

# SüdSan

Sozialverträgliche und klimazielfunktionale Sanierung von zwei Mehrfamilienhäusern als Modell für die Sanierung der Südtiroler-Siedlung Bludenz

---

Themendokumentation

**Monitoring der Mustergebäude  
vor der Sanierung**

---

**Bericht zum Monitoring der Mustergebäude vor der Sanierung**

Bludenz, St. Antoniusstraße 12a und 19

Florian Wörl

Gleisdorf, Dezember 2024

AEE - Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)

8200 Gleisdorf, Feldgasse 19, Austria

Herausgeber:

Energieinstitut Vorarlberg, Fachbereich Energieeffizientes Bauen

CAMPUS V, Stadtstraße 33

6850 Dornbirn, Österreich

Tel. +43 (0)5572 / 31 202-0

[info@energieinstitut.at](mailto:info@energieinstitut.at)

## Zusammenfassung

Das Projekt *SüdSan* vergleicht verschiedene Sanierungsvarianten für zwei repräsentative Gebäude in der Südtiroler-Siedlung Bludenz. Diese Varianten werden hinsichtlich ihres Energieverbrauchs, der Treibhausgasemissionen im Betrieb und für die Sanierung, der thermischen Behaglichkeit und der Raumluftqualität sowie der Kosten und Wirtschaftlichkeit untersucht. Die Projektergebnisse sollen genutzt werden, um energetisch-wirtschaftlich optimierte Sanierungsvarianten für die Umsetzung in der gesamten Siedlung mit 397 Wohneinheiten zu entwickeln.

Um die Energieverbräuche, die thermische Behaglichkeit und die Raumluftqualität nach der Sanierung besser einordnen zu können, wurden diese Aspekte im Rahmen eines Monitorings an den unsanierten Gebäuden untersucht. Die Ergebnisse dieses Monitorings werden in diesem Bericht vorgestellt.

Die beiden untersuchten Gebäude mit 5 bzw. 10 Wohneinheiten wurden in den Jahren 1942 und 1959 errichtet. Abgesehen von den in den 1980er Jahren erneuerten Fenstern befanden sich die Gebäudehüllen noch im Originalzustand und wiesen entsprechend schlechte Wärmedämmeigenschaften auf. Eine Besonderheit dieser Mustergebäude war, dass sie ohne zentrales Heizsystem vermietet wurden – die Warmwasserversorgung erfolgte dezentral über elektrische Boiler. Die Beheizung wurde individuell von den Mietern organisiert, wobei unterschiedliche Heizsysteme zum Einsatz kamen. Die Status-Quo-Analyse vor der Sanierung ergab, dass in jeder Wohnung verschiedene Heizsysteme genutzt wurden.

### Hauptsysteme waren:

- Einzelofenheizungen (Stückholz, Pellet oder Kohle) mit Aufstellung in Küche/Wohnraum oder einem anderen Zimmer, ohne direkte Beheizung der sonstigen Räume
- Einzelofenheizung mit Aufstellung in Küche/Wohnraum oder einem anderen Zimmer in Kombination mit elektrischen Zusatzheizungen wie Radiatoren und/oder Infrarotpaneelen in einzelnen oder mehreren anderen Räumen
- Einzelofen mit Anschluss an ein in Eigenregie installiertes wassergeführtes Wärmeverteilsystem mit Heizkörpern in den anderen Zimmern und im Flur sowie einem Infrarotpanel im Bad
- Elektro- Speicherheizungen in mehreren Räumen in Kombination mit anderen elektrischen Heizsystemen wie Konvektoren oder Infrarotpaneelen
- In einigen Wohnungen wurden keine starr montierten, sondern mobile Elektroradiatoren oder Infrarotpaneelen eingesetzt.

Die in den beiden Gebäuden eingesetzten Heizsysteme sind repräsentativ für die Gesamtsiedlung: alle 397 Wohnungen werden mit wohnungsweisen Systemen beheizt, in einigen Wohnungen werden dazu teilweise auch Gas- und Ölöfen eingesetzt. Eine detaillierte Beschreibung der Gebäude findet sich im Zwischenbericht 2025 und anderen Berichten zu Einzelaspekten des SüdSan-Projekts.

Das Monitoring der thermischen Behaglichkeit in den unsanierten Gebäuden wurde von Ende August 2022 bis Mai 2023 durchgeführt. Die Messungen des Stromverbrauchs bzw. der elektrischen Leistungsaufnahmen begannen im Dezember 2022 und liefen bis Oktober 2023. Die Sanierung der Gebäude erfolgte zwischen Mai 2023 und März 2024.

