

Passivhaus BuildTog Bremen-Findorff

Energetische Untersuchung

Endbericht

Messzeitraum: Juni 2017 bis Mai 2021



Im Auftrag der GEWOBA Bremen



Passivhaus Institut
Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt, www.passiv.de

September 2021

Passivhaus BuildTog Bremen-Findorff

Energetische Untersuchung

Endbericht

Messzeitraum: Juni 2017 bis Mai 2021

<p>Autor: Søren Peper</p> <p>Herausgeber: PASSIVHAUS INSTITUT Dr. Wolfgang Feist Rheinstraße 44/46 D-64283 Darmstadt Tel: 06151-82699-0 E-Mail: mail@passiv.de www.passiv.de</p> <p>Darmstadt, September 2021</p>	<p>Dieser Bericht entstand im Auftrag der GEWOBA Bremen.</p> <p>Bildnachweis: Alle Abbildungen und Grafiken dieses Berichtes sind Eigentum des Passivhaus Instituts. Abweichend ist jeweils die Quelle angegeben.</p>
---	--

Danksagungen

Unser Dank geht an die GEWOBA Bremen für die konsequente Umsetzung des Gebäudekonzeptes und die Möglichkeit der Untersuchung und Auswertung der Gebäudedaten. Insbesondere geht der Dank dabei an Herrn Plagemann für seine wiederholten Auskünfte und Hilfestellungen.

Der Dank geht – unbekannterweise - auch an die Bewohner des Gebäudes für die Teilnahme an den beiden Befragungen.

Die Messdaten wurden von der Firma Tec-Control GmbH erfasst und online zur Verfügung gestellt. Großer Dank für die Abwicklung und die Beantwortung sämtlicher Fragen im Laufe der Jahre geht an Hr. Daube.

Inhaltsverzeichnis

1	BuildTog Gebäude Bremen-Findorff.....	4
2	Auswertung der Messdaten.....	6
2.1	Messtechnik	6
2.2	Raumtemperaturen	6
	Wärmste Periode	9
	Kälteste Periode 2019/2020	12
	Kälteste Periode 2021	12
2.3	Wärmeverbrauch.....	14
	Wärmeverbrauch der Teilbereiche	14
	Wärmeverbrauch in den vier Jahreszeiträumen.....	17
	Jahresverlauf Wärmeverbrauch.....	18
2.4	Heizwärme Wohnungen	19
2.5	Heizleistung.....	22
2.6	Stromverbrauch.....	24
2.7	End- und Primärenergiebilanz.....	27
2.8	Vergleich Berechnung (PHPP) mit der Messung	28
3	Nutzerbefragung.....	30
3.1	Auswertung Befragung.....	30
	Nutzererfahrung Allgemein	30
	Beheizung und Innenklima (Winter).....	32
	Behaglichkeit im Sommer	34
	Warmwasserversorgung	37
	Lüftung und Luftqualität	37
	Generelle Zufriedenheit	43
3.2	Beurteilung der Befragung	45
4	Zusammenfassung	46
	Ergebnisse BuildTog Bremen	46
5	Quellen	48
6	Anhang.....	50

1 BuildTog Gebäude Bremen-Findorff

Das fertiggestellte und vollständig bewohnte Passivhaus „BuildTog“ in Bremen-Findorff der GEWOBA Bremen verfügt über 16 Wohnungen mit einer beheizten Wohnfläche von 1.476 m². Die Wohnungsgrößen liegen zwischen 60 und 130 m². Das Gebäude wurde vom Architekturbüro „Planungsgruppe DREI“ aus Mühlthal bei Darmstadt geplant. Die Haustechnikplanung erfolgte durch das „Ingenieurbüro Lachnit“ aus Roßdorf bei Darmstadt. Das Gebäude ist im Jahr 2017 in Massivbauweise errichtet. Für die Außenwände wurden Kalksandsteine mit einer Wärmedämmung verwendet (WDVS, Regelaufbau $U = 0,121 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Nach dem PHPP (Passivhaus-Projektierungspaket) beträgt der Heizwärmebedarf bei Standardbedingungen 13,4 kWh/(m²a). Die Luftdichtheit des Gebäudes wurde mit dem sehr guten Wert von $n_{50} = 0,2 \text{ h}^{-1}$ ermittelt. Die Passivhaus-Zertifizierung wurde vom Passivhaus Institut (PHI) durchgeführt.

Das Gebäude verfügt über einen Fernwärmeanschluss, der klassisch zur Beheizung und Warmwasserversorgung verwendet wird (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2). Das zentrale Lüftungsgerät (ComfoAir XL4400 von Fa. Zehnder) befindet sich im Keller. Der Auslegungsvolumenstrom beträgt laut PHPP 1.155 m³/h, was einem mittleren Luftwechsel von $0,31 \text{ h}^{-1}$ entspricht. Dem Lüftungsgerät ist ein zentrales Frostschutzregister im Außenluftstrang vorgeschaltet, welches direkt vom Heizungswasser durchfließen wird.

Die dauerhafte Messdatenerfassung erfolgt durch die Aufzeichnung auf einem zentralen Messrechner (GLT) im 15-Minuten Intervall. Es werden Datenpunkte der zentralen Haustechnik erfasst (Temperaturen, relative Feuchte, Volumenströme Lüftung, Zähler, Wassermengen etc.) sowie Messwerte aus den Einzelwohnungen (Heizwärmeverbrauch, Temperatur und Luftfeuchte). Zugriff auf die Daten hat die Firma Tec-Control GmbH in Langen, die einen Datenzugang auf einem externen Server für das PHI eingerichtet hat.

Der Energieverbrauch des Gesamtgebäudes, unterschieden nach Fernwärmebezug, Beheizung, Warmwasserbereitung und Frostschutz der Lüftungsanlage, wird durch die Auswertung der Messdaten untersucht und bewertet. Die Wärmeverbrauchswerte der Einzelwohnungen sollen ebenso wie die Luftmesswerte der Wohnungen ausgewertet und beurteilt werden.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden vom PHI zusätzlich zwei Befragungen zum Nutzerverhalten durchgeführt (2018 und 2021).

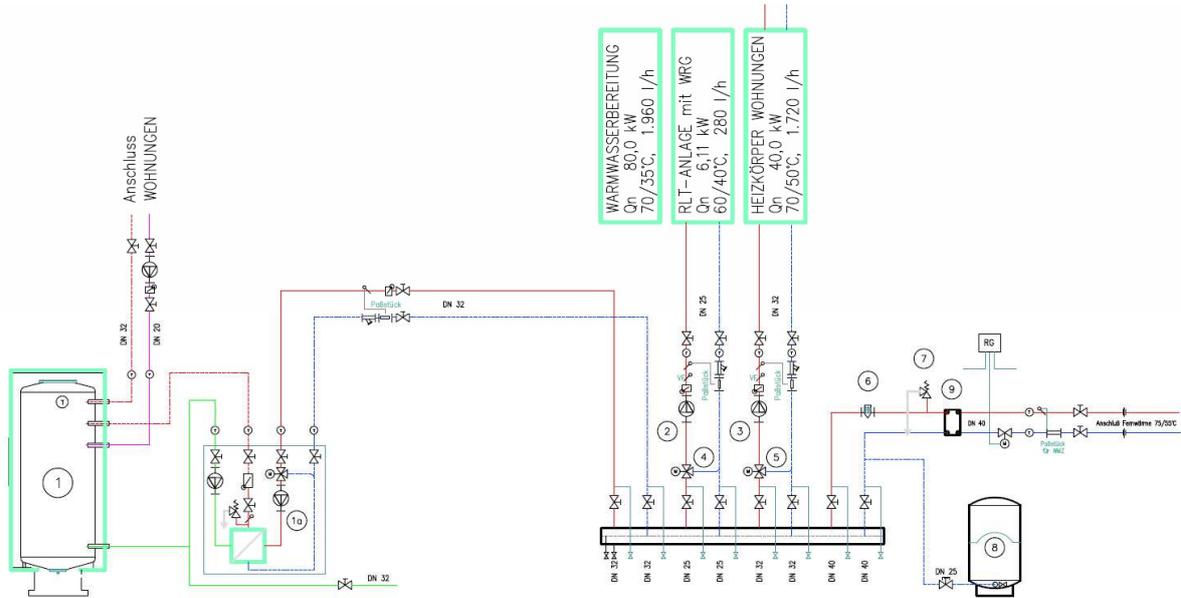


Abbildung 1: Ausschnitt der Hydraulik im Technikkeller aus dem „Entwurf-Heizung-Schema“ vom 17.12.2014. Quelle: HTL – Büro für Haustechnik Roßdorf.



Abbildung 2: Technikkeller mit der Wärmeverteilung und Wärmezählern.

2 Auswertung der Messdaten

Auswertbare Messdaten vom Gebäude liegen ab dem 1. Juni 2018 bis zum 31. Mai 2021 vor. Damit existieren auswertbare Messdaten über drei komplette Jahre. Für das Jahr davor 2017/2018 liegen zumindest jährliche Verbrauchsdaten vor, sodass für den Wärmeverbrauch insgesamt vier Jahre dokumentiert werden können. Ab dem 01.04.2021 existieren ausfallbedingt nur die Monatsstände der Verbrauchszähler. Die anderen Daten (Temperaturen etc.) sind ab dem 01.04.2021 nicht verfügbar.

2.1 Messtechnik

Zur Messung wurden bauseits handelsübliche Produkte aus der GLT (Gebäudeleittechnik) verwendet. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Qualität (Genauigkeit) von der üblicherweise bei wissenschaftlichen Untersuchungen eingesetzten Technik. Dieses gilt insbesondere für die Raumtemperaturmessung. Verbaut wurde hier ein „Multifunktions-Raumbediengerät“ vom Typ „WRF06 LCD“ der Firma Thermokon Sensortechnik GmbH, welches auch zur Raumtemperaturmessung verwendet wird (Foto siehe Abbildung 31). Die Genauigkeit wird im Datenblatt mit $\pm 0,5$ K angegeben.

Für die Erfassung der Wärmeverbräuche werden Wärmehähler der Firma WDV-Molliné GmbH vom Typ „Ultraschallzähler Ultramess® H“ verwendet. Die technischen Werte sind je nach Baugröße unterschiedlich.

2.2 Raumtemperaturen

Die Messung der Wohnungstemperaturen erfolgt an den Bedienschaltern in den Fluren, also in der Kernzone der Wohnungen. Die Messgeräte wurden durch das PHI nicht, wie sonst üblich gesondert kalibriert, sondern genutzt, wie sie von der GLT zur Verfügung stehen. Der Verlauf der Raumtemperaturen sowie der Außentemperatur als Tagesmittelwerte ist für die gesamte Messperiode in der folgenden Abbildung dargestellt. Deutlich sind die Sommer- und Winterzeiträume erkennbar.

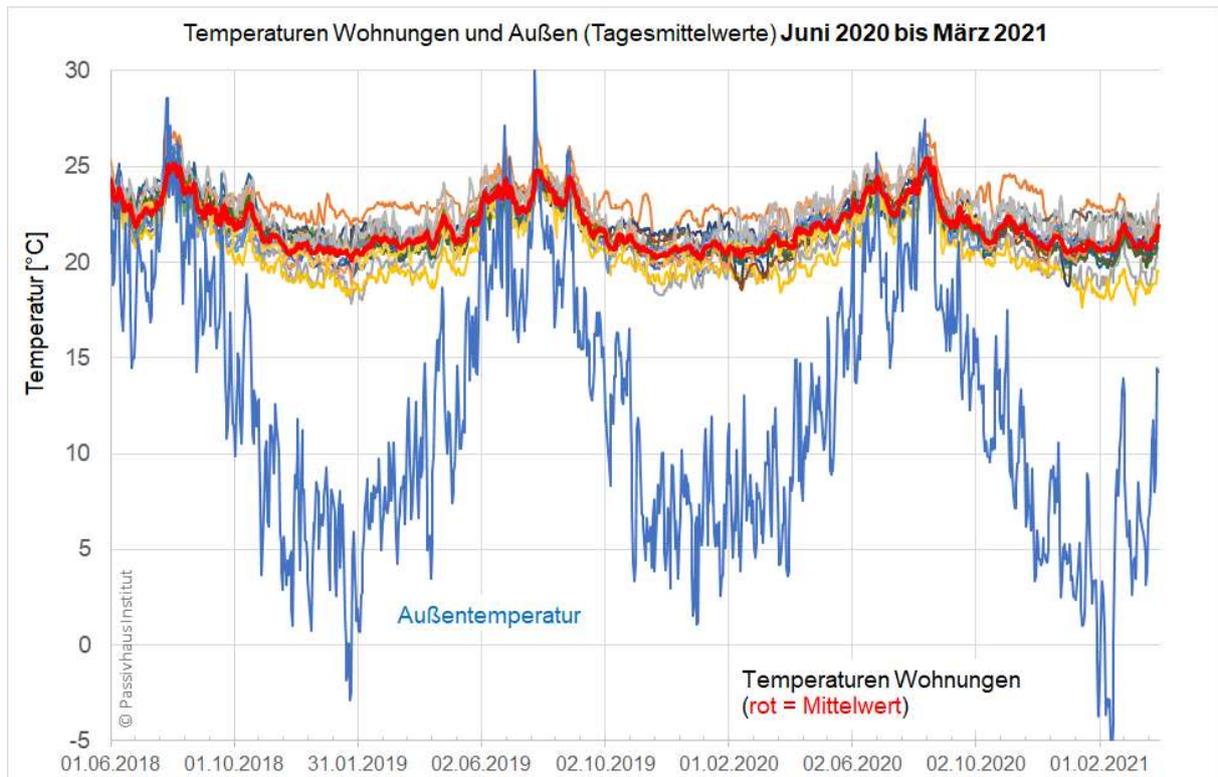


Abbildung 3: Verlauf der Raumtemperaturen der 16 Wohnungen sowie der Außentemperatur im gesamten Untersuchungszeitraum. Der Mittelwert der Wohnungen (rot) ist flächengewichtet.

Durch die Nutzereinflüsse und deren Wünsche ergibt sich im Winter ein Temperaturband von überwiegend etwa 3-4 K (Unterschied zwischen der kühleren und der wärmeren Wohnung; Tageswerte). Dies kann in der Detaildarstellung (Abbildung 4) vom Dezember 2018 und Januar 2019 gut abgelesen werden. Die Analyse macht deutlich, dass die Höhe der Raumtemperaturen nicht in Verbindung mit der Lage einer Wohnung zu bringen ist. So befinden sich die wärmere und die kühleren Wohnungen beide ausgerechnet direkt nebeneinander. Es kann damit festgestellt werden, dass die Wünsche und Vorlieben der Bewohner eindeutig im Vordergrund stehen. Die Lage der Wohnung hat keinen nachweisbaren Einfluss (Kern/außen oder oben/unten) auf das winterliche Temperaturniveau. Die Sommertemperaturen werden im Anschluss gesondert betrachtet.

Insgesamt zeigt der Temperaturverlauf nahezu keinen Einfluss der Außentemperatur auf das Niveau innerhalb der Wohnungen. Es ist zu erkennen, dass immer die gleiche Wohnung das Temperaturfeld anführt: Im Kernwinter liegt dort die mittlere Temperatur 1,6 bzw. 1,8 K höher als der Mittelwert aller Wohnungen. Wie sich bei der später folgenden Analyse der Wärmeverbrauchswerte herausstellt, handelt es sich bei der Wohnung auch um diejenige, mit den höchsten Heizenergieverbrauchswerten. Das höhere Temperaturniveau scheint damit dem Wunsch der Bewohner zu entsprechen. Die niedrigsten Tagesmitteltemperaturen finden sich abwechselnd in zwei unterschiedlichen Wohnungen (Kernwinter: 1,1 bis 1,8 K niedriger als der Mittelwert).

Die Temperaturmessungen deuten darauf hin, dass die Haustechnik funktioniert und die Bewohner ihre Wunschtemperaturen einstellen können.

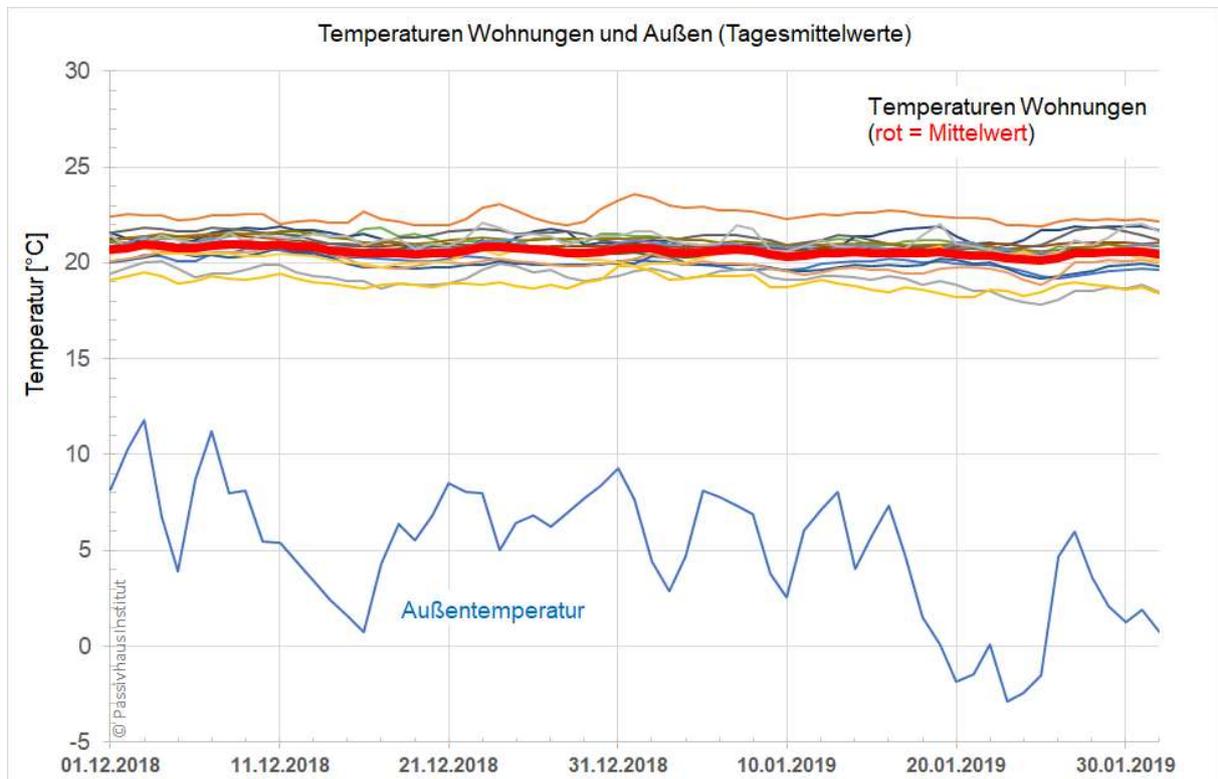


Abbildung 4: Ausschnitt aus dem Verlauf der Raumtemperaturen der 16 Wohnungen sowie der Außentemperatur im Winter 2018/2019. Der Mittelwert der Wohnungen (rot) ist flächengewichtet.

Einen Überblick über die Temperaturspreizung (Differenz zwischen minimalem und maximalem Tagesmittelwert) sowie der mittleren Raum- und Außentemperaturen im Winter bzw. Kernwinter über die drei Jahreszeiträume zeigt Tabelle 1. Die winterlichen Mittelwerte der unterschiedlichen Zeiträume liegen sehr nahe beieinander (Winter: 0,2 bis 0,3 K; Kernwinter: 0,3 bis 0,5 K).

Tabelle 1: Temperaturen in den unterschiedlichen Winterzeiträumen (Wohnungswerte: Flächengewichtet; Min-/Max-Werte Tagesmittelwerte einer Wohnung)

[°C]	Winter 1. Oktober bis 30. April		Kernwinter 1. November – 28. (29.) Februar			
	Mittelwert Wohnungen	Außen	Mittelwert Wohnungen	Max. Whg.	Min. Whg.	Außen
2018/2019	21,1	8,1	20,8	24,6	17,8	5,9
2019/2020	20,9	8,4	20,6	23,6	18,3	6,8
2020/2021*)	21,2	7,0	21,1	24,6	17,6	5,5

*) Im Winter 2020/2021 liegen die Temperaturmessdaten nur bis zum 31.03.2021 vor.

Wärmste Periode

Im Sommer 2019 wird die wärmste Außentemperatur im gesamten Untersuchungszeitraum gemessen: Am 25. Juli 2019 beträgt die Tagesmitteltemperatur (Tag und Nacht!) **30,3°C**. Zur Beurteilung der sommerlichen Raumtemperaturen sind Tagesmittelwerte allerdings weniger geeignet. Daher wird die Untersuchung der Sommersituation anhand der **Stundenmittelwerte** durchgeführt. Die höchste gemessene Außentemperatur wurde am Gebäude am 25.07.2019 um 16:00 Uhr mit **36,7 °C** gemessen.

Die Temperaturen in den Wohnungen werden im Zeitraum um diese wärmste Stunde herum untersucht (Abbildung 5). 15 der 16 Wohnungen zeigen sehr moderate Raumtemperaturen von nur 23,9 bis 25,5 °C, obwohl die Außentemperaturen in den Tagen vorher hitzeperioden-typisch kontinuierlich angestiegen sind. Nur eine Wohnung zeigt erneut eine deutlich höhere Raumtemperatur außerhalb dieses Temperaturbandes. Hier wird an dem wärmsten Tag die höchste Raumtemperatur des Sommers mit 28,1 °C festgestellt. Allerdings sind 28°C als maximale Raumtemperatur im Hochsommer, ohne eine aktive Klimatisierung zu betreiben, als noch durchaus moderat einzustufen. Diese Wohnung befindet sich nicht – wie möglicherweise angenommen werden könnte – im obersten Geschoss. Es zeigt sich, dass es sich um die gleiche Wohnung handelt, welche in der Analyse zuvor als wärmste Wohnung im Winter identifiziert wurde. Daher kann vermutet werden, dass diese höheren Temperaturen im Sommer wie im Winter von den Bewohnern gewünscht werden.

Anhand dieser Wohnung wird in der Abbildung eine deutliche Korrelation zwischen Innen- und Außentemperatur sichtbar: Der tägliche Anstieg der Außentemperatur findet sich in gedämpfter Form innerhalb der Wohnung wieder. Dieses spricht für eine starke Kopplung durch geöffnete Fenster oder die Balkon- bzw. Terrassentür und ggf. zusätzlich nicht genutzte Außenverschattungen. In allen anderen Wohnungen ist der Anstieg während der Zeit nur sehr minimal bzw. sehr stark gedämpft zu verzeichnen.

Die Raumtemperaturen während der Sommerzeit zeigen, dass die Bewohner die sommerlichen Temperaturen sehr unterschiedlich beeinflussen: Zwischen der kühlfsten und der wärmsten Wohnung beträgt der Unterschied am wärmsten Tag des Jahres 4,4 K (aus Stundenmittelwerten, maximale Differenzen zu zeitgleichen Stunden). Der Nutzereinfluss (insbesondere eine vermutliche Nutzung der Verschattung und Öffnung der Balkon/Terrassentür sowie interne Wärmequellen etc.) macht sich hier deutlich bemerkbar. Die oben geschilderten **Ergebnisse zeigen ein sehr gutes Somerverhalten des Gebäudes und beweisen, dass dieses Wohngebäude auch bei hohen Außentemperaturen mit passiven Maßnahmen sehr behagliche Innentemperaturen aufweist**. Die Berechnung mit dem PHPP hatte bereits eine Übertemperaturhäufigkeit >25°C von moderaten 3,6% prognostiziert. Als Ursache für die guten Ergebnisse ist die Ausrichtung der Hauptfassaden nach

Nord/Süd zu nennen (17° Abweichung) sowie die vorhandene und effektive Außenverschattung, welche offensichtlich gut genutzt wird.

