

# BuildTog Darmstadt-Kranichstein Monitoring

Endbericht

Zeitraum: 1. Juni 2018 bis 31. Mai 2021



Im Auftrag der BVD New Living GmbH & Co. KG, Darmstadt



Autor  
Søren Peper

Passivhaus Institut  
Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt, [www.passiv.de](http://www.passiv.de)

September 2021

# BuildTog Darmstadt-Kranichstein Monitoring

Endbericht

Zeitraum: 1. Juni 2018 bis 31. Mai 2021

<p><b>Autor:</b> Søren Peper</p> <p><b>Herausgeber:</b> 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 BVD New Living Darmstadt.</p> <p><b>Bildnachweis:</b> Alle Abbildungen und Grafiken dieses Berichtes sind Eigentum des Passivhaus Instituts. Abweichend ist jeweils die Quelle angegeben.</p>
---	---

## Danksagungen

Unser Dank geht an die BVD New Living Darmstadt und die bauverein AG Darmstadt für die Umsetzung des Gebäudekonzeptes und die Möglichkeit der Untersuchung und Auswertung der Gebäudedaten.

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

Die Messdaten wurden von der Firma „ENTEKA Gebäudetechnik“ erfasst und zur Verfügung gestellt. Für die regelmäßige Übersendung danken wir Herrn Stefan Helbig und Herrn Redouane Bahit.

## Inhaltsverzeichnis

1	BuildTog Gebäude Darmstadt-Kranichstein .....	4
2	Datenauswertung .....	7
2.1	Messtechnik .....	7
2.2	Korrekturen Wärmezähler .....	7
2.3	Wärmeverbrauch.....	8
	Jahresverlauf Wärmeverbrauch.....	9
	Jahresbilanz Wärmeverbrauch .....	10
2.4	Heizleistung.....	12
	Kälteperiode.....	13
2.5	Warmwassermenge .....	15
3	Nutzerbefragungen 2018 und 2021 .....	17
3.1	Auswertung Befragungen.....	17
3.1.1	Nutzererfahrung Allgemein.....	17
3.1.2	Beheizung und Innenklima (Winter).....	20
3.1.3	Behaglichkeit im Sommer .....	23
3.1.4	Warmwasserversorgung.....	25
3.1.5	Lüftung und Luftqualität .....	26
3.1.6	Generelle Zufriedenheit .....	31
3.1.7	Beurteilung der Befragung.....	33
4	Zusammenfassung .....	35
	Ergebnisse BuildTog Gebäude Darmstadt .....	35
5	Quellen .....	37
6	Anhang.....	38

# 1 BuildTog Gebäude Darmstadt-Kranichstein

Das fertiggestellte und vollständig bewohnte Passivhaus „BuildTog“ in Darmstadt-Kranichstein wurde von der BVD New Living als Bauträger errichtet. Das Gebäude verfügt über 37 Wohnungen mit einer beheizten Wohnfläche von insgesamt 3.495 m<sup>2</sup>. Es wurde vom Architekturbüro „Planungsgruppe DREI“ aus Mühlthal bei Darmstadt geplant. Die Haustechnikplanung erfolgte durch „Inovis Ingenieure GmbH“ aus Frankfurt a.M. Das Gebäude ist im Jahr 2012 in Massivbauweise errichtet. Für die Außenwände wurden Kalksandsteine mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) eingesetzt. Nach dem PHPP (Passivhaus-Projektierungspaket) des Gebäudes beträgt der Heizwärmebedarf bei Standardbedingungen 13 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Nutzwärme). Die Luftdichtheit des Gebäudes wurde mit dem sehr guten Wert von  $n_{50} = 0,3 \text{ h}^{-1}$  ermittelt. Die Passivhaus-Zertifizierung wurde vom Passivhaus Institut (PHI) durchgeführt.

Das Gebäude verfügt über einen Fernwärmeanschluss, der zur Beheizung und Warmwasserversorgung verwendet wird. Mit der Fernwärme werden zur Warmwasserbereitung drei zentrale Pufferspeicher je 1000 Liter Inhalt erwärmt. Mit dem dort enthaltenen Heizungswasser werden zwei Wasser-Wasser Durchlauferhitzer versorgt, mit denen das Brauch-Warmwasser im Durchflussprinzip erzeugt wird.

Das zentrale Lüftungsgerät (P. Lemmens Company) befindet sich im Keller. Der Auslegungsvolumenstrom laut PHPP beträgt 3.440 m<sup>3</sup>/h, was einem mittleren Luftwechsel von  $0,39 \text{ h}^{-1}$  entspricht. Das Lüftungsgerät verfügt über ein zentrales elektrisches Frostschutzregister im Außenluftstrang, um das Einfrieren des Wärmetauschers zu verhindern.

Die dauerhafte Messdatenerfassung erfolgt bauseits durch die Aufzeichnung auf einem zentralen Messrechner (GLT). Es werden Datenpunkte der zentralen Haustechnik erfasst (Temperaturen Keller, Vor- und Rücklufttemperaturen, relative Feuchte Keller, Volumenströme Lüftung, 3 Wärmezähler, Wassermengen, Ventilstellungen etc.). Stromverbrauchswerte der Lüftung und andere zentrale Verbraucher werden nicht aufgezeichnet. Von den Einzelwohnungen werden keine Daten erfasst. Die Daten werden in 27 Einzeldateien in 5-Minuten Auflösung dem PHI von der Entega Gebäudetechnik monatlich übermittelt.

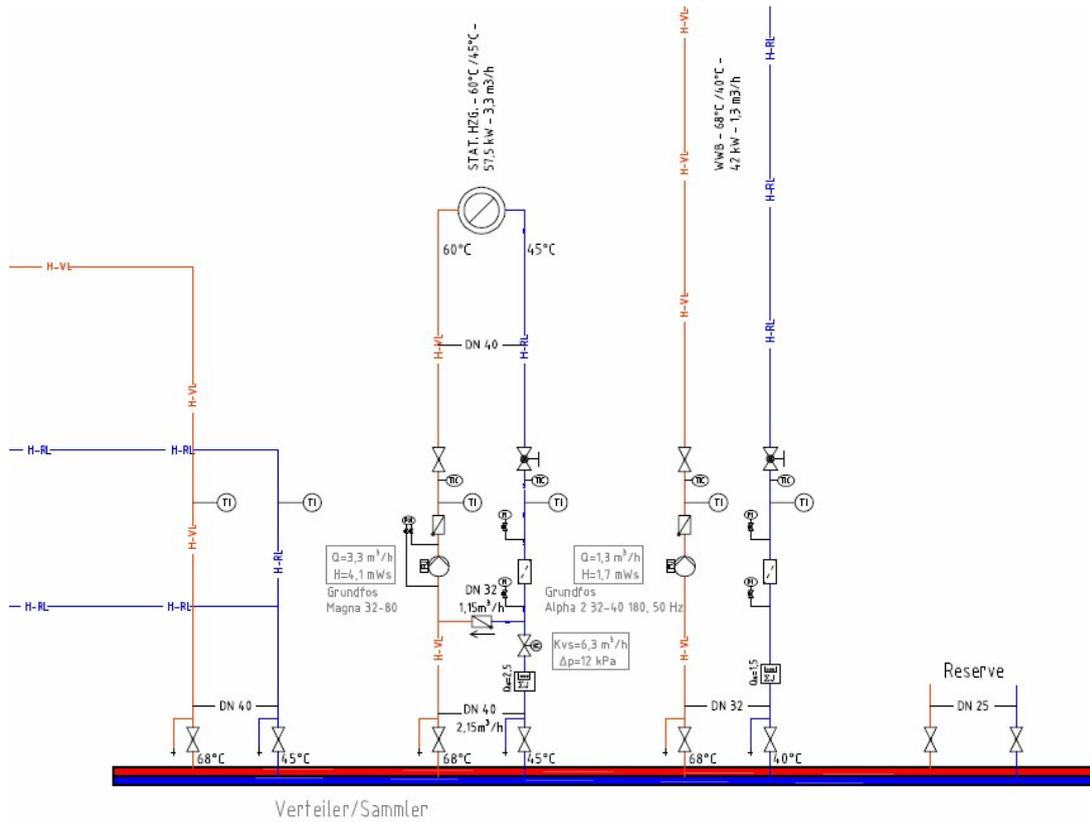


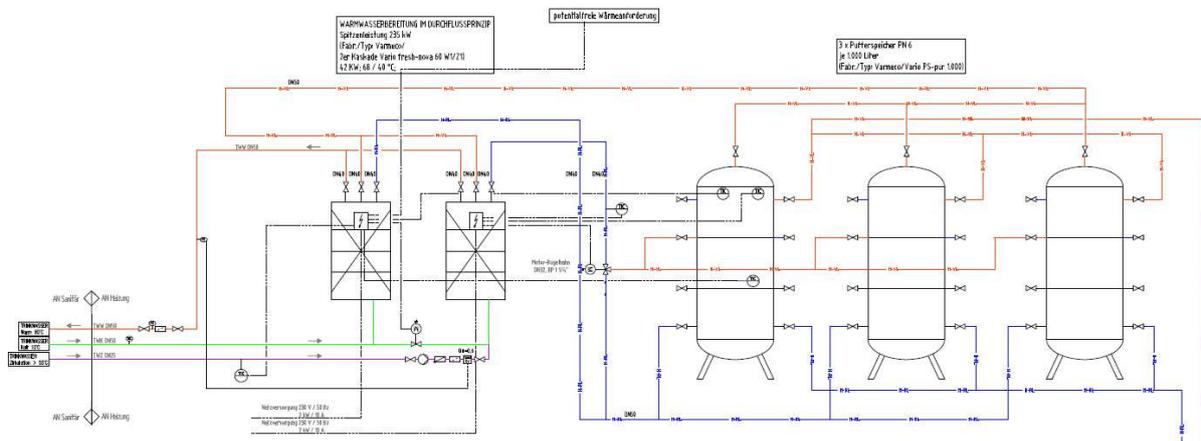
Abbildung 1: Ausschnitt der Hydraulik im Technikeller aus dem „Funktionsschema Heizungstechnik“ vom 12.12.2012 (Quelle: HSE Technik).



Abbildung 2: Technikeller mit der Übergabestation (links) und der zentralen Wärmeverteilung.



**Abbildung 3: Zentrale Lüftungsanlage im Technikeller (links) und zentrale Warmwasserbereitung mit zwei Frischwasser-Erwärmern (Wasser-Wasser-Durchlauferhitzer) (rechts).**



**Abbildung 4: Ausschnitt aus dem „Funktionsschema Heizungstechnik“ vom 12.12.2012 (Quelle: HSE Technik) mit dem Bereich der Warmwasseraufbereitung.**



**Abbildung 5: Lüftungsturm vor dem Gebäude der zentralen Lüftungsanlage, welche sich im Keller des Gebäudes befindet.**

## 2 Datenauswertung

Die Daten aus der Datenerfassung der Gebäudeleittechnik (GLT) liegen von August 2018 bis Juli 2021 vor und werden für diese Zeit analysiert.

### 2.1 Messtechnik

Zur Messung wurden bauseits handelsübliche Produkte aus der GLT verwendet. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Qualität (Genauigkeit) von der üblicherweise bei wissenschaftlichen Untersuchungen eingesetzten Technik. Für die Erfassung der Wärmeverbräuche werden Wärmehähler der Firma aqua metro vom Typ „CALEC ST“ verwendet. Die technischen Werte sind je nach Baugröße unterschiedlich. Der Energieverbrauch des Gesamtgebäudes, unterschieden nach Fernwärmebezug (Sekundärseitig), Heizkreis und Warmwasserbereitung (Messung vor den Warmwasserspeichern) wird durch die Auswertung der Messdaten untersucht und bewertet.

Zu den Raumtemperaturen im Gebäude können keine Aussagen gemacht werden, da hierzu keine Messungen durchgeführt werden. Die mittlere Raumtemperatur hat einen deutlichen Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch, die Zunahme beträgt ca. 15 %/K gegenüber den Berechnungsergebnissen des PHPP (Standardansatz  $t_i = 20^\circ\text{C}$ ). In vergleichbaren Objekten wurden regelmäßig mittlere Raumtemperaturen über  $20^\circ\text{C}$  beobachtet, im Mittel lagen diese bei ca.  $21,5^\circ\text{C}$ . Bei dem BuildTog Gebäude in Bremen [Peper 2021] waren es im Winter 2020/2021  $t_i = 21,2^\circ\text{C}$  (01. Oktober 2020 bis 30. April 2021).

### 2.2 Korrekturen Wärmehähler

Die Auswertung der Messdaten offenbarte Probleme bei der Messtechnik. Diese wurden durch Einbaufehler bei den Temperatursensoren der WMZ ausgelöst. Auf Intervention des PHI wurde der Einbau der Tauchhülsen von der ausführenden Firma korrigiert, was allerdings erst mit großem zeitlichem Abstand erfolgte. Die Chronologie zeigt die vier durchgeführten Korrekturen:

**Korrektur 1:** Mitte Juli 2018 nach erstem Ortstermin des PHI (Daten waren vorher nicht nutzbar)

**Korrektur 2:** Bewohnermeldung am 05. April 2019 über mangelhaften Einbau der Temperatursensoren. Unzureichende Änderung am 17. Juli 2018 (Tauchhülsen Durchmesser zu groß). Dadurch kommt es zu einer fehlerhaften Temperaturmessung.



**Abbildung 6:** Temperatursensor eines Wärmehählers in der zu grohen Tauchhülse (Foto: Bewohner vom 09.04.2019). Der Pfeil zeigt auf den Hohlraum, welcher nicht ausgefüllt war. Die Vergrößerung ist im rechten Bild dargestellt.

**Korrektur 3:** Am 6.8.2019 wurden die Temperatursensoren am Wärmehähler nach der Fernwärmehübergabe oder am Warmwasserzähler umgebaut. An welchem Zähler der Umbau erfolgte konnte, trotz mehrfacher Nachfragen, nicht eindeutig geklärt werden.

**Korrektur 4:** Die „weiteren“ Wärmehähler (vermutlich Warmwasser und Heizung, bleibt trotz mehrfacher Nachfragen unbestätigt) wurden am 27.2.2020 umgebaut.

