz-Modell

Mit der MOBASY-Realbilanz wurde ein physikalisches Modell entwickelt, das einen sinnvollen Soll-Ist-Vergleich im Rahmen des Verbrauchscontrollings ermöglicht. In dem Modell werden für alle Eingangsdaten möglichst realistische Werte angesetzt und deren Unsicherheiten geschätzt. Neben der Berechnung des Energiebedarfs ist so auch eine Einschätzung der Unsicherheit dieser Berechnung möglich.

Eine Besonderheit dieses Ansatzes ist, dass auch bei unvollständigen oder unsicheren Informationen zum Zustand sinnvolle Ergebnisse abgeleitet werden können: Bei dokumentierten Informationslücken wird von einer größeren Bandbreite möglicherweise vorliegender Zustände ausgegangen und mit dem Mittelwert dieser Bandbreite der Energiebedarf berechnet. Diesem Prognosewert wird dann eine größere Unsicherheit zugewiesen als bei vollständig und detailliert erfassten Daten. Dabei wird ein Anreiz zur Verbesserung der Datengrundlage und zur Beschaffung der fehlenden Informationen gesetzt, da dies die Unsicherheit des Erwartungsintervalls reduziert. Dies steht im Gegensatz zum Norm-Nachweis nach Gebäudeenergiegesetz (GEG), der bei unsicherer Eingangsdatenlage tendenziell konservative Ansätze vorsieht und damit aus der Bandbreite der möglichen Verbrauchswerte nicht das Mittelfeld, sondern einen Fall aus dem oberen Verbrauchssegment abbildet. Die für den gesetzlichen Norm-Nachweis (GEG / EnEV) intendierte, aber für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich wenig sinnvolle Abschätzung „auf der sicheren Seite“ wird durch den Ansatz der MOBASY-Realbilanz strukturell vermieden.

Das Verfahren könnte in Zukunft in weiteren Feldern Anwendung finden: Zum einen wären beim Einsatz im Rahmen der Energieberatung sinnvolle Aussagen zu den typischen Verbrauchsniveaus vor und nach Modernisierung möglich. Für konkrete Gebäude könnten die Energieprofil-Formulare zur Erfassung der Angaben von Gebäudeeigentümern herangezogen werden. Auch Beispielgebäude für die Initialberatung könnten so recht einfach definiert und typische Intervalle des Verbrauchs vor und nach Modernisierung angegeben werden. Auch könnten auf diese Weise die Beispielgebäude der deutschen Wohngebäudetypologie [Loga et al. 2015a] weiterentwickelt werden. Weiterhin wäre die Entwicklung eines Satzes von Mustergebäuden für die Konkretisierung der Klimaschutzstrategien in den Wohnungsunternehmen ein sinnvoller Anwendungsbereich.

Darüber hinaus könnten die oben genannten Verbrauchsbenchmarks um „theoretische Verbrauchswerte“ (also Schätzwerte) für Gebäudetypen, -standards und Komponenten ergänzt werden, für die noch keine empirischen Verbrauchsdaten vorliegen.

Empfehlungen zur Umsetzung in Wohnungsunternehmen

Unabhängig von dem konkreten Verfahren können aus den im Projekt gewonnenen Erfahrungen Empfehlungen für die Umsetzung transparenzverbessernder Maßnahmen in Unternehmen der Wohnungswirtschaft abgeleitet werden.

Tracking von Struktur- und Zustandsdaten

Eine wichtige Voraussetzung für den Soll-Ist-Vergleich in den Wohnungsunternehmen ist die systematische Verfolgung des energetischen Zustands der Gebäude-Portfolios im Kontext von Modernisierungsaktivitäten. Diese könnte in folgender Weise umgesetzt werden:

- ▶ **„Monitoring-Tabelle“:** Erstellen einer Excel-Tabelle mit einer Zeile je Gebäude (Hauseingang oder Gebäudeblock, je nach vorliegenden Daten), Eintrag von Grunddaten (Adresse, Anzahl Wohnungen, Wohnfläche, ...)
- ▶ **„Änderungserfassung“:** Nach Ablauf eines Kalenderjahres Eintrag der in dem Zeitraum umgesetzten Maßnahmen in den betreffenden Datensätzen:
 - Dämmstärke und Flächenanteil je Bauteil; Fensterart;
 - Installation von Anlagentechnik (Wärmeerzeuger, Lüftungsanlagen, thermische Solaranlagen, PV) mit fester Codierung;
 - Eintrag des Umsetzungsjahres als Startzeitpunkt für den Zustand; bei Modernisierung wird eine Kopie des alten Datensatzes erzeugt mit Angaben des Endes der Gültigkeit.

Als Vorlage kann z.B. die Excel-Tabelle mit den in MOBASY verwendeten Energieprofil-Indikatoren verwendet werden.¹¹

Da im Fall umfangreicher Modernisierungen normalerweise ein Energiebedarfsausweis benötigt wird, könnte dessen Ausstellung für die Datengewinnung sinnvoll genutzt werden:

- ▶ **Statistikblatt:** Bereitstellung einer Erfassungstabelle für Energieausweis-Ersteller (Datenfelder entsprechend der Monitoring-Tabelle; zusätzlich Berechnungsergebnisse Nutzwärmebedarf und Endenergiebedarf differenziert nach Energieträger, separat für Heizung und Warmwasser); verbindliche Vorgabe, dass bei jeder Nachweis-Erstellung dieses Blatt zusätzlich zum Energiebedarfsausweis und zum Energieverbrauchsausweis auszufüllen ist.
- ▶ **Energieausweis-XML-Dateien:**
 - Sammeln der Energieausweis-XML-Dateien aller Nachweise an einer Stelle;
 - Zusammenführen der Daten in eine auswertbare Tabelle;
 - Überführung dieser Informationen in die Monitoring-Tabelle.

Tracking des gemessenen Energieverbrauchs

Mögliche Schritte für den Einstieg in die Verfolgung des Energieverbrauchs sind:

- ▶ **Abrechnungsdatenbank:** Programmierung einer Exportfunktion mit Aggregation auf Gebäude- oder Block-Ebene, entsprechend dem Schlüssel (Gebäude-ID) der Monitoring-Tabelle. Dabei beachten:

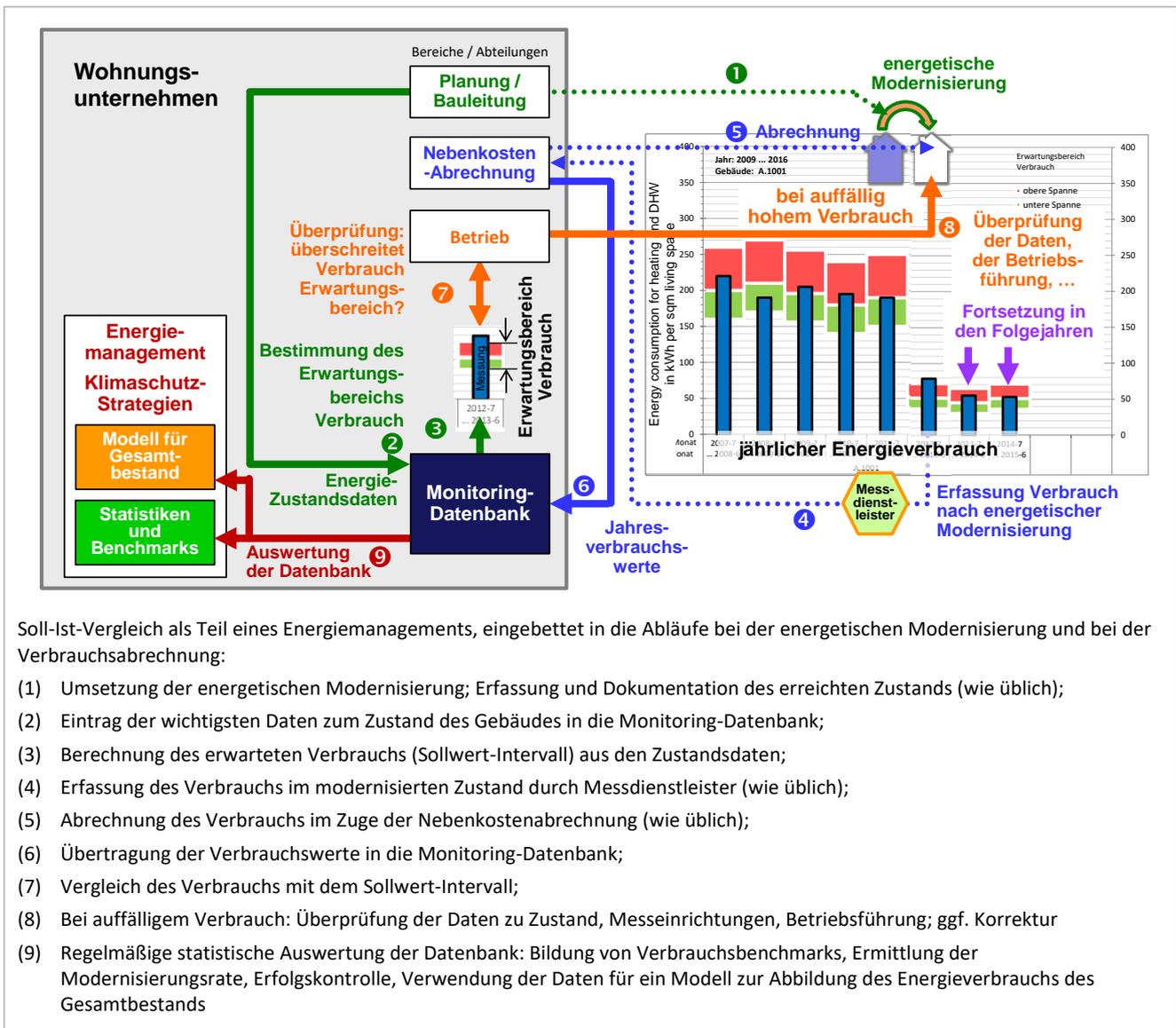
¹¹ Download: https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/Energieprofil-Indikatoren_Erfassungstabellen_Beispieldaten.xlsx

- Indikator / Codierung für Messeinrichtung verwenden
(z.B. muss klar erkennbar sein, ob die Wärmemenge Warmwasser gemessen oder per HeizKostenV geschätzt wurde → als Abzugsbetrag erhebliche Auswirkungen auf den Heizenergieverbrauch);
- Indikator für Leerstand im Verbrauchsjahr verwenden
(Mittelung über alle Wohnungen im Gebäude: Prozentanteil Leerstand für WW im Verbrauchszeitraum, für Heizung gewichtet mit Standardwerten der monatlichen Gradtagzahl);
- ▶ **im Fall von Lieferverträgen zwischen Energieversorger und Mieter:**
Klärung zwischen Wohnungsunternehmen und Energieversorger, inwiefern datenschutzkonform gebäudeaggregierte Werte zur Verfügung gestellt werden können
- ▶ **Personal-Ressourcen** und Zuständigkeiten für Energie-Controlling.

Zusammenführung von Verbrauch und Bedarf – Verbrauchscontrolling

Die Verfolgung von Zustandsänderungen und die Erfassung und Aufbereitung von Verbrauchsdaten können dann im Rahmen eines Energiemanagements zu einem Verbrauchscontrolling-Prozess zusammengeführt werden (Schema in Bild 12).

Bild 12: Schema für ein mögliches Verbrauchscontrolling in Wohnungsunternehmen



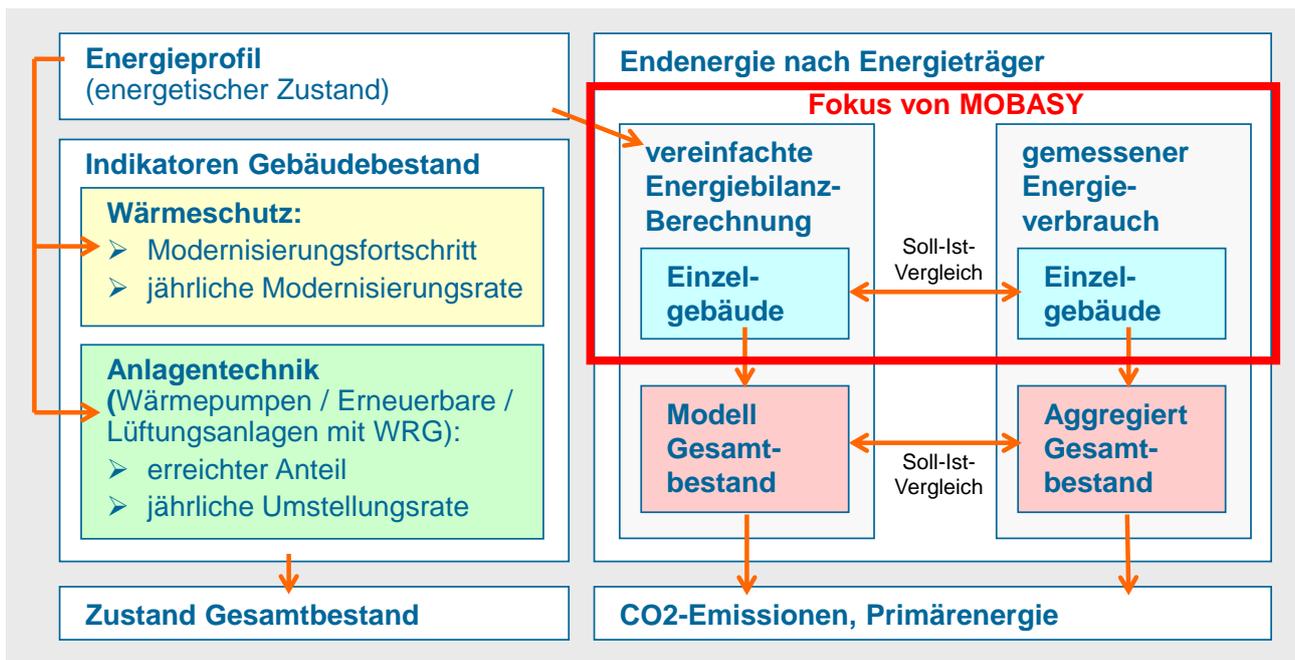
Soll-Ist-Vergleich als Teil eines Energiemanagements, eingebettet in die Abläufe bei der energetischen Modernisierung und bei der Verbrauchsabrechnung:

- (1) Umsetzung der energetischen Modernisierung; Erfassung und Dokumentation des erreichten Zustands (wie üblich);
- (2) Eintrag der wichtigsten Daten zum Zustand des Gebäudes in die Monitoring-Datenbank;
- (3) Berechnung des erwarteten Verbrauchs (Sollwert-Intervall) aus den Zustandsdaten;
- (4) Erfassung des Verbrauchs im modernisierten Zustand durch Messdienstleister (wie üblich);
- (5) Abrechnung des Verbrauchs im Zuge der Nebenkostenabrechnung (wie üblich);
- (6) Übertragung der Verbrauchswerte in die Monitoring-Datenbank;
- (7) Vergleich des Verbrauchs mit dem Sollwert-Intervall;
- (8) Bei auffälligem Verbrauch: Überprüfung der Daten zu Zustand, Messeinrichtungen, Betriebsführung; ggf. Korrektur
- (9) Regelmäßige statistische Auswertung der Datenbank: Bildung von Verbrauchsbenchmarks, Ermittlung der Modernisierungsrate, Erfolgskontrolle, Verwendung der Daten für ein Modell zur Abbildung des Energieverbrauchs des Gesamtbestands

Strategische Portfolio-Entwicklung und Verifizierung von Klimaschutz-Strategien

Neben dem Zustands- und Verbrauchsmonitoring umfasst das strategische Energiemanagement in Wohnungsunternehmen auch die Definition von Klimaschutz-Zielstandards, die Entwicklung von Szenarien für die Optimierung der Modernisierungsstrategien sowie die Verifizierung der langfristigen Treibhausgas-Minderungsstrategie. Die realistische energetische Bilanzierung und der systematische Verbrauch-Bedarf-Vergleich stellen eine wichtige Grundlage für diese Aufgaben dar.