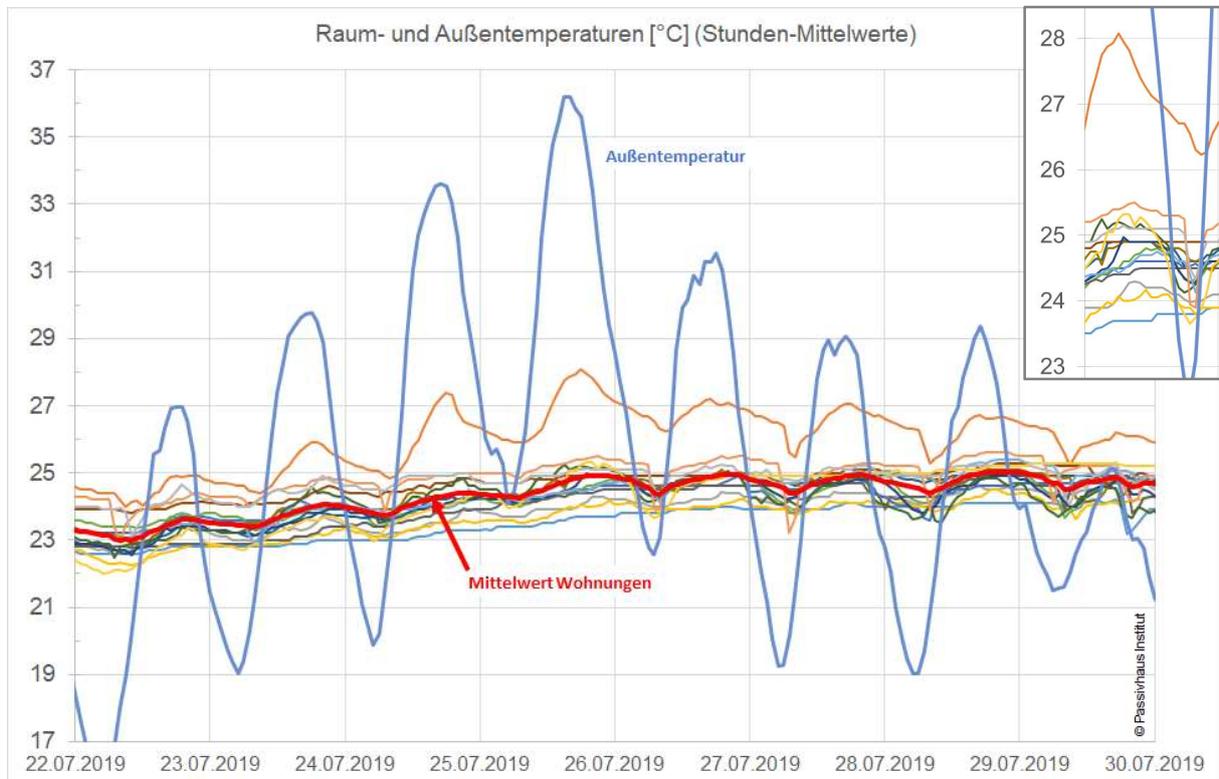


Abbildung 5: Verlauf der Raumtemperaturen der 16 Wohnungen sowie der Außentemperatur während der höchsten Außentemperatur im Sommer 2019 (22.07. bis 29.07.2019). In der rechten oberen Ecke ist eine Vergrößerung für den wärmsten Tag (25.07.2019) dargestellt.



Abbildung 6: Links: Verschattung mit Schiebeläden im Sommer 2018 (16.08.2018; Quelle: PHI). Rechts: Lage des Gebäudes (Quelle: google maps; Zugriff vom 25.08.2020)

Die Übertemperatur kann auch durch die Messung der Überschreitung über 25°C überprüft und beurteilt werden, in dem die Stundendaten des ganzen Jahres absteigend sortiert werden (Abbildung 7). Durch die gekennzeichnete 25°C-Grenze (gestrichelte rote Linie) kann einfach abgelesen werden, wie groß die Überschreitungen innerhalb der Einzelwohnungen in diesem wärmsten gemessenen Sommer sind. Es zeigt sich, dass die wärmste Wohnung - mit deutlichem Abstand zu den anderen Wohnungen – eine Überschreitung von 525 h erreicht. Das entspricht 6,0% der Jahresstunden. Mit deutlichem Abstand folgt das Feld der restlichen Wohnungen. Hier ist die höchste Überschreitung mit 204 (2,3%) und dann 144 (1,6%) bzw. 105 Stunden (1,2%) als sehr moderat zu bewerten. Es folgen noch 6 Wohnungen mit marginalen Überschreitungen. Die kühlest 6 Wohnungen schaffen die Hitzeperiode ohne Überschreitung der 25°C-Grenze.

Auch diese Untersuchung zeigt die Ausnahmestellung der wärmsten Wohnung und verdeutlicht das sehr gute Ergebnis zur sommerlichen Überwärmung: Passivhäuser können durch geeignete Maßnahmen wie einer Außenverschattung ohne aktive Kühlung heiße Sommerphasen sehr gut meistern.

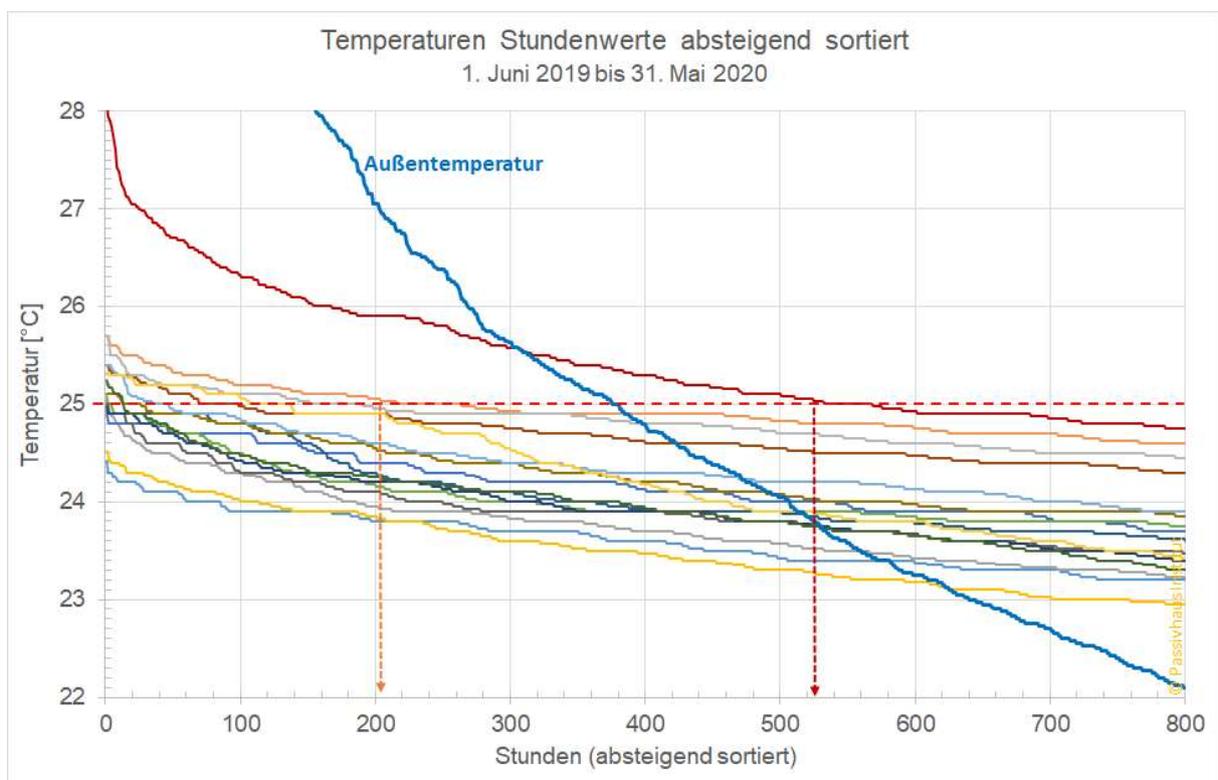


Abbildung 7: Stundenwerte der Temperaturmessung (1.06.2019 bis 31.05.2020. Jahreszeitraum mit den höchsten gemessenen Sommertemperaturen) absteigend sortiert. Dargestellt ist der Abschnitt von 800 Stunden mit den höchsten Messwerten. Die 25°C-Grenze ist durch eine rot gestrichelte Linie gekennzeichnet. Deutlich fällt eine Wohnung mit 525 Stunden oberhalb von 25°C aus dem Rahmen. Alle anderen Wohnungen haben nur sehr moderate Übertemperaturen.

Kälteste Periode 2019/2020

Die niedrigste, stundengemittelte Außentemperatur des Winters 2019/2020 wurde am Gebäude am 02. Januar 2020 mit moderaten $-0,9\text{ °C}$ gemessen. Zur Beurteilung der winterlichen Raumtemperaturen werden die Innentemperaturen der 16 Wohnungen in diesem Zeitraum untersucht (Abbildung 8). Vom 28.12.2019 bis zum 09.01.2020 beträgt der Mittelwert über alle Wohnungen $20,5\text{ °C}$. Der Mittelwert der durchschnittlich kältesten Wohnung in diesem Zeitraum liegt bei $18,9\text{ °C}$, derjenige der wärmsten bei $22,1\text{ °C}$. Interessant ist dabei, dass sich die Wohnungen direkt nebeneinander befinden. Durch diese benachbarte Lage lässt sich vermuten, dass die ganz unterschiedlichen Temperaturniveaus die Bewohnerwünsche widerspiegeln.

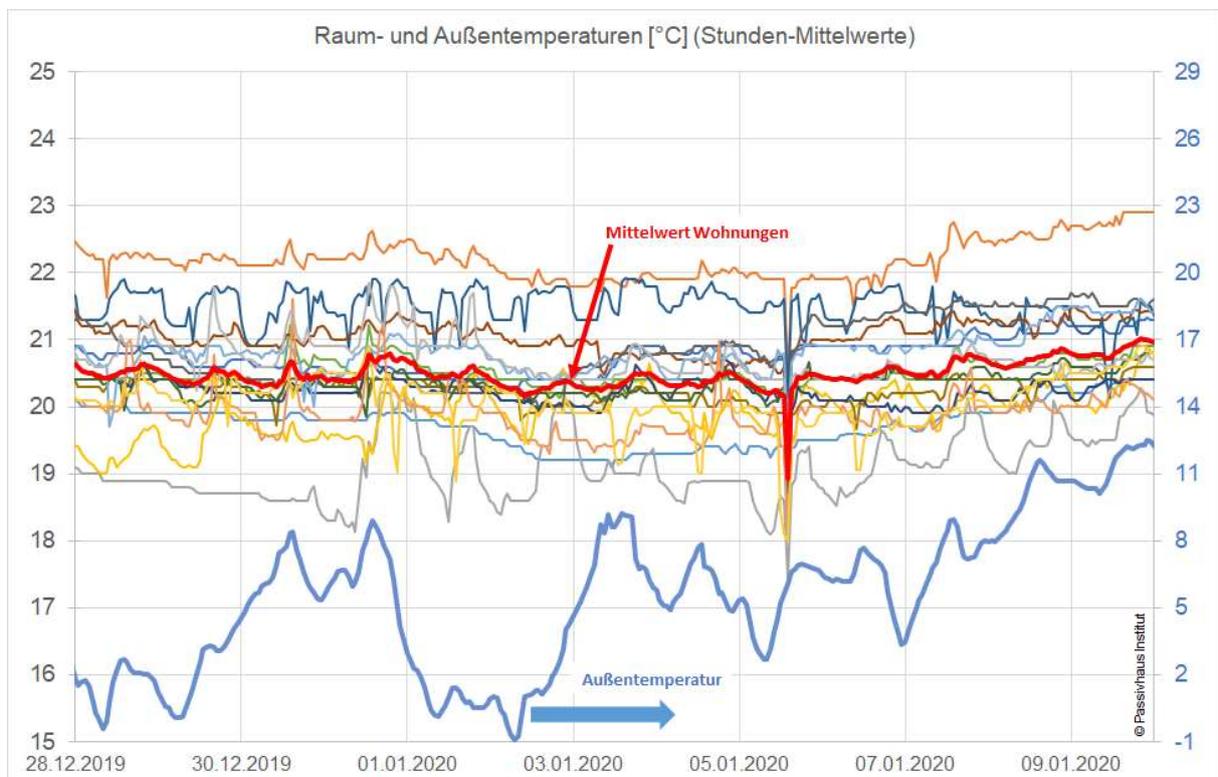


Abbildung 8: Verlauf der Raumtemperaturen der 16 Wohnungen sowie der Außentemperatur im Zeitraum mit der niedrigsten Außentemperatur vom Winter 2019/2020 am 02.01.2020 mit $-0,9\text{ °C}$ (Stundenmittelwerte vom 28.12.2019 bis 09.01.2020).

Kälteste Periode 2021

Betrachtet werden soll auch der Zeitraum mit der niedrigsten Temperatur während der gesamten Untersuchungszeit (Abbildung 9). Am 13. Februar 2021 wurden um 07:00 Uhr außen am Gebäude $-10,2\text{ °C}$ festgestellt. In der Kältephase vom 07.02. bis zum 14.02.2021 beträgt der Mittelwert aller Wohnungen $20,7\text{ °C}$. Der Mittelwert der durchschnittlich kältesten Wohnung in diesem Zeitraum beträgt $18,5\text{ °C}$, der der wärmsten $22,7\text{ °C}$.

Auffällig sind die beiden kühlestes Wohnungen (gelbe und graue Linie): Der erkennbare Tagesgang, insbesondere bei der Wohnung, welche mit der grauen Linie dargestellt ist, deutet auf eine offensichtliche Anbindung an die Außenbedingungen hin. Hier sind vermutlich trotz der kontrollierten Wohnraumlüftung dauerhaft Fenster geöffnet. Die Temperaturen aller anderen Wohnungen zeigen deutlich gleichmäßigere Verläufe und nur vereinzelte, kurze Absenkungen. Diese entstehen vermutlich durch kurzzeitige Fensterlüftungen.

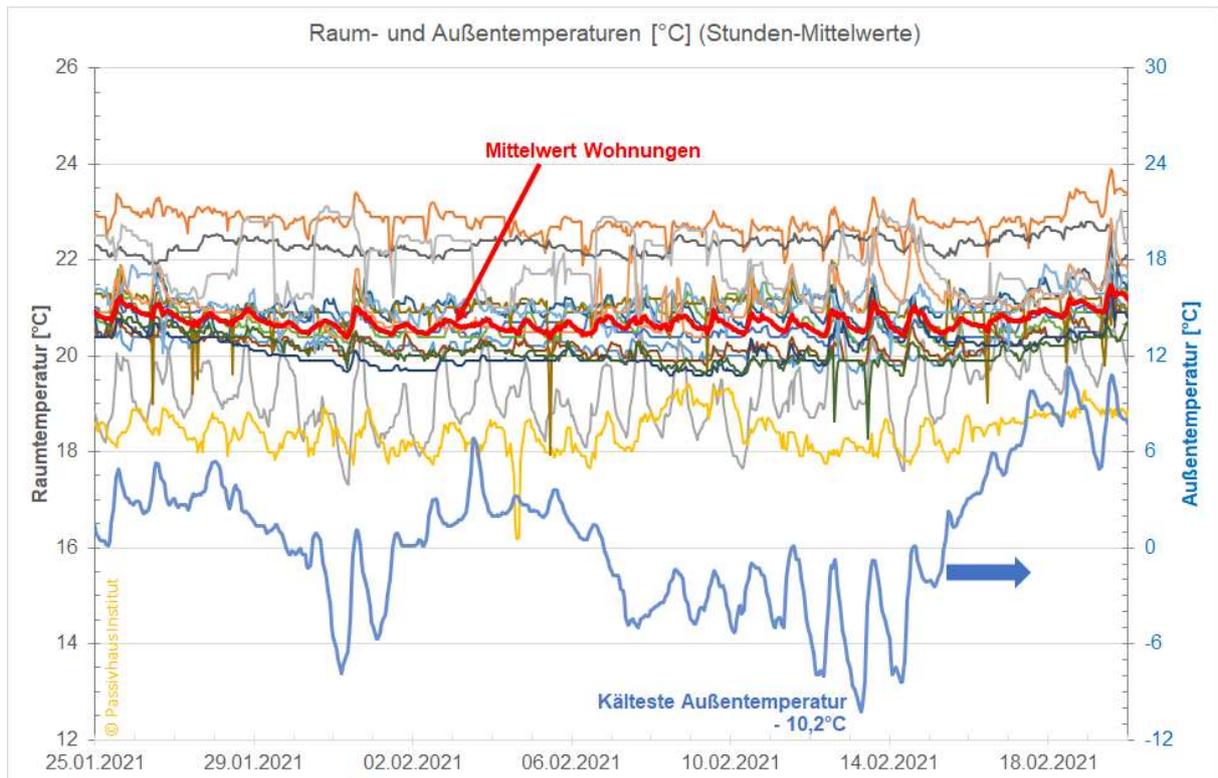


Abbildung 9: Verlauf der Raumtemperaturen der 16 Wohnungen sowie der Außentemperatur im Zeitraum mit der niedrigsten gemessenen Außentemperatur vom 25.01. bis zum 19.01.2021.

2.3 Wärmeverbrauch

Zur Beurteilung der thermischen Gebäudequalität sind die gemessenen Verbrauchsdaten von zentraler Bedeutung. Die Messwerte der Zähler werden zur besseren Vergleichbarkeit auf die beheizte Fläche des Gebäudes bezogen (Energiebezugsfläche „EBF“; 1475,5 m²).

Die Fernwärme ist der einzige bezogene thermische Energieträger. Er dient zur Beheizung und für die Warmwasserversorgung des Gebäudes. Dieser Messwert stellt die zentrale Größe für die Gesamtversorgung des Gebäudes dar, alle anderen Verbrauchsgrößen sind nachgelagert. Die Analyse zeigt, dass das Gebäude - mit Ausnahme des ersten Jahres (Eingewöhnung, Einregulierung) nach der Fertigstellung - mit **45 bis 46 kWh/(m²a) vollständig versorgt** wird.

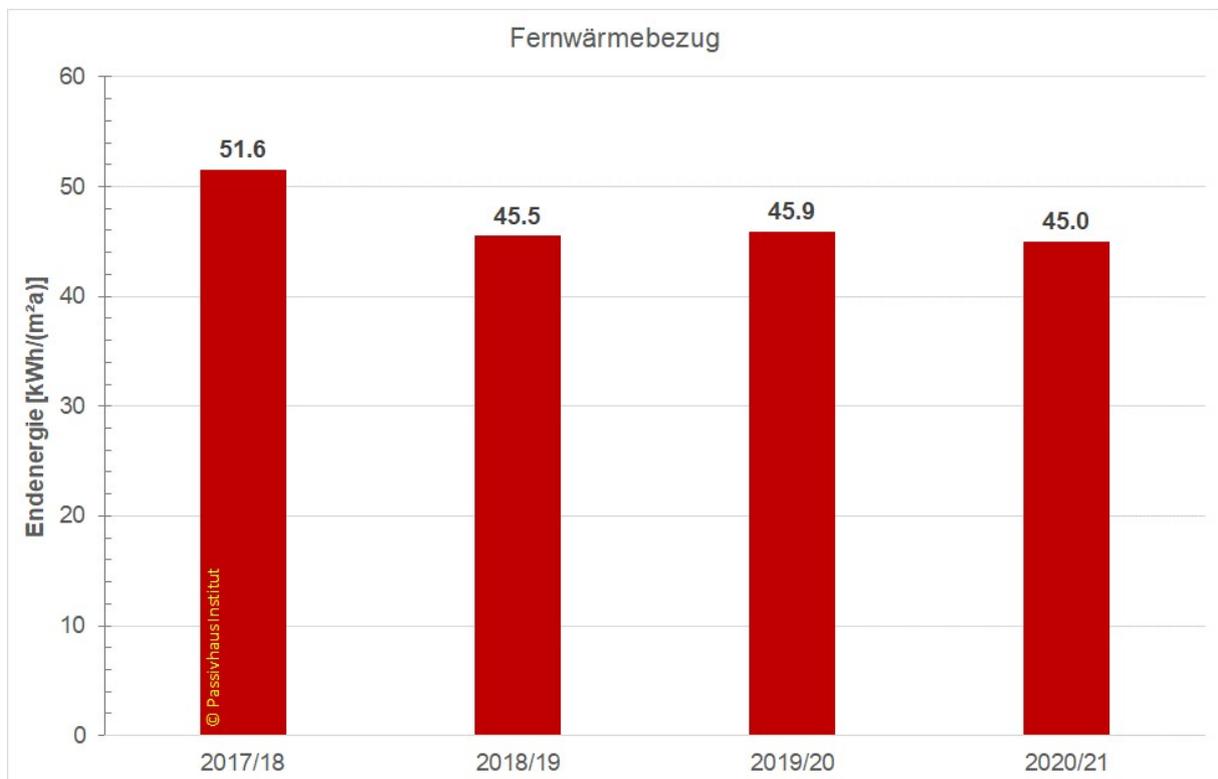


Abbildung 10: Energiebezug des Gesamtgebäudes für alle thermischen Anwendungen (Heizung, Warmwasser und Frostschutz Lüftung) in den vier untersuchten Jahreszeiträumen (jeweils Juni bis Mai).

Wärmeverbrauch der Teilbereiche

Für die weiteren Verbrauchsanalysen wurde der gesamte Fernwärmebezug eines Bilanzjahres jeweils in die vier Unterbereiche Frostschutz Lüftung, Heizung Gesamthaus, Warmwasser und „Umwandlung“ aufgeteilt. Der Bilanzrest „Umwandlung“ dieser drei Verbrauchsbereiche gegenüber der gelieferten Energie enthält die Umwandlungsverluste (Wärmetauscher Übergabestation, Leitungsverluste bis zur den Unterzählern)

sowie Messfehler. Diese Aufteilung ist für das letzte Messjahr in der folgenden Grafik dargestellt (Abbildung 11). In diesem Jahreszeitraum wurden insgesamt 45,0 kWh/(m²a) Fernwärme bezogen.

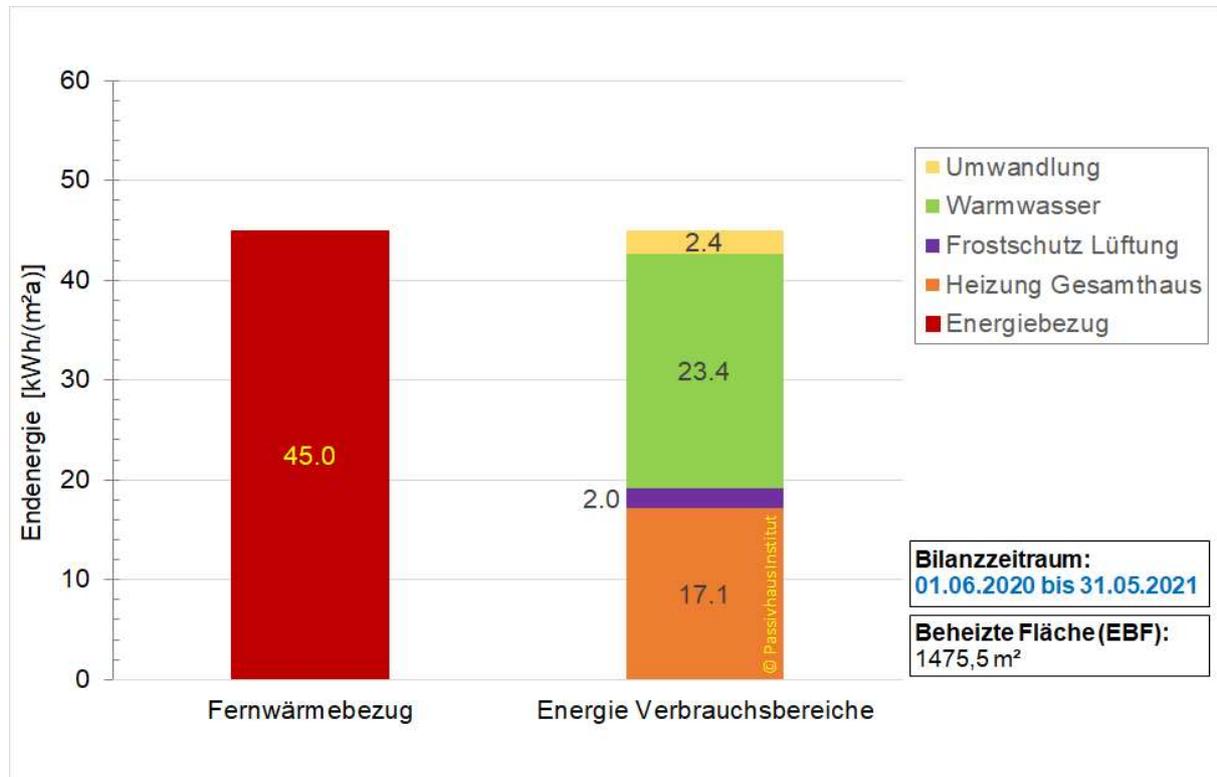


Abbildung 11: Energiebezug des Gebäudes und die Aufteilung in die unterschiedlichen Verbrauchsbereiche (Jahreszeitraum Juni 2020 bis Mai 2021).

Wie in einem Passivhaus üblich stellt die **Warmwasserversorgung** den dominanten Teil des Wärmeverbrauchs dar. Gegenüber herkömmlichen Wohngebäuden ist die Beheizung so stark reduziert, dass die Brauchwassererwärmung anteilig viel stärker ins Gewicht fällt. In den gemessenen **23,4 kWh/(m²a)** sind die Speicher- und Verteilverluste (auch Zirkulationswärme) enthalten, da die Messung der Energiemenge vor dem Speicher angeordnet ist.