**Es wird davon ausgegangen, dass die Daten ab dem 28.02.2020 uneingeschränkt nutzbar sind und die Monatsdaten der Wärmehähler damit ab März 2020 verwendet werden können.**

## 2.3 Wärmeverbrauch

Zur Beurteilung wurden die drei vorhandenen Wärmehähler:

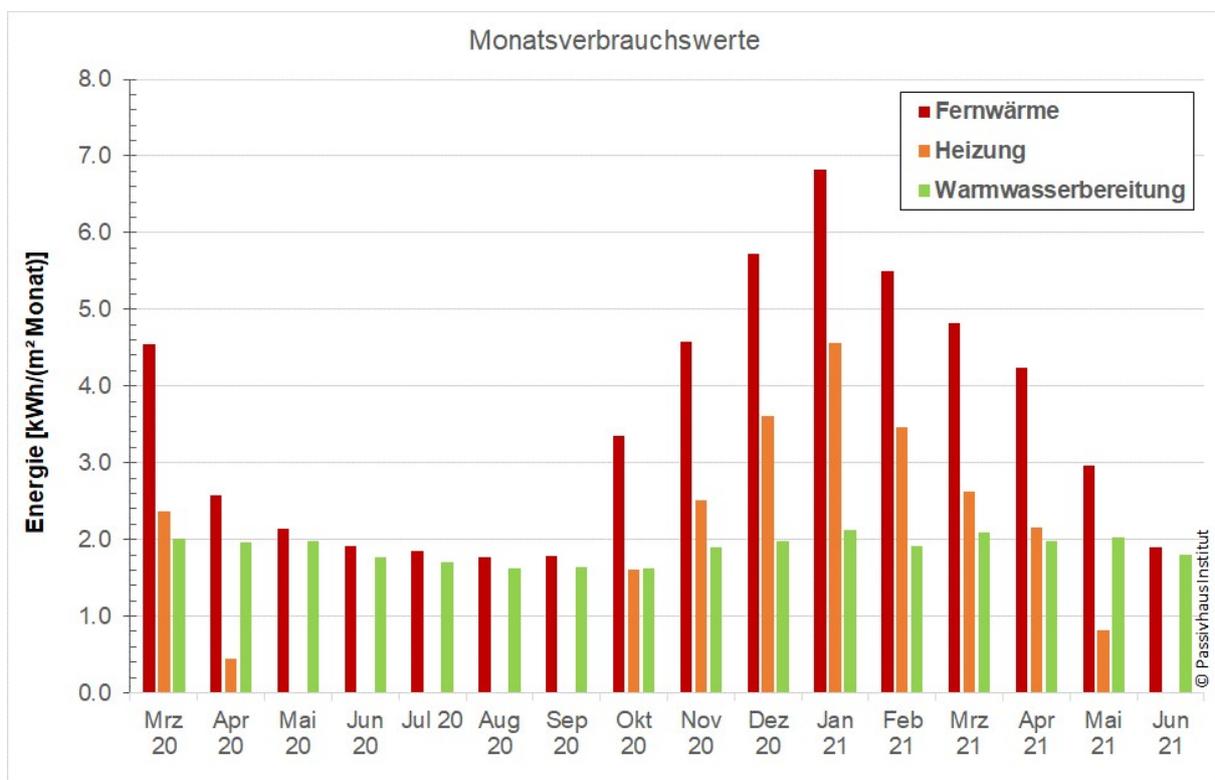
- Wärmehbezug nach der Fernwärmehübergabe („Fernwärmeh“),
- Heizung Gesamthaus inkl. Verteilung („Heizung“) sowie
- Warmwasserbereitung Gesamthaus inkl. Speicherung, Umwandlung und Verteilung („Warmwasser“)

ausgewertet. Die Verbrauchsdaten der Zähler werden zur besseren Vergleichbarkeit auf die beheizte Fläche des Gebäudes bezogen (Energiebezugsfläche „EBF“ laut PHPP von 3.495 m<sup>2</sup>). Die Fernwärmeh ist der einzige gelieferte thermische Energieträger. Er dient zur Beheizung und für die Warmwasserversorgung des Gebäudes.

## Jahresverlauf Wärmeverbrauch

Der Verlauf der Wärmeverbrauchsbereiche vom März 2020 bis Juni 2021 (Abbildung 7) zeigt die monatliche Entwicklung: Die Lieferung der Fernwärme zeigt eine typische Sommer-Winter-Schwankung mit einem sommerlichen Sockel aufgrund der Warmwasserbereitung. Das Maximum wird mit 6,8 kWh/(m<sup>2</sup> Monat) im Januar 2021 erreicht. Am Heizwärmeverbrauch ist deutlich die konsequente Abschaltung des Heizkreises während der Sommermonate zu erkennen. Erst im Oktober ist nach dem Sommer wieder Heizwärmeverbrauch festzustellen. Dies ist ausdrücklich positiv festzustellen, da es leider nicht üblich ist, die Heizkreise zentral abzuriegeln. Damit wird ein, wenn auch geringer, aber ungewollter Heizwärmeverbrauch in der Sommerzeit sicher vermieden. So kann nebenbei auch der Sommerkomfort weiter gesteigert werden (kein Wärmeeintrag aufgrund der Heizungsverteilerungen). Der maximale Monatsverbrauch für die Beheizung wird mit 4,6 kWh/(m<sup>2</sup> Monat) ebenfalls im Januar 2021 festgestellt.

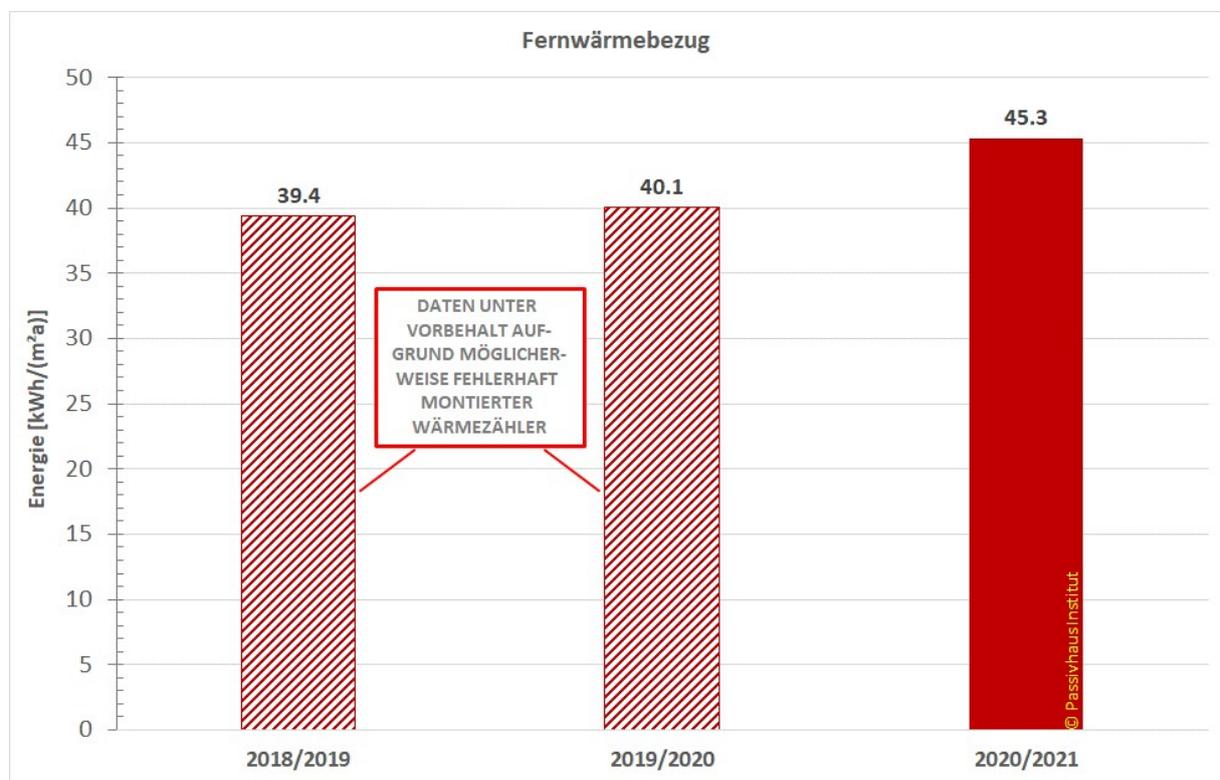
Der Energieverbrauch zur Warmwassererzeugung zeigt den typischen, flachen Kurvenverlauf: In den Sommermonaten ist der Verbrauch etwas geringer als in den Wintermonaten. Die Werte liegen zwischen 1,6 und 2,1 kWh/(m<sup>2</sup> Monat).



**Abbildung 7: Verlauf der zentral gemessenen Wärmeverbräuche für die Fernwärmeversorgung und die Unterzähler Heizung sowie Warmwassererzeugung während der Monate März 2020 bis Juni 2021 (Monatssummen).**

Betrachtet man den Energieeinsatz zur Warmwasserbereitung im Sommer gegenüber dem Winter ergibt sich eine Absenkung im Sommer von etwa 13 % (Mittelwert Oktober bis März gegenüber Mittelwert Juni bis September).

Wie beschrieben stellt die **Fernwärme** den einzigen thermischen Energieträger im Gebäude dar. Er dient zur Beheizung und für die Warmwasserversorgung des Gebäudes. Dieser Messwert stellt die zentrale Ausgangsgröße für die Gesamtversorgung des Gebäudes dar; alle anderen Verbrauchsgrößen sind nachgelagert (Unterzähler). Insgesamt wurden drei volle Jahreszeiträume ausgewertet. Aufgrund der bauseits fehlerhaft montierten Wärmehähler (vgl. Abschnitt 2.2) sind die ersten beiden Jahreszeiträume allerdings mit Unsicherheiten behaftet und die Daten sind nicht belastbar. Dennoch werden sie in der folgenden Abbildung dargestellt.

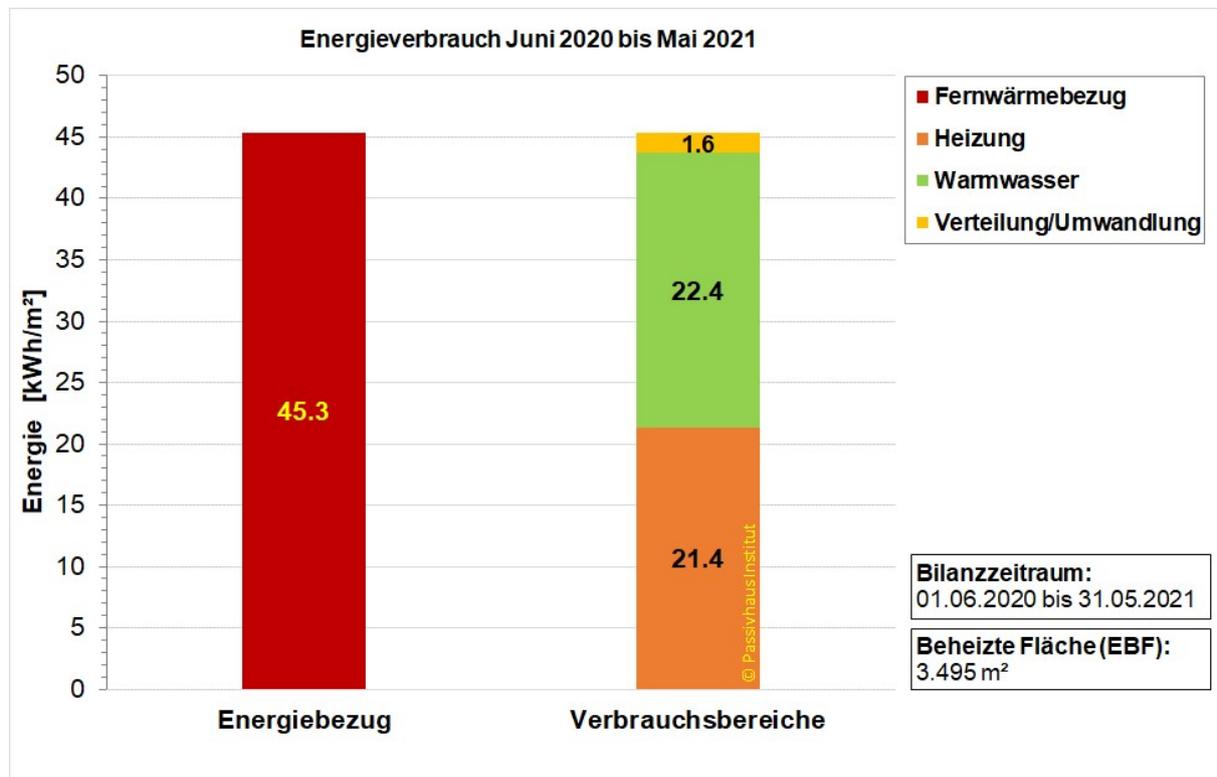


**Abbildung 8: Energiebezug des Gesamtgebäudes für alle thermischen Anwendungen (Heizung und Warmwasser) in drei untersuchten Jahreszeiträumen (jeweils Juni bis Mai). Die ersten beiden Jahreszeiträume gelten nur unter Vorbehalt, da hier möglicherweise bauseits fehlerhafte montierte Wärmehähler vorhanden waren.**

### Jahresbilanz Wärmeverbrauch

Als Jahresbilanzzeitraum wird nun der belastbare Zeitraum 01. Juni 2020 bis 31. Mai 2021 untersucht. In diesen 12 Monaten wurde laut Wärmehähler insgesamt 45,3 kWh/(m² a) Fernwärme bezogen.

Die Energie teilt sich auf in die Verbrauchsbereiche Heizung und Warmwasserversorgung. Der Bilanzrest dieser beiden Verbrauchsbereiche gegenüber der gelieferten Energie (Fernwärme) enthält die Umwandlungsverluste (Leistungsverluste bis zu den Unterzählern) sowie die Messfehler. Sie wird hier ausgewiesen als „Verteilung/Umwandlung“ (Abbildung 9).



**Abbildung 9: Spezifischer Energiebezug des Gebäudes und die Aufteilung in die Verbrauchsbereiche (Zeitraum: 01. Juni 2020 bis 31. Mai 2021).**

Für die **Beheizung** des Gebäudes wird während der Heizperiode der spezifische Verbrauchswert von **21,4 kWh/m²** festgestellt. Dieser enthält aufgrund der zentralen Messposition im Technikkeller die Verbrauchsgrößen:

- Wärmeverbrauch der 37 Wohnungen (Nutzwärme) und
- Verteilwärme außerhalb (Keller) und innerhalb der thermischen Hülle.

Damit ist in dieser Endenergiemenge – wie üblich bei einer zentralen Versorgung - auch ein Anteil des Wärmeverbrauchs enthalten, der nicht zur Erwärmung der Wohnungen genutzt wird. Dieser Messwert ist daher **nicht** direkt mit dem Heizwärmebedarf aus der Energiebilanz des PHPP vergleichbar. Dort wird an dieser Stelle der Nutzwärmebedarf ausgewiesen (Grenzwert 15 kWh/(m²a)). Messwerte der Wärmeverbräuche der Einzelwohnungen liegen für diese Untersuchung nicht vor. Die Summe dieser Einzelzähler plus der nutzbaren Verteilwärme würde den Vergleichswert zum PHPP darstellen.

Im BuildTog-Partnerprojekt Bremen konnten auch die Wärmezähler in den Wohnungen ausgewertet werden. Dabei ergibt sich für das Haus ein Endenergieverbrauch für den Heizungskreis von 17,1 kWh/(m<sup>2</sup>a) und der Nutzwärmeverbrauch Heizung der Wohnungen von 11,3 kWh/(m<sup>2</sup>a) für den Zeitraum 2020/2021. Ein ähnliches Verhältnis kann für das Gebäude in Darmstadt vermutet werden.