Bild 13 Nutzung der Energieprofil-Daten für eine realistische Prognose des Energieverbrauchs im Soll-Ist-Vergleich (MOBASY-Fokus) und mögliche zukünftige Erweiterung auf die Modellierung von Gesamtbeständen



Verbesserung des Instrumentariums des Bundes

Die politischen Handlungsträger könnten die Rahmenbedingungen für das Tracking des energetischen Zustands und des Verbrauchs in folgender Weise verbessern:

Für den Energieverbrauchs- und den Energiebedarfsausweis empfehlen wir die Einführung eines verbindlichen „Statistikblattes“, auf dem in einheitlicher Weise definierte Indikatoren erfasst werden, die den physischen Zustand von Gebäude und Wärmeversorgung beschreiben. Damit würde erreicht, dass überall, wo Energieausweise erstellt werden, gleichzeitig die Informationslage zum Zustand statistisch auswertbar ist. Dies würde eine gute Grundlage für eine breite Umsetzung von Aktivitäten zur Verfolgung der Modernisierungsaktivitäten, zum Verbrauchscontrolling, zur Bildung von Verbrauchsbenchmarks und zur Validierung der Wirkung von Klimaschutzmaßnahmen darstellen und damit insgesamt die Transparenz der im Gebäudesektor ablaufenden Prozesse verbessern. Weiterhin ist zu fordern, dass in den Energiebedarfsausweis ein verbindliches Ausgabeblatt aufgenommen wird, das alle Zwischenschritte der Berechnung ausweist, die potenziell vergleichbar mit Messwerten sind.¹²

¹² Wärmebedarf ohne und mit Verteilverlusten, Endenergiebedarf nach Energieträger ohne Verrechnung; jeweils separat für die Bilanzräume Heizung und WW

Die Energieausweis-XML-Dateien sollten ebenfalls um diese Detail-Ausgaben ergänzt werden, außerdem sollten für Bauteil- und Anlagentechnik-Typen die freien Einträge durch feste Sätze von Codes ersetzt bzw. um diese ergänzt werden, da ansonsten statistische Auswertung sehr schwierig werden. Den Wohnungsunternehmen wäre darüberhinaus sehr geholfen, wenn der Bund eine Software-Lösung zum Import der Energieausweis-XML-Dateien in eine Datenbank kostenlos bereitstellen würde, die die Unternehmen für die statische Auswertung ihrer eigenen XML-Dateien nutzen könnten.

Resümee und Ausblick Teilprojekt B – „PassivhausSozialPlus“

Mit dem PassivhausSozialPlus, der messtechnischen Evaluation und der Mieterbefragung konnten die Funktion, aber auch die Optimierungspotenziale des Konzepts und der verwendeten Techniken ermittelt und dokumentiert werden. Dies ist die Voraussetzung für die weitere Verbreitung der Idee.

Die Auswertungen zeigen, dass in den beiden Gebäuden des PassivhausSozialPlus hoher Komfort und gleichzeitig niedrige Verbräuche bei Heizwärme, Trinkwasser und Haushaltsstrom erreicht wurden. Ein wesentliches Ziel im Projekt war auch die Reduktion der Nebenkosten, die ca. 40 % unter denen vergleichbarer Wohnungen im sozialen Wohnungsbau in Darmstadt liegen. Die Baukosten waren bei der Modernisierung des Bestandsgebäudes und beim Neubau vergleichsweise niedrig. In Verbindung mit der Pauschalierung kann für Vermieter der Aufwand für die Betriebskostenabrechnung deutlich reduziert werden, gleichzeitig entstehen Anreize für Investitionen in hohe energetische Standards sowie in Konzepte für niedrige Nebenkosten.

Mieter haben durch Pauschalierung in Verbindung mit einer Budgetierung die Chance, niedrige und planbare Wohnkosten zu erhalten. Wie die sozialwissenschaftliche Befragung ergab, besteht eine hohe Akzeptanz gegenüber der Pauschalmiete. Die Rückmeldungen zum Budget via Display treffen auf große Zustimmung und beeinflussen größere Teile der Befragten in ihren Verhaltensweisen. Bei den Budgets könnte die Berechnung nach Haushaltsgröße durch eine Unterscheidung zwischen Erwachsenen und Kindern ergänzt werden, da es vergleichsweise häufiger große Haushalte sind, die Wasserbudget zukaufen mussten. Haushalte, die auch noch nach der Anhebung der Strombudgets im Jahr 2022 Überschreitungen des Budgets aufweisen, nutzen zusätzlich große Elektrogeräte (z. B. Wäschetrockner, Gefrierschränke).

Die hohe Anzahl an Vorträgen und Führungen (siehe Kapitel 2.6) zeigt das große Interesse an den Ergebnissen. Konkret ist eine Weiterführung des Konzepts in der gleichen Siedlung zusammen mit der bauverein AG, Darmstadt bereits in Planung. Hier sollen drei Neubauten mit weiterentwickeltem Konzept bei der Gebäudehülle aber vergleichbaren Ansätzen zur Reduktion der Nebenkosten und der Budgetierung umgesetzt werden. Mit weiteren Kommunen und Wohnungsunternehmen laufen Gespräche über den Transfer der Erkenntnisse.

2.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Der wissenschaftliche und technische Stand des Wissens ist in Abschnitt 1.4 ausführlich beschrieben. Auf dem Gebiet des Vorhabens gab es während der Projektlaufzeit Fortschritte auch bei anderen Stellen:

In einer Studie „Energieanalyse aus dem Verbrauch“ (EAV) wurde von der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften Wolfenbüttel eine Methodik zur Interpretation von zeitaufgelösten Werten (in der Regel Monatswerte) des Energie- bzw. Wärmeverbrauchs für Heizung und Warmwasser entwickelt und in Kooperation mit Wohnungsunternehmen erprobt [Wolf et al. 2020]. Es wurden Verbrauchswerte für 46 MFH-Objekte ausgewertet und den jeweiligen Baualtersklassen zugeordnet, wobei zwischen unsanierten und energetisch modernisierten Gebäuden unterschieden wurde. Ergebnis sind Heizkurven, bei denen die mittlere Wärmeleistung über der jeweiligen mittleren Außentemperatur aufgetragen wird. Es wurde jeweils die Steigung in $W/K/m^2$, der Sockel (ohne Abhängigkeit von der Außentemperatur) in W/m^2 und die Heizgrenztemperatur (Schnittpunkt der beiden Geraden) in $^{\circ}C$ ausgewertet und je Baualtersklasse und Zustand (unsaniert, modernisiert) gemittelt. Die Größen werden untereinander verglichen, um Auffälligkeiten festzustellen. Da bei diesem Konzept keine Erfassung des energetischen Zustands erfolgt, ist ein Vergleich mit Theoriewerten (physikalisches Modell) nicht vorgesehen.

In einer Studie der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. Kiel wurden Verbrauchsdaten für Mehrfamilienhäuser analysiert und Benchmarks in Abhängigkeit vom Norm-Energiebedarf der Gebäude gebildet [Gniechwitz, Walberg 2021]. Der methodische Ansatz ist den in der Studie [Loga et al. 2019] gemachten Analysen sehr ähnlich (siehe Stand des Wissens in Abschnitt 1.4), die gefundene Abhängigkeit des gemessenen Verbrauchs vom Normenergiebedarf ist vergleichbar.

Das Thema pauschaler Nebenkostenabrechnung wurde während der Projektlaufzeit auch an anderer Stelle erprobt und erforscht, z. B. im Projekt EVERSOL¹³ der eG Wohnen 1902 in Cottbus und der TU Freiberg für den frei finanzierten Wohnungsbau. Die Pauschalen sind dort im Gegensatz zum PassivhausSozialPlus so hoch kalkuliert, so dass dem Vermieter nur ein geringes Kostenrisiko entsteht. Die Mieter haben neben den planbaren Wohnkosten dort aber einen geringeren Vorteil niedriger Nebenkosten. Mit diesem Projekt gab es auch einen Austausch über die Konzepte (siehe Kapitel 2.6).