Der sehr geringe Verbrauchswert für die **Beheizung** des Gebäudes von nur **17,1 kWh/(m²a)** enthält durch die zentrale Messposition im Technikeller die Verbrauchsgrößen:

- Wärmeverbrauch der 16 Wohnungen und
- Verteilwärme außerhalb (Keller) und innerhalb der thermischen Hülle

Damit ist in dieser Energiemenge auch ein Anteil des Wärmeverbrauchs enthalten, der nicht zur Erwärmung der Wohnungen genutzt werden kann.

Die zentrale **Lüftungsanlage** im Keller des Gebäudes ist mit einem im Außenluftstrom montiertem **Frostschutzregister** ausgestattet. Diese dient zur Vorerwärmung der kalten Außenluft, um den Plattenwärmetauscher im Lüftungsgerät vor dem Einfrieren zu schützen. Da dieses Vorheizregister direkt mit Heizungswasser durchströmt wird, ist ein Frostschutzmittel enthalten. Diese Art der Anordnung ohne Sekundärkreislauf ist thermisch nicht optimal, da das Gerät bereits bei Temperaturen deutlich oberhalb der Frostgefahr dauerhaft mit Heizungswasser durchströmt werden muss. Für den Jahreszeitraum 2020/2021 wurden **2,0 kWh/(m²a)** gemessen. Das entspricht absolut gut 3.000 kWh pro Jahr für diesen Verbrauchsbereich. Der Verbrauch könnte noch weiter gesenkt werden, wenn die Einschalttemperatur weiter reduziert werden würde.

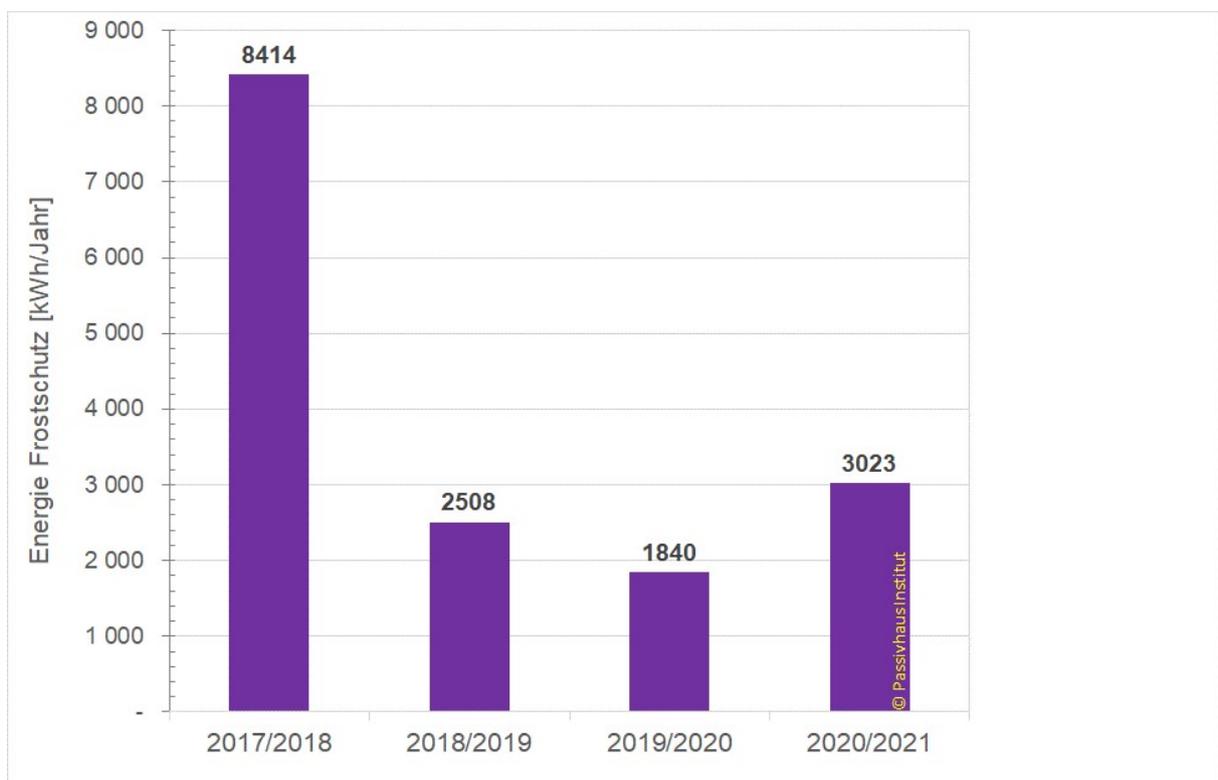


Abbildung 12: Absoluter Energieverbrauch für das Frostschutzregister in vier Jahreszeiträumen (jeweils Juni bis Mai des Folgejahres). Deutliche Reduktion durch Veränderung der Einstellwerte (Grenztemperatur).

Auf Drängen des PHI wurden die Einstellwerte für das Einschalten des Heizregisters vor dem Winter 2018/2019 bereits auf eine niedrigere Temperatur verstellt. Zum Vergleich liegen für den vorherigen Jahreszeitraum (Juni 2017 bis Mai 2018) auch Messdaten vor. Der Verbrauch nur für den Frostschutz lag bei **5,7 kWh/(m²a)**, entsprechend 8.400 kWh. Nach der Reduktion der relativ hoch eingestellten Einschalttemperatur ergab sich damit eine **Reduktion von 5.900 kWh**. Natürlich haben die unterschiedlichen Wetterbedingungen der beiden Winterzeiträume auch einen Einfluss auf die Laufzeiten und damit auf den Wärmeverbrauch der Anlage. Die Verstellung der Einschalttemperatur ist hier allerdings die entscheidende Größe.

Die Veränderung der Grenztemperatur wurde erst relativ spät, etwa Anfang November 2018 durchgeführt. Im Folgejahr 2019/2020 liegt sie vermutlich daher nochmals niedriger. Im Jahr 2020/2021 dagegen ist sie wieder deutlich gestiegen, was vermutlich durch den kälteren Winter begründet ist: In diesem Winter gab es 11 Tage mit einer Tagesmitteltemperatur unter 0°C, in dem Jahr davor gab es keinen Tagesmittelwert unter 0°C; 2018/19 waren es nur fünf Tage.

Wärmeverbrauch in den vier Jahreszeiträumen

Die Aufteilung des Fernwärmebezugs in die unterschiedlichen Verbrauchsbereiche wurde für jedes der vier Jahre durchgeführt. Das Ergebnis ist in Abbildung 13 zu sehen. Die Veränderungen zwischen den Bilanzjahren sind nur sehr gering und vermutlich durch Wetterbedingungen und Nutzerverhalten begründet. Damit zeigt sich, dass es sich somit um ein stabiles Ergebnis und keine Momentaufnahme handelt. Es sind keine Ursachen von Seiten der Bausubstanz anzunehmen, die eine Veränderung des sehr niedrigen Verbrauchsniveaus vermuten lassen. Ein solch robustes Gebäude und Technikkonzept wird höchstwahrscheinlich viele Jahre Verbrauchswerte auf diesem niedrigen Niveau garantieren. Andere Untersuchungen zeigen, dass es sich bei Gebäuden dieser Qualität um dauerhafte Lösungen handelt [Feist et al. 2016] [Peper/Kah/Feist 2005].

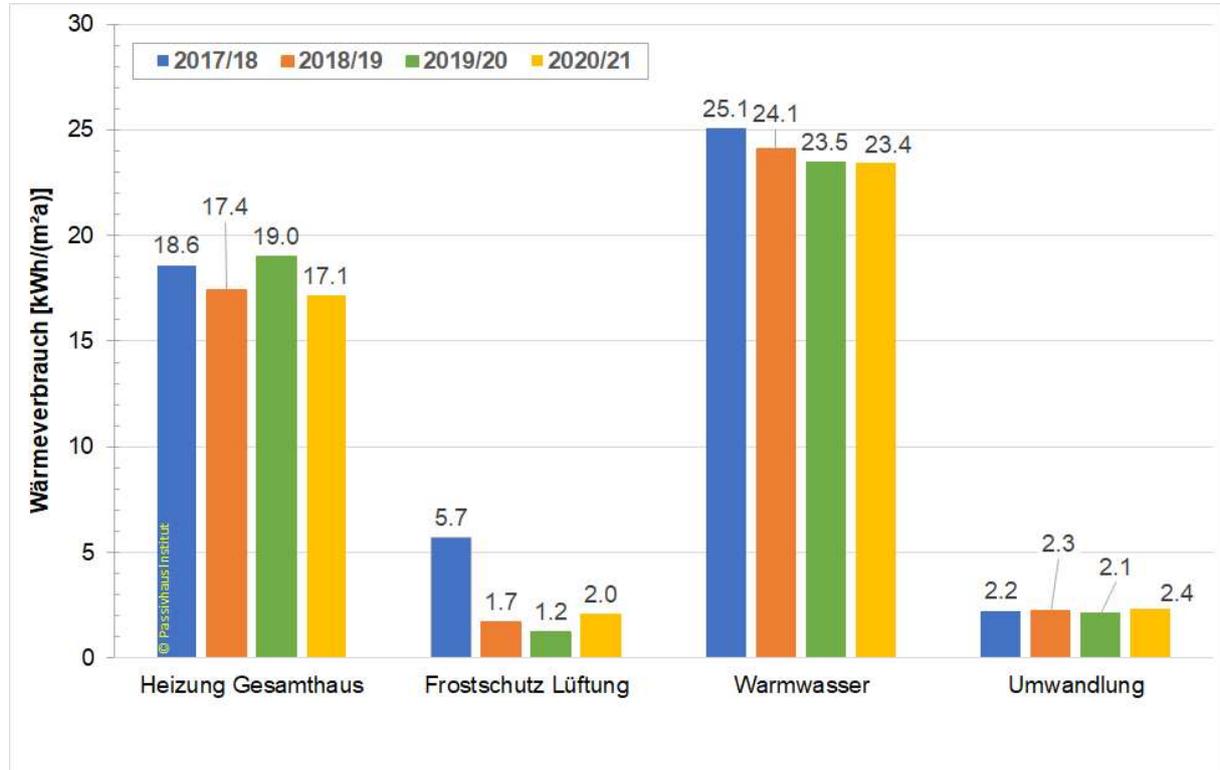


Abbildung 13: Spezifischer Energieverbrauch für die vier Verbrauchsbereiche für alle vier Jahreszeiträume (jeweils Juni bis Mai des Folgejahres). Es zeigt sich ein stabiles Verbrauchsprofil über die vier Messjahre.

Angedacht für das Gebäude ist eine langzeitige Dauerüberwachung nur der wichtigsten Verbrauchszähler, um die doch unwahrscheinliche Veränderungen frühzeitig erkennen zu können. Eine solche Beobachtung zumindest der Jahresverbrauchswerte ist generell angeraten.

Jahresverlauf Wärmeverbrauch

Der Verlauf der vier Wärmeverbrauchsbereiche über die Messjahre (Abbildung 14) gibt weitere Aufschlüsse:

- **Heizwärmeverbrauch:** In allen Sommermonaten wurde im Gebäude ein unnötiger Wärmeverbrauch festgestellt. Zum Teil wird dieser Verbrauch durch die Abkühlung der Versorgungsleitungen außer- und innerhalb der thermischen Hülle erfolgen, auch wenn die Wohnungen selber aktiv keine Wärme abgenommen haben. Insbesondere in den z.T. extrem warmen Sommern wundern sommerliche Wärmeverbrauchswerte. Aber auch im Monat Mai sollte in einem thermisch trägen Gebäude wie einem Passivhaus kein Heizbedarf bestehen. Selbst einige kühle Tage machen hier eine Beheizung in der Regel nicht nötig. Das Ziel in den Sommermonaten ist es, das Gebäude möglichst passiv kühl zu halten (Außenverschattung, niedrige interne Gewinne). Eine zusätzliche aktive Beheizung ist dabei natürlich nicht sinnvoll und kontraproduktiv.

Der Verbrauch in den Sommermonaten Juni bis September kann der Tabelle entnommen werden. Ob bereits im Oktober geheizt werden muss, ist aufgrund der hohen Trägheit des Gebäudes zu hinterfragen. Die Mitteltemperatur des Oktobers lag z.B. im Jahr 2018 bei 12,7°C; erst ab dem 27.10. lagen die Temperaturen an mehreren Tagen hintereinander unter 10°C, was eine Beheizung ggf. erklärbar machen würde.

Tabelle 2: Sommerlicher Heizwärmeverbrauch in den Monaten Juni bis September in den drei Messjahren.

Juni bis September	[kWh]	[kWh/m²]
Sommer 2018	561	0,4
Sommer 2019	804	0,5
Sommer 2020	742	0,5

Empfehlung: Zu empfehlen ist eine zentrale Abschaltung der Heizungsversorgung des Gebäudes vom z.B. 1. Mai bis zum 15. Oktober. Dies sollte im Technikkeller händisch durch die Abschaltung der Heizkreispumpe und der Absperrung des Heizungsstranges erfolgen. Damit würde der Heizwärmeverbrauch, aber auch die Sommersituation noch weiter verbessert.

- **Frostschutz:** Wie weiter ob bereits diskutiert, könnte die weitere, vorsichtige Anpassung der Frostschutzgrenze den Wärmeverbrauch noch etwas weiter reduzieren.

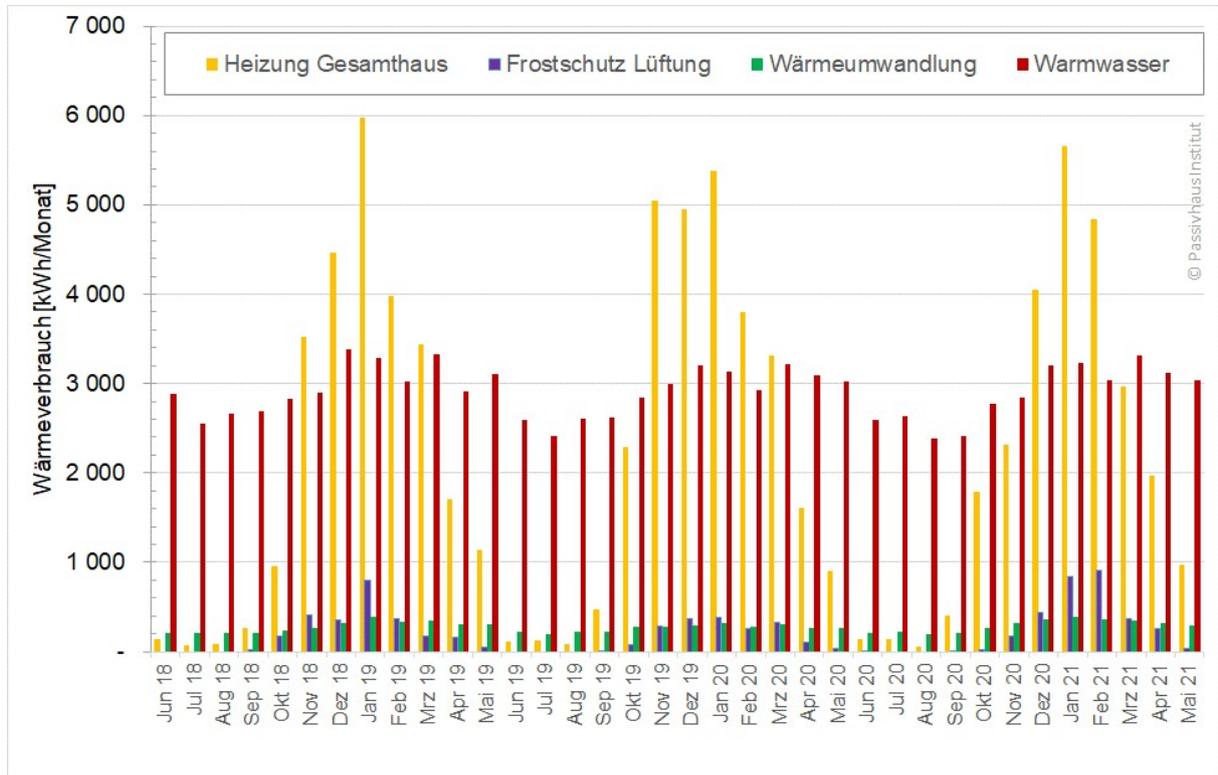


Abbildung 14: Verlauf der Wärmeverbräuche in Monatswerten über die drei Messjahre.

- **Warmwasser:** Es ist eine typische Schwankung des Warmwasserverbrauchs zwischen den Sommer- und den Wintermonaten zu erkennen. In diesem Gebäude liegt der Sommerverbrauch bei 81 bis 86% des Verbrauchs vom Winter. Dabei wurden jeweils die Monate Juni bis September mit den Monaten November bis Februar verglichen (jeweilige Mittelwerte). Der Mittelwert über die drei Messjahre liegt bei 84% des Sommerverbrauchs (Reduktion: 16%).

2.4 Heizwärme Wohnungen

Aufgrund der Ausstattung aller 16 Einzelwohnungen mit Wärmezählern können auch Aussagen zum Wärmeverbrauch der Wohnungen und zur Wärmeverteilung bzw. den Verlusten gemacht werden. Der Gesamtzähler „Beheizung Gesamthaus“ im Keller verzeichnet deutlich höhere Verbrauchswerte (z.B. 2018/19: 17,4 kWh/(m²a)) als die Summe der Einzelzähler der Wohnungen (z.B. 2018/19: 9,9 kWh/(m²a)). Diese

Differenz von 7,5 kWh/(m²a) hat – wie weiter oben bereits erwähnt - unterschiedliche Ursachen:

- Verteilwärme der Leitungen außerhalb (Keller) und innerhalb der thermischen Hülle bis zu den Zählern in den Wohnungen
- Messfehler der Wärmezähler

Die durch die Wärmeverteilung abgegebene Wärmemenge teilt sich auf in die Bereiche außer- und innerhalb der thermischen Hülle. Zusätzlich muss innerhalb der thermischen Hülle zwischen der Abgabe zu Heizzeiten (= kann genutzt werden) und außerhalb der Heizzeit (führt zur Erwärmung des Gebäudes über die Solltemperatur z.B. 20°C, wird nicht benötigt; wird ggf. sogar abgelüftet) unterschieden werden. Mittels der verlegten Leitungslängen und einem im PHPP berechneten Nutzungsgrad können diese Effekte abgeschätzt werden. Für das Gebäude ergibt sich ein Anteil von 28% der Verteilwärme, welcher für die Beheizung genutzt werden kann. Diese Wärme führt zu einem zusätzlichen Wärmeeintrag („Beheizung“) der Wohnungen und wird daher bei den Einzelverbrauchswerten berücksichtigt.

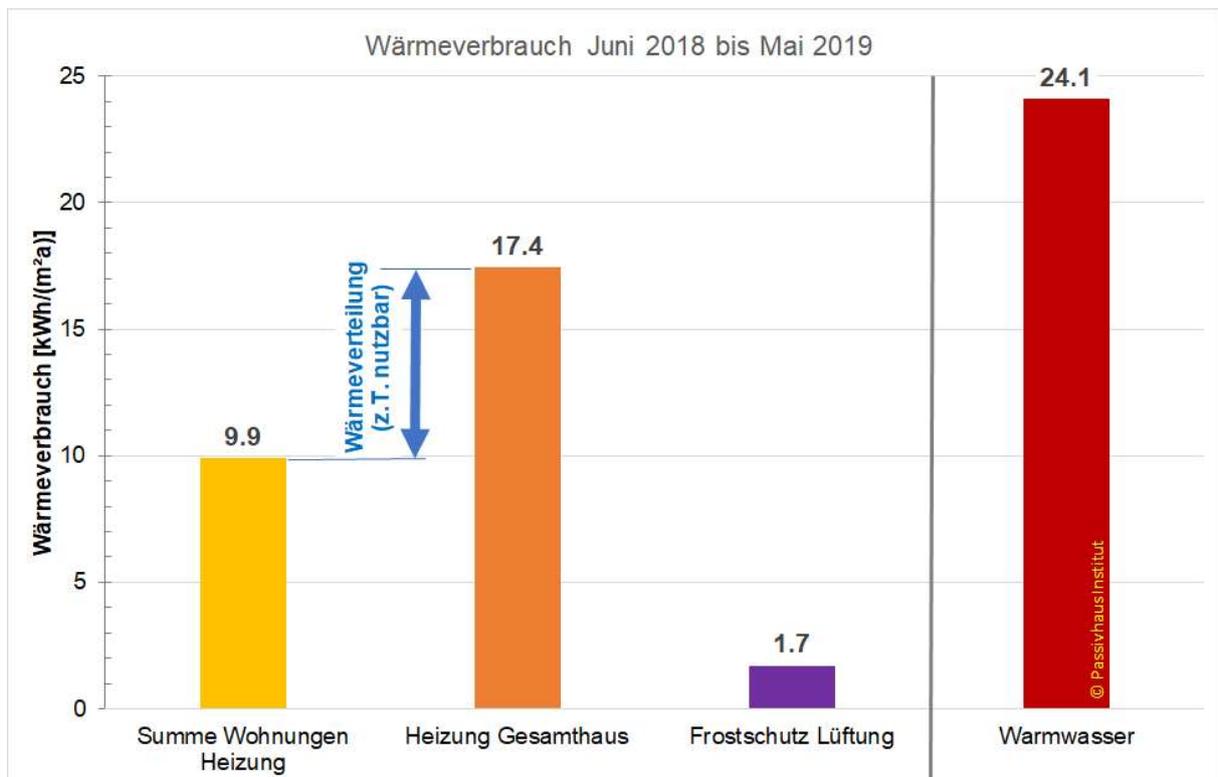


Abbildung 15: Wärmeverbrauch im Gebäude für die unterschiedlichen Verbrauchsbereiche (Beispielhaft: Juni 2018 bis Mai 2019). Der Unterschied des Heizwärmeverbrauchs des Gesamthauses gegenüber der Summe der Verbräuche der 16 Einzelwohnungen erklärt sich in der Hauptsache durch die Wärmeverteilung. Diese ist zum Teil nutzbar und zum Teil nicht nutzbar (Verluste).

Die eingebrachte Energie für den Frostschutz des zentralen Lüftungsgerätes wird zum größten Teil wieder an die Fortluft übertragen und verlässt das Gebäude ungenutzt wieder. Nur etwa der Anteil „100% minus Wärmerückgewinnungsgrad“ wird dem Gebäude über die Lüftung als nutzbare Wärme zugeführt. Das entspricht bei dem eingesetzten Gerät etwa 17% laut Herstellerangabe. Von der eingesetzten Energie des Frostschutzregisters werden diese geringen Anteile ebenfalls bei der Wärmeversorgung der Einzelwohnungen berücksichtigt.

Für die Auswertung der 16 Wohnungen werden die Einzelmesswerte „Heizwärme Wohnung“ mit den oben beschriebenen nutzbaren Anteilen aus der Verteilung und dem Frostschutz ergänzt. Wie bei einem Gebäude üblich ergibt sich aufgrund des Nutzereinflusses eine deutliche Streuung der Verbrauchswerte (Abbildung 16). Diese liegen im Winter 2018/19 z.B. zwischen 2,4 und 50,2 kWh/(m²a). Als flächengewichteter Jahres-Mittelwert werden **12,3 kWh/(m²a)** verbraucht.

Es handelt sich damit um einen sehr geringen Verbrauchswert und ein sehr gutes Ergebnis für das Gebäude. Für die anderen beiden Bilanzjahre ergibt sich ein vergleichbares, sehr gutes Bild (siehe Anhang und Abbildung 17). Die Abschaltung der Wärmeverbräuche in den Sommermonaten würde das Ergebnis noch weiter verbessern.