### **Wichtigste Ergebnisse des Monitorings vor Sanierung – größeres Gebäude (Haus12a):**

- Die mittlere Raumlufttemperatur von Oktober 2022 bis März 2023 liegt bei 17,9°C. Die Mittelwerte der einzelnen Wohnungen differieren in der genannten Periode stark und liegen in den meisten Wohnungen zwischen 16,5 und 23,0°C. Zwei Wohnungen sind offensichtlich über längere Perioden nicht bewohnt. Diese haben daher Mittelwerte von 13 bzw. 13,5°C.
- Die Raumluft-Temperaturen der Wohnung mit Elektrospeicherheizung sind während der gesamten Heizperiode relativ gleichmäßig.
- Die Raumluft-Temperaturen in den Wohnungen mit Einzelöfen liegen nach dem Anheizen im Aufstellraum bei bis zu 32°C und fallen aufgrund des sehr schlechten Wärmeschutzes schnell auf Stundenmittelwerte bis zu etwa 15°C ab. Die Temperaturen der zum Teil nur indirekt beheizten Räume liegen niedriger.
- Die thermische Behaglichkeit in den Wohnungen mit Einzelöfen ist schlecht, es treten sehr viele Stunden mit deutlich zu hohen Raumlufttemperaturen und ebenfalls viele mit zu niedrigen Temperaturen auf. Die Messwerte der Raumlufttemperaturen bestätigen das Ergebnis der Bewohnerbefragung vor Sanierung, in der  $\frac{3}{4}$  der Bewohner die thermische Behaglichkeit im Winter als schlecht bezeichneten.
- Die relative Feuchte lag über das gesamte Jahr meist im Behaglichkeitsbereich. Lediglich in den Wohnungen mit Einzelöfen und sehr hohen Raumlufttemperaturen sank sie im Winter auf deutlich zu niedrige Werte bis etwa 18%, während in den Wohnungen mit „gemäßigeren“ Raumlufttemperaturen angenehmere Werte der relativen Feuchte auftraten. Die relative Feuchte im Sommer lag meist bei Werten bis etwa 55%, kurzfristig traten auch höhere Werte bis zu 70% auf.
- Die CO<sub>2</sub>-Konzentration weist über das gesamte Winterhalbjahr eine hohe Variabilität auf und bewegt sich in der Regel in einem Bereich zwischen 400 und 1000 ppm. Diese

Werte zeigen, dass die Wohnungen auch im Winter ausreichend über die Fenster belüftet werden, um bei der niedrigen Belegungsdichte (viele der Wohnungen werden nur von einer Person bewohnt) einen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf zu hohe Werte zu vermeiden.

- Der Stromverbrauch der einzelnen Wohnungen konnte nur als Gesamtwert pro Wohnung gemessen werden und weist große Unterschiede auf. Dies liegt vor allem daran, ob neben dem Haushaltsstrom und dem Strom für die Warmwasserbereitung auch Strom zur Beheizung eingesetzt wurde. Zudem blieben mehrere Wohnungen während längerer Perioden im Winter unbewohnt, was ebenfalls zu erheblichen Verbrauchunterschieden führte.
- Der auf Grundlage des Gesamt-Stromverbrauchs abgeschätzte Stromverbrauch der einzigen rein elektrisch beheizten Wohnung für die Anwendung Heizung liegt in der Größenordnung von ca. 100 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>). Die gemessene mittlere Raumlufttemperatur der Wohnung in der Heizperiode beträgt etwa 23°C. Angesichts dieser Raumlufttemperatur erscheint der abgeschätzte Endenergieverbrauch<sub>Heizung</sub> auf den ersten Blick vergleichsweise niedrig. Da es sich jedoch bei der betreffenden Wohnung um eine „Sandwichwohnung“ handelt, die auf zwei Seiten sowie nach oben und unten an andere Wohnungen grenzt und nur eine Außenwand als Verlustfläche hat, liegt ihr Verbrauch geometriebedingt weit niedriger als der für das Gesamtgebäude zu erwartende Wert: Gemäß PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung läge der Endenergieverbrauch<sub>Heizung</sub> des Gesamtgebäudes bei Beheizung mit Nachtspeicheröfen auf 23° bei 308 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBFA</sub>). Der in der PHPP-Verbrauchsprognose ermittelte Wert für die „Sandwichwohnung“ zeigt mit 106 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>) eine gute Übereinstimmung mit dem auf Basis des Gesamtverbrauchs abgeschätzten Verbrauch der „Sandwichwohnung“.

### **Wichtigste Ergebnisse des Monitorings vor Sanierung – kleineres Gebäude**

- Die mittlere Raumlufttemperatur von Oktober 2022 bis März 2023 liegt mit 21,6°C deutlich höher als im größeren Gebäude.
- Die Mittelwerte der einzelnen Wohnungen differieren in der genannten Periode stark: In zwei der strombeheizten Wohnungen liegen sie in den Wohnzimmern meist in einem Bereich zwischen 22 und 25°C. Im Wohnzimmer der dritten strombeheizten Wohnung liegt die Raumlufttemperatur in einem Bereich von 17 bis 18°C. In der Wohnung mit Stückholzheizung liegt die Raumlufttemperatur über den gesamten dargestellten Zeitraum extrem hoch, so liegen etwa die Monatsmittelwerte für Januar und Februar bei mehr als 25 bzw. 28°C.