Durch die Änderung in der Heizkostenverordnung (HeizkostenV) im Jahr 2021 müssen Vermieter ihren Mietern zunehmend monatliche Verbrauchsabrechnungen für Heizung und Warmwasserbereitung zur Verfügung stellen. Dadurch steigt der Erfassungs- und Abrechnungsaufwand der Branche und gleichzeitig relativiert sich der Mehraufwand für die Budgeterfassung und -abrechnung des PassivhausSozialPlus. Zukünftig könnten die Chancen zur Umsetzung dieses Ansatzes somit steigen, da die technischen Voraussetzungen schrittweise in Deutschland eingeführt werden müssen.

Parallel zum PassivhausSozialPlus wurde in Rostock in einem Studentenwohnheim ein vergleichbares Konzept der Budgeterfassung umgesetzt¹⁴. Die Visualisierung basiert dort aber auf einer App und nicht auf Displays in den Wohnungen, was dem unterschiedlichen Mieterklientel des Studentenwohnheims angepasst ist. Grundsätzlich haben sich die technischen, organisatorischen und teilweise auch die rechtlichen Möglichkeiten der Budgetierung und Visualisierung von Verbräuchen im Projektzeitraum deutlich vergrößert.

¹³ eversol.iwtt.tu-freiberg.de

¹⁴ <https://studinest.de/faqs> „Wie funktioniert das Prepaid-System?“

2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

2.6.1 Veröffentlichungen

Veröffentlichungen Teilprojekt A – „Realbilanzierung“

MOBASY-Teilberichte

- Loga, Tobias; Großklos, Marc; Landgraf, Katrin: Klimadaten für die Realbilanzierung (MOBASY-Teilbericht). Grundlagen des Tools „Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx“; IWU- Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2020; ISBN 978-3-941140-66-0
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25695.28324> https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2020_IWU_LogaGroßklos-Landgraf_MOBASYTeilberichtKlimadatenRealbilanzierung.pdf
- Loga, Tobias; Großklos, Marc; Müller, André; Swiderek, Stefan; Behem, Guillaume: Realbilanzierung für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich (MOBASY-Teilbericht). Realistische Bilanzierung und Quantifizierung von Unsicherheiten als Grundlage für den Soll-Ist-Vergleich beim Energieverbrauchscontrolling; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2021; ISBN 978-3-941140-67-7;
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22472.24328/1>
https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2021_IWU_LogaEtAl_MOBASY-Realbilanzierung-Verbrauch-Bedarf-Vergleich.pdf
- Weber; Ines; Hacke; Ulrike; Loga; Tobias; Müller; André; Grafe; Michael; Großklos; Marc: Nutzerverhalten in energetisch modernisierten Gebäuden (MOBASY-Teilbericht). Ergebnisse einer schriftlichen Mieterbefragung; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2022; ISBN 978-3-941140-69-1
https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022_IWU_Weber-EtAl_Nutzerverhalten-in-energetisch-modernisierten-Gebaeuden_MOBASY.pdf
- Loga, Tobias; Behem, Guillaume; Swiderek, Stefan; Stein, Britta: Verbrauchsbenchmarks für unterschiedliche Dämmstandards bei vermieteten Mehrfamilienhäusern (MOBASY-Teilbericht). Statistische Auswertung der MOBASY-Mehrfamilienhaus-Stichprobe; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2022; ISBN 978-3-941140-73-8;
DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19851.98087>
https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022_IWU_Loga-EtAl_Verbrauchsbenchmarks-Daemmstandards_MOBASY.pdf
- Loga, Tobias; Großklos, Marc; Behem, Guillaume; Stein, Britta; Müller, André: Unsicherheit der Energiebilanzierung und Vergleich mit Verbrauchsdaten für das PassivhausSozialPlus (MOBASY-Teilbericht). Verbrauchscontrolling auf der Grundlage von Energieprofil-Indikatoren im Vergleich zur Nutzung detaillierter Planungsdaten; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2023
<https://www.iwu.de/forschung/energie/mobasy/>

Tagungsbeiträge und Artikel

- Loga, Tobias; Behem, Guillaume: Target/actual comparison and benchmarking used to safeguard low energy consumption in refurbished housing stocks; Proceedings of the eceee Summer Study 2021.
https://www.researchgate.net/publication/355124720_Targetactual_comparison_and_benchmarking_used_to_safeguard_low_energy_consumption_in_refurbished_housing_stocks
- Weber, Ines: Interplay of building efficiency and households’ ventilation behaviour: Evidence of an inverse U-shaped correlation. Energy and Buildings 252 (2021): 1 December 2021, 111466.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111466>
- Loga, Tobias; Stein, Britta: Zusammenhang Energieverbrauch und Dämmstandard bei Mehrfamilienhäusern; Konferenzband der 14. EffizienzTagung Bauen+Modernisieren 11./12.11.2022; Energie- und Umweltzentrum am Deister e.u.[z.], Hannover 2022
https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022_EffizienzTagung_Loga-Stein_Zusammenhang-Energieverbrauch-und-Daemmstandard-bei-MFH.pdf

- Loga, Tobias; Stein, Britta; Behem, Guillaume: Use of Energy Profile Indicators to Determine the Expected Range of Heating Energy Consumption; Proceedings of the Conference "Central Europe towards Sustainable Building" 2022 (CESB22), 4 to 6 July 2022; Acta Polytechnica CTU Proceedings 38:470–477, 2022
<https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/APP/article/view/8299/6839>
<https://doi.org/10.14311/APP.2022.38.0470>
- Loga, Tobias: Was hat der Energieverbrauch von Mehrfamilienhäusern mit dem Dämmstandard zu tun? IWU-Schlaglicht 02/2022; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2022; ISBN 978-3-941140-73-8 https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/schlaglicht/2022_IWU_Loga_Schlaglicht_Energieverbrauch-von-MFH-und-Daemmstandard.pdf

Arbeitshilfen / Tools

- **„EnergyProfile-XL-Package.zip“**

EnergyProfile.xlsm + zugehörige Excel-Arbeitsmappen zur Berechnung der MOBASY-Realbilanzierung Eingabedaten sind Energieprofil-Indikatoren (Wohnfläche, Anzahl Geschosse, Anzahl Nachbargebäude, Dämmstärken nach Bauteil, usw.). Daraus werden die Eingangsdaten für das physikalische Modell (Flächen, U-Werte, Erzeugeraufwandszahlen, usw.) geschätzt (Beschreibung im Beitrag zur Effizienztagung Hannover 2022, siehe oben). Alternativ können die Eingangsdaten für das physikalische Modell auch direkt eingegeben werden. Abhängig von der Art der Datenquellen und der Vollständigkeit der Energieprofil-Indikatoren werden den Eingangsgrößen Unsicherheiten zugeordnet und darauf aufbauend die Unsicherheit des berechneten Energiebedarfs geschätzt. Diesem Erwartungsbereich können gemessene Werte des Verbrauchs gegenübergestellt werden (Soll-Ist-Vergleich). Die Eingangsdaten und die Ergebnisse werden in einer Datentabelle (Datei "Building-Data.xlsx") gespeichert.

Deutsch und Englisch (Stand Juli 2023)

<https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/EnergyProfile-XL-Package.zip>

READ-ME-Datei mit wichtigen Informationen für die ersten Schritte:

“EnergyProfile-XL_READ-ME.pdf”

https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/EnergyProfile-XL_READ-ME.pdf

- **R-Paket „MobasyModel“**

Umsetzung des oben beschriebenen Gesamt-Verfahrens in der Programmiersprache R; Methodikbausteine wie oben für „EnergyProfile-XL“ beschrieben
 Veröffentlichung in Vorbereitung

- **MOBASY-WebTool „Energieprofil“ / „EnergyProfile“**

Umsetzung der Energieprofil-Erfassung, der Schätzung von Bilanzierungsdaten und der Realbilanzierung als WebTool zur Verbreitung des Ansatzes

Informationen zum WebTool: <https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/energieprofil/>

direkter Zugang: <https://tool.mobasy.de/>

- **„UValEst-CalcPad.xlsx“**

Schätzwerte und Bandbreiten von U-Werten opaker Konstruktionen. Vereinfachte U-Wert-Schätzung und Unsicherheitsbewertung von opaken Konstruktionen bei Verwendung von Erhebungsdaten (Methodik dokumentiert im Bericht „Realbilanzierung für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich“, s. o.).