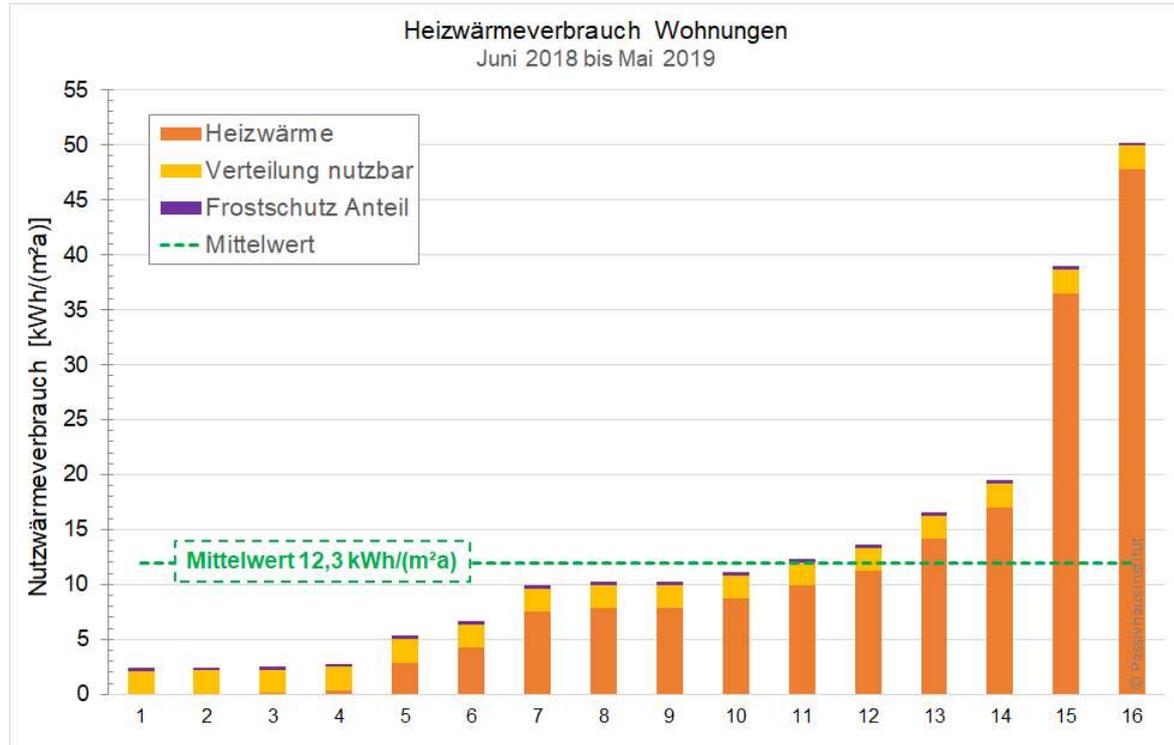


Abbildung 16: Nutzwärmeverbrauchswerte der 16 Einzelwohnungen im beispielhaften Bilanzjahr 2018/19. Neben den in den Wohnungen gemessenen Wärmeverbräuchen werden auch die nutzbaren Anteile der Wärmeverteilung und des Frostschutz der Lüftung berücksichtigt.

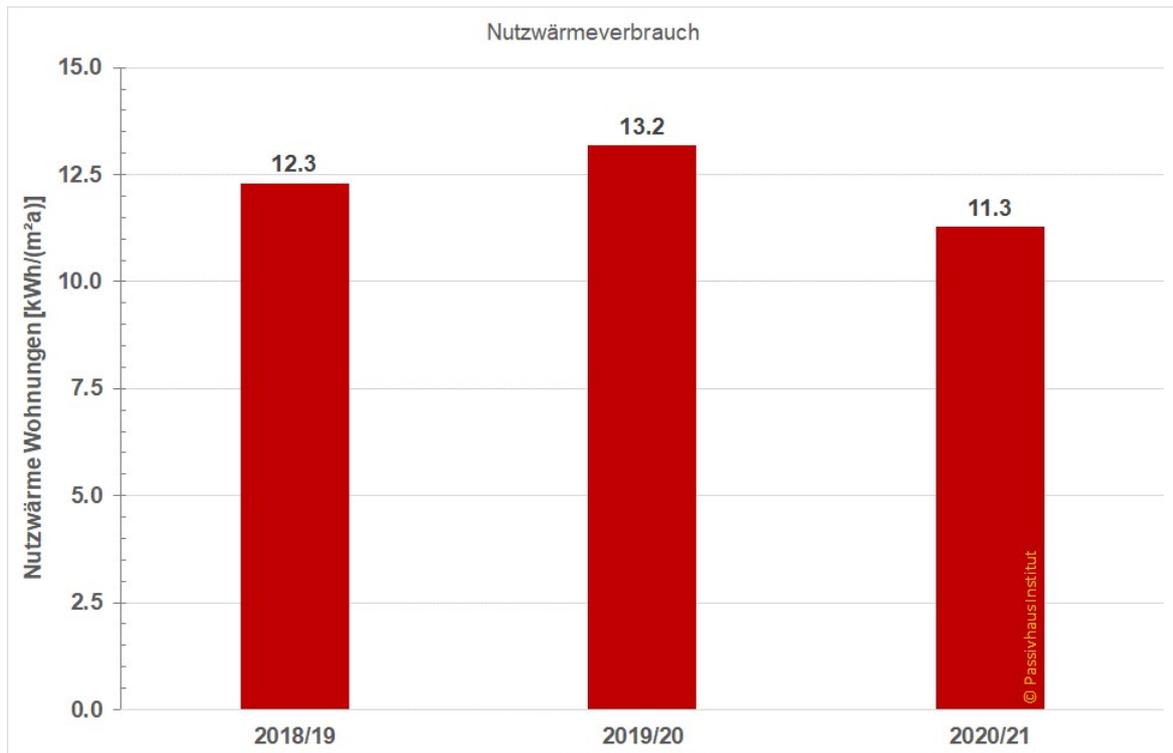


Abbildung 17: Nutzwärmeverbrauchswerte der 16 Einzelwohnungen in den drei Bilanzjahren. Neben den in den Wohnungen gemessenen Wärmeverbräuchen werden auch hier die nutzbaren Anteile der Wärmeverteilung und des Frostschutzes der Lüftung berücksichtigt.

Als Voraussetzung für die Analyse der Einzelwohnungen wird angenommen, dass alle Wärmezähler richtig eingebaut sind und funktionieren. Dies konnte in den Wohnungen nicht überprüft werden. Die Plausibilität der Verbrauchsdaten wurde u.a. überprüft, in dem ein Zusammenhang der Heizwärmeverbräuche der Wohnungen mit den Temperaturen der Wohnungen betrachtet wurde. Die weiteren Einflussfaktoren wie der Stromverbrauch und das Fensterlüftungsverhalten konnten dabei nicht berücksichtigt werden. Insgesamt ergibt sich dabei ein plausibles Bild. Es wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Bei Wohnungen mit höheren winterlichen Raumlufttemperaturen ist auch ein höherer Heizwärmeverbrauch festzustellen, bzw. liegen sie benachbart zu wärmeren Wohnungen.

2.5 Heizleistung

Die thermische Qualität eines Gebäudes ist auch an der benötigten Heizleistung messbar. Bei Passivhäusern liegt die angestrebte Höchstgrenze für die Beheizung bei 10 W/m^2 . Für die Gesamtversorgung von Warmwasserbereitung und Beheizung an der Fernwärmeübergabe gelten 20 W/m^2 als empfohlener Höchstwert.

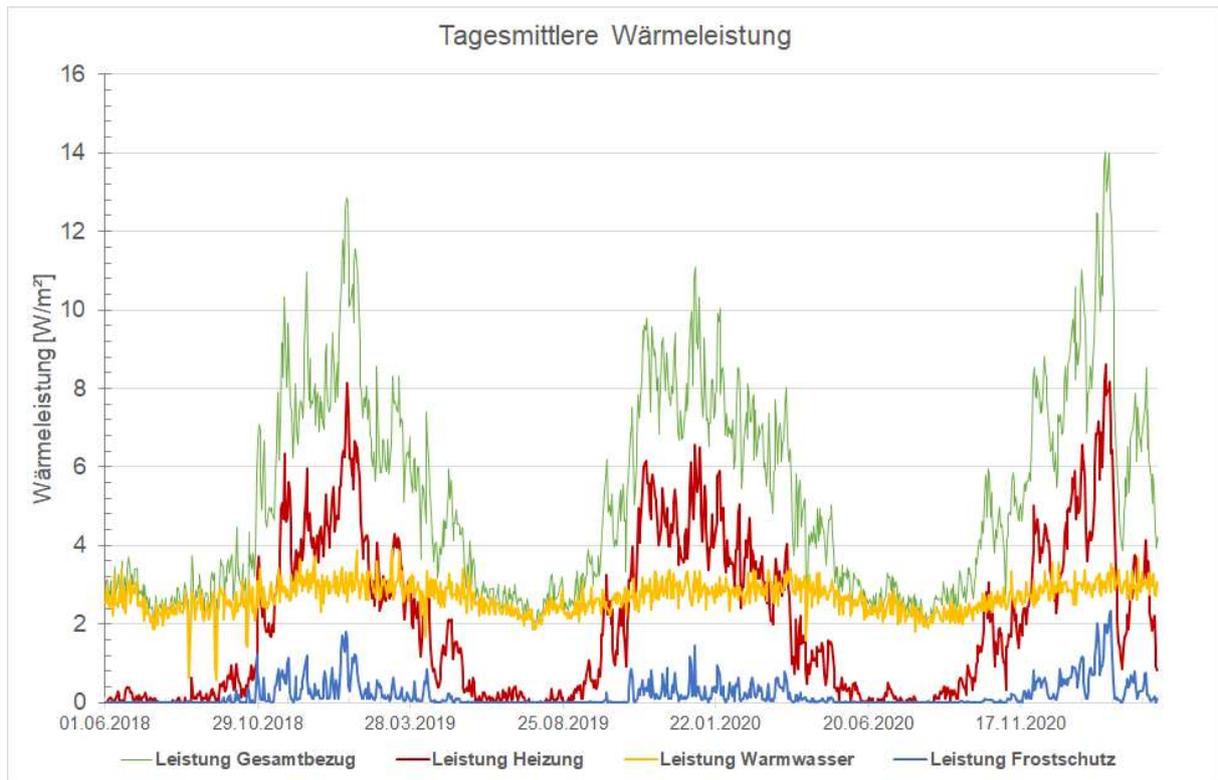


Abbildung 18: Spezifische Leistung der Wärmeanwendungen als Tagesmittelwerte im Verlauf der drei Messjahre.

Der Verlauf der tagesmittleren Messwerte der vier verfügbaren Wärmezähler ist in Abbildung 18 dargestellt. Zur Beheizung werden nur punktuell über 8 W/m^2 eingesetzt. In der PHPP Berechnung der Zertifizierung wurde die Heizleistung mit $8,4 \text{ W/m}^2$ für $20 \text{ }^\circ\text{C}$ Raumtemperatur und mit $8,8 \text{ W/m}^2$ für $20,9 \text{ }^\circ\text{C}$ (gemessene Raumtemperatur im Winter 2019/2020) ermittelt. Die Berechnung passt hier also sehr gut mit den Messwerten überein.

Das Gesamtgebäude benötigt in der Spitze nur 14 W/m^2 . Aufgrund der hohen thermischen Trägheit von energieeffizienten Gebäuden ist der Tagesmittelwert der Leistungen aussagekräftig. Die Warmwasserversorgung schwankt jahreszeitlich bedingt um den Wert von 3 W/m^2 Dauerleistung.

Diese ausgezeichnete Performance kann sich auch in der Investition der Infrastruktur positiv bemerkbar machen. In diesem Fall kann ein kleiner Anschlusswert der Fernwärme ausreichen, was geringere Grundkosten für die Bewohner zur Folge hat. In den meisten Fällen liegen deutlich zu hohe Anschlusswerte vor [Hasper/Peper 2021].

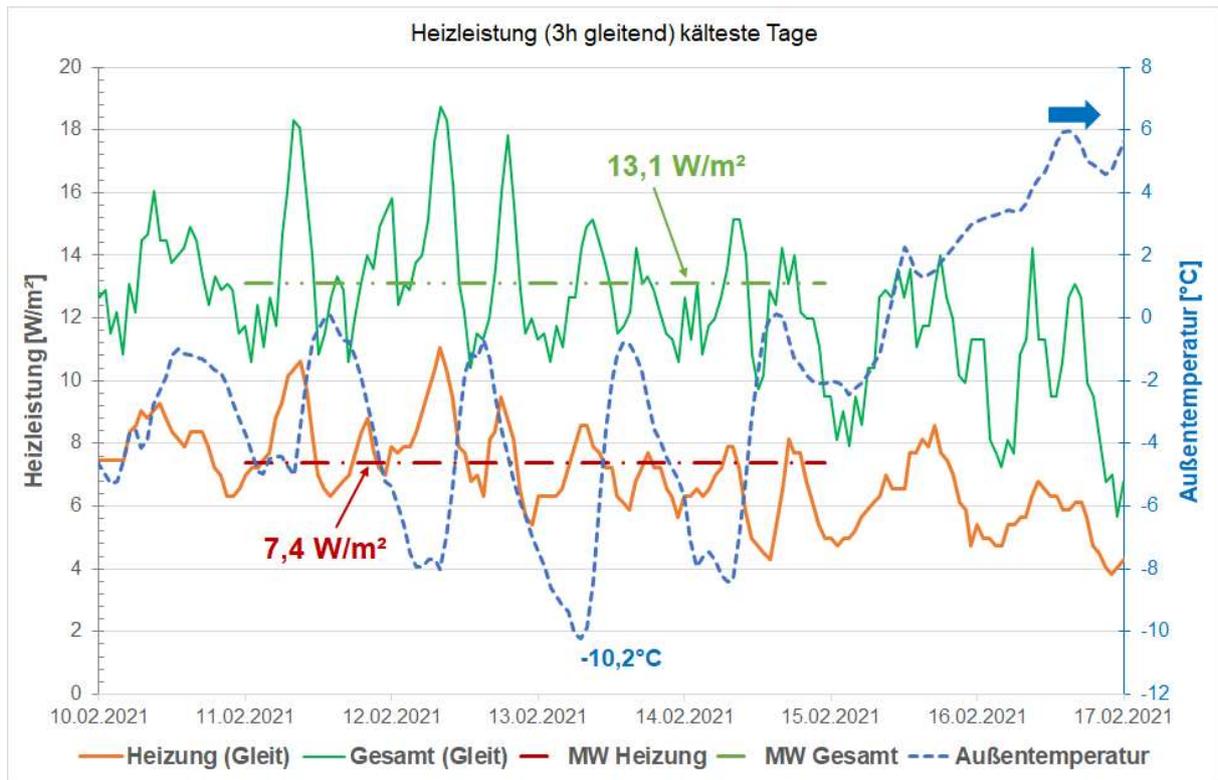


Abbildung 19: Heizleistungen (3h-Mittelwert, gleitend) im Zeitraum der niedrigsten Außentemperatur während der Untersuchungszeit. Zusätzlich sind die gesamten Mittelwerte für den Zeitraum 11.2. bis 14.2.2021 aufgetragen.

Bei der Untersuchung des Verhaltens der Heizleistung in der Kälteperiode im Februar 2021 (kälteste Außentemperatur im Messzeitraum) werden - abweichend vom Tagesmittelwert weiter oben - die gleitenden 3-Stunden-Mittelwert der Stundendaten dargestellt (Abbildung 19). Auch hier zeigen die Messwerte sehr niedrige Ergebnisse, die auf die hochwertige Qualität des Gebäudes hinweisen: Die Heizleistung erreicht in zwei Spitzen maximale Werte von 11 W/m^2 . Während der Kälteperiode vom 11. bis zum 14. Februar liegt der Mittelwert bei nur $7,4 \text{ W/m}^2$. Für die Versorgung aller thermischen Anwendungen des Gesamtgebäudes liegt der Mittelwert bei nur $13,1 \text{ W/m}^2$. Die kurzzeitigen Spitzen liegen hier deutlich unter 20 W/m^2 .

2.6 Stromverbrauch

Die Stromverbrauchswerte der Wohnungen und des Gemeinschaftsstroms werden nicht automatisiert durch die GLT erfasst und aufgezeichnet. Diese Werte liegen nur als manuelle Jahresablesewerte für zwei Zeiträume vor. Als Jahresverbrauchswerte geben sie damit aber einen guten Überblick.

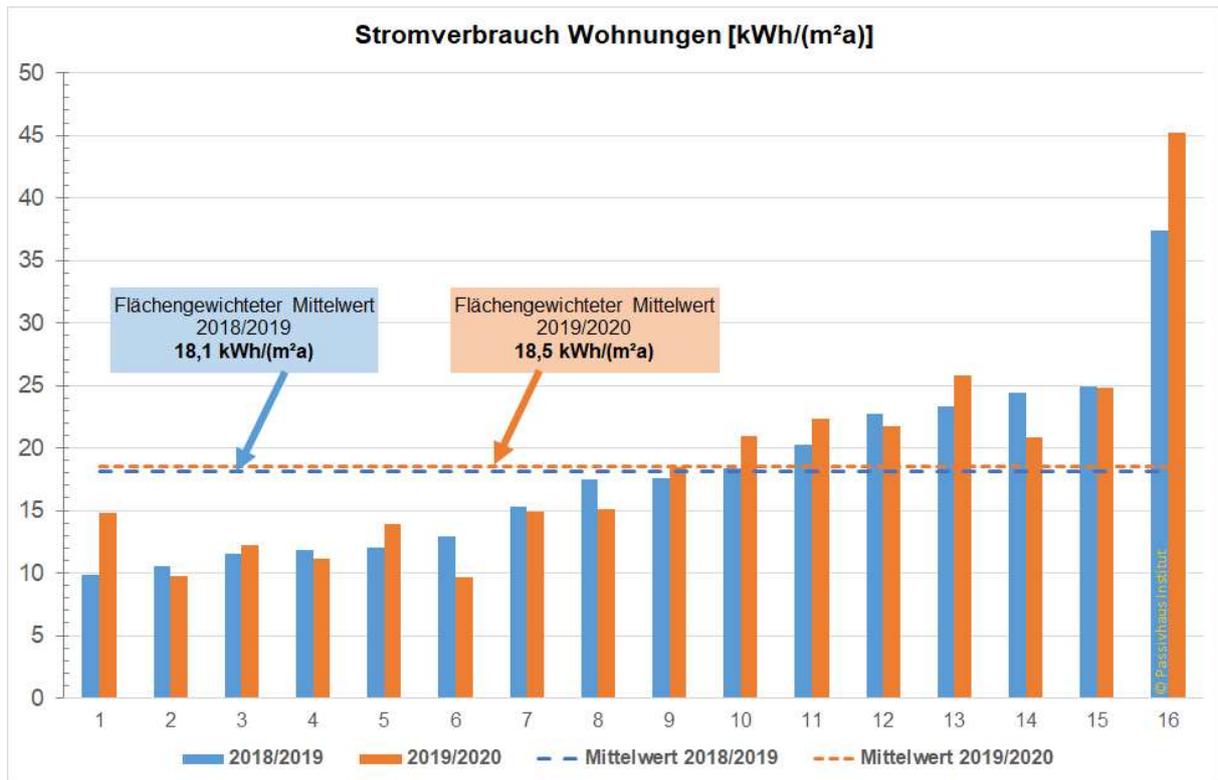


Abbildung 20: Stromverbrauch der 16 Wohnungen in zwei Jahreszeiträumen. Die flächengewichteten Mittelwerte der beiden Zeiträume liegen sehr nah beieinander.

In den Wohnungen liegen die Verbrauchswerte zwischen knapp 10 und gut 45 kWh/(m²a). Auch hier ist eine typische Streuung zwischen den Wohnungen ersichtlich. Als Ursachen kommen die Belegungsdichte, das Nutzerverhalten sowie die unterschiedliche Geräteausstattung in Frage. Die Mittelwerte aller Wohnungen liegen mit 18,1 bzw. 18,5 kWh/(m²a) für die beiden Jahre nahe beieinander und sind relativ niedrig. Im Bundesdurchschnitt liegen die Werte für mittlere Verbrauchswerte etwa 4 bis 10 kWh/(m²a) höher¹. Diese unterdurchschnittlichen Stromverbrauchswerte führen auf niedrige Wärmeeinträge in dem Gebäude („interne Wärmequellen“). Das hat positive Einflüsse auf die Sommersituation in den Wohnungen, führt im Winter jedoch zu tendenziell etwas höheren Wärmebedarfswerten.

¹ Durchschnittswerte für die Verbrauchsklasse „mittel“ (C und D) im Mehrfamilienhaus für 2 und 3 Personen Haushalte [Stromspiegel 2021/22]. Umrechnung mit dem Ansatz 35 m²/Person, welcher auch im PPHP verwendet wird.

Zum Gesamt-Verbrauchsbild gehören auch die Stromverbräuche im Gebäude außerhalb der Wohnungen. Dazu gibt es im Gebäude drei weitere Verbrauchszähler, mit welchen die folgenden Bereiche erfasst werden:

- Technikstrom (Lüftungsanlage, Heizkreispumpen, Steuerung/GLT)
- Allgemeinstrom (Licht Treppenhaus etc.)
- Aufzug

Eine Übersicht über die Verbräuche ist in der folgenden Grafik dargestellt. Dabei dominiert der Technikstrom mit der Lüftungsanlage und den Heizkreispumpen deutlich. Allerdings sind die Werte im Vergleich zu anderen Gebäuden insgesamt moderat. Der niedrige Wert für den Aufzug deutet auf eine sehr geringe Nutzung und einen Fahrstuhl mit nur geringen Bereitschaftsverlusten hin (vgl. [Peper/Schnieders/Feist 2005]).

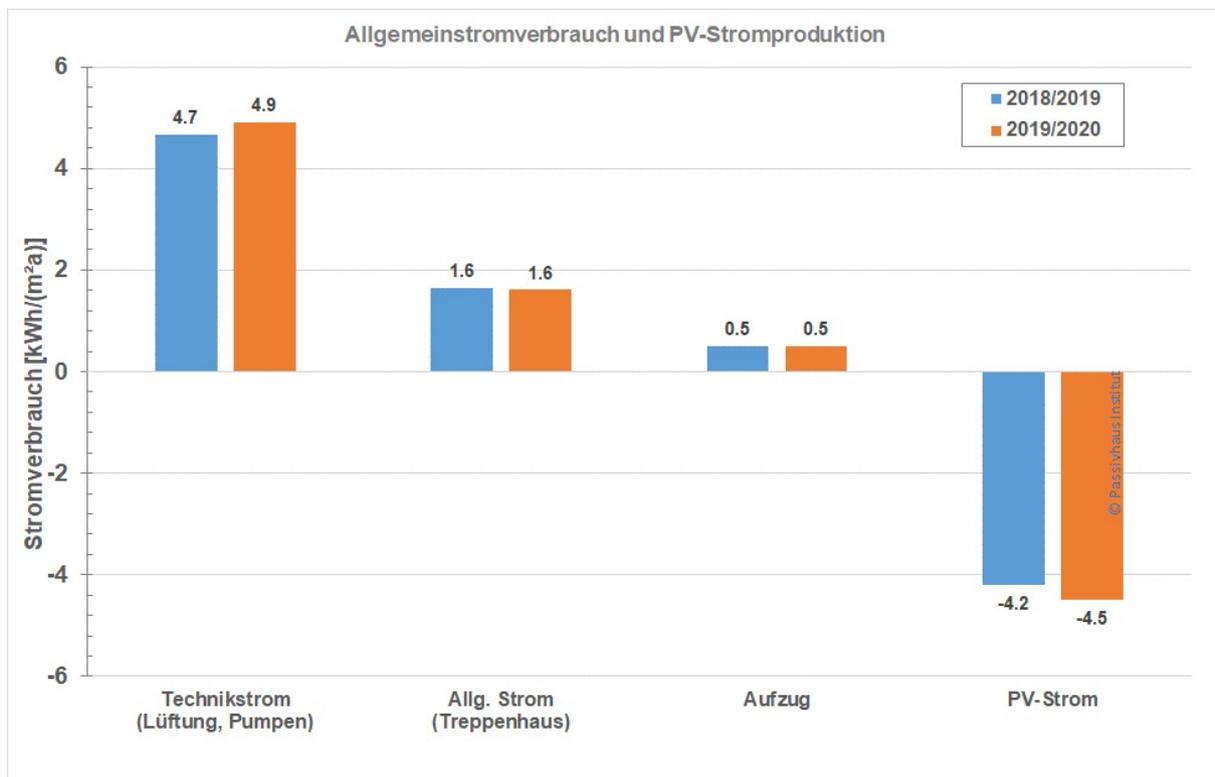


Abbildung 21: Allgemeinen und gemeinschaftliche spezifische Stromverbrauchswerte im Gebäude in zwei Messjahren. Zusätzlich ist der Stromertrag der PV-Anlage auf dem Hausdach aufgetragen (Einspeisung = negativer Verbrauch).

Zusätzlich ist in der Grafik auch der Jahresertrag der PV-Anlage auf dem Hausdach aufgeführt. Es handelt sich um eine 6,24 kWp Anlage. Der Ertrag liegt etwa in der Größenordnung des Technikstroms.

2.7 End- und Primärenergiebilanz

Die Zusammenstellung aller Energieaufwendungen durch das Gebäude inkl. des Haushalts-, Allgemein- und Technikstroms ist in der folgenden Übersicht dargestellt (Abbildung 22). Eine primärenergetische Bewertung ist nur bedingt sinnvoll, da die Primärenergiefaktoren nicht streng physikalisch bestimmt werden und sich über die Jahre verändern. Damit bieten sie keine dauerhafte Aussage oder Richtschnur sondern nur eine Momentaufnahme. Daher wäre eine Bewertung mit den PER-Werten (Primärenergie Erneuerbar) sinnvoller und für die Zukunft des Gebäudes aussagekräftiger [PER]. Das Gebäude wurde allerdings mit einer PHPP Version vor Einführung des PER-Bewertungssystems berechnet. Daher wird hier zur Vereinfachung das alte PE-System für eine Bewertung herangezogen.