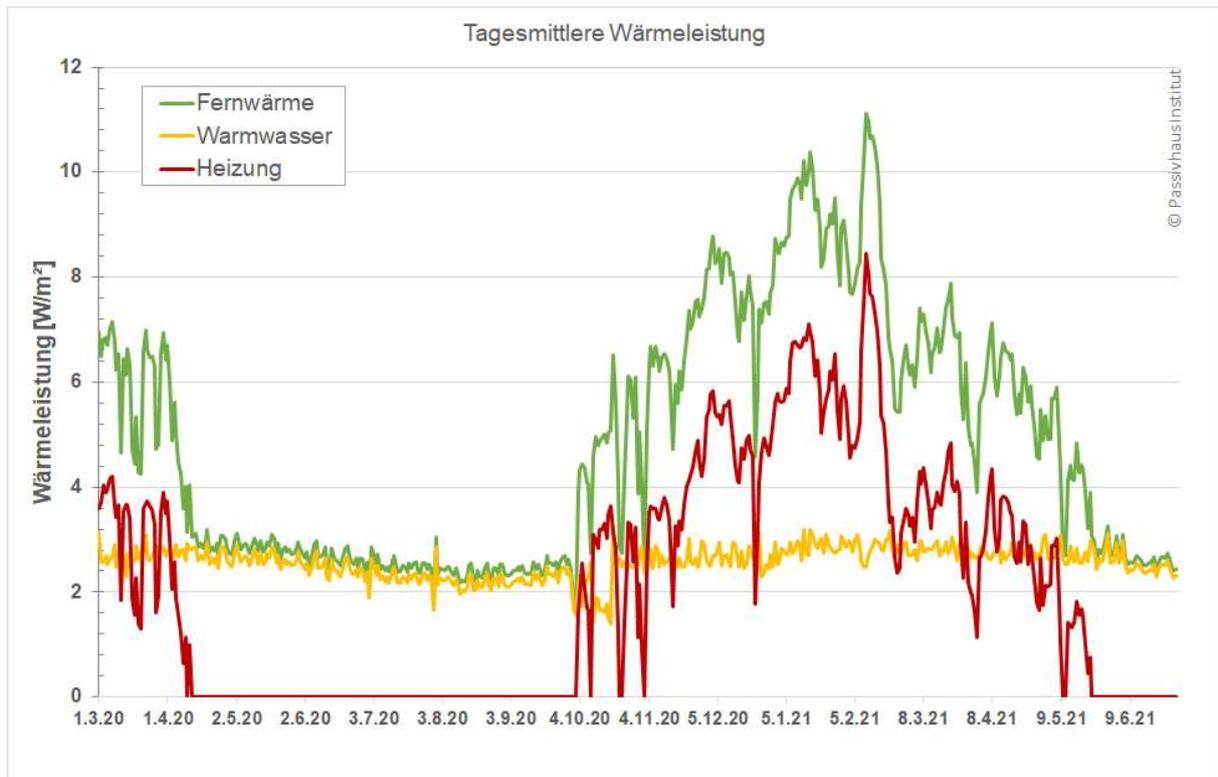
Der Energieverbrauch zur Sicherstellung der **Warmwasserversorgung** (22,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)) ist in diesem energieeffizienten Gebäude geringfügig größer als der geringe Heizwärmeverbrauch. Gegenüber herkömmlichen Wohngebäuden ist die Beheizung so stark reduziert, dass die Brauchwassererwärmung anteilig viel stärker ins Gewicht fällt; dies ist ein typischer Effekt bei Passivhäusern. Bei beiden Messwerten handelt es sich nicht um die Nutzwärme sondern um Endenergie, da die Messung vor den Warmwasser-Speichern und den Wasser-Wasser-Durchlauferhitzern erfolgt. Nicht unerhebliche Umwandlungs-, Speicher- und Verteilverluste (auch Zirkulations-Wärmeverluste) sind in dem Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung enthalten.

## 2.4 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<sup>2</sup>. Für die Gesamtversorgung von Warmwasserbereitung und Beheizung an der Fernwärmeübergabe gelten 20 W/m<sup>2</sup> als empfohlener Höchstwert.

Der Verlauf der tagesmittleren Messwerte der drei verfügbaren Wärmezähler ist in Abbildung 10 dargestellt. Zur Beheizung werden **8 W/m<sup>2</sup>** nur einmalig kurzzeitig überschritten, sonst liegt die notwendige **Heizleistung** deutlich darunter. In der PHPP Berechnung der Zertifizierung wurde die Heizleistung mit 9,1 W/m<sup>2</sup> für 20 °C Raumtemperatur und mit 9,6 W/m<sup>2</sup> für 21,0 °C (Annahme einer erhöhten Raumtemperatur) ermittelt. Die Berechnung passt hier also gut mit den Messwerten überein.

Das Gesamtgebäude benötigt in der Spitze nur **11 W/m<sup>2</sup> Fernwärmeleistung** (Tagesmittelwert). Aufgrund der hohen thermischen Trägheit von energieeffizienten Gebäuden ist der Tagesmittelwert der Leistungen aussagekräftig. Die **Warmwasserversorgung** schwankt jahreszeitlich bedingt um den Wert von **2,6 W/m<sup>2</sup> Dauerleistung**.

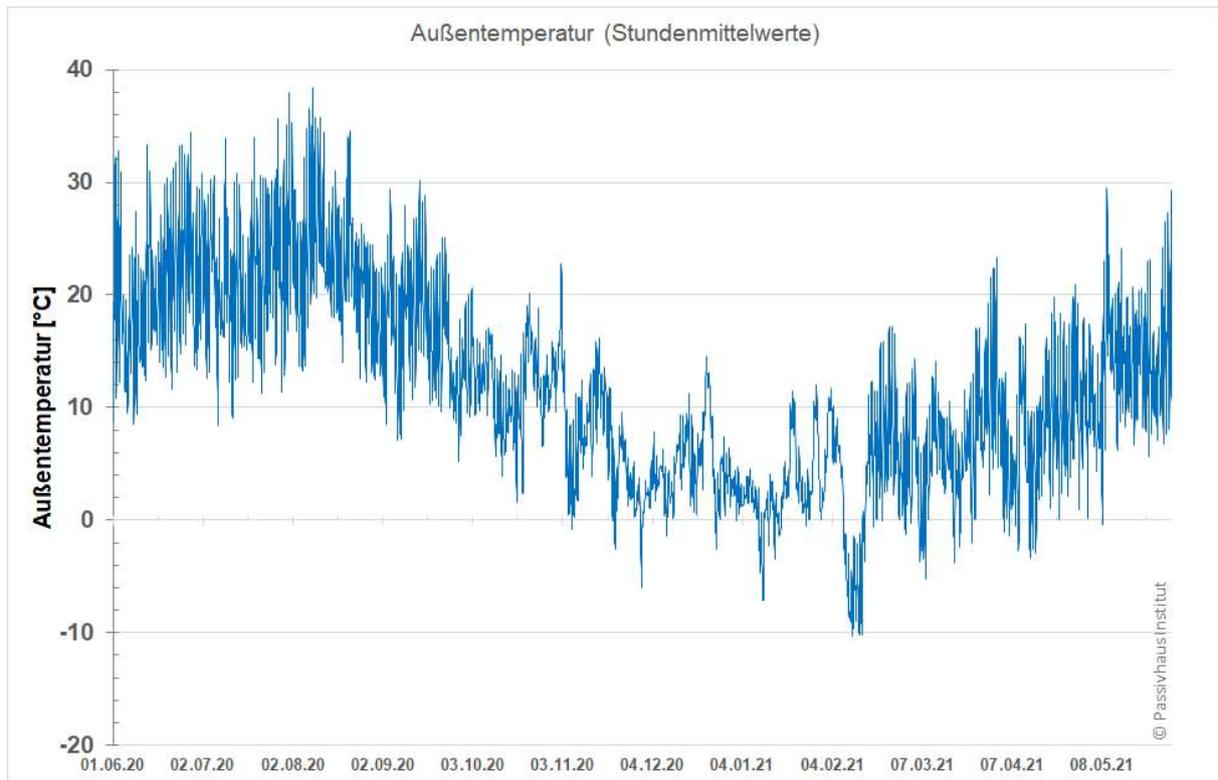


**Abbildung 10: Spezifische, tagesmittlere Heizleistungen der drei Wärmezähler im Zeitraum vom 1. März 2020 bis zum 30.06.2021.**

Damit bleibt festzustellen, dass es sich um ausgezeichnete Performance mit niedrigen Leistungen handelt. Bei der Berücksichtigung in der Planungsphase kann sich dies auch bei der reduzierten Investition der notwendigen Infrastruktur positiv bemerkbar machen. Bei einem energieeffizienten Gebäude reicht ein kleinerer Anschlusswert der Fernwärme aus, was geringere Grundkosten für die Bewohner zur Folge hat. Häufig sind die vereinbarten Anschlusswerte der Fernwärmeübergabe deutlich überdimensioniert (vergleiche dazu die Ausführungen in [Hasper/Peper 2021]).

### Kälteperiode

Die Heizleistung soll detaillierter während der kältesten Periode im Betrachtungszeitraum analysiert werden. Dazu wird die Außenlufttemperaturmessung der GLT des Gebäudes verwendet. In Abbildung 11 ist der Verlauf der Messwerte als Stundenmittelwerte für den Zeitraum 01.06.2020 bis zum 31. Mai 2021 dargestellt. Die niedrigste Außentemperatur am Gebäude wurde am 10. Februar 2021 um 22:00 Uhr mit  $-10,3\text{ }^\circ\text{C}$  gemessen. Diese Kälteperiode eignet sich gut zur Darstellung der Reaktion der Heizleistung.

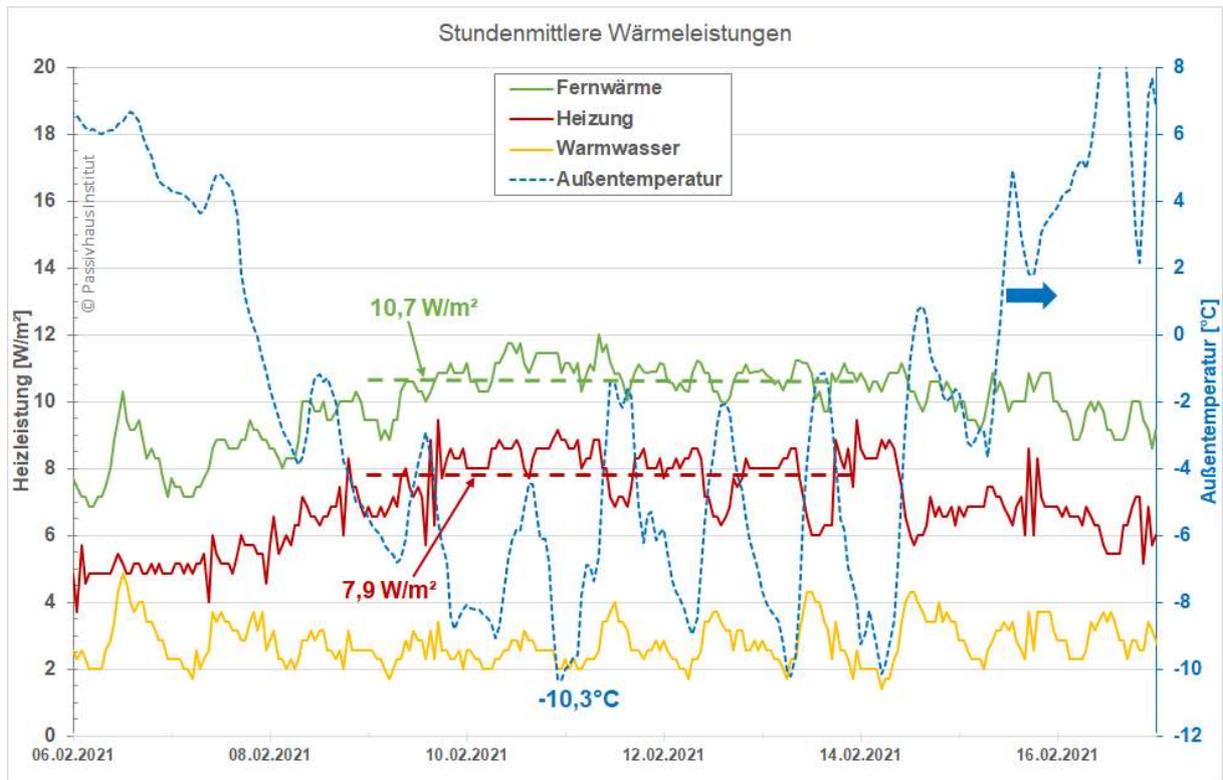


**Abbildung 11: Stundenmittelwerte der Außentemperatur im Jahreszeitraum 1.6.2020 bis zum 31. Mai 2021 (Messung am Gebäude über die GLT).**

Für die Untersuchung des Verhaltens der Heizleitung in der Kälteperiode werden die Stundenmittelwerte verwendet (Abbildung 12). Die Kälteperiode um den Zeitpunkt mit der niedrigsten Außentemperatur dauert etwa vom 09. bis zum 15. Februar 2021. Auch hier zeigt die Heizleistung sehr niedrige Messwerte, die auf die thermisch hochwertige Qualität des Gebäudes hinweisen: Sie erreicht in zwei Spitzen den maximalen Wert von  $9,4 \text{ W/m}^2$ . Während der gesamten Kälteperiode liegt der Mittelwert bei nur  $7,9 \text{ W/m}^2$ .

Bei der Fernwärme, für die Versorgung aller thermischen Anwendungen des Gesamtgebäudes, liegt der Mittelwert in der Periode bei nur  $10,7 \text{ W/m}^2$ . Der Spitzenwert liegt hier bei nur  $12 \text{ W/m}^2$ . Diese sehr moderaten Messwerte sind deutlich von der Obergrenze der  $20 \text{ W/m}^2$  entfernt.

Die Leistung für die Warmwasserversorgung schwankt in dem Zeitraum etwa zwischen  $2$  und  $4 \text{ W/m}^2$ .



**Abbildung 12: Spezifische, stundenmittlere Heizleistung für Fernwärme, Heizung und Warmwasserbereitung. Für den Zeitbereich der Kälteperiode sind die Mittelwerte für die Fernwärmeversorgung und die Beheizung vom 09. bis zum 14.02.2021 eingetragen. Auf der Sekundärachse ist ergänzend die Außentemperatur aufgetragen.**

## 2.5 Warmwassermenge

Die verfügbaren GLT-Messdaten enthalten auch Daten des zentralen Warmwasserzählers. Dieser erfasst die gesamte Warmwassermenge, welche im Gebäude verbraucht wird. Im Mittel über die gesamte Untersuchungszeit (34 Monate) werden 178,4 Liter Warmwasser pro Quadratmeter und Monat verbraucht. Bei der Warmwassermenge ist gegenüber der monatlichen Energiemenge keine eindeutige Sommer-Winter-Schwankung zu erkennen. Möglicherweise hat die Absenkung des sommerlichen Energieeinsatzes zur Warmwassererzeugung ihre hauptsächliche Ursache in der höheren Kaltwassertemperatur gegenüber dem Winter.