U-values of Building Constructions – Estimates and Bandwidths. Simplified U-value estimation and uncertainty assessment for opaque constructions by use of survey data.

<https://www.iwu.de/fileadmin/tools/uvaest-calcpad/UValEst-CalcPad.xlsx>

- **Einzelgebäude-Erfassungsblätter für Energieprofil-Indikatoren als PDF (deutsch und englisch)**
 PDF Ansicht Energieprofil-Fragebogen – Version in Deutsch
https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/EnergyProfile_Forms_BuildingSystem_GER.pdf
 PDF View Energy Profile Forms – Version in English
https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/EnergyProfile_Forms_BuildingSystem_ENG.pdf
 Energieprofil-PDF-Erfassungsblätter mit aktiven Formularfeldern zur Verwendung bei der Datenerfassung – Version in Deutsch
https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/EnergieProfil_FormularGebaeudeAnlagentechnik_Erfassung.pdf
 PDF with active Energy Profile fields for data acquisition – Version in English
https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/EnergyProfile_FormBuildingSystem_DataCapture.pdf
- **MOBASY-Erfassungstabellen für Gebäudebestände**
 Energieprofil-Indikatoren_Erfassungstabellen_Beispieldaten.xlsx – Datentabellen zur Erfassung von Energieprofil-Indikatoren und Verbrauchsdaten – Version in Deutsch
https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/Energieprofil-Indikatoren_Erfassungstabellen_Beispieldaten.xlsx
 EnergyProfileIndicators_DataTable_Showcase_ENG.xlsx – Data tables for acquisition of energy profile indicators and metered consumption – Version in English
https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/EnergyProfileIndicators_DataTable_Showcase_ENG.xlsx
- **Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx**
 Außenlufttemperaturen und Globalstrahlungsdaten 1991 bis heute mit Zuordnung zu Postleitzahlen (im Rahmen von MOBASY komplett überarbeitete und erweiterte Fassung des Tools)
<https://www.iwu.de/fileadmin/tools/gradtagzahlen/Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx>

Veröffentlichungen Teilprojekt B – „PassivhausSozialPlus“

- Neue Wohnraumhilfe: „PassivhausSozialPlus - Niedrige Betriebskostenpauschale mit Wasser- und Strombudget“. Darmstadt 2019
- Großklos, Marc: Protokollband zum 55. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser „Sozialer Geschosswohnbau: Kostengünstig und energieeffizient – (k)ein Widerspruch?“ am 05.11.2019. URL: https://passipedia.de/medien/medien/veroeffentlichungen/uebersicht_protokollbaende
- Großklos, Marc: Minimierte Nebenkosten im „PassivhausSozialPlus“: Umsetzung einer Idee. Tagungsband zur 24. Passivhaustagung 2020
- Großklos, Marc; Behem, Guillaume; Müller, André; Swiderek, Stefan; Stein, Britta: „PassivhausSozialPlus – Konzept, Umsetzung, Kosten und Ergebnisse des ersten Messjahres“. MOBASY-Teilbericht, IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2021, ISBN 978-3-941140-68-4. URL: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2021_IWU_GrossklosEtAL_PassivhausSozialPlus-Konzept-Umsetzung-Kosten-Ergebnisse-erstes-Messjahr.pdf
- Großklos, Marc, Loga, Tobias: Consume and pay less – a budget approach for running costs in social housing. Tagungsbeitrag zur eceee Summer Study im Juni 2021. URL: https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2021/8-buildings-technologies-and-systems-beyond-energy-efficiency/
- Großklos, Marc: Betriebserfahrungen zweier Passivhäuser im sozialen Wohnungsbau. Tagungsband der 25. Passivhaustagung 2021
- Großklos, Marc: „PassivhausSozialPlus Konzept, Kosten und Betriebserfahrungen zweier Passivhäuser im sozialen Wohnungsbau“ im Themenband „Sanieren am laufenden Band?“ zum economicum 11, Energieinstitut Vorarlberg, 2022
- Großklos, Marc: „Günstig und energieeffizient wohnen“ in der gemeinderat 6/22
- Großklos, Marc, Müller, André “Low Rents And Low Operating Costs In Social Housing - An Example From Germany”. Tagungsband zur CESB22 in Prag (<https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/APP/article/view/8616>)

- Großklos, M; Hacke, U.: Nebenkostenpauschalen und Budgets im sozialen Wohnungsbau – Praxiserfahrungen. Dokumentation zur 14. Effizienztagung in Hannover am 11./12.11.2022
- Großklos, Marc; Müller, André.; Behem, Guillaume; Stein, Britta; Loga, Tobias; Swiderek, Stefan: "PassivhausSozialPlus – Gesamtbericht. Modellprojekt zum klimaneutralen Bauen und zur Minimierung der Nebenkosten im sozialen Wohnungsbau". IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2023
- Stein, Britta; Großklos, Marc; Müller, André; Loga, Tobias: PassivhausSozialPlus – Messergebnisse der Fensteröffnungszeiten aus zwei Messjahren; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2023
- Hacke, Ulrike; Großklos, Marc: PassivhausSozialPlus - Pauschalmiete, Nebenkostenbudgets und Wohnverhalten. Ergebnisse einer Mieterbefragung (MOBASY-Teilbericht); IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, Veröffentlichung in Vorbereitung (t.b.p. – to be published)

2.6.2 Vorträge

Vorträge Teilprojekt A – „Realbilanzierung“

- Loga, Tobias: Target/actual comparison and benchmarking used to safeguard low energy consumption in refurbished housing stocks. eceee Summer Study 2021, 7.6. – 11.6.2021, Online Conference.
Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/vortrag/2021-06-07_eceee_LogaEtBehem_Slides_Target-actual-comparison-and-benchmarking-in-refurbished-housing-stocks.pdf
Video (309 MB): https://www.iwu.de/fileadmin/media/2021-06-07_eceee_Loga_Presentation_Target-actual-comparison-and-benchmarking-in-refurbished-housing-stocks.mp4
- Loga Tobias; Stein Britta: Zusammenhang Energieverbrauch und Dämmstandard bei Mehrfamilienhäusern. 14. EffizienzTagung Bauen+Modernisieren am 11./12.11.2022, Hannover.
Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/vortrag/2022-11-12_EffizienzTagung_Loga_Slides_Zusammenhang-Energieverbrauch-und-Daemmstandard-bei-MFH.pdf
- Loga, Tobias: Use of Energy Profile Indicators to Determine the Expected Range of Heating Energy Consumption; Presentation at the Conference "Central Europe towards Sustainable Building" 2022 (CESB22), 4 to 6 July 2022
Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/vortrag/2023-07-05_CESB22_Loga_Stein_Behem_Slides_Energy-Profile-Indicators.pdf

IWU-Veranstaltung im Rahmen der ENERGIETAGE 2022 am 3. Mai 2022 (Online-Tagung)

Wärmedämmung bei Mietshäusern – Welchen Energieverbrauch erwarten wir?