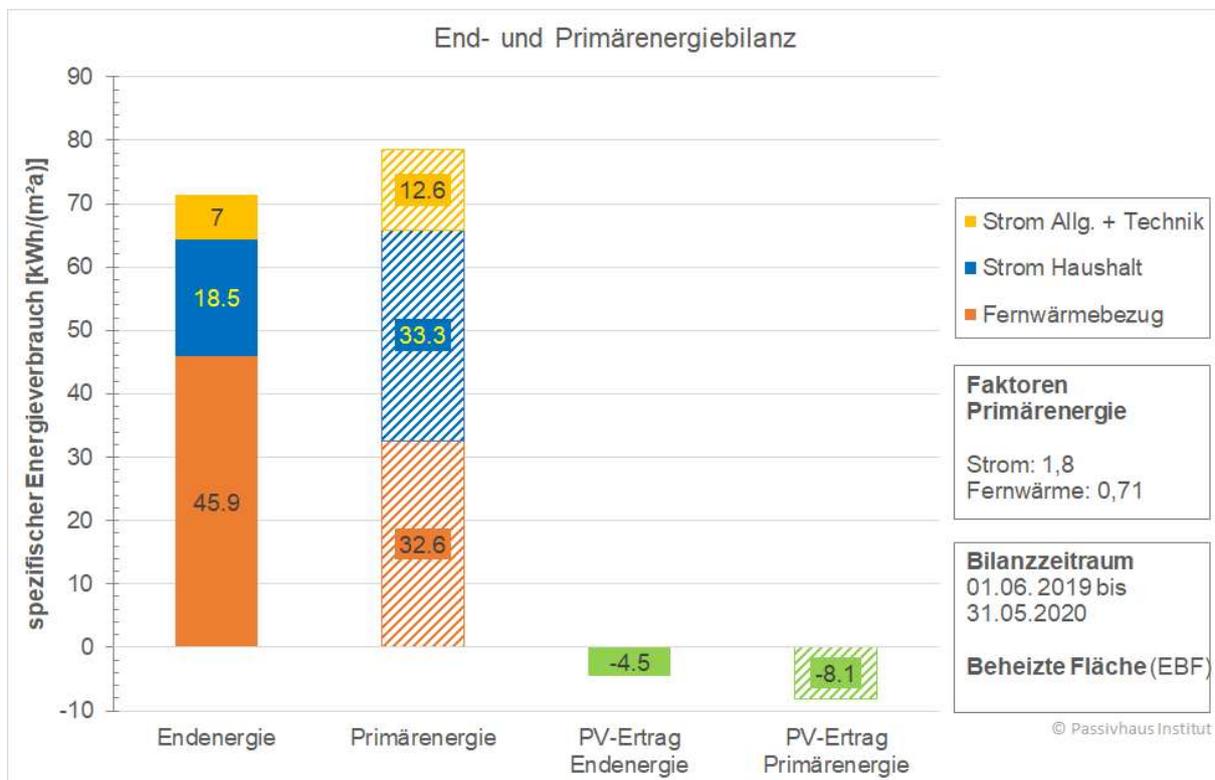


Abbildung 22: Zusammenstellung aller Endenergieverbrauchswerte des Gebäudes (inkl. Haushaltsstrom!) und primärenergetische Bewertung nach den PE-Faktoren.

Alle ermittelten Endenergieverbrauchswerte werden mit den zugehörigen PE-Faktoren zu einem Primärenergiekennwert umgerechnet. Laut Gutachten zum Fernwärmenetz beträgt der PE-Faktor der genutzten Fernwärme aufgrund der Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) $f_p = 0,71$ [Ehmke 2021]. Der PE-Faktor für Strom wird derzeit mit 1,8 angegeben [PHPP]. Mit diesen Faktoren verringert sich der Anteil der thermischen Energie deutlich von 46 auf 33 kWh/(m²a), die Stromanwendungen vergrößern sich in Summe von 26 auf 46 kWh/(m²a). Insgesamt summiert sich der primärenergetisch bewertete Verbrauch auf 78,5 kWh_{PE}/(m²a). Das ist – wenn auch nach dem veralteten Modell

bewertet - ein gutes Ergebnis, da der Grenzwert für ein Passivhaus bei $120 \text{ kWh}_{\text{PE}}/(\text{m}^2\text{a})$ angesetzt war. Natürlich kann auch noch der am Gebäude selbst erzeugte PV-Strom in Abzug gebracht werden. Da dieser natürlich ebenso primärenergetisch bewertet werden muss, ergibt sich ein Endwert von $78,5 - 8,1 = 70,4 \text{ kWh}_{\text{PE}}/(\text{m}^2\text{a})$, was das Ergebnis nochmals verbessert.

2.8 Vergleich Berechnung (PHPP) mit der Messung

Nicht zuletzt auch für die Planungen weiterer Gebäude ist der Vergleich zwischen der Vorabberechnung mit den tatsächlichen Messwerten von Interesse. Die Energiebilanz wurde in der Planungsphase mit dem PHPP berechnet. Nach Durchführung der Lüftungseinregelung (Balance-Einstellung) und der Luftdichtheitsmessung wurde das Gebäude an Hand der PHPP Berechnung durch das Passivhaus Institut zertifiziert.

Mit dem vorab aufgestellten PHPP wurde bei der Zertifizierung des Gebäudes mit Standardbedingungen (Innentemperatur 20 °C und Klimadaten Hamburg) ein Heizwärmebedarfswert von $13,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ermittelt. Für den Vergleich mit den Messwerten wird der Jahreszeitraum Juni 2019 bis Mai 2020 gewählt, da hier vollständige Temperaturmesswerte vorliegen. In diesem Zeitraum wurde für die Wohnungen im Winter (01.10.2019 bis 30.04.2020) eine flächengewichtete Mitteltemperatur von $20,9 \text{ °C}$ gemessen (vgl. Tabelle 1). Berücksichtigt man die moderat höhere Raumtemperatur im PHPP, ergibt sich ein Heizwärmebedarfswert von $15,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Für den Vergleich mit dem Messwert vom Zeitraum Juni 2019 bis Mai 2020 wird das unveränderte PHPP der Zertifizierung um die Wetterbedingungen des Messzeitraumes ergänzt. Dazu werden die monatsmittlere Außentemperatur und die Monatssummen der Globalstrahlung eingefügt. Als nächste Wetterstation mit einer verlässlichen Globalstrahlungsmessung konnte die Station „Jadebusen“ in ca. 70 km Entfernung zum Gebäude identifiziert werden. Bei Monatssummen von Globalstrahlungswerten ist diese Entfernung, ohne größere Fehler zu erhalten, gut zu tolerieren. Die Betreiber, das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, stellten die Daten aus dem „Lufthygienischen Überwachungssystem Niedersachsen (LÜN)“ dankenswerterweise zur Verfügung [LÜN 2021]. Die mittels des GLT-Sensors am Gebäude gemessene Außentemperatur konnte nicht kalibriert werden. Daher wurde hier auf die online abrufbare Temperaturmessung der Station in Bremen-Hasenbüren ausgewichen (<https://luftmessnetz.bremen.de>). Die Station ist etwa 7,6 km vom Gebäude entfernt und scheint gut geeignet. Mit diesem neuen Wetterdatensatz des Messzeitraumes ergibt sich im PHPP bei weiterhin $20,9 \text{ °C}$ Innentemperatur ein Heizwärmebedarf von nur $9,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Diese deutliche Reduktion führt den Einfluss des recht milden Winters gegenüber den langjährigen Klimadaten vor Augen (Abbildung 23). Eine Tatsache, mit der auf Grund der Klimaerwärmung in Zukunft immer stärker gerechnet werden muss. Daher wird in der neuen PHPP Version 10 darauf reagiert werden.

Wie weiter oben beschrieben, ist bei der Untersuchung der Verbrauchswerte aufgefallen, dass der Stromverbrauch im Gebäude unterdurchschnittlich ist. Dies hat einen Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch. Um dies im PHPP zusätzlich abzubilden, wurde der bisher verwendete Standardansatz der internen Wärme Quellen mit $2,1 \text{ W/m}^2$ nach den Strommesswerten auf $1,4 \text{ W/m}^2$ reduziert. Damit erhöht sich der Heizwärmebedarf nach der Berechnung auf nun **$12,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$** deutlich und liegt nahe am Messwert des Zeitraumes von **$13,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$** . Berücksichtigt man die üblicherweise angenommenen Messgenauigkeiten und auch die Grenzen der Berechnung der Energiebilanz von $\pm 3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ [Feist 2001] [Feist 2004] ist dies als gute Übereinstimmung zu bewerten.

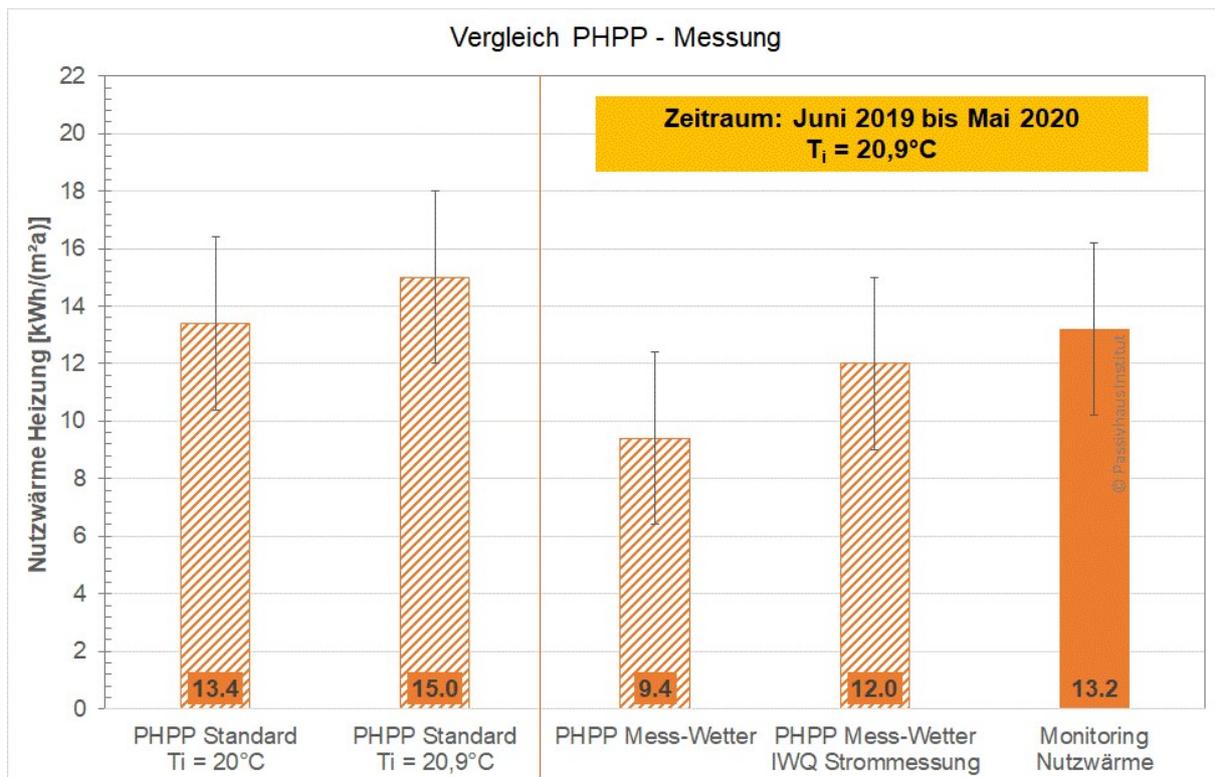


Abbildung 23: Heizwärmebedarfswerte des PHPP mit unterschiedlichen Randbedingungen im Vergleich mit dem Messwert des Gebäudes.

Auch ohne die im Detail durchgeführte Berücksichtigung der unterschiedlichen Einflüsse auf die Energiebilanz passt der ursprüngliche Berechnungswert des PHPP von $13,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ sehr gut mit dem Messwert von $13,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ überein. In diesem Beispiel kompensieren sich die unterschiedlichen Effekte damit nahezu vollständig.

Insgesamt hat sich das PHPP auch an diesem Gebäude erneut als verlässliches Planungstool für energieeffiziente Gebäude bestätigt.

3 Nutzerbefragung

Die Befragungen der Bewohner ⁽²⁾ wurden im April / Mai 2018 und dann im Januar / Februar 2021 durchgeführt. Der vom PHI erstellte Fragebogen (5 Seiten) wurde den Mietern mit einem frankierten Rücksendeumschlag auf dem Postweg übergeben.

Die Befragung besteht aus den Teilen:

- Nutzererfahrungen allgemein
- Beheizung, Sommer und Warmwasser
- Lüftung und Luftqualität

Von den 16 Wohnungen wurden bei der ersten Befragung 10 Fragebögen und bei der zweiten 8 Fragebögen ausgefüllt und zurückgesendet, was einer Quote von 62,5% bzw. 50% entspricht. Bis auf eine zusätzliche Frage wurden die identischen Fragebögen verwendet. Ob es während der 3 Jahre einen Mieterwechsel gab, ist nicht bekannt.

3.1 Auswertung Befragung

Die Fragebögen beider Befragungen wurden ausgewertet und von den Antworten zu einigen Fragen wurden entsprechende Diagramme erstellt. Insgesamt zeigen die Ergebnisse durchgängig hohe Zufriedenheitswerte mit den Wohnverhältnissen und den spezifischen Passivhaus Bedingungen. Im Folgenden werden die Fragen einzeln dargestellt.

Nutzererfahrung Allgemein

Auf die generelle Frage (Nr. 4) „*Wie wichtig war es für Sie in ein Passivhaus zu ziehen?*“ antwortet die überwiegende Mehrheit (70%) bei der ersten Befragung mit „*weniger wichtig*“ bzw. „*teils/teils*“. Nur 30% ist es „*eher wichtig*“ bzw. „*sehr wichtig*“. Bei der zweiten Befragung drei Jahre später (2021) hat sich das Bild verändert: Niemand gibt mehr „*sehr wichtig*“ an, aber nun sind es 50%, denen es „*eher wichtig*“ war. Der Anteil der „*weniger wichtig*“-Äußerung ist von 10 auf 38% gestiegen. Das Bild dazu ist also relativ gemischt.

Jedoch bleibt bei beiden Befragungen die zweithäufigste Nennung bei Frage 3, nach dem wichtigsten Grund für den Einzug in die jeweilige Wohnung, die Energieeinsparung durch das Passivhaus (70% bzw. 63%). Die häufigste Nennung war bei beiden Befragungen, dass die Wohnung ihnen gut gefiel. Finanzielle Gründe gehörten

⁽²⁾ Bei allen hier formulierten männlichen Formen wie „Bewohnern“ und „Mieter“ sind auch die weiblichen „Bewohnerinnen“ und „Mieterinnen“ eingeschlossen.

weiterhin nur für einen Bewohner zu den wichtigsten Punkten. Viele Befragten gaben bei Frage 3 mehrere Punkte als wichtigen Grund an. Dies zeigt, dass vielen Bewohnern das Haus als Passivhaus wichtig war, aber nicht der einzige Grund für den Einzug darstellt.

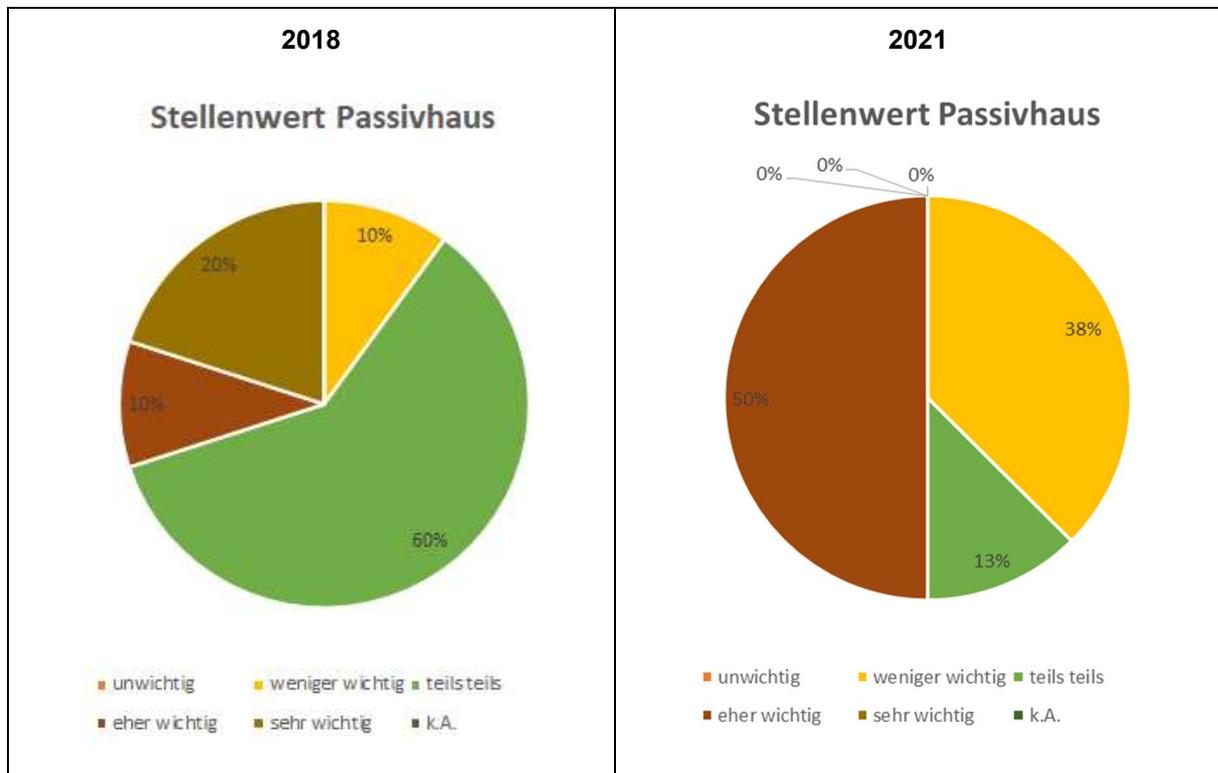


Abbildung 24: Verteilung der Antworten zu Frage 4 (Wichtigkeit Passivhaus)

In der Freitextantwort von Frage (Nr. 4), wie wichtig ein Einzug in ein Passivhaus war, wurde 2021 als Begründung mehrfach der Klimaschutz bzw. die Energieeinsparung genannt (bei 50%). Das war 2018 ähnlich. Andere Begründungen waren 2018 das Interesse an diesem speziellen Projekt und dass dieses ein zukunftsweisendes Projekt wäre. Auch die Solarenergienutzung wurde als Grund angegeben.

Zur Frage zum Bereich der **Einweisung** geben 90% (2018) bzw. 100% (2021) der Bewohner an, dass sie eingewiesen worden sind (Frage 5). Dabei wird am häufigsten die Einführungsveranstaltung genannt (70%) und am zweithäufigsten (60%) das Handbuch bzw. die schriftliche Information (2018). Bei der zweiten Befragung ist das Bild sehr ähnlich (Handbuch 63%, Veranstaltung 50%, persönlich 25%).

Dabei fanden 70 bzw. 63% der Bewohner die Informationen hilfreich und nur einer (2018) bzw. zwei (2021) fanden sie nicht hilfreich. Dabei wurden am häufigsten die Informationen zum Heizen und Lüftungen genannt (2018). Im Jahr 2021 gab es dazu in Textform nur eine Nennung „richtiges Lüften, z.B. zum Kühlen im Sommer“ (Frage 6).

Als Verbesserungsvorschläge (Frage Nr. 7b) gab es nur zwei Nennungen (2018): „*Bessere Aufklärung*“ und „*Temperaturanpassung der Lüftung*“ bzw. dann 2021 „*Bedienung der Lüftungsanlage*“ und „*Handbuch*“. Die Fragen nach einem Ansprechpartner (Nr. 8) und der Einschätzung, ob dies wichtig und nützlich ist (Nr. 9), wurde bei beiden Befragungen deutlich überwiegend bejaht, was zeigt, wie sinnvoll ein solches Angebot für die Mieter ist.

Zur Art der Wäschetrocknung (Frage 10) gab es unterschiedliche Antwortkombinationen. Den Antworten ist zu entnehmen, dass im Jahr 2018 70% der Wohnungen über einen elektrischen Wäschetrockner verfügen und diesen nutzen; im Jahr 2021 geben dies nur 50% an. Bei beiden Befragungen werden die elektrischen Trockner im Sommer wie im Winter genutzt. Im Jahr 2018 wird ebenso in 70% der Wohnungen Wäsche in der Wohnung getrocknet; im Sommer wie im Winter. Ein Unterschied nach der Jahreszeit ist nur beim Trocknen im Freien zu verzeichnen: 2 Wohnungen trocknen im Winter im Freien, 4 im Sommer. Das Bild ist 2021 sehr ähnlich (100% trocknen im Winter in der Wohnung, 63% im Sommer. Wobei im Sommer 25% nur draußen und weitere 13% im Sommer innen und außen trocken).

Beheizung und Innenklima (Winter)

Deutliche Akzeptanz zeigt Abbildung 25 bei der Qualität der Beheizung der Wohnungen: 80% der Bewohner sind zufrieden oder sehr zufrieden mit der Beheizung ihres Hauses (Frage 11a). Der Wert ist bei der zweiten Befragung (2021) nochmals deutlich auf 100% angestiegen. In den schriftlichen Kommentaren (11b) wurde bei der ersten Befragung einmal bemängelt, dass die Heizung zu Beginn defekt war und lange Vorlaufzeiten benötigte. Eine zweite Nennung zeigt sich mit der Einstellbarkeit des Regelventils nicht zufrieden. Bei der zweiten Befragung werden keine Gründe angeführt, da die Zufriedenheit noch höher ist.

Die Handhabbarkeit des Heizungssystems (Frage 12a; Abbildung 26) empfinden 90% der Befragten als eher oder sehr einfach, nur die Bewohner einer Wohnung geben an, dass sie es „*eher schwierig*“ finden (2018). Das ist ein überzeugend gutes Ergebnis, welches 2021 nahezu unverändert ist (88%). Ein einzelner Kommentar dazu (Nr. 12b) äußert, dass die Heizung täglich entlüftet werden müsse. Dieser Kommentar deutet auf Anfangsprobleme vermutlich in einer Wohnung im obersten Geschoss hin. Im Jahr 2021 wird nur der Hinweis „*Knöpfe schwer zu bedienen, Display wäre Hilfreich*“ gegeben.

Bei der Begründung (Nr. 13b) wurde dreimal genannt, dass die Luft zu trocken wäre und einmal, dass es manchmal zu kalt sei. Die Schätzungen der Höhe der winterlichen Innentemperatur in der eigenen Wohnung liegen zwischen 19 bis 23°C.