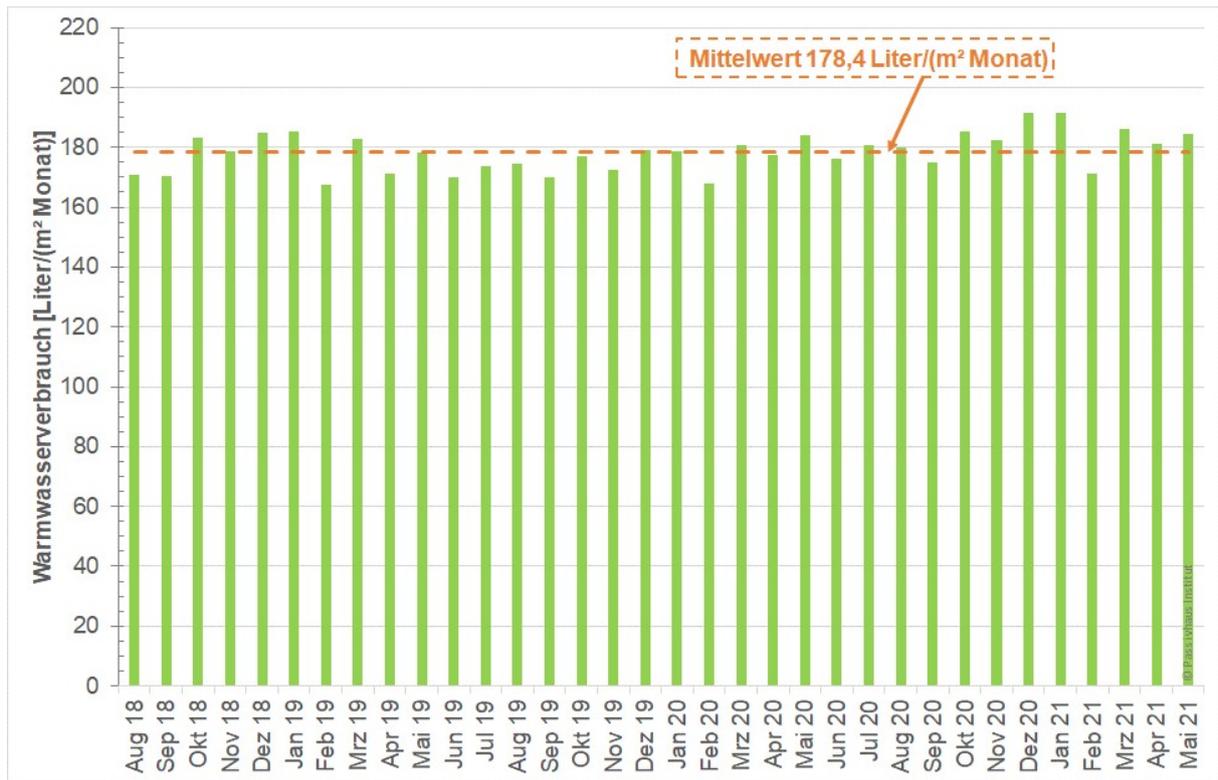


Abbildung 13: Verlauf der zentral gemessenen Warmwassermenge während der gesamten Untersuchungszeit (August 2018 bis Mai 2021).

### 3 Nutzerbefragungen 2018 und 2021

Es wurden zwei identische Befragungen der Bewohner <sup>(1)</sup> durchgeführt: Die erst Ende Januar 2018 bis Ende Februar 2018, die zweite etwa im Februar/März 2021. Der vom PHI erstellte Fragebogen (5 Seiten) inkl. einem frankierten Rücksendeumschlag wurde den Nutzern auf dem Postweg übergeben.

Die Befragung besteht aus den Teilen:

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

Von den 37 Wohnungen wurden bei der ersten Befragung 23 Fragebögen und bei der zweiten 21 Fragebögen ausgefüllt und zurückgesendet, was einer Quote von 62 % bzw. 57 % entspricht. Es wurden bei beiden Durchgängen die identischen Fragebögen verwendet. Ob es während der 3 Jahre einen Mieterwechsel gab, ist nicht bekannt.

#### 3.1 Auswertung Befragungen

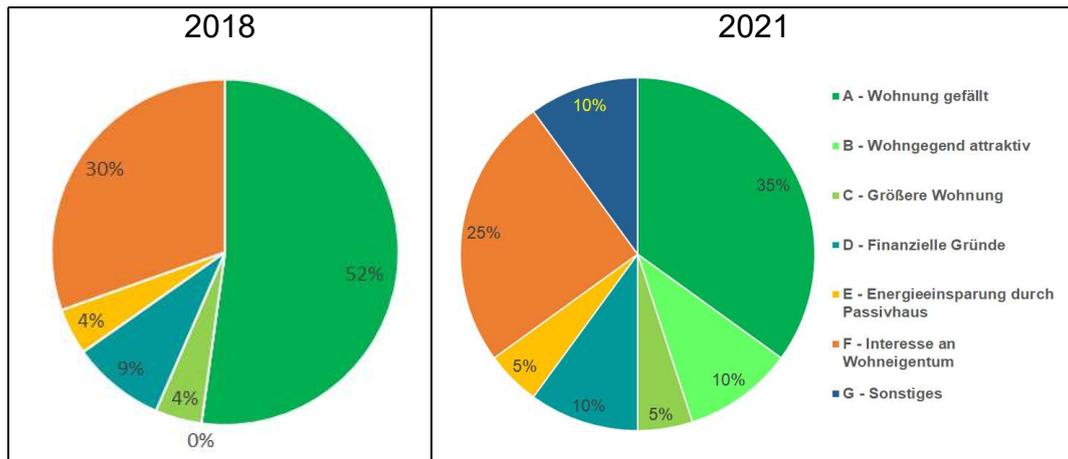
Die Fragebögen beider Befragungen wurden ausgewertet und von den Antworten zu einigen Fragen wurden entsprechende Diagramme erstellt. Insgesamt zeigen die Ergebnisse durchgängig gute Zufriedenheitswerte mit den Wohnverhältnissen und den spezifischen Passivhaus-Bedingungen. Im Folgenden werden die Fragen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

##### 3.1.1 Nutzererfahrung Allgemein

Zunächst wurde der Grund für den Bezug der Wohnung abgefragt (Frage Nr. 3). Dabei haben nur 4 % (2018) bzw. 5 % (2021) angegeben, dass die Energieeinsparung für sie ein wichtiger Grund zum Einzug war. Die häufigsten Nennungen (52 bzw. 35 %) waren, dass die Wohnung gut gefiel. Die Auswahl der Antworten sind in Abbildung 14 für beide Befragungen dargestellt.

---

(1) Bei allen hier formulierten männlichen Formen wie „Bewohner“ sind auch die weiblichen „Bewohnerinnen“ eingeschlossen.

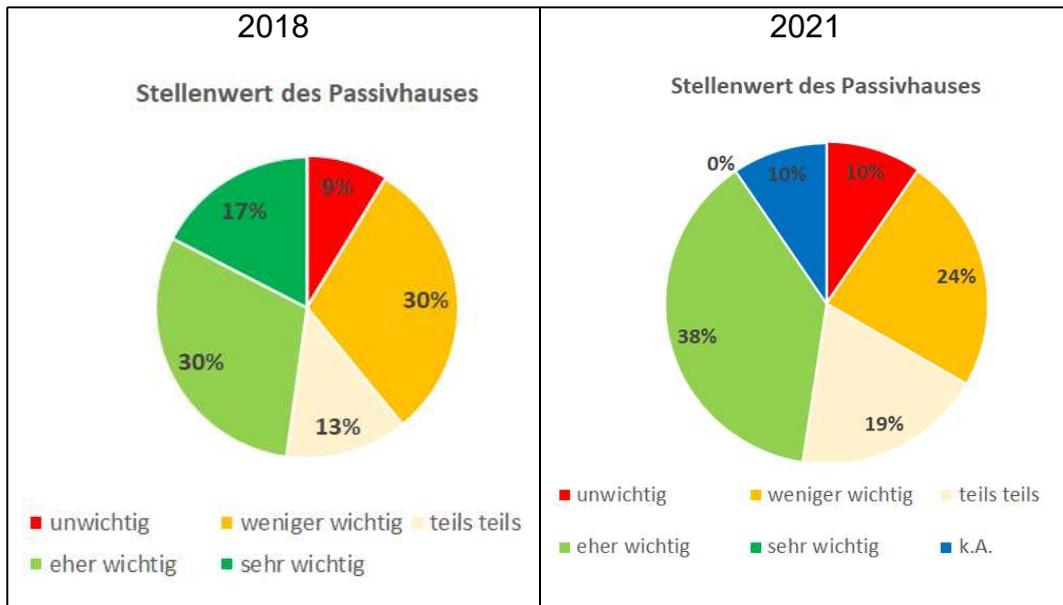


**Abbildung 14: Verteilung der Antworten zu Frage 3 (Gründe für die Wohnungswahl)**

Anderes als bei der vorherigen Frage geben 47 bzw. 38 % an, dass es ihnen wichtig gewesen ist („sehr wichtig“ und „eher wichtig“), in ein Passivhaus zu ziehen (Frage 4). Die schriftlich genannten Gründe (Freitext), warum ihnen dies wichtig war, beinhalteten:

- Langfristige Energieeinsparung,
- Energieeffizienz,
- Umweltschutz,
- Nachhaltigkeit und
- geringes Wohnungsangebot

Die anderen Teilnehmenden gaben an, dass andere Kriterien eine wichtigere Rolle spielten. Dies zeigt, dass die Passivhaus-Qualität ein für viele Bewohner wichtiger Grund bei der Auswahl der Wohnungen darstellt.



**Abbildung 15: Antworten zu Frage 4 zum Stellenwert der Passivhaus-Qualität bei der Wohnungswahl.**

Über die Durchführung einer **Einweisung** geben 74 bzw. 71 % der Bewohner an, dass sie eingewiesen worden sind (Frage 5). Dabei wird am häufigsten das „Handbuch/schriftliche Information“ genannt. Vereinzelt werden auch eine Einführungsveranstaltung und persönliche Informationen aufgeführt. Dabei fanden 53 bzw. 67 % der Bewohner, welche eine Einweisung erhalten haben, die Informationen hilfreich (Frage 6); 29 bzw. 27 % empfanden die Informationen als nicht hilfreich. Vereinzelt wurde angegeben, dass Informationen noch fehlen bzw. nicht detailliert genug waren. Damit liegt eine überwiegende Zufriedenheit mit der durchgeführten bzw. angebotenen Einweisung vor.

Was die Bewohner gerne zusätzlich erfahren hätten, wurde als Freitext abgefragt (Frage 7a). Dabei gab es am häufigsten Nennungen zu den Bereichen:

- Funktion Heizung
- Funktion Lüftung
- Kosten Wartung und Stromverbrauch Lüftung
- Pläne, Anleitungen

Außerdem wurden auch die Bereiche Ausfälle/Notfallabschaltungen sowie Informationen zum Wohnklima bzw. der „Luftfeuchtigkeit“ genannt.

Als **Verbesserungsvorschläge** (Frage Nr. 7b, Freitext) gab es ebenfalls zahlreiche Nennungen:

- Bessere bzw. mehr detaillierte Informationen

- Infos und Ursachen zu Störungen und Wartungen
- Div. Einzelnennungen (Luftfeuchtigkeit, Technik, technische Verbesserungen, Abstimmung mit Nutzern, Alltagstipps, Verbesserung Inbetriebnahme)

Die Fragen nach dem Vorhandensein eines **Ansprechpartners** (Nr. 8) haben 65 bzw. 67 % der Befragten mit „nein“ und nur 35 bzw. 33 % mit „ja“ beantwortet. Die Einschätzung, ob ein Ansprechpartner wichtig und nützlich wäre (Nr. 9) haben 65 bzw. 43 % nicht beantwortet. Nur 26 bzw. 33 % der Befragten bejahten die Frage; 9 bzw. 24 % sprachen sich dagegen aus. Insgesamt gibt also einen höheren Bedarf an einem Ansprechpartner als dieser vorhanden ist.

Zur Art der **Wäschetrocknung** (Frage 10) gab es unterschiedliche Antwortkombinationen, da Mehrfachnennungen möglich waren. Den Antworten ist zu entnehmen, dass 10 der 23 bzw. 21 Wohnungen über einen elektrischen Wäschetrockner verfügen bzw. diesen nutzen. Die Geräte werden im Sommer in 10 (2018) bzw. in nur 7 (2021) Wohnungen genutzt. Bei der ersten Befragung wird in 12 Wohnungen (Sommer) bzw. 17 Wohnungen (Winter) Wäsche in der Wohnung getrocknet. Bei der zweiten Befragung ist es sehr ähnlich: 15 (Sommer) bzw. 17 (Winter) trocknen nur oder auch in der Wohnung ihre Wäsche. Der Unterschied nach der Jahreszeit ist beim Trocknen im Freien bei beiden Befragungen noch deutlicher zu verzeichnen: 1 Wohnung im Winter, 11 im Sommer.

Wenn es möglich ist, weitere Informationen für die Bewohner bereitzustellen, wäre ein Hinweis angebracht, dass die Nutzung eines elektrischen Wäschetrockners mit einem hohen Stromverbrauch verbunden ist. Dies führt - neben generell hohen Kosten - zu zusätzlichen Wärmeeinträgen in den Wohnungen („Interne Wärmequelle“), was sich in Hitzeperioden negativ bemerkbar macht.

### 3.1.2 Beheizung und Innenklima (Winter)

Fast 70 % der Teilnehmer (2018: 69 %, 2021: 66 %) der Umfrage sind zufrieden mit der **Beheizung** ihrer Passivhaus-Wohnung („sehr zufrieden“ und „eher zufrieden“), was auf eine gute Akzeptanz hinweist (Frage 11a, Abbildung 16). Der geringe Anteil der „sehr unzufriedenen“ (2018: 9 %) verschwindet bei der Zweitbefragung vollständig. Die Teilnehmer der Umfrage, die mit „teils-teils“ oder schlechter geantwortet haben, bemängelten schriftlich folgende Punkte: „Heizung zu gering dimensioniert“, „Keine ausreichende Trennung von Nord- und Südräumen“, „Heizung wird willkürlich angestellt“, „zu warm“, „Wohnung wird nicht geheizt“ und „Schlecht regulierbar“. Damit wird eine ganze Bandbreite angesprochen und es ist keine klare Tendenz ablesbar. Möglicherweise handelt es sich um unterschiedliche technische Probleme in Einzelwohnungen, die neben der vorhandenen Grundzufriedenheit vorkommen.