- Loga, Tobias: Verbrauchsbenchmarks und Verbrauchscontrolling in Wohnungsunternehmen - Einführung.
Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022-05-03_Energietage2022-1_Loga_Slides_Verbrauchscontrolling-Einfuehrung.pdf
Video (242 MB): https://www.iwu.de/fileadmin/media/2022/2022-05-03_Energietage2022-3_Loga_video_Verbrauchscontrolling-Einfuehrung.mp4
- Repp, Monika: Verfolgung der Modernisierungsaktivitäten mit Energieprofil-Indikatoren.
Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022-05-03_Energietage2022-2_Repp_Slides_Verfolgung-Modernisierung-mit-Energieprofil-Indikatoren.pdf
- Werner, Ralf (2022): Praxisbeispiel hochwärmedämmter Altbau – Maßnahmen und gemessener Verbrauch.
Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022-05-03_Energietage2022-3_Werner_Slides_Praxisbeispiel-hochwaermedaemnter-Altbau.pdf
- Behem, Guillaume: Realbilanzierung unter Berücksichtigung von Datenunsicherheiten – Nutzung für den Soll/Ist-Vergleich.
Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022-05-03_Energietage2022-4_Behem_Slides_Realbilanzierung-Soll-Ist-Vergleich.pdf

- Video (109 MB): https://www.iwu.de/fileadmin/media/2022/2022-05-03_Energietage2022-4_Behem_Realbilanzierung-Soll-Ist-Vergleich.mp4
- Loga, Tobias: Auswertung des Energieverbrauchs von Mietwohnhäusern für unterschiedliche Dämmstandards.
Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022-05-03_Energietage2022-5_Loga_Slides_Energieverbrauch-Mietwohngebaeude-nach-Daemmstandard.pdf
- Video (202 MB): https://www.iwu.de/fileadmin/media/2022/2022-05-03_Energietage2022-5_Loga_video_Energieverbrauch-Mietwohngebaeude-nach-Daemmstandard.mp4
- Loga, Tobias: Resümee der Veranstaltung.
Video (70 MB): https://www.iwu.de/fileadmin/media/2022/2022-05-03_Energietage2022-6_Loga_video_Resuemee.mp4

Vorträge Teilprojekt B – „PassivhausSozialPlus“

- Besichtigung und Vortrag zum Projekt mit Umweltministerium des Landes Hessen und Oberbürgermeister der Wissenschaftsstadt Darmstadt am 01.08.2018
- Großklos, Marc: „Neue Konzepte im sozialen Wohnungsbau – Das „PassivhausSozialPlus“ in Darmstadt“. Tag der Immobilienwirtschaft 2019 der IHK Darmstadt am 29.10.2019, Darmstadt
- Großklos, Marc: „PassivhausSozialPlus: Ansätze zur Reduktion der Nebenkosten“. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Nr. 55 „Sozialer Geschosswohnbau: Kostengünstig und energieeffizient – (k)ein Widerspruch?“ am 05.11.2019 in Darmstadt
- Großklos, Marc: „Minimierte Nebenkosten im „PassivhausSozialPlus“: Umsetzung einer Idee“. Vortrag am 24.09.2020 bei der 24. Passivhaustagung, Online
- Online-Vortrag für das Wohnungslosennetzwerk Kreis Offenbach am 24.02.2021
- Großklos, Marc, Bauer-Schneider, Wolfgang: „PassivhausSozialPlus – ein Modellprojekt mit Breitenwirkung!“ Vortrag am 11.05.2021 beim Klimaschutzbeirat der Stadt Mainz, Online
- Großklos, Marc: “Consume and Pay Less – A Budget Approach for Running Costs in Social Housing”. Vortrag am 08.06.2021 bei der eceee summer study 2021, Online. Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/vortrag/2021-06-08_eceee_Grossklos_Slides_PHSP-Budget-Approach-for-Running-Costs-in-Social-Housing.pdf
- Großklos, Marc, Bauer-Schneider, Wolfgang: Vorstellung Ergebnisse des PassivhausSozialPlus für den BUND Rheinland-Pfalz am 03.09.2021 in Darmstadt
- Großklos, Marc: „Betriebserfahrungen zweier Passivhäuser im sozialen Wohnungsbau“. Vortrag am 10.09.2021 bei der 25. Passivhaustagung, Online. Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/neh_ph/2021_PHI_Grossklos_Betriebserfahrungen-zweier-Passivhaeuser-im-sozialen-Wohnungsbau.pdf
- Online-Vortrag bei der Impact Week in Darmstadt am 11.09.2021
- Großklos, Marc: „PassivhausSozialPlus Konzept, Kosten und Betriebserfahrungen zweier Passivhäuser im sozialen Wohnungsbau“. Vortrag beim economicum Nr. 11 am 23.09.2021 in Feldkirch. Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/vortrag/2021-09-23_economicum_Grossklos_Slides_PHSP-Konzept-Kosten-Betriebserfahrungen-zweier-Passivhaeuser-im-Sozialen-Wohnungsbau.pdf
- Großklos, Marc: „PassivhausSozialPlus – Pauschalmiete und Budgets im sozialen Wohnungsbau“. Vortrag beim Workshop „Eversol“ am 16.11.2021, Online. Slides: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/vortrag/2021-11-16_eversol_Grossklos_Slides_PHSP-Pauschalmiete-und-Budgets-im-Sozialen-Wohnungsbau.pdf
- Großklos, Marc: „2 Jahre PassivhausSozialPlus: Erfahrungen, Ergebnisse, Sozialkonzept, Nebenkosten, Budgets und Baukosten“. Vortrag beim Online-Workshop zum PassivhausSozialPlus am 15.03.2022
- Vorstellung des Projekts bei einem Informationsaustausch im Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen am 30.06.2022 in Wiesbaden
- Großklos, Marc: “Low Rents And Low Operating Costs In Social Housing - An Example From Germany”. Vortrag am 05.07.2022 bei der Central Europe towards Sustainable Building (CESB) 2022, Prag

- Großklos, Marc: „Nebenkostenpauschalen und Budgets im sozialen Wohnungsbau – Praxiserfahrungen“. Vortrag bei der 14. Effizienztagung in Hannover am 12.11.2022
- Großklos, Marc: „Modellprojekt PassivhausSozialPlus in Darmstadt: Niedrige Nebenkosten, Pauschalen und Budgets im Sozialen Wohnungsbau“. Online-Workshop bei der Klima-Allianz Hannover 2035 am 22.11.2022
- Besichtigung im Rahmen der Exkursionen der 26. Passivhaustagung am 12.02.2023

2.6.3 Zeitungsberichte, Führungen und Sonstiges

- Pressekonferenz zum PassivhausSozialPlus am 11.04.2018
- „Modellprojekt für niedrige Nebenkosten“ in Frankfurter Rundschau am 07.08.2018
- „Alt und neu wird passiv und sozial“ in Darmstädter Echo am 30.08.2018
- Besuch der Baustelle einer Delegation Taiyuan University of Technology /China am 25.01.2019
- Richtfest am 09.05.2019 im Beisein des Hessischen Wohnungsbauministers Tarek Al-Wazir und der Darmstädter Wohnungsdezernentin Barbara Akdeniz
- „Innovatives Passivhaus für Wohnungsmarktverlierer“ in Darmstädter Echo am 11.05.2019
- „Lincoln-Siedlung: Weitere Wohnungen bezugsfertig“ in Darmstädter Echo am 27.07.2019
- „Die Neue Wohnraumhilfe gGmbH in Darmstadt bietet bezahlbaren Wohnraum – und senkt gleichzeitig die Transferleistungen für die öffentliche Hand“ in Paritätischer Rundbrief 31.01.2019
- Besuch des Projektbeirats von MOBASY auf der Baustelle am 27.11.2019
- „Die Mietnebenkosten niedrig halten“ in Darmstädter Echo am 17.12.2019
- „Klimaschutz-Preise für Darmstädter Gebäude“ in Darmstädter Echo am 24.01.2020
- „Luftversorgung mit Vier-Stufen-Schalter“ in Mainzer Allgemeine vom 17.05.2021
- „Die Rechnung geht auf“ in Darmstädter Echo vom 01.09.2021
- Pressegespräch und Besuch des Projekts mit Staatsminister Tarek Al-Wazir und Oberbürgermeister Jochen Partsch am 30.08.2022. Url: <https://wohnungsbau.hessen.de/presse-und-aktuelles/buendnispartner-besuchen-mit-minister-und-staatssekretaer-beispielgebende-wohnungsbauprojekte>
- Projektvorstellung in den Info-Displays in Bussen und Bahnen in Darmstadt und im Landkreis Darmstadt-Dieburg (länger als ein Jahr), siehe Bild 14

Bild 14: Projektvorstellung in den Infobildschirmen von Bussen und Bahnen in Darmstadt und dem Umland