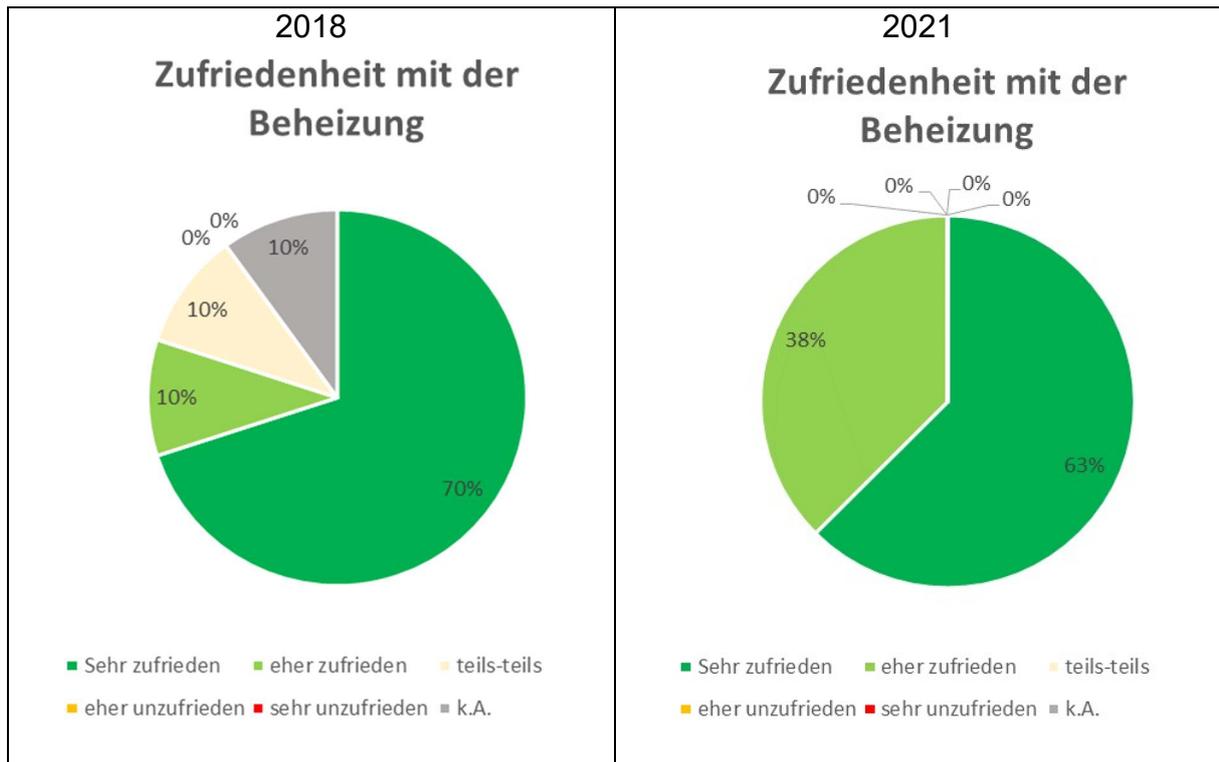


Abbildung 25: Verteilung der Antworten zu Frage 11 a (Zufriedenheit Beheizung)

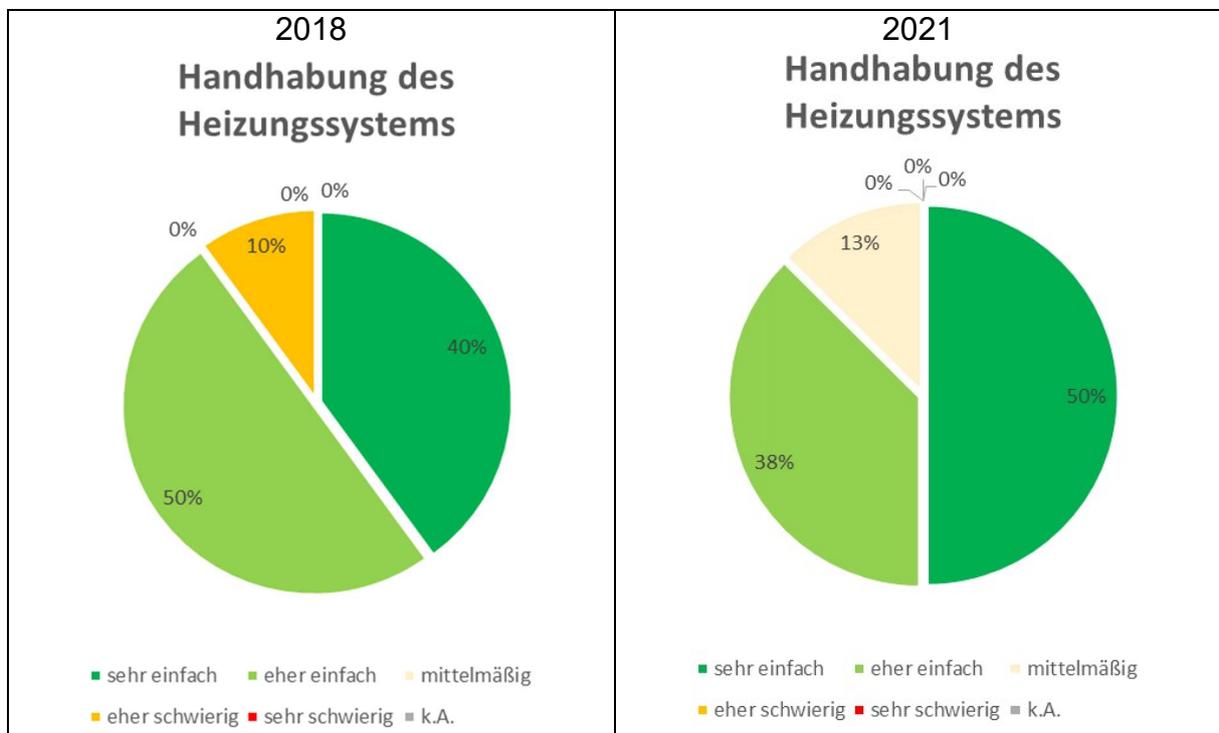


Abbildung 26: Verteilung der Antworten zu Frage 12 a (Handhabung Heizungssystems)

Bei der Zufriedenheit mit dem winterlichen Innenklima in der Wohnung (Frage 13a, Abbildung 27) sind 2018 überzeugende 70% „eher“ oder „sehr zufrieden“. Nur 10%

(eine Whg.) ist „*eher unzufrieden*“. Bei der aktuellen Befragung 2021 steigt dieser gute Wert nochmals deutlich auf 100% der Antworten für diese beiden Kategorien.

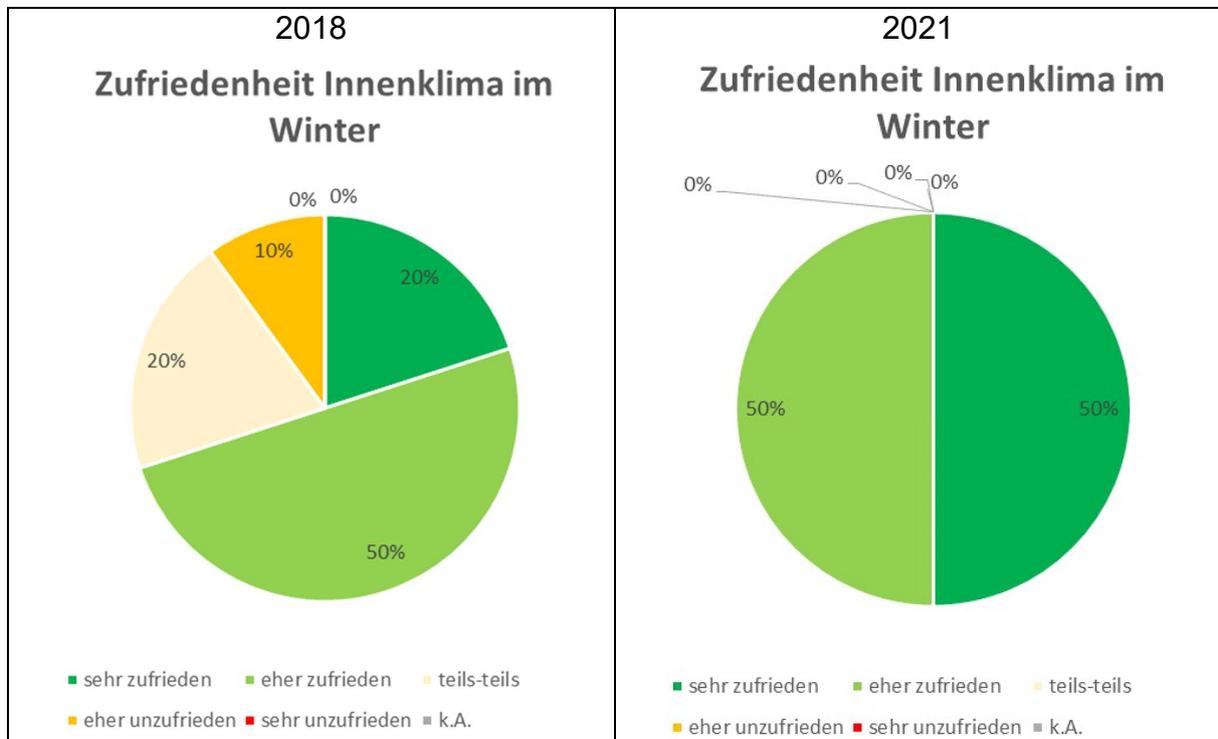


Abbildung 27: Verteilung der Antworten zu Frage 13 a (Zufriedenheit Innenklima Winter)

Der Mittelwert der Schätzungen zur winterlichen Raumtemperatur der 10 Wohnungen beträgt 21,3°C (2018) und 21,4 °C (2021). Die Messwerte in der Datenauswertung (oben) geben Aufschluss über die tatsächlichen Raumtemperaturen. Alle Befragten (100%) beantworteten 2018 die Frage (14b), ob sie die Innentemperatur im Winter als angenehm empfinden mit „ja“. In der aktuellen Befragung 2021 waren es 7 der 8 befragten Wohnungen, was eine weiter hohe Zufriedenheit bescheinigt.

Behaglichkeit im Sommer

Auch für die sommerliche Behaglichkeit gibt es 2018 eine gute Benotung durch die Bewohner: Auf die Frage Nr. 15a) „*Wie zufrieden sind Sie mit dem Innenklima in Ihrer Wohnung im Sommer?*“ geben die Bewohner zu 90% an, „*eher*“ oder „*sehr zufrieden*“ zu sein (Abbildung 28). Nur für eine Wohnung wird „*eher unzufrieden*“ angegeben. An den zugehörigen Kommentaren lassen sich keine Tendenzen ableiten. Auch 2021 liegt die Zufriedenheit mit 88% weiterhin sehr hoch. Negative Bewertungen werden gar nicht mehr abgegeben.

Im Sommer schätzten viele Bewohner ihre Innentemperatur auf 20 bis 26 °C (2018) bzw. 23 bis 26°C (2021). Im Mittel werden moderate 23 bzw. 23,4 °C geschätzt. Auf die Frage (16b), ob sie die Innentemperatur im Sommer als angenehm empfanden,

antwortet eine klare Mehrheit von 60% mit „ja“ und nur 20% mit „nein“; der Rest hat dazu keine Angaben gemacht (2018). Bei der Befragung 2021 erhöht sich rechnerisch die Zufriedenheit mit 88% „ja“- und 25% „nein“-Angaben.

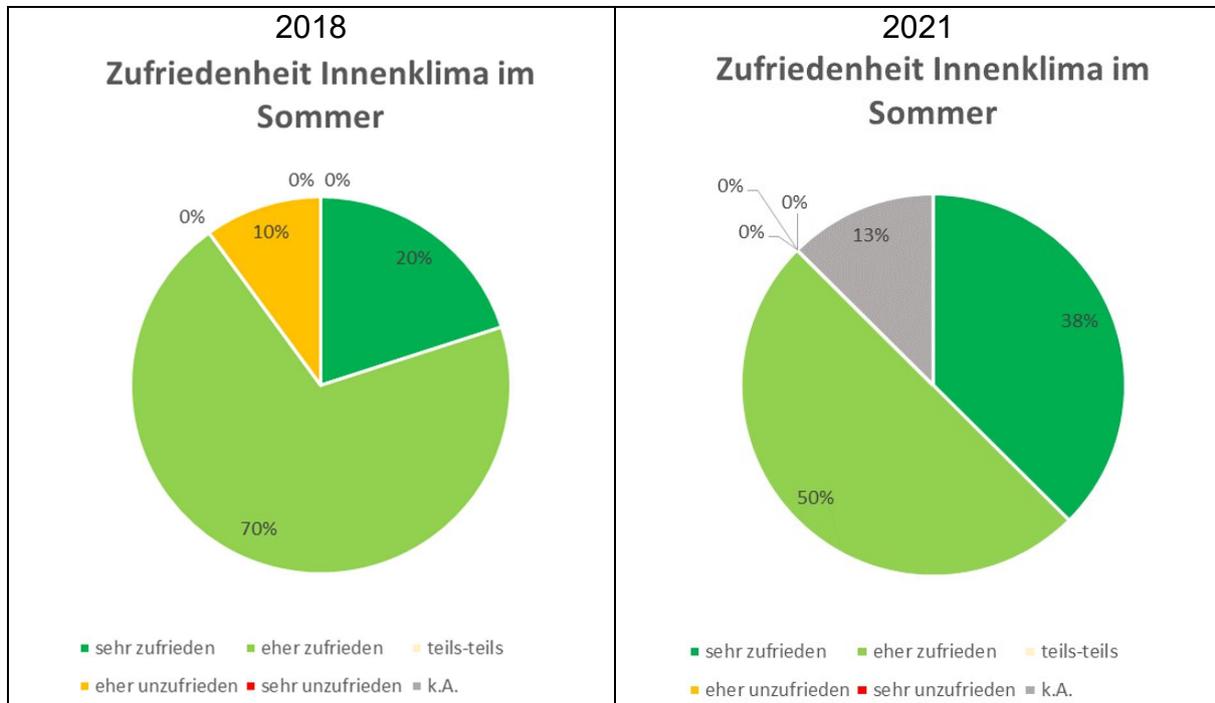


Abbildung 28: Verteilung der Antworten zu Frage 15 a (Zufriedenheit Innenklima Sommer)

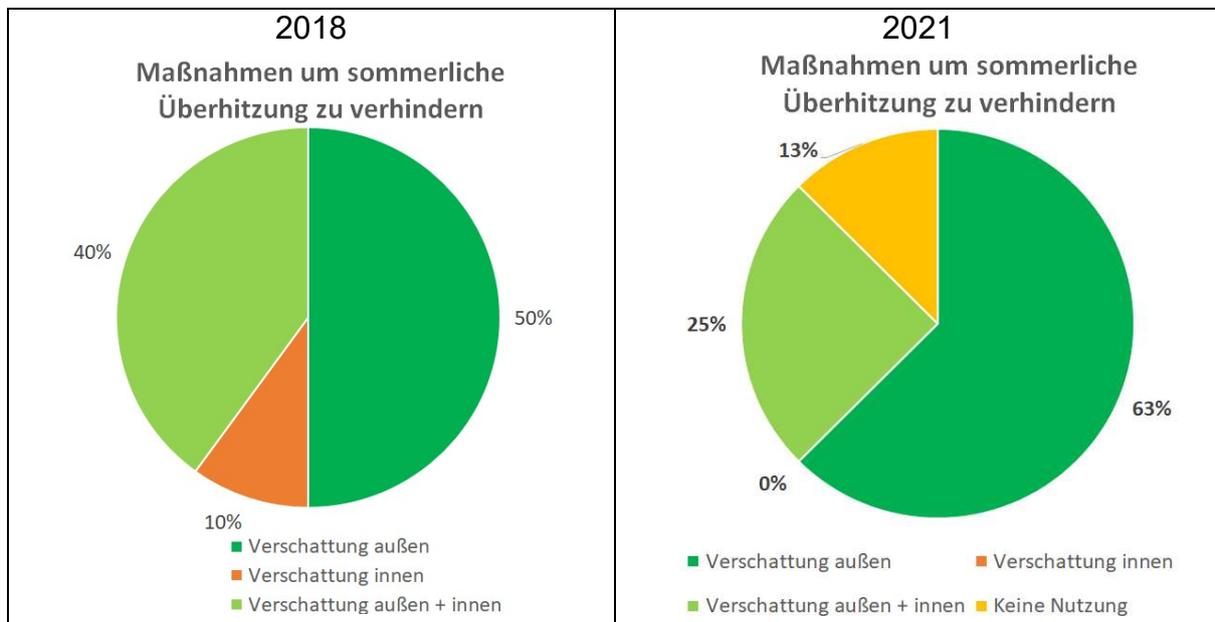


Abbildung 29: Verteilung der Antworten zu Frage 18 (Maßnahmen gegen sommerliche Überhitzung)

Auf die explizite Frage (Nr. 17), ob es im Sommer zu Überwärmung in der Wohnung komme, antworteten 60% bzw. 63% mit „nein“ und 30% bzw. 25% mit „ja“ (jeweils

einmal keine Angabe). Für die immer wärmer werdenden Sommer ist dies als ein sehr gutes Ergebnis zu werten. Die Messdaten zeigen entsprechend moderate sommerliche Innentemperaturen (siehe im Abschnitt der Datenauswertung).

Um die Antworten besser einordnen zu können, wurde nach den Maßnahmen gegen Überhitzung gefragt (Frage 18). Hier geben 90 bzw. 88% an, dass entweder die Außenverschattung bzw. die Außen- und die Innenverschattung genutzt wird. Wird die Außenverschattung zeitlich sinnvoll genutzt (während des Tages), ist dieses auch die empfehlenswerte Maßnahme. Zumindest bei den Bewohnern, die an der Befragung teilgenommen haben, kann das Nutzerverhalten in diesem Punkt als zielführend bewertet werden.

Betrachtet man die Selbsteinschätzung der Bewohner zu den Lüftungszeiten am Tag, gibt 2018 nur ein Bewohner an, während des Tages zu lüften, um der Hitze entgegen zu wirken. Alle anderen lüften während der Nacht oder am Morgen bzw. am Abend. Im Jahr 2021 werden keine Taglüftungen mehr als Strategie angegeben. Auch dieses mehrheitliche Vorgehen kann als sinnvoll bewertet werden.

Bei der zweiten Runde 2021 wurde die Frage noch um Angaben zur Möglichkeit einer guten Nachtlüftung erweitert. Es wurde explizit gefragt, ob die Nachtlüftung aufgrund von ruhiger Umgebung, Insekten, Einbruchschutz und/oder Balkonen gut möglich ist. Hier ist die Meinung geteilt: 50% geben „ja“ und 50% „nein“ an. Eine Korrelation zur Lage der Wohnung (aus Antworten zu Frage 31) ergibt sich nicht: Die Bewohner, welche mit „nein“ geantwortet haben, sind über die Geschosse verteilt und wohnen nicht etwa nur im EG oder überwiegend im OG.

Warmwasserversorgung

Mit der Warmwasserversorgung sind 70% der Bewohner zufrieden; bei 30% ist es nur eine „teils/teils“-Zufriedenheit. Unzufrieden zu sein, gibt damit niemand an. Bei der zweiten Befragung stabilisiert sich die Zufriedenheit auf 75% (Abbildung 30).

In der Freitext-Begründung wurden vereinzelt lange Vorlaufzeiten, schwankende Temperaturen und keine ausreichend hohe Temperatur im Winter bemängelt. Andere Befragte jedoch loben die kurze Vorlaufzeit ausdrücklich. Möglicherweise liegt dies an der Lage der Wohnungen oder der Einstellung der Zirkulationspumpe. Bei der zweiten Befragung (2021) gab es noch zwei negative Bemerkungen zum Warmwasser: „*Fällt immer häufiger aus*“ und „*Dauert sehr lange*“, aber wieder die positive Bemerkung „*schnelle Aufwärmung*“. Damit bleibt das Bild relativ unverändert mit recht hoher Zufriedenheit.

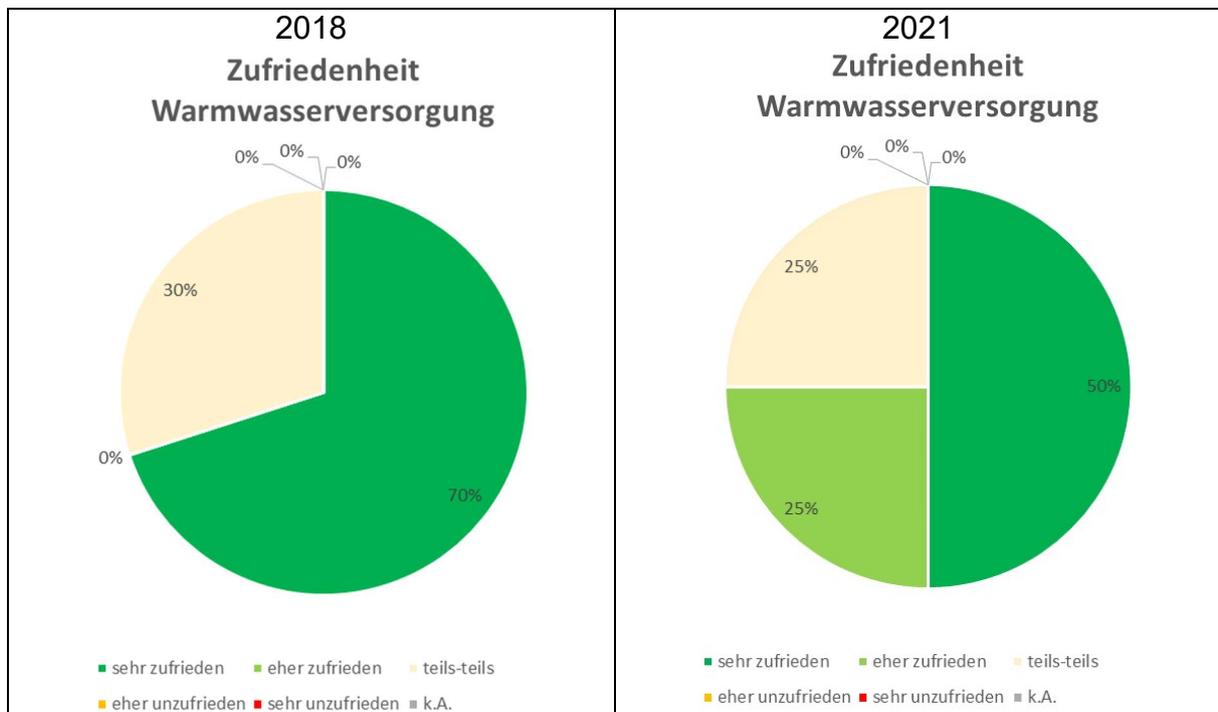


Abbildung 30: Verteilung der Antworten zu Frage 19 a (Zufriedenheit Warmwasser)

Lüftung und Luftqualität

Üblicherweise stellt die Lüftungsanlage die einzige technische Ausrüstung dar, über welche die Bewohner in ihren vorherigen Wohnungen nicht verfügten. Die Funktion zur Sicherstellung einer hygienischen Grundlüftung ist für sie damit neu. Daher wurden zu diesem Bereich mehrere Fragen formuliert.

Zunächst ging es um die Beurteilung der generellen Handhabung der Lüftungsanlage (Frage 20 a; Abbildung 31). Es zeigt sich, dass 90% bzw. 75% (2021) der Befragten die Handhabung des Lüftungssystems als einfach („*sehr einfach*“ und „*eher einfach*“)

empfinden. Nur für eine Wohnung (10%) wurden 2018 keine Angaben gemacht. 2018 hat kein Teilnehmer der Befragung die Handhabung als schwierig empfunden. Im Jahr 2021 geben zwei Befragte (25%) an, es als „*mittelmäßig*“ zu beurteilen.

Bei den Aussagen zu den Betriebsstufen der Anlage gibt es keinen Trend bei den Aussagen. Alle Einstellungen sind vertreten. Die überwiegende Zahl der befragten Bewohner gibt an, die Lüftungseinstellung zu verändern (2021: 75%). Dazu werden ganz unterschiedliche Gründe angegeben.

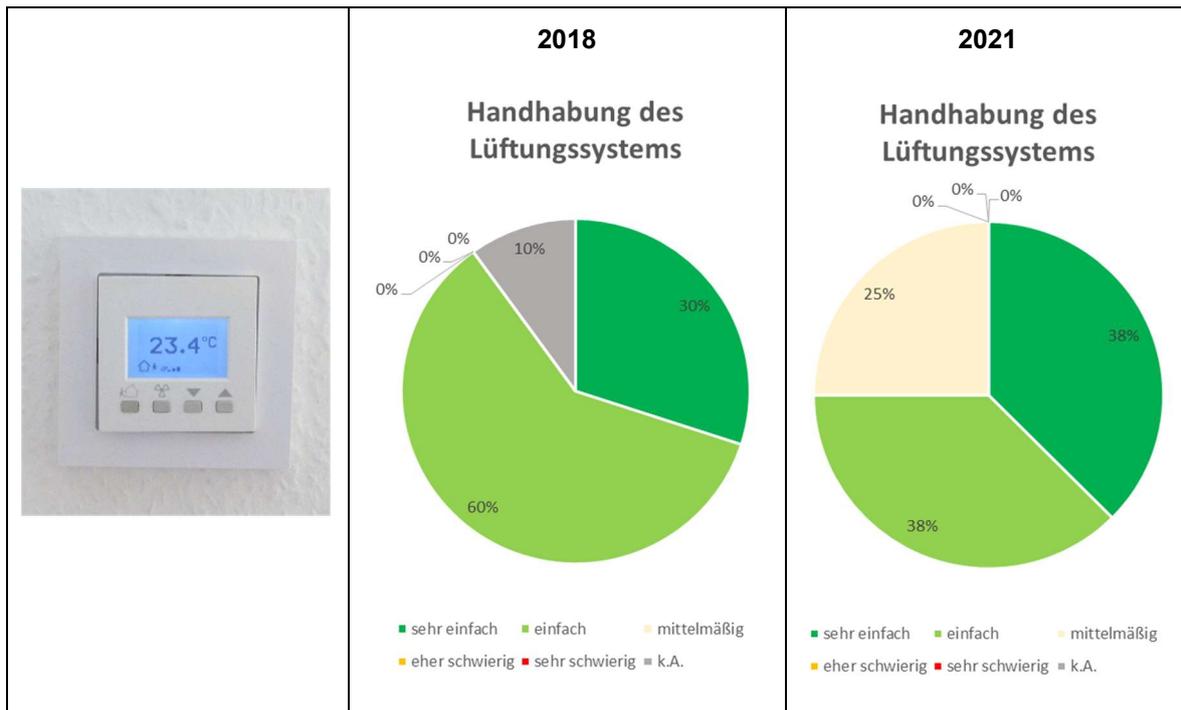


Abbildung 31: Foto vom Bedienelement für die Heizung und Lüftung in einer Wohnung und Verteilung der Antworten zu Frage 20 a (Handhabung Lüftung)

Zur Luftqualität im Winter (Frage 22 a, Abbildung 32) geben 2018 70% der Befragten an, dass sie „*sehr*“ oder „*eher zufrieden*“ mit der Luftqualität im Winter sind. Weitere 20% sind nur zum Teil zufrieden und 10% sind „*eher unzufrieden*“. Im Jahr 2021 liegt die Zufriedenheit ähnlich hoch, es gibt aber keine Angabe „*eher unzufrieden*“ mehr.