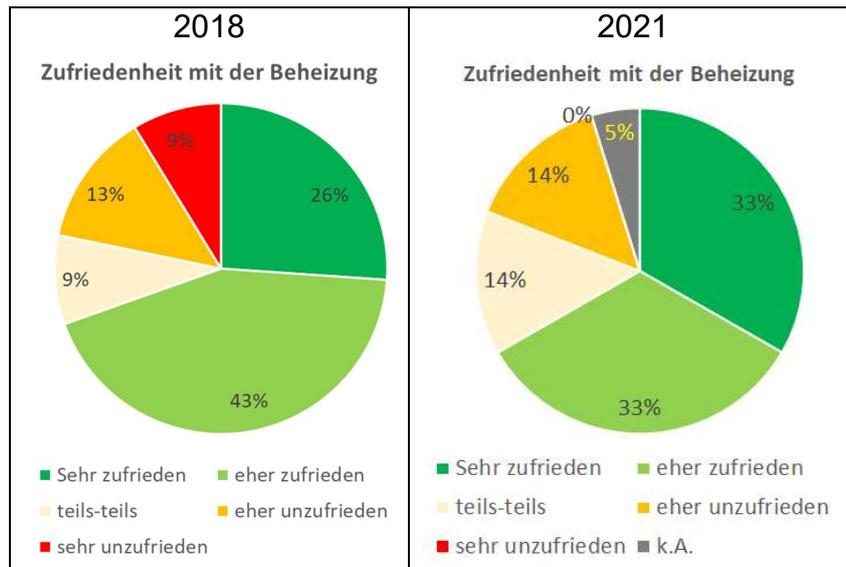


Abbildung 16: Verteilung der Antworten zu Frage 11 a (Zufriedenheit Beheizung)

Die **Handhabung des Heizsystems** (Frage 12a) empfanden bereits 2018 mehr als die Hälfte der Bewohner (57 %) als einfach („sehr einfach“ und „eher einfach“). Dieser Wert ist 2021 noch mal deutlich angestiegen auf insgesamt 72 %, wobei insbesondere der beinhalten Anteil von „sehr zufrieden“ deutlich angestiegen ist (9 auf 43 %). Die Minderheit der Teilnehmer der Umfrage, die mit „mittelmäßig“ oder schlechter bewertet haben, bemängelten schriftlich in vier Fällen (2018), dass die Heizung nicht beeinflussbar bzw. zu klein dimensioniert sei. Im Jahr 2021 kommen dazu noch die Äußerungen „Wartung unzureichend“ sowie „Heizung macht Klopfgeräusche [...], Wirkung kaum spürbar“ dazu. Diese einzelnen Kritikpunkte stehen neben der überzeugend hohen Zufriedenheit.

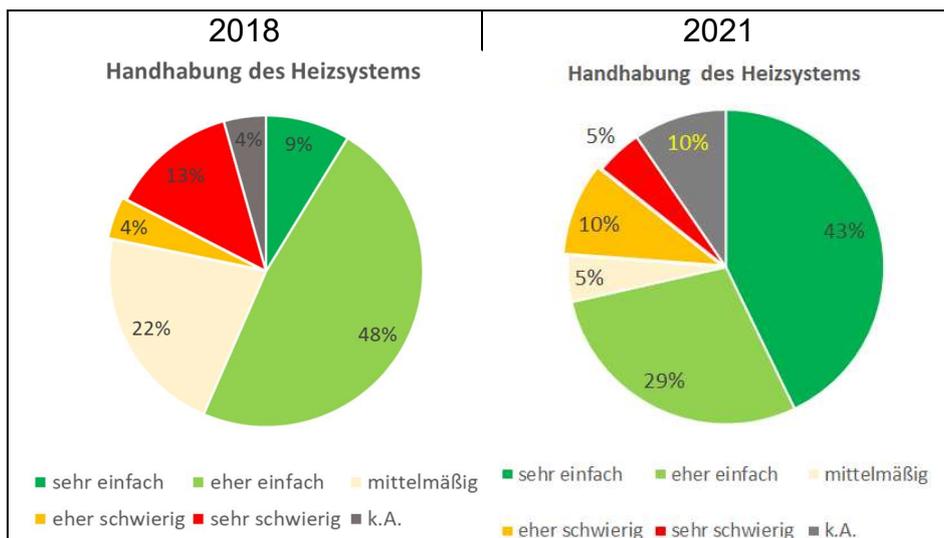


Abbildung 17: Verteilung der Antworten zu 12a (Handhabung Heizungssystems)

Mehr als die Hälfte (2018: 56 %) bis 2/3 der Teilnehmer (2021: 66 %) der Umfrage sind zufrieden („sehr zufrieden“ und „eher zufrieden“) mit dem **Innenklima** der Immobilie im Winter (Frage 13 a; siehe Abbildung 18). Auch hier wurde die Zufriedenheit also

noch weiter gesteigert. Am Innenklima im Winter wurde im Freitext schriftlich hauptsächlich die zu trockene Luft kritisiert (2018: 7, 2021: 12 Nennungen). Dabei geben aber 2018 drei andere Befragte an, dass es „angenehm trocken“ ist bzw. genau die richtige Luftfeuchtigkeit herrsche. In einer Wohnung wird 2018 gar zu feuchte Luft bemängelt. Es ergibt sich also kein einheitliches Bild und es wird das unterschiedliche Empfinden und der starke Nutzereinfluss deutlich, mit dem die Luftfeuchte beeinflusst wird (Lüftungsverhalten, Koch- und Duschgewohnheiten, Art der Wäschetrocknung etc.).

Auch bei den sonstigen Textantworten zu Frage 13 b ergeben sich 2018 geradezu Gegensatzpaare der Einzelaussagen, aus denen damit keine Handlungsanweisungen abgeleitet werden können:

Raumtemperaturen schwanken	↔	Immer warm, gleichmäßiges Klima
Schlechte Heizung, lange Reparaturen	↔	Keine Heizung benötigt
Nicht beurteilbar nach diesem Winter	↔	Gute Isolierung, Temperatur schnell erreicht

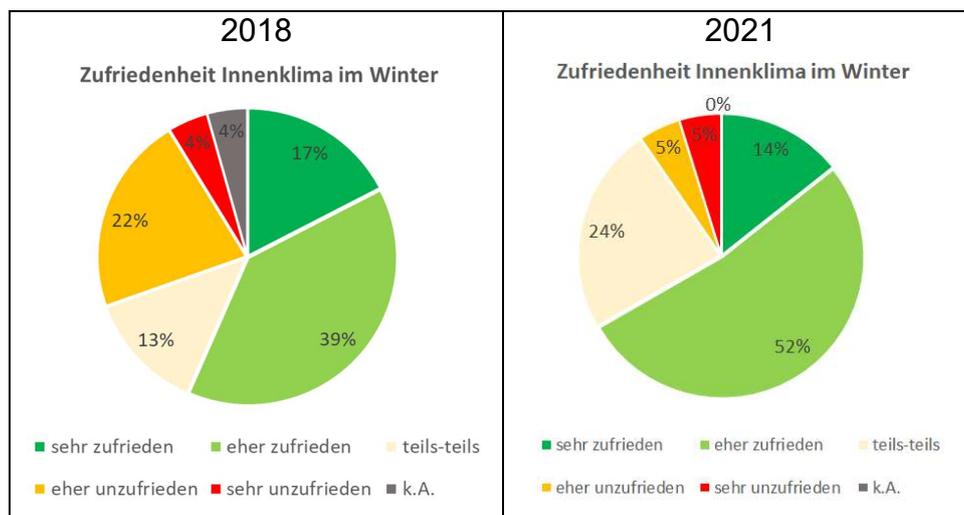


Abbildung 18: Verteilung der Antworten zu 13 a (Innenklima Winter)

Im Winter schätzte die Mehrheit der Teilnehmer die **Innentemperatur** der Immobilie zwischen 20-23 °C; nur wenige (2018) bzw. niemand (2021) schätzt sie unter 20 °C oder über 23 °C. Wird der Mittelwert aus den Angaben berechnet, ergeben sich **21,4 °C** (2018) bzw. **22 °C** (2021) als geschätzte Wintertemperatur. Der Wert liegt eng an den in Messungen in anderen Projekten festgestellten Mittelwert von 21,6 °C [Peper 2012].

Die Aussagen zur generellen Zufriedenheit mit der Wintertemperatur werden bei beiden Befragungen ähnlich positiv eingeschätzt. In Abbildung 19 sind nur geringe Veränderungen sichtbar: Fast 2/3 bestätigen, dass es sich um angenehme

Bedingungen handelt. Nur 17 bzw. 13 % empfinden sie dagegen als nicht angenehm (Rest: keine Angaben). Damit ergibt sich auch beim Bereich der Wintertemperatur eine hohe Zufriedenheit.

Bei der Angabe der Wunschtemperatur wird 2018 viermal eine höhere Temperatur als der eigene Schätzwert angegeben und einmal eine niedrigere. Im Jahr 2021 wird nur noch zweimal eine höhere angegeben. Die höchste Wunschtemperaturangabe beträgt dabei „24-25 °C“ (2018) bzw. „23-24 °C“ (2021).

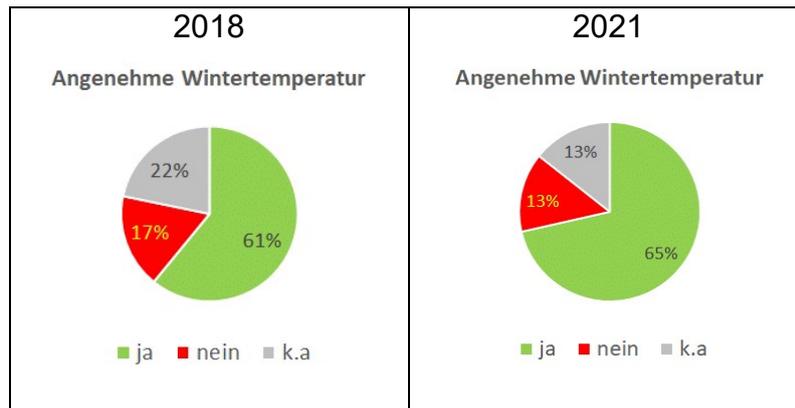


Abbildung 19: Verteilung der Antworten zur Zufriedenheit mit der winterlichen Innentemperatur (Frage 14 b)

### 3.1.3 Behaglichkeit im Sommer

Die Teilnehmer sind auch mit dem sommerlichen Innenklima überwiegend zufrieden (Frage 15 a; Abbildung 20). Dazu geben 65 bzw. 58 % der Bewohner an, „eher“ oder „sehr zufrieden“ zu sein. Kein Bewohner gibt an „sehr unzufrieden“ zu sein. Nur 17 bzw. 19 % geben an im Sommer „eher unzufrieden“ zu sein. An den zugehörigen Kommentaren (Freitext) werden wiederum zahlreiche auch gegensätzliche Aussagen gemacht. Daraus lassen sich keine generellen Tendenzen oder Ursachen ableiten.

Für den Sommer konnten viele Teilnehmer (35/38 %) die **Innentemperatur** gar nicht einschätzen. Die angegebenen geschätzten Temperaturen lagen zwischen 23-27 °C. Als rechnerischer Mittelwert ergeben sich hier moderate 24,1 °C (2018) bzw. 25,3 °C (2021). Die Sommertemperaturen in der eigenen Wohnung wurden von 61 % (2018) bzw. 43 % (2021) als angenehm bewertet (Abbildung 21). Für 30 bzw. 39 % waren sie nicht angenehm. Diese Veränderung könnte u.a. mit den generell steigenden Sommertemperaturen und den sich häufenden „Hitzesommern“ zusammenhängen. Von den Befragten geben 65 bzw. 52 % an, dass es im Sommer zu Überhitzungen kommt (Frage Nr. 17).

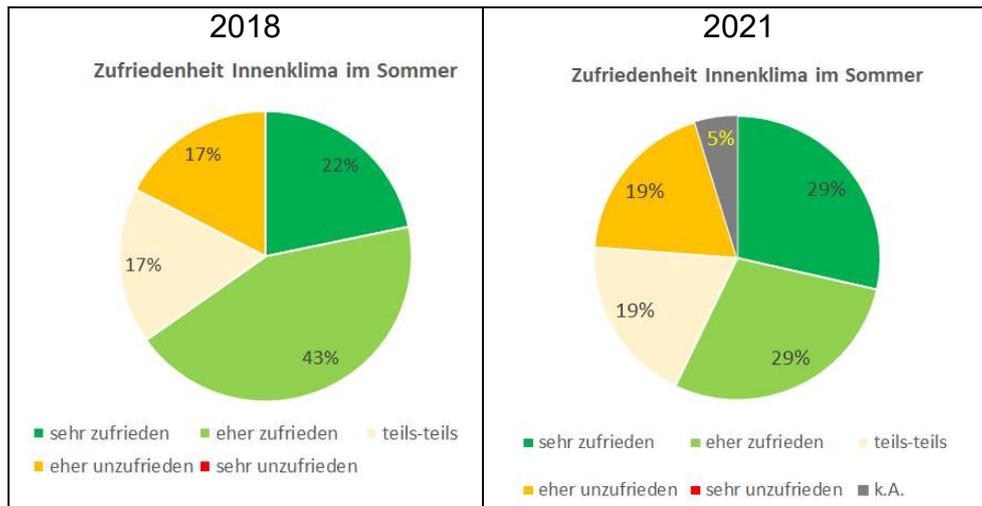


Abbildung 20: Verteilung der Antworten zu Frage 15 a (Zufriedenheit Innenklima Sommer)

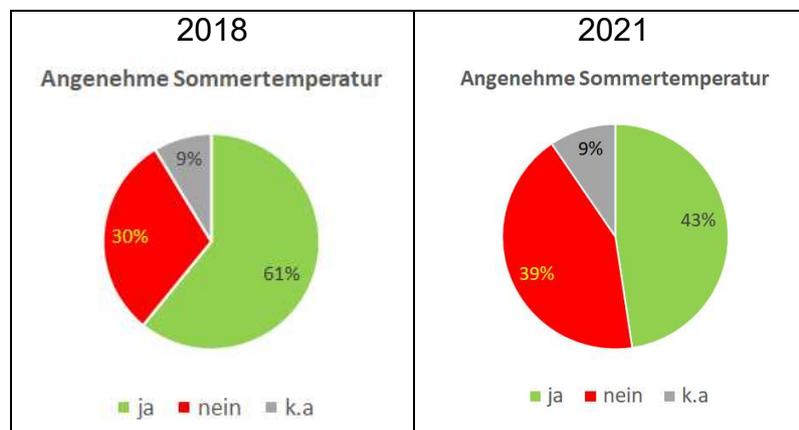


Abbildung 21: Verteilung der Antworten zu Frage 16 b (Ist die Sommertemperatur angenehm?)

Gegen die sommerliche **Überwärmung** gab es bei den Antworten drei mögliche Maßnahmen zur Auswahl: „Fenster öffnen“, „Vorhänge/**inneren** Sonnenschutz bedienen“ oder „Jalousien, Markisen/**äußeren** Sonnenschutz bedienen“ (Frage 18). Wobei es bei den Fensteröffnungen noch Tageszeiten (morgens, tagsüber, abends, nachts) auszuwählen gab. Bei den Fensteröffnungen werden in der Mehrheit die effektiven Lüftungen am Morgen, am Abend bzw. während der Nacht vorgenommen. Nur eine Person gibt bei beiden Befragungen an, durch Fensterlüftung tagsüber etwas gegen die Überwärmung zu unternehmen. Dies stellt in einer Hitzeperiode allerdings keine sinnvolle Maßnahme dar. In Abbildung 22 wird gezeigt, dass mit deutlicher Mehrheit die Außenverschattung genutzt wird, was auch als am effektivsten einzustufen ist. Niemand gibt an, nur mit der Innenverschattung einen Effekt zu erzielen. Insgesamt liegt damit ein sinnvolles Verhalten in Bezug der sommerlichen Maßnahmen vor.