2.7 Literatur

- [Cischinsky, Diefenbach 2018] Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus: Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016; IWU, Darmstadt, 2018.
www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/Endbericht_Datenerhebung_Wohngeb%C3%A4udebestand_2016.pdf
- [Diefenbach et al. 2010] Diefenbach, Nikolaus (IWU); Cischinsky, Holger (IWU); Rodenfels, Markus (IWU); Clausnitzer, Klaus-Dieter (Bremer Energie Institut): Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2010
www.iwu.de/forschung/gebaeudebestand/sanierungsrate/
- [Emmerich, W. et al. 2004] Emmerich, W.; Georgescu, A.; Ginter, M.; Garrecht, H.; Huber, J.; Hildebrand, O.; König, A.; Laidig, M.; Gruber, E.; Jank, R.: EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße. Integrale Sanierung auf Niedrigenergie-Standard unter Einschluss moderner Informations- und Regelungstechnik und Beeinflussung des Nutzerverhaltens. Bietigheim-Bissingen: Fachinstitut Gebäude Klima e.V., 2004
- [Fisch et al. 2012] Fisch, Norbert; Altendorf, Lars; Kühl, Lars; Wilken, Thomas; Brandt, Edmund; Gawron, Thomas: Vergleichswerte für Verbrauch bei Wohngebäuden. BBSR / BMVBS-Online-Publikation 11/2012.
https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/bmvbs-online/2012/DL_ON112012.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- [Flade et al. 2003] Flade, Antje; Hallmann, Sylke; Lohmann, Günter; Mack, Birgit: Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern aus sozialwissenschaftlicher Sicht (im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung der Gartenhofsidlung Lummerlund in Wiesbaden-Dotzheim). Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2003.
- [Gniechwitz, Walberg 2021] Gniechwitz, Timo; Walberg, Dietmar: Energiebedarf und tatsächlicher Energieverbrauch bei Wohngebäuden. Verbrauchsbenchmarks für Intervalle des Norm-Energiebedarfs; Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. Kiel; Arbeits- und Informationsblätter / 24-2021
- [Graf 2015] Graf, Alicia: Analyse des Energieverbrauchs wärmetechnisch modernisierter Mehrfamilienhäuser - Entwicklung von Verbrauchsbenchmarks zur Beurteilung der Energieeffizienz. Masterarbeit TU Darmstadt/IWU, Darmstadt, 2015
- [Großklos 2016] Großklos, Marc: Warum sind sie denn so verschieden? Energiebedarf und tatsächlicher Verbrauch - Abgleich zwischen Theorie und Praxis. In: Tagungsband 7. Internationale Holz[Bau]Physik-Kongress Energie, Feuchte, Brand - Aus Erfahrungen lernen; 25./26.02.2016, Leipzig, Seite 33 - 35
- [Großklos et al. 2018] Großklos, Marc; Krapp, Max-Christopher; v Malotcki, Christian; Stein, Britta: Ansätze zur Reduktion der Neben-kosten im sozialen Wohnungsbau am Beispiel des Vorhabens „PassivhausSozialPlus“ in Darmstadt, Untersuchung im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klima-schutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 2018.
 URL: www.iwu.de/forschung/handlungslogiken/passivhaussozialplus/
- [Großklos et al. 2023] Großklos, Marc; Müller, André; Behem, Guillaume; Stein, Britta; Loga, Tobias; Swiderek, Stefan: "PassivhausSozialPlus – Gesamtbericht. Modellprojekt zum klimaneutralen Bauen und zur Minimierung der Nebenkosten im sozialen Wohnungsbau". IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2023
- [Guerra-Santin 2013] Guerra-Santin, O.: Occupant behaviour in energy efficient dwellings: Evidence of a rebound effect. J. Hous. Built Environ. 28, 311–327. doi:10.1007/s10901-012-9297-2
- [Hacke et al. 2012] Hacke, Ulrike; Großklos Marc; Lohmann, Günter: Mieterbefragung zum Wohnverhalten im Passivhaus und zur Akzeptanz des Warmmietenmodells. (im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung der Sanierung Rotlintstraße 116-128 in Frankfurt am Main). Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2012
- [Hacke / Großklos t.b.p.] Hacke, Ulrike; Großklos, Marc: PassivhausSozialPlus - Pauschalmitte, Nebenkostenbudgets und Wohnverhalten. Ergebnisse einer Mieterbefragung (MOBASY-Teilbericht); IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, Veröffentlichung in Vorbereitung (t.b.p. – to be published)
- [Hartmann 2009] Hartmann, Thomas: Nutzereinfluss auf den Energieverbrauch in Wohngebäuden; in: Künzel, Helmut (Hrsg.) Wohnungslüftung und Raumklima, 2. überarb. u. erw. Aufl., IRB Verlag, Stuttgart, 2009
- [IWU 2016] IWU (Hrsg.): Monitor Progress Towards Climate Targets in European Housing Stocks - Main Results of the EPISCOPE Project; IWU, Darmstadt / Germany – March, 2016

- [Klesse 2012] Klesse, Andreas: Modellierung und Bewertung unterschiedlichen Nutzerverhaltens in hochwärmege-
dämmten Einfamilienhäusern; Dissertation an der Ruhr-Universität Bochum, 2012
- [Keul 2001] Keul, A. G.: Energiesparprojekte und konventioneller Wohnbau – eine Evaluation. Wien: Bundesministe-
rium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2001
- [Loga et al. 2003] Loga, Tobias; Großklos, Marc; Knissel, Jens: Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerver-
haltens auf die Heizkosten - Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung. Institut Wohnen und Um-
welt, Darmstadt, 2003
- [Loga et al. 2005] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf: Entwicklung eines vereinfachten, statis-
tisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Ge-
bäuden („Kurzverfahren Energieprofil“); Untersuchung gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2005
www.iwu.de/forschung/energie/kurzverfahren-energieprofil/
- [Loga, Diefenbach 2013] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus: TABULA Calculation Method – Energy Use for Heating
and Domestic Hot Water. Reference Calculation and Adaptation to the Typical Level of Measured Consumption;
TABULA documentation; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt / Germany – January, 2013; ISBN 978-
3-941140-31-8
www.episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA_CommonCalculationMethod.pdf
- [Loga et al. 2015a] Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf: Deutsche Wohngebäudetypologie.
Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden; Broschüre
erarbeitet im Rahmen der EU-Projekte TABULA und EPISCOPE; 2. erweiterte Auflage; Institut Wohnen und Um-
welt, Darmstadt 2015
http://episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.11714.50881>
- [Loga et al. 2015b] Loga, Tobias; Müller, Kornelia; Reifschläger, Kerstin; Stein, Britta: Evaluation of the TABULA Data-
base – Comparison of Typical Buildings and Heat Supply Systems from 20 European Countries; IWU – Institut
Wohnen und Umwelt, Darmstadt / Germany, 2015
www.episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA_WorkReport_EvaluationDatabase.pdf
- [Loga et al. 2019] Loga, Tobias; Stein, Britta; Hacke, Ulrike; Müller, André; Großklos, Marc; Born, Rolf; Renz, Ina; Cisch-
insky, Holger; Hörner, Michael; Weber, Ines: Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbes-
serungen; Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung (BBR); BBSR-Online-Publikation 04/2019; Bonn, März, 2019 / ISSN 1868-0097 /
www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2019/bbsr-online-04-2019-dl.pdf
- [Loga et al. 2020] Loga, Tobias; Swiderek, Stefan; Grafe, Michael: Modellprojekt Energieverbrauchsbenchmarks. Soll-
/Ist-Vergleich des Energieverbrauchs zur Evaluierung und Steigerung der Effizienz von Energiesparmaßnahmen
im Praxisalltag eines Wohnungsunternehmens; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2020; ISBN:
978-3-941140-65-3
[www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/gebaeudebestand/prj/2019_IWU_LogaswiderekGrafe_Modell-
projektEnergieverbrauchsbenchmarks_NHW.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/gebaeudebestand/prj/2019_IWU_LogaswiderekGrafe_ModellprojektEnergieverbrauchsbenchmarks_NHW.pdf)
- [Loga, Behem 2021] Loga, Tobias; Behem, Guillaume: Target/actual comparison and benchmarking used to safeguard
low energy consumption in refurbished housing stocks; Proceedings of the eceee Summer Study 2021.
[https://www.researchgate.net/publication/355124720_Targetactual_comparison_and_benchmark-
ing_used_to_safeguard_low_energy_consumption_in_refurbished_housing_stocks](https://www.researchgate.net/publication/355124720_Targetactual_comparison_and_benchmarking_used_to_safeguard_low_energy_consumption_in_refurbished_housing_stocks)
- [Loga et al. 2021] Loga, Tobias; Großklos, Marc; Müller, André; Swiderek, Stefan; Behem, Guillaume: Realbilanzierung
für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich (MOBASY Teilbericht). Realistische Bilanzierung und Quantifizierung von
Unsicherheiten als Grundlage für den Soll-Ist-Vergleich beim Energieverbrauchscontrolling; IWU – Institut Woh-
nen und Umwelt, Darmstadt, 2021; ISBN 978-3-941140-67-7;
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22472.24328/1>
[https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2021_IWU_LogaEtAl_MOBASY-Realbilanzie-
rung-Verbrauch-Bedarf-Vergleich.pdf](https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2021_IWU_LogaEtAl_MOBASY-Realbilanzierung-Verbrauch-Bedarf-Vergleich.pdf)
- [Loga et al. 2022a] Loga, Tobias; Behem, Guillaume; Swiderek, Stefan; Stein, Britta: Verbrauchsbenchmarks für unter-
schiedliche Dämmstandards bei vermieteten Mehrfamilienhäusern (MOBASY-Teilbericht). Statistische Auswer-
tung der MOBASY-Mehrfamilienhaus-Stichprobe; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2022; ISBN
978-3-941140-73-8;

DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19851.98087>

https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022_IWU_Loga-EtAl_Verbrauchsbenchmarks-Daemmstandards_MOBASY.pdf

- [Loga et al. 2022b] Loga, Tobias; Stein, Britta; Behem, Guillaume: Use of Energy Profile Indicators to Determine the Expected Range of Heating Energy Consumption; Proceedings of the Conference "Central Europe to-wards Sustainable Building" 2022 (CESB22), 4 to 6 July 2022; Acta Polytechnica CTU Proceedings 38:470–477, 2022
<https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/APP/article/view/8299/6839>
<https://doi.org/10.14311/APP.2022.38.0470>
- [Loga et al. 2023] Loga, Tobias; Großklos, Marc; Behem, Guillaume; Stein, Britta; Müller, André (2023): Unsicherheit der Energiebilanzierung und Vergleich mit Verbrauchsdaten für das PassivhausSozialPlus (MOBASY-Teilbericht). Verbrauchscontrolling auf der Grundlage von Energieprofil-Indikatoren im Vergleich zur Nutzung detaillierter Planungsdaten; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2023
<https://www.iwu.de/forschung/energie/mobasy/>
- [Loga, Stein 2022] Loga, Tobias; Stein, Britta: Zusammenhang Energieverbrauch und Dämmstandard bei Mehrfamilienhäusern; Konferenzband der 14. EffizienzTagung Bauen+Modernisieren 11./12.11.2022; Energie- und Umweltzentrum am Deister e.u.[z.], Hannover, 2022
https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022_EffizienzTagung_Loga-Stein_Zusammenhang-Energieverbrauch-und-Daemmstandard-bei-MFH.pdf
- [Oschatz 2009] BMVBS / BBSR (Hrsg.): Überarbeitung der Technischen Regeln zur Novelle der Heizkostenverordnung, BBSR-Online-Publikation 04/2009
- [Osterhage et al. 2015] Osterhage, Tanja Cali, Davide; Streblow, Rita; Müller, Dirk: Ergebnisse einer energetischen Sanierung: Abweichung zwischen Energiebedarf und Verbrauch – ist nur der Nutzer Schuld? Bauphysik Volume 37, Issue 2, Seiten 100–104, April 2015
- [Peper 2015] Peper, Sören: Monitoring in der Passivhaus-Siedlung Bahnstadt Heidelberg. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2015
- [Reis, Erhorn 2009] Reiß, Johann, Erhorn, Hans: Klassifizierung des Nutzerverhaltens bei der Fensterlüftung; in: Künzel, Helmut (Hrsg.) Wohnungs-lüftung und Raumklima, 2. überarb. u. erw. Aufl., IRB Verlag, Stuttgart, 2009
- [Renhof 2018] Renhof, Moritz: Ermittlung von realistischen U-Werten und Wärmebrückenzuschlägen für Wohngebäude im Bestand; Masterarbeit an der Bauhaus-Universität Weimar / Fakultät Bauingenieurwesen / Studiengang Bauphysik und energetische Gebäudeoptimierung / Prof. Dr.-Ing. Conrad Völker; Weimar, 2018
- [Reusswig 1994] Reusswig, F.: Lebensstile und Ökologie. Frankfurt am Main: Verlag für Interkulturelle Kommunikation, 1994
- [Richter et al. 2002] Richter, W.; Ender, T.; Hartmann, T.; Kremonke, A.; Oschatz, B.; Seifert, J.: Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern; TU Dresden / IRB-Verlag 2002
- [Rinaldi et al. 2018] Rinaldi, A., Schweiker, M., Iannone, F., 2018. On uses of energy in buildings: Extracting influencing factors of occupant behaviour by means of a questionnaire survey. Energy Build. 168, 298–308. doi:10.1016/j.enbuild.2018.03.045.
- [Schlomann et al. 2004] Schlomann, B.; Gruber, E., Eichhammer, W.; Kling, N.; Diekmann, J., Ziesing, H.-J.; Rieke, H.; Wittke, F.; Herzog, T.; Barbosa, M.; Lutz, S.; Broeske, U.; Merten, D.; Falkenberg, D.; Nill, M.; Kaltschmitt, M.; Geiger, B.; Kleeberger, H.; Eckl, R.; : Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen. Karlsruhe, Berlin, Nürnberg, Leipzig, München.
- [Schröder et al. 2009] Schröder, Franz; Greller, Martin; Hundt, Volker; Mundry, Bernhard; Papert, Olaf: Universelle Energiekennzahlen für Deutschland - Teil 1: Differenzierte Kennzahlverteilungen nach Energieträger und wärmetechnischem Sanierungsstand; Bauphysik 31 (2009), Heft 6
- [Schröder et al. 2018] Schröder, F., Gill, B., Güth, M., Teich, T., Wolff, A., 2018. Entwicklung saisonaler Raumtemperaturverteilungen von klassischen zu modernen Gebäudestandards - Sind Rebound-Effekte unvermeidbar? Bauphysik 40, 151–160. doi:10.1002/bapi.201810017
- [Stein et al. 2014] Stein, Britta; Grafe, Michael; Loga, Tobias; Enseling, Andreas; Werner, Peter: Energetische Stadtsanierung – Integriertes Quartierskonzept Mainz-Lerchenberg; eine Untersuchung im Auftrag des Umweltamtes der Stadtverwaltung Mainz; IWU, Darmstadt 2014
http://www.mainz.de/medien/internet/downloads/20140129_QuartierskonzeptEndbericht.pdf

- [Stockinger et. al. 2015]** Stockinger, Volker; Jensch, Werner; Grunewald, John: +EINS Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut. Abschlussbericht, München, Dresden, 2015
- [Stolte et. al 2013]** Stolte, Christian; Marcinek, Heike; Bigalke, Uwe; Zeng, Yang: Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizient sanierter Wohngebäude. Begleitforschung zum dena-Modellvorhaben Effizienzhäuser. Deutsche Energieagentur (dena), Berlin, 2013
- [Weber et al. 2022]** Weber, Ines; Hacke, Ulrike; Loga, Tobias; Müller, André; Grafe, Michael; Großklos, Marc: Nutzerverhalten in energetisch modernisierten Gebäuden. Ergebnisse einer schriftlichen Mieterbefragung. MOBASY-Teilbericht. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2022
- [Wolf et al. 2020]** Wolff, D.; Unverzagt, A.; Schünemann, A.: EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft; Bericht 3: EAV-Handbuch und Anwendungsbeispiele; Bericht zum DBU-Projekt „EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft“; Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften; Wolfenbüttel, 2020
- [Zeine 2015]** Zeine, Carl: KWEFF 2015 - Verbrauchskennwerte energetisch hocheffizienter Gebäude. Ages, Münster, 2015