In den Kommentaren (Nr. 22 a) wurde dreifach genannt, dass die Luft zu trocken sei; einmal wurde genannt, dass es keine unangenehmen Gerüche gäbe, da diese schnell abgeführt würden (2018). Bei der Zeitbefragung 2021 wird einmal angegeben, dass „*manchmal Nachtlüften notwendig*“ sei und einmal: „*kein Problem, außer trockene Luft*“.

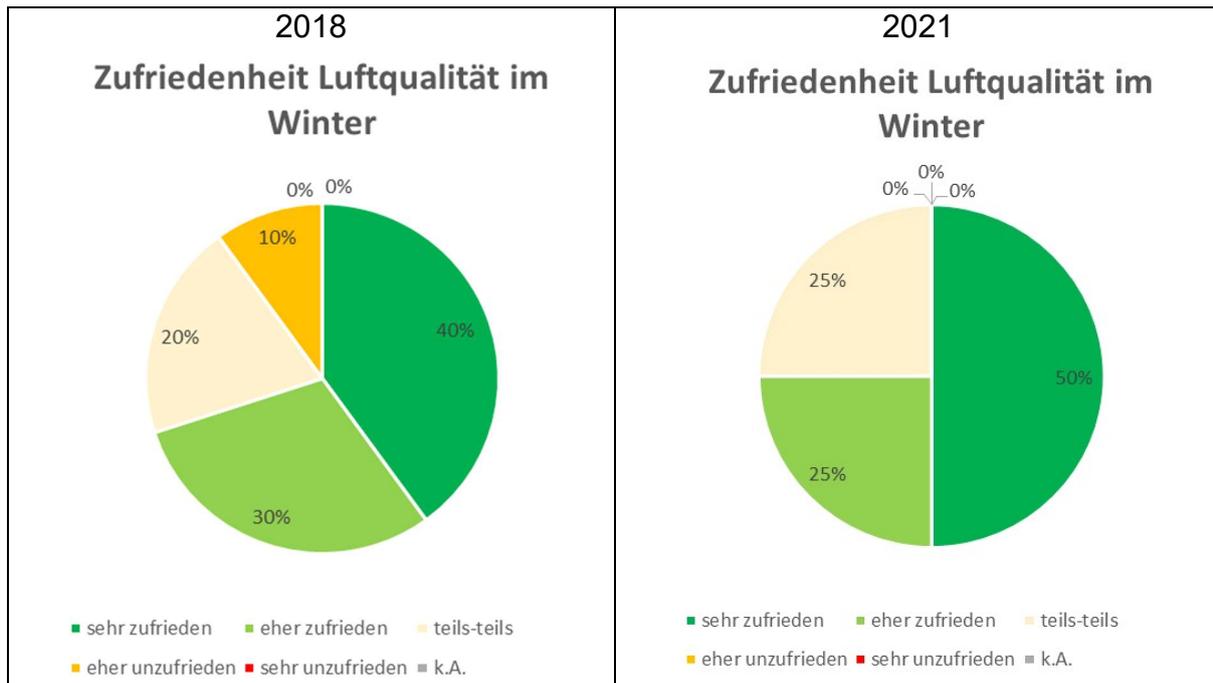


Abbildung 32: Verteilung der Antworten zu Frage 22 a (Luftqualität Winter)

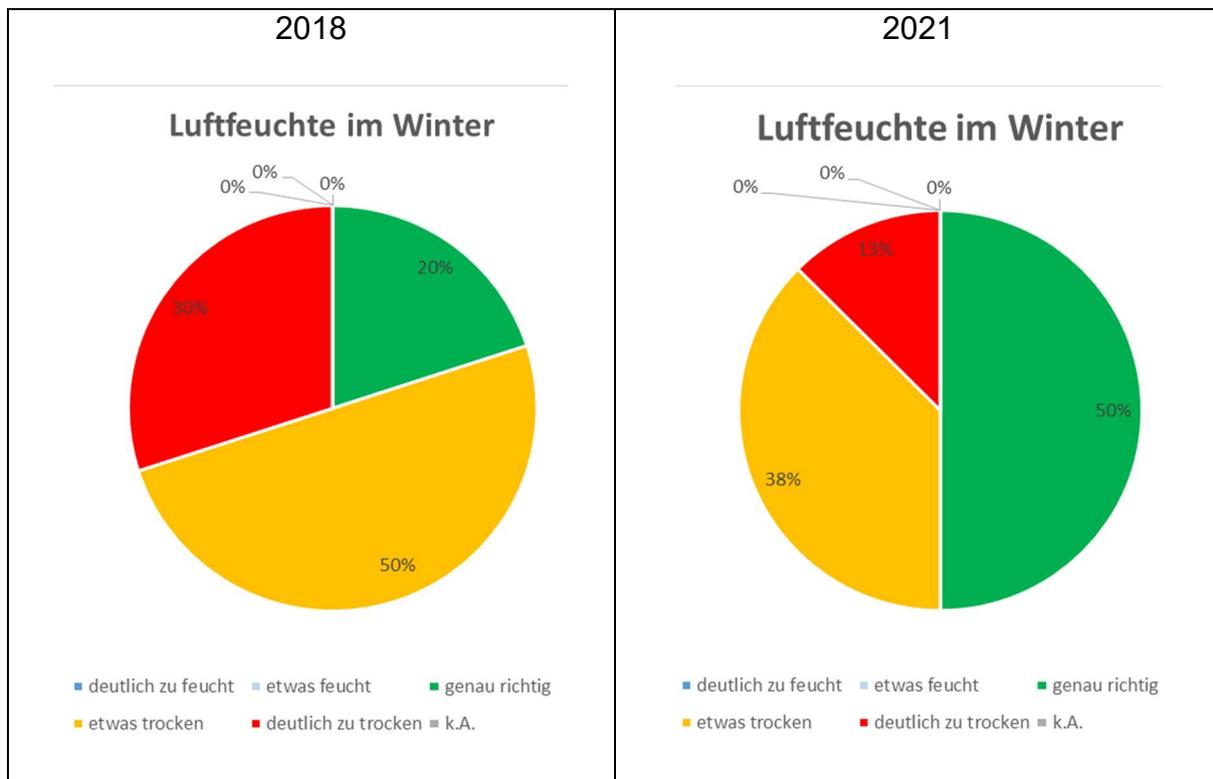


Abbildung 33: Verteilung der Antworten zu 22 b (Luftfeuchte Winter)

Die winterliche Luftfeuchtigkeit wird in Frage 22 b) gesondert abgefragt (Abbildung 33). Dazu geben 2018 30% der Nutzer an, dass ihnen die Luft deutlich zu trocken sei und 50% schreiben, dass sie etwas zu trocken sei. Nur 20% empfinden die Luft als genau

richtig. Im Jahr 2021 wird von 50% ausgesagt, dass die Luftfeuchte genau richtig sei. Nur eine Nennung (13%) beurteilt die Luft als „*deutlich zu trocken*“ und drei (38%) als „*etwas trocken*“ Hier wäre zu untersuchen, wie die Bewohner zu der Einschätzung kommen, da der Mensch über kein Sinnesorgan verfügt, um direkt die Luftfeuchte zu beurteilen. Beim Ablesen von Messgeräten kommt es dann insbesondere auf die Beurteilung der Bewohner an, was „*niedrig*“ oder „*zu niedrig*“ als Messwert bedeutet. Zeitweilige (1-2 Wochen) Unterschreitungen von 30% relativer Feuchte an den kältesten Wintertagen muss gesundheitlich nicht als nachteilig eingestuft werden. Es hat sich in anderen Gebäuden wiederholt gezeigt, dass zu hoch eingestellte Luftmengen die Ursache für die niedrigen Luftfeuchtigkeiten waren.

Als Strategie zur Luftbefeuchtung (Frage 22 c) wählten viele Befragte aus der gegebenen Liste aus, dass sie zusätzlich per Fenster lüften (4 Nennungen), die Lüftung auf höherer Stufe betreiben (1 Nennung), Wäsche im Raum trocknen (4 Nennungen) und die Lüftung auf niedriger Stufe betreiben (3 Nennungen) und/oder weitere Zimmerpflanzen beschaffen (1 Nennungen). Damit gab es bei der ersten Befragung 2018 insgesamt 13 Nennungen von 8 Wohnungen. Bei der Zweitbefragung 2021 waren es die Maßnahmen: Wäsche im Raum trocknen (3), Lüftung niedriger (2), Luftbefeuchter (2) und zusätzliche Fensterlüftung (1). Damit 8 Nennungen aus 4 Wohnungen.

Aus physikalischer Sicht sind die Maßnahmen „Höhere Lüftungsstufe“ sowie „Zusatzlüftung Fenster“ für eine höhere Luftfeuchte kontraproduktiv – sie führen im Winter bei trockener Außenluft genau zum Gegenteil! Immerhin sind dies zusammen 39% (2018) bzw. 2021 nur noch 13% der Nennungen. Hier zeigt sich, dass zusätzliche Aufklärung der Bewohner zu diesem Punkt sinnvoll ist, insbesondere, da hier auch die einzigen gehäuften Unzufriedenheiten bestehen, welche z.T. durch einfache Maßnahmen wie Reduktion der Luftmenge einfach abgestellt werden könnten.

Sommer

Zur Luftqualität im Sommer (Frage 23, Abbildung 34) ist mit 80% bzw. 88% eine hohe Zufriedenheit erreicht. Als Kritik wurde genannt, dass die Luft teilweise „*etwas trocken*“ wäre, aber auch, dass die Luftfeuchtigkeit „*etwas hoch*“, wäre und dass zu wenig Sauerstoff nach dem Schlafen im Raum sei. Diese z.T. gegensätzlichen Antworten lassen vermuten, dass durch eine Änderung der Luftmenge (Stufe 1-3) - je nach Bedarf Erhöht oder Verringert - eine Verbesserung ermöglicht werden kann.

Um abzufragen, wie hoch die Wirksamkeit der Lüftungsanlage gegen Gerüche eingeschätzt wird, wurde Frage 24a gestellt. Immerhin 50% empfinden 2018 die Wirksamkeit der Lüftung gegen Gerüche als „*gut*“ bzw. „*sehr gut*“. 40% als „*mittelmäßig*“ und 10% als „*schlecht*“. Eine befragte Person empfand, dass die Geruchsbildung sich intensiviert, wenn die Lüftung erhöht wird. Dies scheint, ohne nähere

Betrachtung, als nicht logisch. 2021 verbessern sich die Aussagen der Bewohner nochmals; die Aussage „schlecht“ fehlt ganz (Abbildung 35).

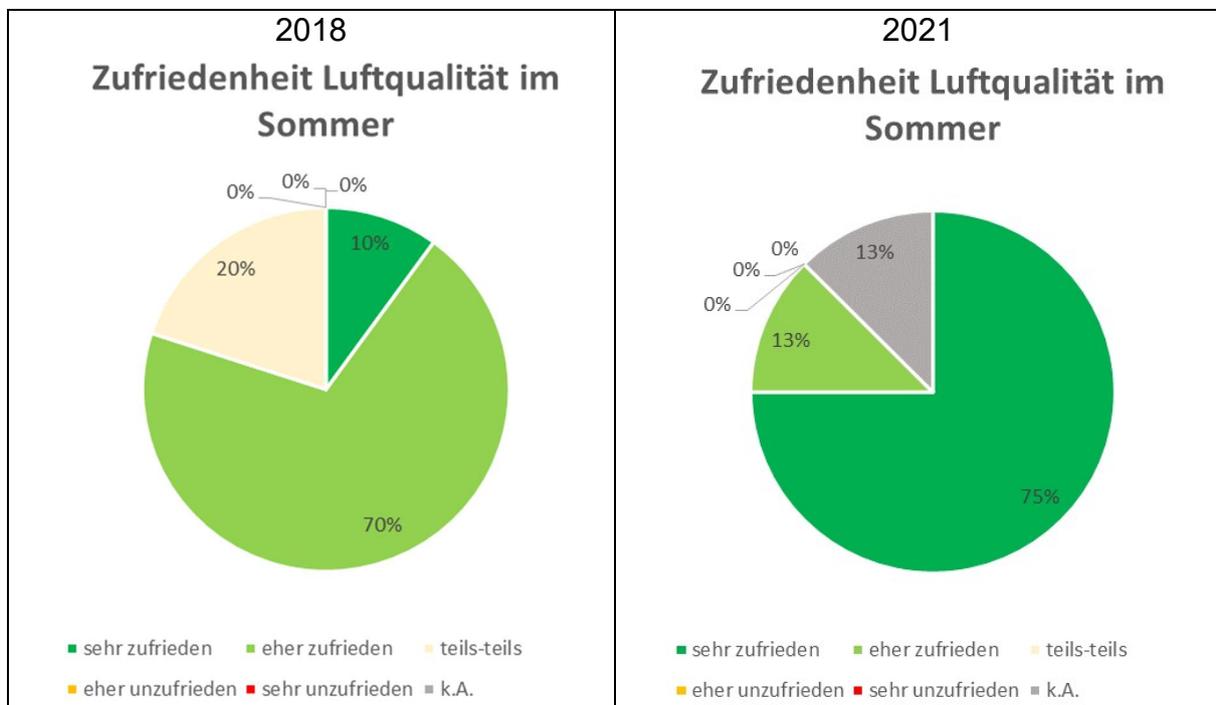


Abbildung 34: Verteilung der Antworten zu Frage 23 (Luftqualität Sommer)

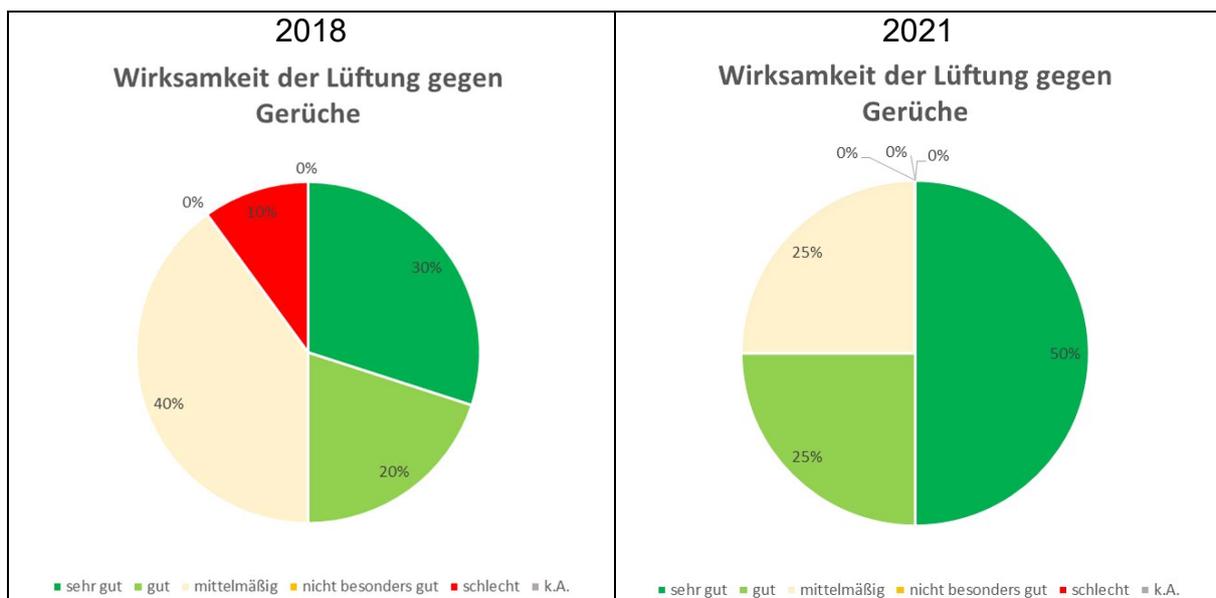


Abbildung 35: Verteilung der Antworten zu Frage 24 a (Gerüche)

Auf die Frage (Nr. 25) was die Befragten gegen störende Gerüche unternehmen, gab es 2018 zu 6 Wohnungen insgesamt 14 Aussagen (Mehrfachnennungen). Am

häufigsten (5) wurde angegeben, dass zusätzlich das Fenster geöffnet wird. Viermal werden die Betätigung der Dunstabzugshaube und dreimal das Erhöhen der Lüftungsstufe angegeben. Dies sind alles sinnvolle Maßnahmen und den Bewohnern scheint klar zu sein, dass die Anlage zum Herstellen einer hygienischen Grundlüftung ausgelegt ist und keine „Dunstabzugshaube“ für die ganze Wohnung darstellt. Auch 2021 ergab sich ein ähnliches Bild der Maßnahmen. Nach Aussagen der Befragten wird in keiner der Wohnungen geraucht (beide Befragungen). Diese Aussage hat natürlich auch Auswirkungen auf die zum Lüften notwendigen Luftmengen.

Bei der ersten Befragung 2018 wurde nur für eine Wohnung angegeben, dass Zugluft auftritt (unter dem Abluftrohr), was insgesamt auf ein angepasstes Lüftungssystem hindeutet (Frage 27b). Ungewöhnlich ist, dass die Zugluft in diesem einen Fall nicht an der Zuluft sondern an der Abluft als störend beschrieben wird. Im Jahr 2021 wird für drei Wohnungen angegeben, dass an jeweils einer Stelle Zugluft auftritt: im Wohnzimmer (direkt unter der Anlage), im Schlafzimmer und an der Eingangstür. Ob hier Veränderungen vorliegen (Betriebsstufe, veränderte Position z.B. von Sitzmöbeln etc.) kann im Rahmen der Befragung nicht geklärt werden. Das Zugempfinden an einer Wohnungstür könnte auf eine Undichtheit der Tür hinweisen oder/und auf eine Disbalance zwischen Zu- und Abluft der Wohnung. Es handelt sich sicherlich um Auffälligkeiten, welche behoben werden könnten. Die Auswertung der nächsten Frage zeigt, dass die generelle Zufriedenheit mit der Lüftung noch weiter gestiegen ist.

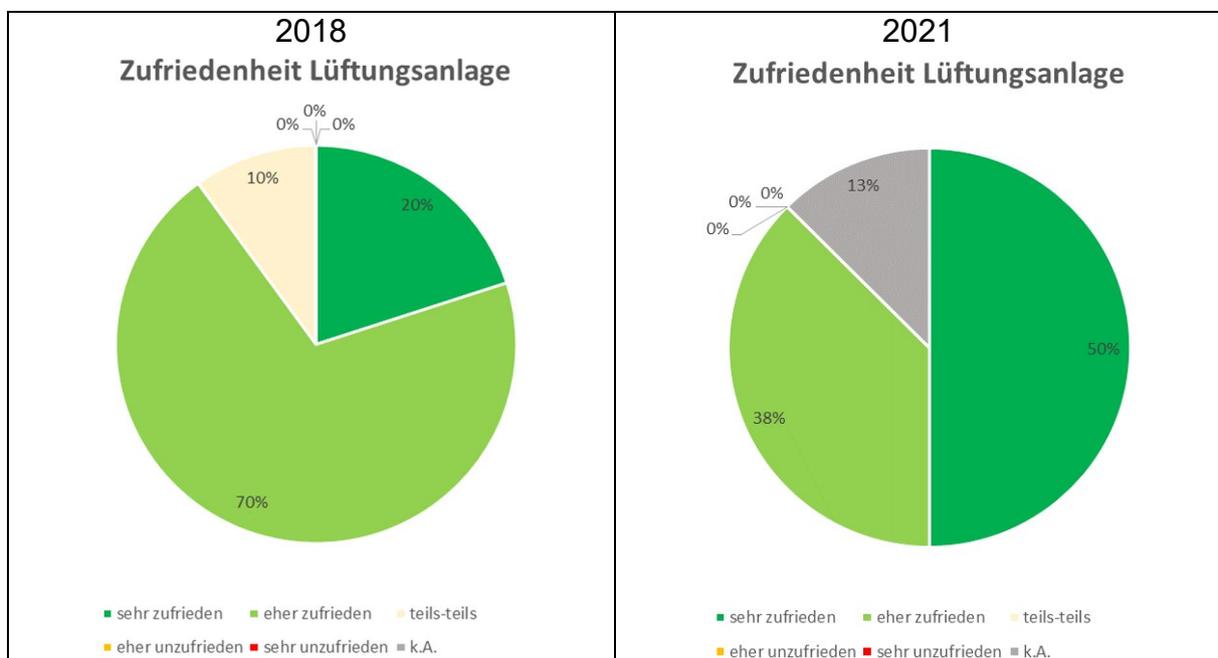


Abbildung 36: Verteilung der Antworten zu Frage 28 (Zufriedenheit Lüftung insgesamt)

Die Abfrage der generellen Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage (Frage 28, Abbildung 36) zeigt ein sehr positives Bild: 90% der Befragten sind zufrieden mit der Lüftungsanlage („sehr“ oder „eher zufrieden“), nur 10% (eine Whg.) geben 2018 mit einem „teils-teils“ gewisse Einschränkungen an. Im Jahr 2021 ist die Bewertung „sehr

„zufrieden“ und „eher zufrieden“ etwa gleich geblieben aber die Bewertung „sehr zufrieden“ ist von 20% auf 50% deutlich angestiegen. Die Aussage „teils-teils“ gibt es nicht mehr. Damit sind alle Bewohner, die sich geäußert haben mit ihrer Lüftungsanlage zufrieden, was bei dem immer noch skeptischen Blick auf diese Technik ein sehr gutes Ergebnis ist. Die negative Haltung gegenüber einer kontrollierten Lüftung ist vermutlich besonders hoch bei Menschen, die selber noch keine persönlich Erfahrung mit den Vorzügen machen konnten.

Die Frage nach der Zusatzlüftung über die Fenster im Winter (29a) wird von vier der 10 Haushalten bejaht und von sechs verneint (2018). Bei den Zusatzlüftungszeiten in den vier Wohnungen werden Zeiten zwischen 5 Minuten pro Tag in zwei Zimmern (Tagessumme 10 Minuten) bis insgesamt 100 Minuten (verteilt auf drei Zimmer) angegeben. Insgesamt ergeben sich damit sehr geringe Zusatzlüftungen. Ob diese Zusatzlüftung auch über eine zeitweise Erhöhung der Lüftungsanlage erfolgen könnte, wurde nicht abgefragt. Im Jahr 2021 gaben 75% (6) der Befragten an, zusätzlich zu lüften. Auch bei den Angaben zu den Zeiten ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der ersten Befragung. Die Zeiten sind etwas geringer: 3 bis 15 Minuten, in einem Fall 60 Minuten.

Für die Zusatzlüftungen im Sommer ergibt sich 2018 ein anders Bild: Hier wird in 7 der 10 Wohnungen zusätzlich massiv gelüftet. Energetisch hat die sommerliche Zusatzlüftung keinen Einfluss. Wenn keine innenliegenden Bäder entlüftet werden müssen, könnte die Lüftung im Sommer auch komplett abgeschaltet werden. Die Bewohner geben lange zusätzliche Lüftungszeiten an, was als angepasstes und richtiges Verhalten beurteilt werden kann. Warum 3 der 10 Wohnungen im Sommer keine Angaben zu Fensteröffnungszeiten machen, ist nicht nachzuvollziehen. Bei der Zweitbefragung 2021 liegen die Sommerwerte ebenfalls deutlich höher als die im Winter. Auch hier ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der Erstbefragung. Dabei machen 5 der 8 Wohnungen Aussagen zu den Lüftungszeiten.

Die Abfrage nach der Lage der Wohnung im Gebäude (Frage Nr. 31) zeigt, dass alle Bereiche vom EG bis zum DG vertreten sind.

Generelle Zufriedenheit

Die generelle Zufriedenheit mit der Wohnung in Passivhaus-Qualität (Frage 32, Abbildung 37) bewerten 90% mit „sehr“ oder „eher zufrieden“, was einer sehr hohen Zustimmung entspricht. Nur in einer Wohnung erfolgt eine „teils-teils“ Angabe. Bei der Zweitbefragung geben sogar alle Befragten an (100%), „zufrieden“ mit dem Passivhaus zu sein. Der Anteil der „sehr zufriedenen“ steigt von 50 auf 88%.