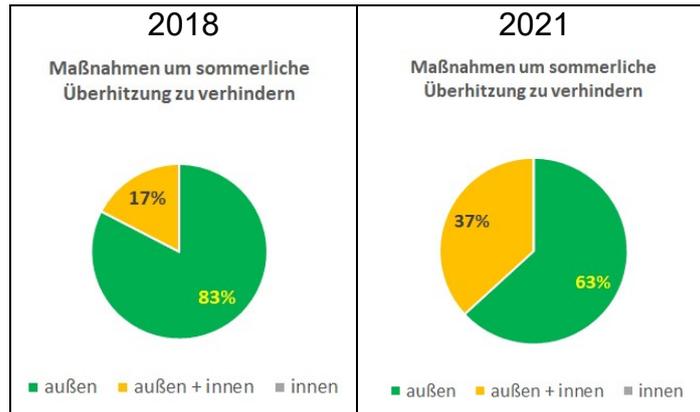


Abbildung 22: Verteilung der Antworten zu Frage 18 (Maßnahmen gegen sommerliche Überhitzung)

### 3.1.4 Warmwasserversorgung

Die Befragung zur Versorgung mit Warmwasser ergibt, dass über 70 (2018) bzw. 91 % (2021) der Bewohner zufrieden sind mit der Warmwasserversorgung (Abbildung 23) ihrer Immobilie. Diese Verbesserung spricht vermutlich für die Lösung technischer Einzelprobleme aus der Anfangszeit des Gebäudes. Auch als Freitext wurde kaum etwas bemängelt; nur wenige sind trotz Zirkulationsleitung mit der Wartezeit, bis das warme Wasser zur Verfügung steht, nicht zufrieden. Einer Einzelnennung ist zu entnehmen, dass das Warmwasser nicht warm genug sei, eine andere Nennung sagt aus, dass es nicht ganz so warm sein müsste. Auch hier gibt es also eine große Grundzufriedenheit und nur vereinzelte uneinheitliche Anmerkungen.

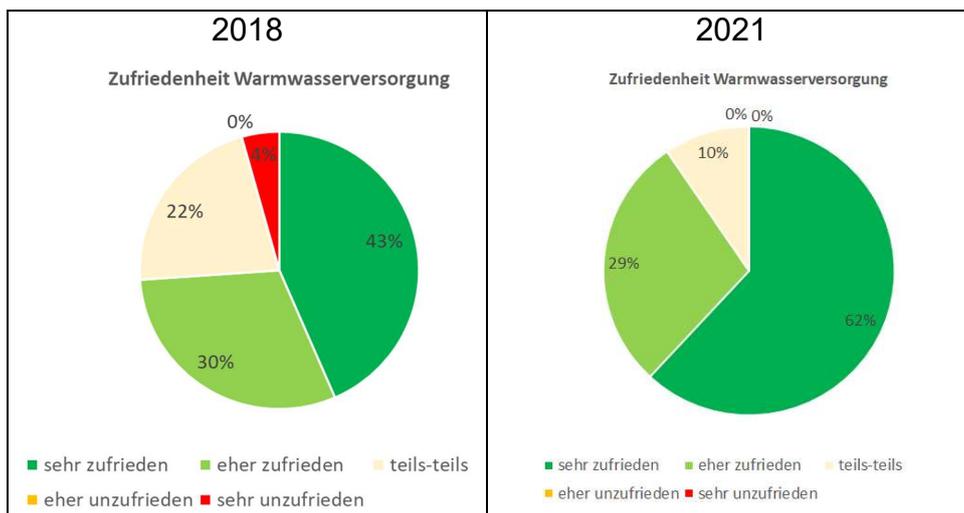


Abbildung 23: Verteilung der Antworten zu Frage 19 a (Zufriedenheit Warmwasser)

### 3.1.5 Lüftung und Luftqualität

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

Zunächst ging es um die Beurteilung der generellen Handhabung der Lüftungsanlage (Frage 20 a, siehe Abbildung 24). Es zeigt sich, dass im Jahr 2018 knapp die Hälfte der Befragten die Handhabung des Lüftungssystems als einfach („sehr einfach“ und „eher einfach“) empfinden. Diese Einschätzung bleibt 2021 gleich. Für 13 bzw. 10 % ist die Handhabung „eher schwierig“. Bei der letzten Befragung ist noch eine Aussage (entspricht 5 %) mit „sehr schwierig“ dazugekommen. Ob es sich um eine geänderte Erfahrung eines schon 2018 vorhandenen Nutzers handelt oder um neue Bewohner, ist nicht bekannt. Bei der Angabe einer schlechten Bewertung wurden als „Verbesserungsvorschläge“ z.B. angegeben, dass die Lüftung häufig ausfällt und sie schlecht regulierbar sei, wobei es nur insgesamt 6 Anmerkungen gab. Ob hier technische Verbesserungen notwendig und möglich sind oder nicht, müsste im Einzelfall geprüft werden.

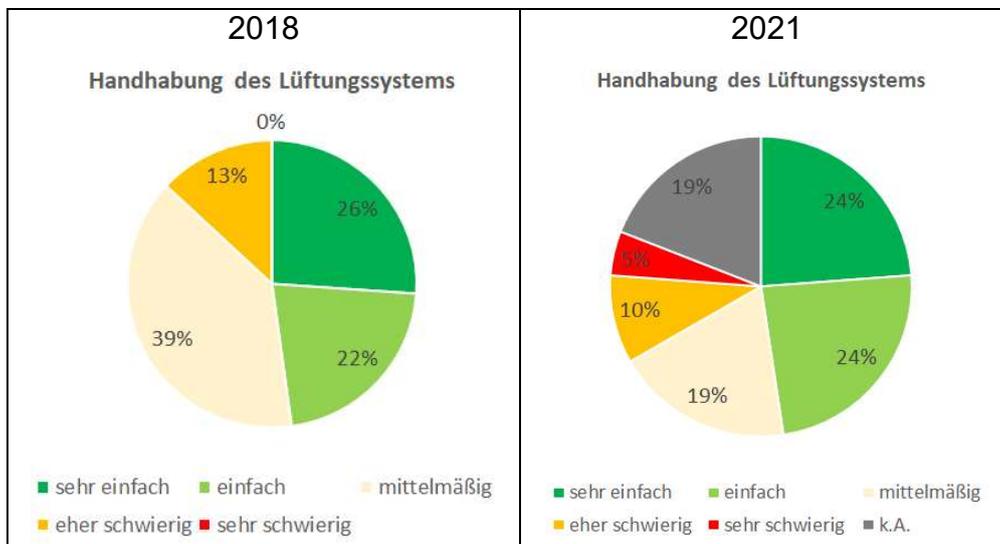


Abbildung 24: Verteilung der Antworten zu Frage 20 a (Handhabung Lüftung)

In den Wohnungen des Gebäudes stehen für die Nutzer nur zwei Stufen zum Dauerbetrieb der Lüftungsanlage zur Auswahl („Min“ und „Comf.“). Die dritte Stufe „Max“ fällt nach der Anwahl nach einer Stunde wieder zurück auf die Stellung „Comf.“. Es wird angegeben, dass die Anlagen im Winter überwiegend in Stufe „Comf.“ betrieben wird (2018: 65 %; 2021: 71 %). Im Sommer ergibt sich mit 74 bzw. 81 % in der Stellung „Comf.“ ein ähnliches Bild. Die Stufe „Max“ wird nur gering genutzt; es werden sommers wie winters meist keine oder eine Schaltung pro Tag angegeben. Nur die

Nutzer einer Wohnung geben an, diese maximale Stufe täglich 2 bzw. 4-mal abzurufen.

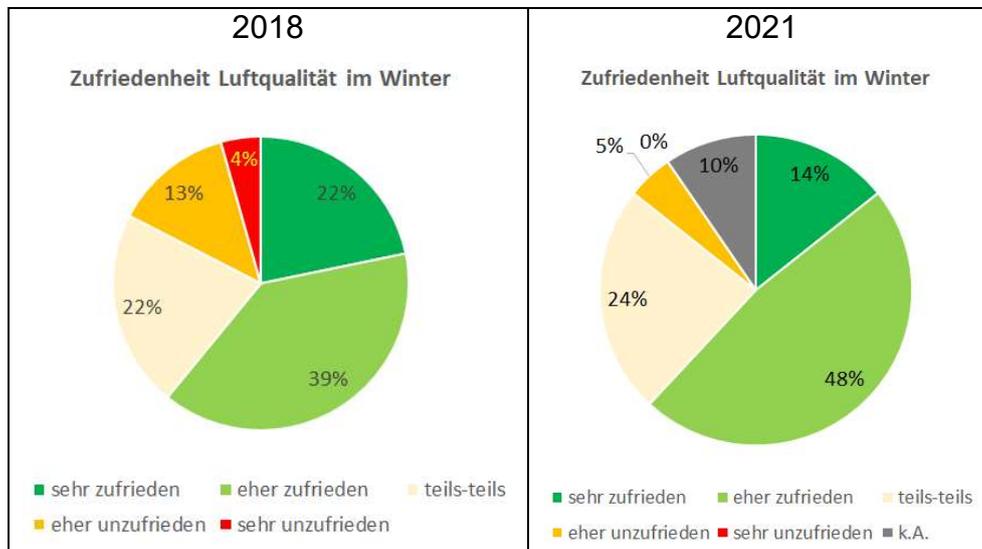


Abbildung 25: Verteilung der Antworten zu Frage 22a (Luftqualität Winter)

Über 60 % der Befragten sind bei beiden Befragungen laut Aussagen zu Frage 22 a zufrieden („sehr“ oder „eher“) mit der **Luftqualität im Winter**. Es wurde textlich angemerkt, dass die Luft zu trocken ist (5 bzw. 9x), die Luft zu feucht ist (1x). Daneben gibt es einige weitere Einzelantworten, welche zeigen, dass ein breites subjektives Spektrum vorliegt, ohne Tendenz zu einer mehrheitlichen Aussage.

### Luffeuchtigkeit

Die winterliche Luffeuchtigkeit wird in Frage 22 b gesondert abgefragt (Abbildung 26). Dazu geben bei der ersten Befragung 35 % der Nutzer an, dass ihnen die Luft „deutlich zu trocken“ ist und weitere 35 % empfinden, dass sie „etwas trocken“ ist. Nur 17 % empfinden die Luft als genau richtig. Bei der zweiten Befragung 2021 hat sich die Bewertung noch weiter verschlechtert: Nun ist es 43 % „deutlich zu trocken“ und 35 % geben „etwas trocken“ an. Nur noch 10% finden es „genau richtig“. Bei beiden Befragungen wird von einer Wohnung „etwas feucht“ zurückgemeldet. Aufgrund der bei diesem Punkt hohen Unzufriedenheit wäre eine weitere Ursachenuntersuchung und Hilfestellung angeraten. Diese Situation kann durch einfache Maßnahmen ggf. verbessert werden.

Zu diesem Thema wäre auch zu untersuchen, wie die Bewohner zu der Einschätzung kommen, da der Mensch über kein Sinnesorgan verfügt, um direkt die Luffeuchte 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 % rF an den kältesten Wintertagen muss gesundheitlich nicht als nachteilig eingestuft werden. Betrachtet man die

Ursachen, hat sich in anderen Gebäuden wiederholt gezeigt, dass zu hoch eingestellte Luftmengen häufig die Hauptursache für die niedrigen Luftfeuchtigkeiten waren.

Es wurde ebenfalls nach den Strategien zur **Anhebung der Luftfeuchte** gefragt (Frage 22 c). Bei beiden Befragungen ist die mit Abstand beliebteste Methode, die Wäsche im Raum zu trocknen. Einige der Befragten stellen zusätzliche Pflanzen auf oder verwenden einen Luftbefeuchter. Nur wenige stellen die Lüftung auf niedrige Stufe. Neben diesen Maßnahmen, die zur Erhöhung der Luftfeuchte führen, wird aber leider auch angegeben, dass zusätzlich über die Fenster gelüftet wird (5-mal bzw. 8-mal). Diese Maßnahme erhöht den Außenluftwechsel und führt in der kalten Winterzeit definitiv zu niedrigeren Raumlufffeuchten. Hier wäre eine weitere Aufklärung der Nutzer notwendig. Dies scheint insbesondere sinnvoll, da eine gehäufte Unzufriedenheit besteht, welche z.T. durch Änderung der Maßnahmen einfach abgestellt werden könnte.

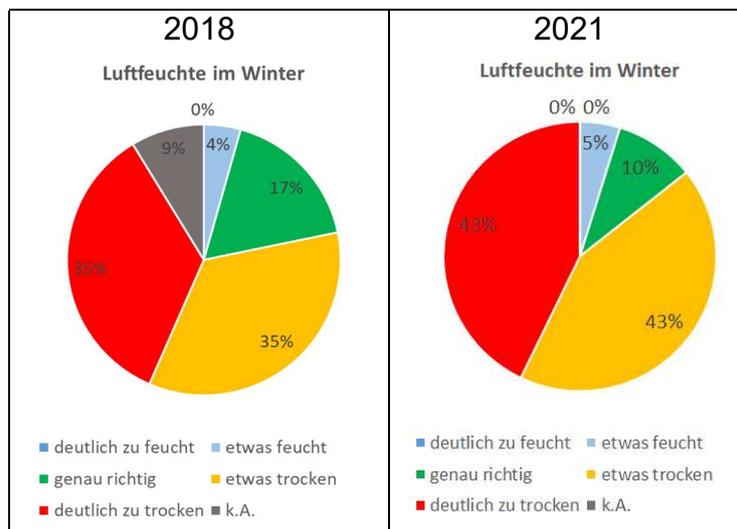


Abbildung 26: Verteilung der Antworten und 22 b (Luftfeuchte Winter)

### Luftqualität Sommer

Zur Luftqualität im Sommer ist mit über 80 % (2018) bzw. über 70 % (2021) eine hohe Zufriedenheit erreicht („sehr“ und „eher zufrieden“) (Frage 23, Abbildung 27). Auch in den schriftlichen Antworten gab es keinen Mangel, der mehrmals genannt wurde und dadurch herausstach.

Die Wirksamkeit der Lüftung gegen **Gerüche** bewerteten 26 bzw. 19 % der Befragten als „sehr gut“ (Abbildung 28). Jedoch empfanden 17 bzw. 5 % der Befragten die Wirksamkeit als „schlecht“, knapp 40 bzw. 48 % liegen mit „mittelmäßig“ und 17 bzw. 29 % „nicht besonders gut“ dazwischen. In den Kommentaren wurde häufig bemängelt, dass die Gerüche sich sehr lange in der Wohnung halten und von einigen auch, dass „die Lüftung nicht gegen die Gerüche hilft“. Damit zeigt sich ein starkes „Mittelfeld“ mit einer Tendenz zur Unzufriedenheit.