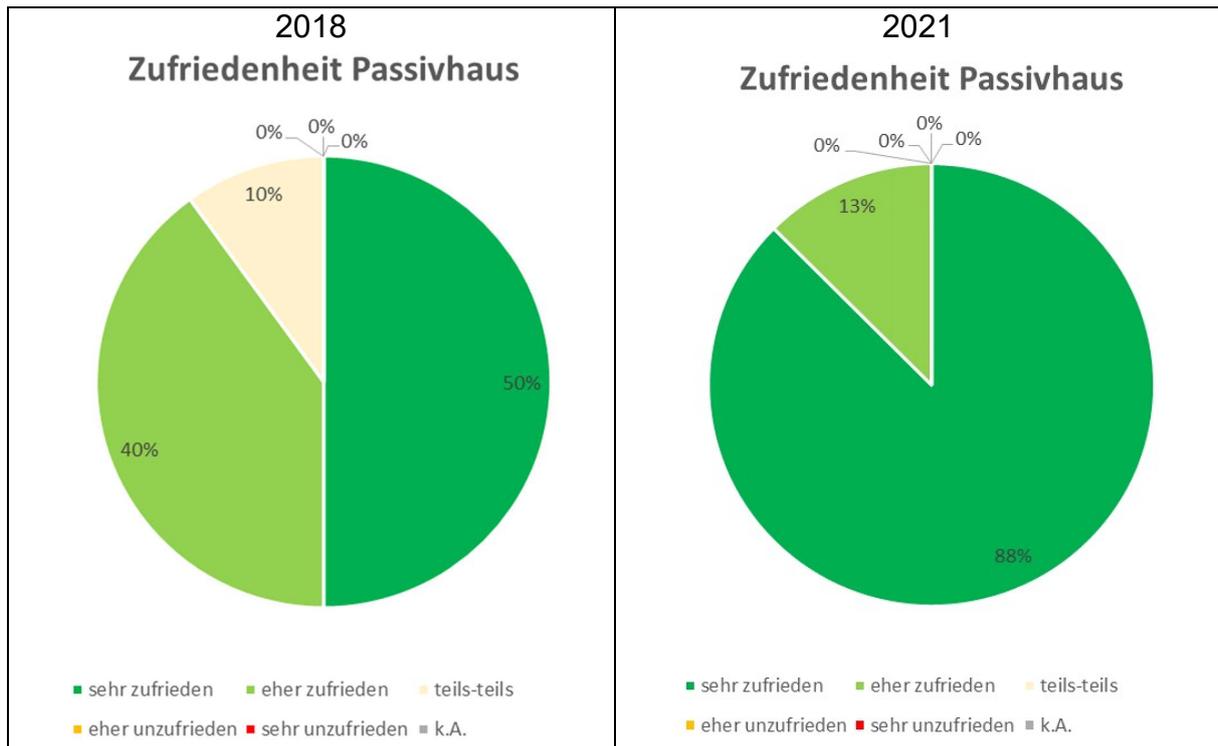


Abbildung 37: Verteilung der Antworten zu Frage 32 (Zufriedenheit Passivhaus)

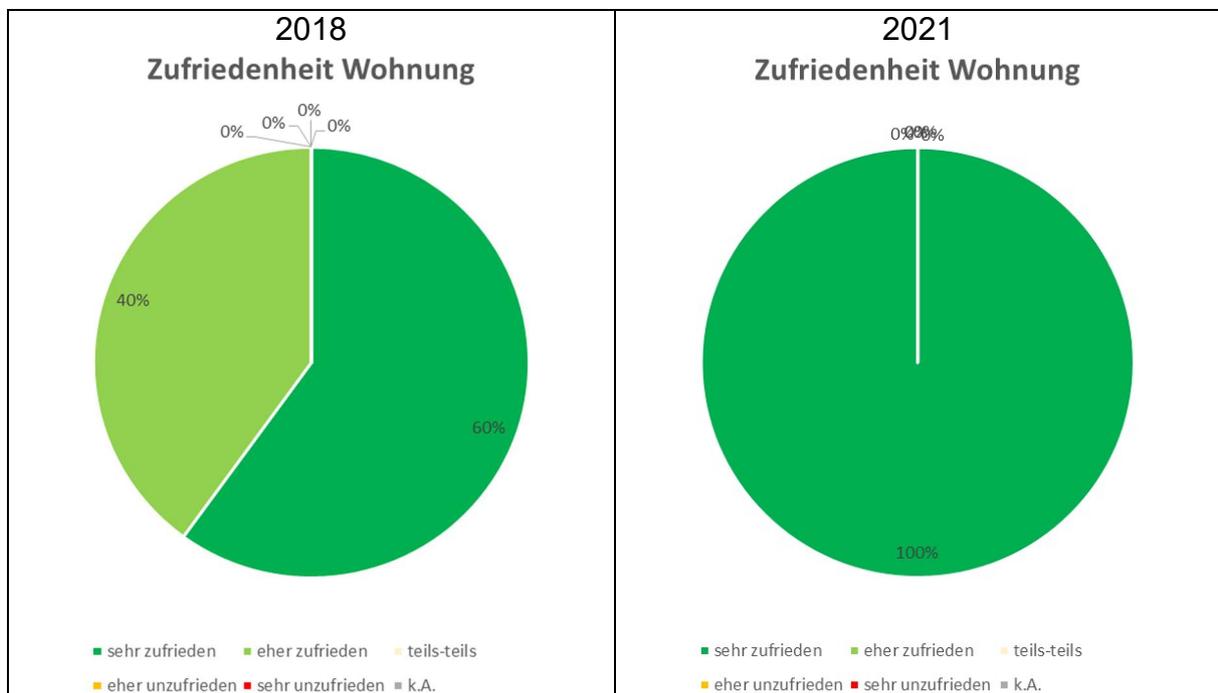


Abbildung 38: Verteilung der Antworten zu Frage 33 (Zufriedenheit Wohnung generell)

Die Zufriedenheit mit der eigenen Wohnung im Allgemeinen (Frage 33, Abbildung 38) liegt noch höher. Hier sind 100 % der Bewohner „sehr“ (60%) oder „eher zufrieden“ (40%). Auch hier wurde 2021 eine noch weitere Verbesserung erzielt: Nun sind 100% der Befragten „sehr zufrieden“ mit ihrer Wohnung.

In den abschließenden Kommentaren (Nr. 34) wurde gelobt, dass das Leben im Passivhaus die Erwartungen übertrifft, sowie die Ruhe durch die effektive Schalldämmung. Einmalig wurde die manchmal mangelnde Luftqualität kritisiert, sowie eine Beschwerde zur Haustechnik („*mangelhaft steuerbare Jalousien*“) sowie ein Zuggefühl im Keller. Eine Nennung erwähnt die „*schwere Haustür*“, welche für einen Luftzug Sorge, der im gesamten Haus hörbar wäre. Ein Kommentar bringt es mit „*mit allem zufrieden*“ zu einem sehr positiven Gesamturteil. Sehr ähnlich sieht es auch im aktuellen Jahr aus: Es gibt zwei Kommentare zu möglichen Verbesserungen der Gartenanlage bzw. Geruchsübertragung. Der dritte Kommentar fasst den Erfolg gut zusammen: „*Sohn ist Architekt und sagt: besser geht's nicht!*“.

3.2 Beurteilung der Befragung

Insgesamt ergibt die Befragung eine hohe Gesamtzufriedenheit der Bewohner mit dem Gebäude allgemein und der Passivhaustechnik im Besonderen. Vereinzelt kritische Einschätzungen könnten durch Änderungen des Verhaltens vermutlich einfach behoben werden. Bei wenigen anderen scheint es sich um technische Störungen in den ersten Betriebsjahren zu handeln (Warmwassertemperatur, Entlüftung der Heizkörper), welche durch Einstellung der Anlage verändert werden können (ggf. schon wurden). Im aktuellen Jahr sind diese Äußerungen wie erwartet weggefallen.

Die zum Teil kritisierte Luftfeuchte ist ein wiederkehrendes Thema bei Wohnungen, welche mechanisch be- und entlüftet werden. Dafür sind die Messwerte besonders interessant, um zu prüfen, wie hoch die relative Luftfeuchte tatsächlich ist. Der Mensch verfügt über kein Sinnesorgan, um die Luftfeuchte direkt beurteilen zu können. Vereinzelt sind Personen, nur aufgrund der abgelesenen Messwerte von Hygrometern nicht zufrieden. Dabei kommt es dann jeweils auf die Bewertung des Bewohners an, was als zu niedrig beurteilt wird. Das soll im Umkehrschluss nicht bedeuten, dass es nicht auch Wohnungen gibt, bei denen die relative Luftfeuchte zu niedrig sein kann. Besonders im Zusammenhang mit der aktuellen Covid-19 Pandemie zeigt sich erneut, dass sich eine ausreichend hohe Luftfeuchte vorteilhaft auswirkt. Häufig kann das Problem der zu niedrigen Luftfeuchte an sehr kalten Tagen schnell und einfach durch niedrigere Luftwechselraten gelöst werden. Dazu wäre eine weitere gezielte Information der Nutzer sinnvoll.

4 Zusammenfassung

Das 2017 fertiggestellte und bewohnte Passivhaus „BuildTog“ in Bremen-Findorff der GEWOBA Bremen verfügt über 16 Mietwohnungen mit einer beheizten Wohnfläche von 1.478 m². Das Gebäude wird über Fernwärme (Heizung, Warmwasser und Frostschutz Lüftung) versorgt. Alle Wohnungen werden durch die zentrale Lüftungsanlage im Keller belüftet.

BuildTog (Building Together) ist ein 2009 gegründetes Netzwerk von vier Partnern in Deutschland und Frankreich, welches sich mit nachhaltigem Bauen beschäftigt. Es wurden Häuser mit hoher Energieeffizienz errichtet (im Passivhaus Standard), die wirtschaftlich darstellbar und auch architektonisch anspruchsvoll sind. Die deutschen Projekte wurden in Bremen und Darmstadt errichtet. Das PHI war mit einem Monitoring über drei Jahre (bis Mitte 2021) inkl. jeweils zweier Bewohner-Befragungen für beide Projekte (Bremen und Darmstadt) beauftragt.

Ergebnisse BuildTog Bremen

Die Ergebnisse der Bewohner-Befragung ergibt insgesamt eine sehr hohe Gesamtzufriedenheit mit dem Gebäude allgemein und der Passivhaustechnik im Besonderen (88% „eher zufrieden“, 12% „sehr zufrieden“ mit dem Passivhaus). Die Ursachen für vereinzelte kritische Anmerkungen könnten durch geringe Änderungen des Verhaltens bzw. Reglereinstellungen einfach behoben werden.

Die Auswertung der Energieverbrauchswerte in den Wohnungen inkl. der nutzbaren Anteile der Wärmeverteilung und dem minimalen Anteil des Frostschutzes der zentralen Lüftung ergibt sich zu 13,2 kWh/(m²a) im Jahr 2019/2020. Für die Beheizung des Gesamtgebäudes werden insgesamt 19,0 kWh/(m²a) aufgewendet (inkl. der Umwandlungs- und Verteilverluste). Die Abschaltung der Wärmeverbräuche in den Sommermonaten würde das Ergebnis noch weiter verbessern. Typischerweise ist der Energieeinsatz zur zentralen Warmwasserbereitung mit 23,5 kWh/(m²a) höher als der für die Beheizung des Gebäudes. Die Ergebnisse der anderen Untersuchungsjahre liegen in der gleichen Größenordnung. Damit kann die Stabilität der Verbräuche über die Zeit belegt werden. Die hauseigenen PV-Anlage erwirtschaftet 4,5 kWh/(m²a).

Während der wärmsten Tage des Jahres 2019 werden die Temperaturen in den Wohnungen untersucht. Die höchste gemessene Außentemperatur wurde am 25.07.2019 mit 36,7 °C gemessen. Dabei zeigen 15 der 16 Wohnungen sehr moderate Raumtemperaturen von nur 23,9 bis 25,5 °C, obwohl die Außentemperaturen in den Tagen vorher typisch kontinuierlich angestiegen sind. Nur eine Wohnung zeigt eine deutlich höhere Raumtemperatur außerhalb dieses Temperaturbandes. Hier wird an dem wärmsten Tag die höchste Raumtemperatur des Sommers mit 28,1 °C festgestellt („Ausreißerwohnung“). Allerdings sind 28 °C als maximale Raumtemperatur im

Hochsommer, ohne eine aktive Klimatisierung zu betreiben, als durchaus moderat einzustufen. Diese Wohnung befindet sich nicht – wie möglicherweise angenommen werden könnte – im obersten Geschoss. Es ist festzustellen, dass in dieser Wohnung auch im Winter häufig die deutlich höchsten Temperaturen gemessen werden. Daher kann vermutet werden, dass diese höheren Temperaturen im Sommer wie im Winter von den Bewohnern gewünscht sind.

Die Raumtemperaturen während der Sommerzeit zeigen, dass die Bewohner die sommerlichen Temperaturen sehr unterschiedlich beeinflussen: Zwischen der kühlfsten und der wärmsten Wohnung beträgt der Unterschied am wärmsten Tag des Jahres 4,4 K. Der Nutzereinfluss (Verschattung und Öffnung Balkon/Terrassentür etc.) macht sich hier deutlich bemerkbar. Die Ergebnisse zeigen ein sehr gutes Somerverhalten des Gebäudes und beweisen, dass dieses Wohngebäude auch bei hohen Außentemperaturen mit passiven Maßnahmen sehr behagliche Innentemperaturen aufweist. Bereits die Berechnung mit dem PHPP hatte eine moderate Übertemperaturhäufigkeit ($>25^{\circ}\text{C} = 3,6\%$) prognostiziert, was durch die Messungen noch unterboten wird. Die effektive Außenverschattung wird offensichtlich gut genutzt.

Die PHPP Berechnung zur Zertifizierung des Gebäudes können mit den Messdaten bestätigt werden. Insgesamt hat sich das PHPP auch an diesem Gebäude erneut als verlässliches Planungstool für energieeffiziente Gebäude erwiesen.

In der Gesamtbetrachtung zeigt dieses Gebäude, dass mit einer relativ herkömmlichen und robusten Gebäudetechnik, einer energetisch optimierten Gebäudehülle und einer einfachen Bedienbarkeit für die Nutzer und Techniker sehr gute Gesamtergebnisse erzielt werden können: Alle thermischen Anwendungen der Gebäudeversorgung (Heizung, Warmwasser, Frostschutz) benötigen dauerhaft maximal nur 46 kWh/(m²a) Fernwärme.

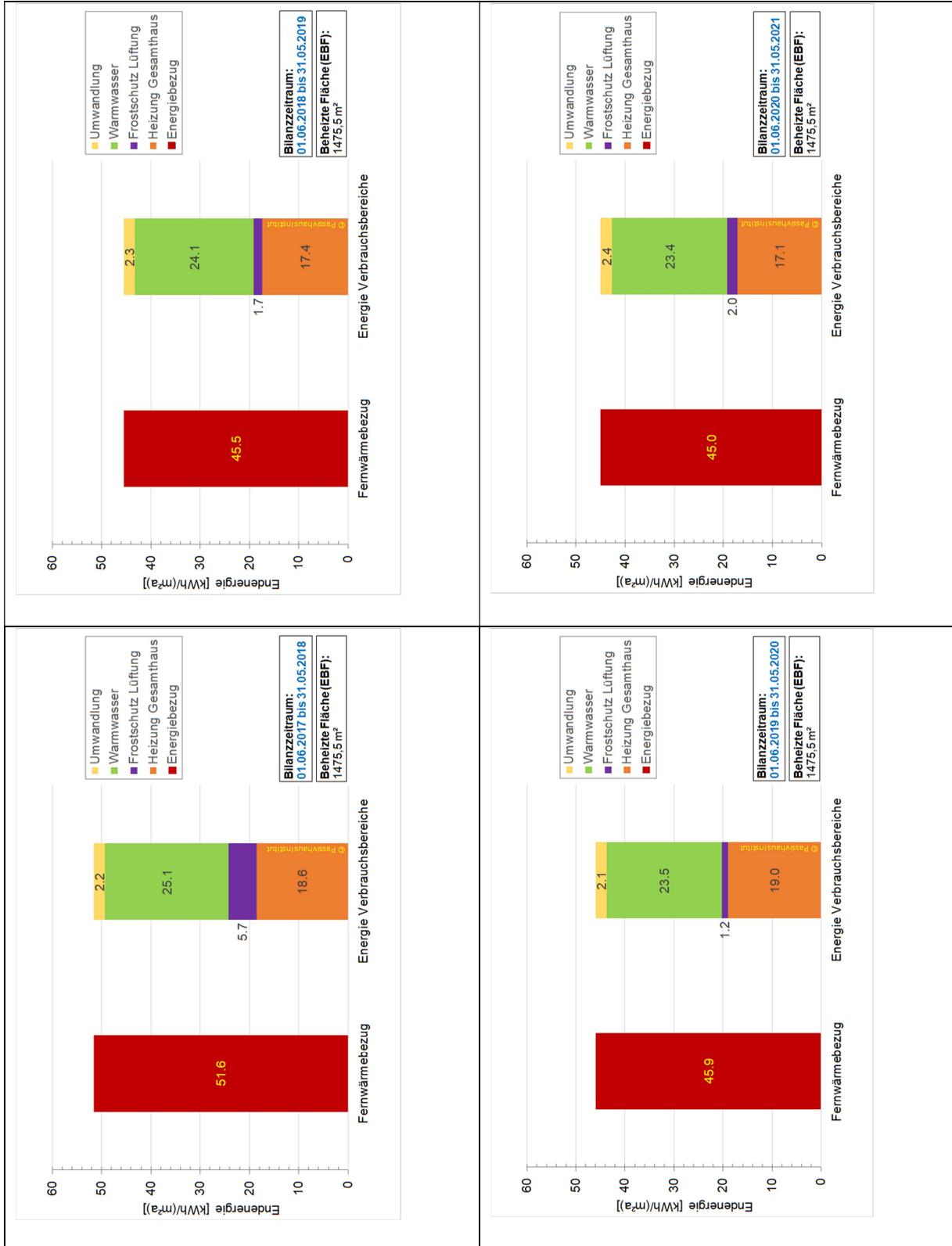
5 Quellen

- [Ehmke 2021] Ehmke, T.: Bericht über die Zertifizierung des Primärenergiefaktors gemäß AGFW Arbeitsblatt FW 309 Teil 1 und Gebäudeenergiegesetz (GEG) für das Wärmenetz Kissinger Straße 5 in 28215 Bremen der GEWOBA Energie GmbH auf Basis von Planungsdaten. TÜV Nord Umweltschutz GmbH & Co. KG, Hamburg, 13.04.2021.
- [Feist 2001] Feist, W.: Stellungnahme zur Vornorm DIN V 4108 Teil 6:2001 aus Sicht der Passivhausentwicklung, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 39, Fachinformation PHI-2001/10. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001.
- [Feist 2004] Feist, W.: Wärmeübergabeverluste im Lichte der Baupraxis. In: Wärmeübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus; Protokollband Nr. 28 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase III, pp. 123 – 156, Passivhaus Institut; Darmstadt, 2004
- [Feist et al. 2016] Feist, W.; Ebel, W.; Peper, S.; Hasper, W.; Pfluger, R.; Kirchmair, M.: 25 Jahre Passivhaus Darmstadt Kranichstein. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2016
http://www.passiv.de/downloads/05_passivhaus_kranichstein_25_jahre_endbericht.pdf
- [Hasper/Peper 2021] Hasper, W.; Peper, S.: Betriebsoptimierung Bahnstadt Heidelberg. Passivhaus Institut, Darmstadt 2021
- [LÜN 2021] Messwerte der Globalstrahlung der Wetterstation „Jadebusen“ vom „Lufthygienischen Überwachungssystem Niedersachsen“ (LÜN) des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamts Hildesheim. Persönliche Zusendung der ausgewählten Messdaten (Stundenwerte Juni 2018 bis Mai 2021) am 28.06.2021
- [Peper/Kah/Feist 2005] Peper, S.; Kah, O.; Feist, W.: Zur Dauerhaftigkeit von Luftdichtheitskonzepten bei Passivhäusern – Feldmessungen, Endbericht. IEA SHC TASK 28 / ECBCS ANNEX 38. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2005
https://passiv.de/downloads/05_luftdichtheit.pdf

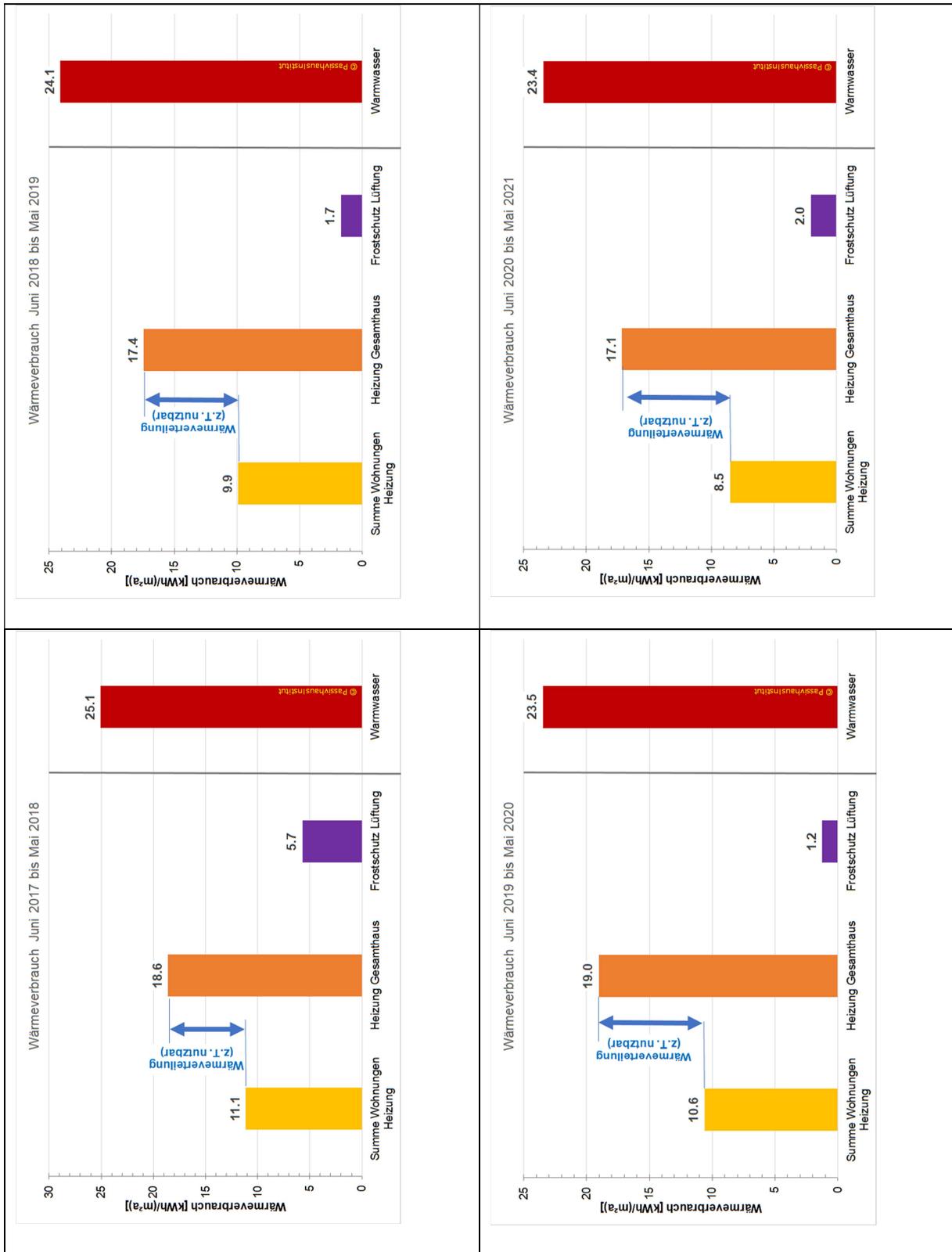
-
- [Peper/Schnieders/
Feist 2005] Peper, S.; Schnieders, J.; Feist, W.: Mehrgeschoss-Passivhaus Hamburg Pinnasberg, Endbericht: Messtechnische Untersuchungen zum thermischen Verhalten des Mehrgeschoss-Passivhauses „Parkhaus“ in Hamburg. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2005
- [PER] Erneuerbare Primärenergie - PER. Bewertungssystem für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Einführender Artikel in der Wissensdatenbank „Passipedia“:
https://passipedia.de/grundlagen/energiewirtschaft_und_oekologie/erneuerbare_primaerenergie_per
- [PHPP] Passivhaus Projektierungs-Paket. Berechnung von Energiebilanzen und Planungstool für energieeffiziente Gebäude. Passivhaus Institut, Darmstadt 1998–2017. Aktuelle Version: PHPP 9.8 (2017).
- [Stromspiegel
2021/22] Stromspiegel 2021/22, Herausgeber: co2online gGmbH, Berlin, www.stromspiegel.de

6 Anhang

Energiebilanzen Fernwärme (4 Jahreszeiträume)



Gemessener Wärmeverbrauch nach Bereich (4 Jahreszeiträume)



Heizwärmeverbrauch Wohnungen (3 Jahreszeiträume)