Zur Erklärung kann hier beigetragen werden: Die Lüftungsanlage eines energieeffizienten Gebäudes ist ausgelegt, um den hygienisch notwendigen Luftwechsel sicherzustellen. Mit einem Wrasenabzug ist die Lüftungsanlage nicht zu vergleichen; dieser transportiert erheblich höhere Luftmengen. In Gebäuden ohne mechanische Lüftung werden deutlich niedrigere Luftwechselraten gemessen als eine Lüftungsanlage sicherstellt. Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen - als Leitwert der Luftqualität - sind in der Regel entsprechend deutlich höher in nicht mechanisch gelüfteten Gebäuden. Eine hygienisch ausgelegte Lüftungsanlage verfügt damit bewusst und gewollt über deutlich niedrigere Luftströme als eine Dunstabzugshaube. Sollen in der Küche Gerüche schnell abgeführt werden, muss zusätzlich über das Fenster gelüftet werden. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von einer effektiv arbeitenden Dunstabzugshaube (Empfehlung: Umluftbetrieb mit Aktivkohlefilter). Dazu hat das Passivhaus Institut eine Untersuchung mit Empfehlungen veröffentlicht [Kah et al. 2019].

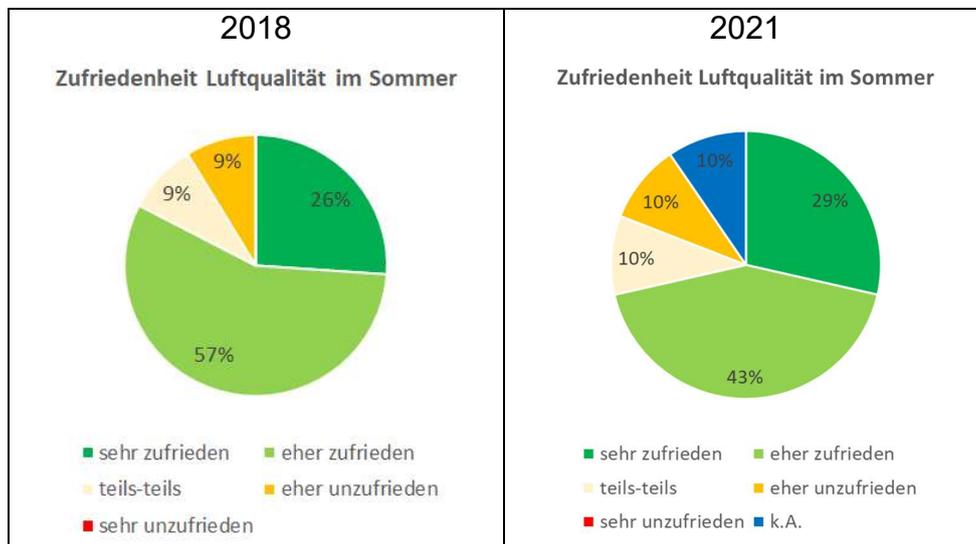


Abbildung 27: Verteilung der Antworten zu Frage 23 (Luftqualität Sommer)

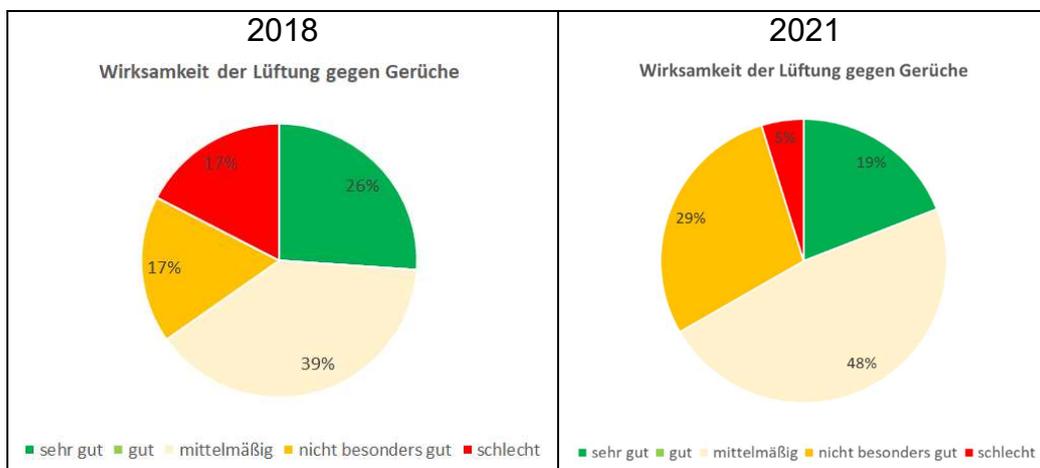


Abbildung 28: Verteilung der Antworten zu Frage 24 a (Gerüche)

Auf die Frage (Nr. 25), was die Befragten gegen störende Gerüche unternehmen, gab es eine Vielzahl von Antworten und Antwortkombinationen (Mehrfachnennungen). Am häufigsten werden Fensteröffnungen (15- bzw. 14-fach), höhere Lüftungsstufe (14- bzw. 10-fach) sowie Betrieb der Dunstabzugshaube (13- bzw. 16-fach) genannt. Dabei handelt es sich um 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.

Nach Aussagen der Befragten wird in keiner (2018) bzw. einer (2021) der Wohnungen geraucht (Frage 26). Diese Aussage hat natürlich auch Auswirkung auf die zum Lüften notwendigen Luftmengen.

### Zufriedenheit Lüftungsanlage generell

Die generelle Zufriedenheit („sehr“ und „eher zufrieden“) mit der Lüftungsanlage ist bei 52 % bzw. im zweiten Jahr bei 48 % der Bewohner gegeben. Die Auswertung zeigt, dass etwa ein Viertel bis ein Drittel unentschlossen sind („teils-teils“) und nur 17 % bzw. 10 % „eher“ oder „sehr unzufrieden“ sind. Durch weitere Aufklärung und möglicherweise technische Klärung wäre hier vermutlich eine weitere Verbesserung herstellbar. Immerhin verfügen die Wohnungen über die technische Ausstattung, um deutlich höhere Luftqualitäten sicherzustellen als in Wohnungen ohne diese Ausstattung. Dass es sich um eine in Deutschland noch immer eher ungewohnte Technik handelt, hat vermutlich Einfluss auf die Bewertung. Die Zahl der Unzufriedenen hat über die Jahre abgenommen, was für eine Gewöhnung an die neue Technik spricht.

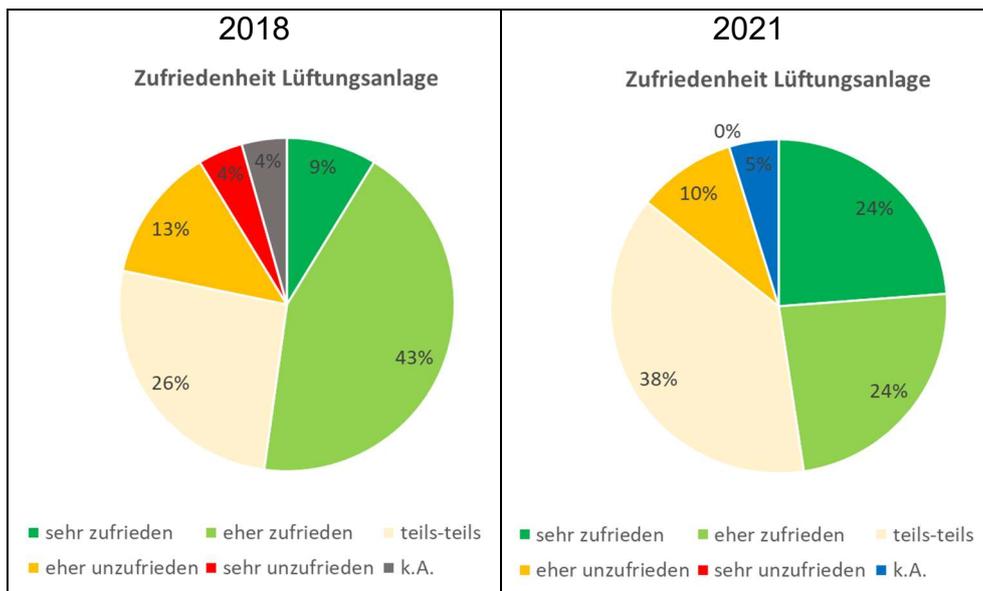


Abbildung 29: Verteilung der Antworten zu Frage 28 (Zufriedenheit Lüftung insgesamt)

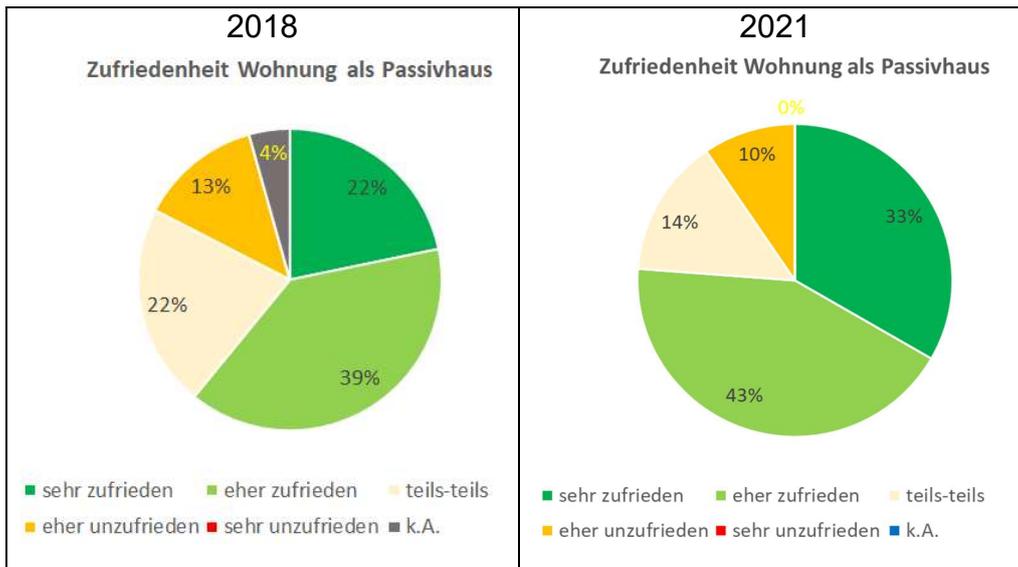
Die Frage nach der Zusatzlüftung über die Fenster im **Winter** (29 a) wird von 14 bzw. 18 Haushalten bejaht (entspricht 61 bzw. 86 %) und von 7 bzw. 3 verneint. Bei den winterlichen Zusatzlüftungszeiten (Frage 29 b) werden ein oder mehrere **gekippte Fenster** in 8 bzw. 11 der Wohnungen angegeben. Die Zeiten liegen zwischen 5 Minuten pro Tag in einem Zimmer bis zur Ausnahme der Dauerkippstellung (24 Stunden) im Wohnzimmer (nur 2018). Die überwiegenden Zeiten liegen zwischen 15 und 480 bzw. 360 Minuten. Die Summe aus allen angegebenen Lüftungszeiten mit gekippten Fenstern ergibt täglich 48 Stunden für die 23 Wohnungen (2018) bzw. 19 Stunden für die 21 Wohnungen (2021).

**Ganz geöffnete Fenster** werden bei beiden Befragungen für 13 Wohnungen angegeben. Dabei liegen die Zeiten deutlich niedriger: 1 bis 60 Minuten. Die Summe aus allen angegebenen Lüftungszeiten mit voll geöffneten Fenstern ergibt täglich 4,7 Stunden für die 23 Wohnungen (2018) bzw. zu 8,1 h für die 21 Wohnungen. Damit ergeben sich moderate Zusatzlüftungen für den Winter. Ob diese Zusatzlüftung auch über eine zeitweise Erhöhung der Lüftungsanlage erfolgen könnte, wurde nicht abgefragt.

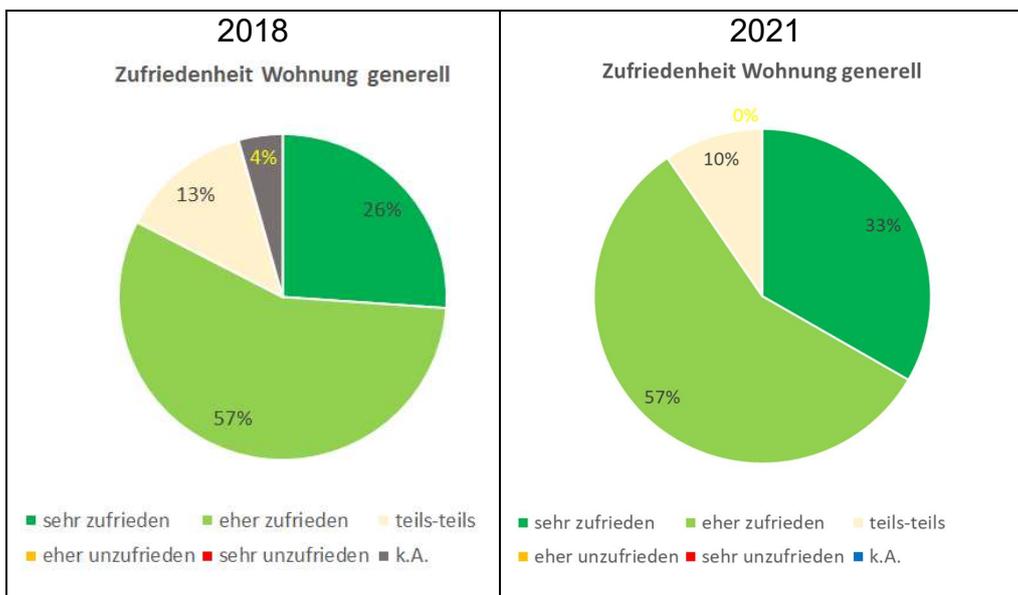
Für die Zusatzlüftungen im **Sommer** ergibt sich ein anderes Bild: Hier wird in vielen Wohnungen zusätzlich mit deutlich längeren Zeiten gelüftet. Energetisch hat die sommerliche Zusatzlüftung keinen Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch. Wenn keine innenliegenden Bäder entlüftet werden müssen, könnte die Lüftungsanlage im Sommer auch komplett abgeschaltet werden. Die Bewohner geben lange zusätzliche Lüftungszeiten an, was generell als angepasstes und richtiges Verhalten beurteilt werden kann.

### 3.1.6 Generelle Zufriedenheit

Die generelle Zufriedenheit mit der Wohnung in **Passivhaus-Qualität** (Frage 32; Abbildung 30) beurteilen 61 bzw. 76 % als „sehr“ oder „eher zufrieden“, was als gute Zustimmung beurteilt werden kann. Die Zufriedenheit hat sich damit bei der Zweitbefragung nochmals deutlich gesteigert. Es sollte berücksichtigt werden, dass weitere 22 bzw. 14 % zum Teil überzeugt sind, also neben Kritik auch Vorteile sehen. Nur 13 bzw. 10 % sind „eher unzufrieden“. Das Urteil „sehr unzufrieden“ hat niemand angegeben.



**Abbildung 30: Verteilung der Antworten zu Frage 32 (Zufriedenheit Passivhaus)**



**Abbildung 31: Verteilung der Antworten 33 (Zufriedenheit Wohnung generell)**

Die Zufriedenheit mit der Wohnung im Allgemeinen (Frage 33) liegt noch deutlich höher. Hier sind 83 bzw. 90 % der Bewohner „sehr“ oder „eher zufrieden“. Damit ist auch hier eine sehr hohe Zustimmung zu verzeichnen, die ebenfalls noch gesteigert wurde.

Im Fragebogen waren **abschließende Kommentare** („Gibt es etwas zu berichten. Möchten Sie etwas loswerden“) möglich. Dazu gab es 2018 aus 16 Wohnungen Meldungen und 2021 waren es 13. Die Antworten zeigen eine große Bandbreite an Kritikpunkten und Anmerkungen. Neben Punkten zur Technik und Gebäudenutzung finden sich auch einige Punkte, welche den Umgang mit den Bewohnern betreffen bzw. die Informationspolitik, Beteiligung und die Art der finanziellen Umlage. Es

handelt sich um Einzeläußerungen, welche im Rahmen der Befragung nicht beurteilt oder überprüft werden können. Zum Teil gibt es auch Besonderheiten bzw. abweichende Anforderungen durch z.B. die Art der Nutzung (Wohngemeinschaft statt Familie). Eine Verallgemeinerung dieser zum Teil gegensätzlichen Einzelaussagen kann und soll hier nicht erfolgen. Natürlich sind die Aussagen dennoch wichtig und können ggf. für Verbesserungen in der Zukunft genutzt werden. Aus diesem Grund werden sie im Anhang vollständig wiedergegeben.

### 3.1.7 Beurteilung der Befragung

Insgesamt ergibt die Befragung gute Zufriedenheitswerte der Bewohner mit dem Gebäude allgemein und der Passivhaustechnik im Besonderen. Anders als in dem fast baugleichen aber kleineren BuildTog-Partnerprojekt (16 Wohnungen) in Bremen (vgl. [Peper 2021]) gibt es bei dem Gebäude in Darmstadt mehr kritische Stimmen und nicht durchgehend sehr gute Bewertungen. Bei vielen Punkten ist eine weitere Verbesserung bei der zweiten Befragung nach drei Jahren festzustellen.

Es werden verschiedenste technische Mängel und Verbesserungsvorschläge benannt. Möglicherweise sind an einigen Punkten kleinere Anpassungen von z.B. Regelparametern möglich oder notwendig. Es ist auch denkbar, dass bei einzelnen Themen die Bewertungen der Wohnungen und die Erwartung der Käufer nicht übereinstimmen, die Erwartungen in Einzelfällen also zu hoch waren. Ob das in diesem Gebäude der Fall war, kann der Befragung allerdings nicht entnommen werden. Es ist von anderen Projekten bekannt, dass z.B. eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung vereinzelt Erwartungen einer Dunstabzugshaube oder einer Klimaanlage erweckt, aber technisch für den hygienischen Grundluftwechsel sorgt.

Die zum Teil kritisierte Luftfeuchte ist ein wiederkehrendes Thema bei Wohnungen, welche mechanisch be- und entlüftet werden. Wie hoch die winterlichen Luftfeuchten tatsächlich sind, ist nicht bekannt. Der Mensch verfügt über kein Sinnesorgan um die Luftfeuchte direkt beurteilen zu können. Die Erfahrungen zeigen, dass vereinzelt Personen nur aufgrund der abgelesenen Messwerte von Hygrometern und deren Bewertung nicht zufrieden sind. Häufig kann das Problem der zu niedrigen Luftfeuchte an sehr kalten Tagen schnell und einfach durch niedrigere Luftwechselraten gelöst werden. Auf keinen Fall sollte das Gegenteil erfolgen und durch zusätzliche Fensterlüftung im Winter die Raumluftfeuchte weiter herabgesenkt werden. Dazu wäre eine weitere gezielte Information der Nutzer sinnvoll und hilfreich.

Von dem Gebäude ist zusätzlich bekannt, dass zur Zeit der ersten Befragung ein erheblicher Mangel an den Heizleitungen eingetreten ist und es folglich einen Wasserschaden in einer Wohnung gab. Im Zuge der Instandhaltung und Beseitigung des Mangels mussten die Bewohner der betroffenen Wohnung zwischenzeitlich ausziehen.

Im Zuge der Mangelbeseitigung ist zu vermuten, dass sich die z.T. vorhandene Unzufriedenheit mit diesen Abläufen auf die Gesamtbeurteilung ausgewirkt hat.

Die Zustimmungen von dreiviertel der Befragten zur Passivhaustechnik und 90% zur Wohnung generell kann als sehr hohe Zustimmung gewertet werden.

## 4 Zusammenfassung

Das 2012 fertiggestellte und seitdem bewohnte Passivhaus „BuildTog“ in Darmstadt-Kranichstein der BVD New Living verfügt über 37 Wohnungen mit einer beheizten Wohnfläche von 3.495 m<sup>2</sup>. Die Versorgung des Gebäudes erfolgt zentral über Fernwärme (Heizung, Warmwasser). Alle Wohnungen werden durch die ebenfalls zentrale Lüftungsanlage im Keller belüftet.

BuildTog (Building Together) ist ein 2009 gegründetes Netzwerk von vier Partnern aus der Wohnungswirtschaft 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 Gebäude Darmstadt

Die Auswertung der Energieverbrauchswerte zeigt, dass das Gesamtgebäude thermisch mit nur **45,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)** mittels **Fernwärme** vollständig versorgt wird (Endenergie). Das ist ein überzeugend niedriger Verbrauchswert für die gesamte thermische Versorgung eines Wohngebäudes. Die Aufteilung auf die Anwendungen Heizen und Warmwassererzeugung ergibt Werte von 21,4 bzw. 22,4 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Bilanzjahr 2020/2021. Diese beinhalten auch die nachgelagerten Verteilungs- und Speicherverluste, sind also nicht mit der Nutzwärme (PHPP Kennwert) zu verwechseln. Typisch für ein energieeffizientes Gebäude liegt der Verbrauch für die Warmwassererzeugung gleichauf bzw. sogar geringfügig über der für die Raumheizung benötigten Energiemenge. Das macht den Erfolg einer optimierten Gebäudehülle und der angepassten Versorgungs- und Lüftungstechnik deutlich. Positiv fällt auch die konsequente Abschaltung der Heizwärmeversorgung in den Sommermonaten auf, was leider keine Selbstverständlichkeit darstellt. Das Gesamtergebnis könnte mit einer PV-Strom-Anlage auf dem Dach noch weiter aufgewertet werden.

Der Vergleich mit dem zweiten deutschen Projekt vom Projekt BuildTog, welches sich in Bremen befindet, zeigt im gleichen Jahreszeitraum fast identische Fernwärmeverbrauchswerte: Dort sind es 45,0 kWh/(m<sup>2</sup>a) [Peper 2021]. In dem Projekt konnte ein Nutzheizwärmeverbrauch von 11,3 kWh/(m<sup>2</sup>a) ermittelt werden; dieser ist mit dem Heizwärmebedarf aus dem [PHPP] direkt vergleichbar (Bedarfsberechnung). Für das Gebäude in Darmstadt lagen die Messwerte der Wärmezähler in den Wohnungen nicht vor, weshalb der Nutzwärmeverbrauch hier nicht direkt ermittelt werden konnte. Es ist wahrscheinlich, dass das Verhältnis Endenergie Heizung zur Nutzheizwärme hier von ähnlicher Größe sein wird.

Die Untersuchung der **Heizleistung** führt auch in der Kälteperiode im Februar 2021 auf einen sehr moderaten Spitzenwert von nur  $9,4 \text{ W/m}^2$ , im Mittel in dieser Periode von nur  $7,9 \text{ W/m}^2$ . Für die Gesamtversorgung des Gebäudes inkl. Warmwasser werden nur maximal  $12 \text{ W/m}^2$  benötigt; in der gesamten Kälteperiode sind es im Mittel nur  $10,7 \text{ W/m}^2$ . Damit liegen überzeugend niedrige Leistungswerte vor, welche bei rechtzeitiger Berücksichtigung auch zu niedrigen Investitionskosten bei der Anlagentechnik und bei der Auslegung der notwendigen Fernwärmeleistung (Anschlusskosten) führen können. Hier wäre eine Überprüfung der Anschlussleistung angeraten (vergleiche dazu die Ausführungen in [Hasper/Peper 2021]).

Insgesamt ergeben die beiden **Befragungen** gute Zufriedenheitswerte der Bewohner mit dem Gebäude allgemein und der Passivhaustechnik im Besonderen. Bei vielen Punkten ist sogar eine weitere Verbesserung nach drei Jahren festzustellen. Die Zustimmungen von dreiviertel der Befragten zur Passivhaustechnik und 90% zur Wohnung generell kann als sehr hohe Zustimmung gewertet werden.

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 ein sehr gutes Gesamtergebnis erzielt werden kann. Anstelle der gern geführten Diskussion über die Machbarkeit sollte nach diesem weiteren, realen Beleg dringend in die massive Umsetzung von zusätzlichen, tatsächlich energieeffizienten Gebäuden investiert werden.

## 5 Quellen

- [Hasper/Peper 2021] Hasper, W.; Peper, S.: Betriebsoptimierung Bahnstadt Heidelberg. Passivhaus Institut, Darmstadt 2021
- [Kah et al. 2019] Kah, O.; Bräunlich, K.; Weiser, J.S.; Failla, M.C.: Dunstabzugshauben für Wohnküchen in Passivhäusern: Leitfaden; Passivhaus Institut, Darmstadt, April 2019
- [Peper 2012] Peper, S.: Messkonzept, Störgrößen und adäquate Lösungen. In: Richtig Messen in Energiesparhäusern. Protokollband Nr. 45 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase V, pp. 3 – 40, Passivhaus Institut; Darmstadt, 2012
- [Peper 2021] Peper, S.: Passivhaus BuildTog Bremen-Findorff, Energetische Untersuchung, Endbericht. Passivhaus Institut; Darmstadt, 2021
- [PHPP] Passivhaus Projektierungs-Paket. Berechnung von Energiebilanzen und Planungstool für energieeffiziente Gebäude. Passivhaus Institut, Darmstadt 1998–2017. Aktuelle Version: PHPP 10 (2021).

## 6 Anhang

**Tabelle 6.1: Freitext-Antworten (Frage 34) von 2018. Die Texte werden weitgehend unverändert wiedergegeben. Nur Äußerungen, die eine Zuordnung zu einer Wohnung ermöglichen würden, wurden weggelassen.**

1	Lüftungsanlage fällt oft aus, lange Reparaturzeiten, Einführung / Dokumentation von Technik schlecht, ENTEGA/Bauherr unterstützen nicht
2	Heizungsanlage Katastrophe. Langer Zeitraum Ausfall wichtiger Heizflächen, kalte Temperaturen
3	Ungenügendes Heizungssystem, Anschlusszwang an Fernwärme fraglich, Steuerungssystem Lüftung nicht gut, häufige Ausfälle, langsame Reparaturen. Wenn System reibungslos funktioniert, dann gut. Einsparungen noch nicht bemerkbar
4	Nachteile: 1. Extrem hoher Stromverbrauch für die Lüftungsanlage, 2. Lüftung häufig defekt
5	Mängel, Ausfall von technischen Anlagen, minderwertige Materialien verbaut, Problem mit verbauter Elektronik, Dachgeschoss scheint schlecht isoliert worden zu sein
6	Wenige Informationen, keine Antwort bei Ausfall
7	Luftfeuchtigkeit im Winter zwischen 20-30%, auch Luftbefeuchter kann nur minimal erhöhen, da Luft abgesaugt wird
8	Immer recht warm ohne zu heizen
9	Hoher Energieverbrauch trotz Passivhaus, hohe Kosten für Haustechnik
10	DG Wohnung schlecht zu beheizen. Untere Geschosse müssen kaum bis gar nicht heizen, und DG nur 20°C trotz Heizung auf 5.
11	Erhöhte Kosteneinsparung nicht vorhanden, kann nichts beeinflussen
12	Wohnung sehr hellhörig, kein Fenster im Bad und langer dunkler Flur, kleine Küche, Fenster gut schalldicht + gute Jalousien, Abstellkammer ist gut, 2 Toiletten gut, Lüften sehr unterschiedlich
13	Alle müssen sich dran halten, sonst hohe Stromkosten durch Lüftung, Solaranlagen wären sinnvoll gewesen, Lüftungsanlage zu hoch eingestellt
14	Bewohner bleiben ungefragt, minderwertige Baustoffe (Rolltor, Fliesen in Flur, Küche, Bädern)
15	Technikberatung und Service sind zu verbessern
16	Verwaltung problematisch, teilweise keinen Ansprechpartner, Abrechnungen zu hoch

**Tabelle 6.2: Freitext-Antworten (Frage 34) von 2021. Die Texte werden weitgehend unverändert wiedergegeben. Nur Äußerungen, die eine Zuordnung zu einer Wohnung ermöglichen würden, wurden weggelassen.**

1	Hätte gerne manuelle Kontrolle über Markise und Jalousien (ohne dass sie automatisch auf Sonne reagieren)
2	Größere Transparenz bei Optimierungsmaßnahmen des Passivhauses (Lüftungsanlage, Energieeffizienz); Einstellungen wurden über die Jahre gefühlt besser, aber genaue Informationen fehlen. Was ist für Zukunft geplant?
3	Frischlufffunktion wäre gut. Räume einzeln ansteuern wäre gut. Fenster öffnen bringt sehr wenig.
4	Möglichkeit der Online-Beantwortung der Umfrage
5	Unmut über das Wohnzimmerfenster (wird nicht gereinigt, sehr schmutzig)
6	Angabe der eigenen Telefonnummer und Adresse für mögliche Rücksprache
7	Viel Staub durch Lüftungssystem; Temperatur der Lüftung sollte zimmerweise regulierbar sein
8	Gutes Klima trotz trockener Luft; kein Heizen nötig; eher zu warm als zu kalt; sehr hohe Wartungskosten der Lüftung; hohe Stromkosten hätten über eine PV-Anlage kompensiert und reduziert werden können; hohe Folgekosten fressen Einsparungen beim Heizen auf und sind das größte Manko am Passivhaus; dringlichstes Optimierungsthema
9	Die guten Fenster mit der Lüftung helfen sehr gut gegen Straßenlärm. Nur im Sommer müssen die Fenster nachts zum Lüften offen sein. Unterschied Innenklima und Luftqualität nicht ganz klar, leider ohne Erklärung
10	Filter werden nicht gewartet, bessere Schulung der Hausverwaltung über Passivhaustechnologie
11	Viel Staub durch schlechte Luftfilter (überhaupt vorhanden?); durch Lüftung sehr trockene Luft, dadurch ständige Probleme im Hals-Nasenbereich; kein finanzieller Vorteil des Passivhauses wegen erheblicher Wartungskosten für Heizung/Lüftung. Angepriesene Vorteile des Passivhauses müssen durch ständiges Lüften aus gesundheitlichen Gründen ad acta gelegt werden
12	Zu trockene Luft, im Badezimmer sind blaue Fussel, die alle 2 Tage entfernt werden müssen
13	Lüftungsanlage fällt tagelang aus, wegen unzureichender Fenstermenge ist Lüften aufwendig, Raumklima war unzureichend, inzwischen scheint Fehler aber behoben zu sein