- Die Raumluft-Temperaturen in den Wohnungen mit Elektrospeicherheizung und Infrarotpanelen sind während der gesamten Heizperiode relativ gleichmäßig.
- Die Raumluft-Temperaturen in der Wohnung mit Einzelöfen liegen nach dem Anheizen im Aufstellraum bei bis zu 37°C und fallen aufgrund des sehr schlechten Wärmeschutzes schnell auf Stundenmittelwerte bis zu etwa 17°C ab.
- Die thermische Behaglichkeit in der Wohnung mit Einzelöfen ist schlecht, es treten sehr viele Stunden mit deutlich zu hohen Raumlufttemperaturen und ebenfalls viele mit zu niedrigen Temperaturen auf, da die Wärmeabgabe und -verteilung nicht regelbar ist.
- Die Messwerte der Raumlufttemperaturen der Wohnung mit Einzelöfen bestätigen das Ergebnis der Bewohnerbefragung vor Sanierung, in der  $\frac{3}{4}$  der Bewohner die thermische Behaglichkeit im Winter als schlecht bezeichneten.
- Die relative Feuchte lag über das gesamte Jahr meist im Behaglichkeitsbereich. Lediglich in den Wohnungen mit Einzelöfen und sehr hohen Raumlufttemperaturen sank sie im Winter auf Werte von 10%, während in den Wohnungen mit „gemäßigeren“ Raumlufttemperaturen angenehmere Werte auftraten. Die rel. Feuchte im Sommer lag meist bei Werten bis etwa 55%, kurzfristig traten auch höhere Werte bis zu 70% auf.
- Die CO<sub>2</sub>-Konzentration weist über das gesamte Winterhalbjahr eine hohe Variabilität auf und bewegt sich in der Regel in einem Bereich zwischen 400 und 1500 ppm. Die Maximalwerte liegen von etwa 2.300 ppm treten nur selten auf. Diese Werte zeigen, dass die Wohnungen auch im Winter i.d.R. ausreichend über die Fenster belüftet werden.
- Sehr kritisch sind die hohen relativen Feuchten im Keller im Sommer mit Werten von bis zu 77%. Bei derartigen Werten der relativen Feuchte besteht die Gefahr von Schimmelschäden.
- Der Stromverbrauch der Wohnungen von Haus 19 konnte nicht bestimmt werden, da die Elektroinstallation in einem so schlechten Zustand war, dass kein Monitoring möglich war.

## **Inhalt**

Zusammenfassung	3
Inhalt	7
1 Ausgangslage	8
2 Kurzbeschreibung der Gebäude im unsanierten Zustand	9
Grundrisse	10
Heizungssysteme der Wohnungen	11
3 Monitoring ex-ante	13
3.1 Inhalte und Ziele	13
3.2 Sensorik	14
3.3 Messkonzept Haus 12a	16
3.4 Messkonzept Haus 19	17
3.5 Technik	18
3.6 Messzeitraum	19
4 Auswertungen Haus 12a	20
4.1 Behaglichkeit in den Wohnungen	20
4.2 Keller – Temperatur & Feuchte	38
4.3 Stromverbrauch der Wohnungen	40
5 Auswertungen Haus 19	46
5.1 Behaglichkeit in den Wohnungen	46
5.2 Keller – Temperatur & Feuchte	57
Abbildungsverzeichnis	60
Tabellenverzeichnis	62
Literatur	62

## 1 Ausgangslage

Die beiden Gebäude St.-Antoniusstraße 12a und 19 in der von 1942 bis 1959 errichteten Südtiroler-Siedlung Bludenz verfügen über 10 bzw. 5 Wohneinheiten und sind als kleine/mittlere Mehrfamilienhäuser repräsentativ für große Teile des Bestands im nicht großstädtischen Österreich. Sie befinden sich energetisch nahezu im Originalzustand und werden ausschließlich über Einzelöfen (Holz, Kohle, Strom) beheizt.

Da die Siedlung zu niedrigen Mieten an einkommensschwache Haushalte vermietet ist, ist eine gleichrangige Optimierung von Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit essenziell. Ziel ist es, praxisnahe Lösungen zur Reduzierung von Energiearmut aufzuzeigen.

Das Projekt *SüdSan* untersucht anhand dieser beiden Mustergebäude verschiedene sozialverträgliche Sanierungsvarianten, die sowohl energetisch als auch ökologisch hochwertige Lösungen für kleinere, ältere Mehrfamilienhäuser bieten. Im Rahmen eines wissenschaftlichen Monitorings werden die energetische Qualität, die thermische Behaglichkeit und die Raumluftqualität der sanierten Gebäude analysiert.

Zum Vergleich mit den Messwerten nach Sanierung wurde ein Monitoring beider Gebäude im unsanierten Zustand durchgeführt, in dem Energieverbräuche, thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität messtechnisch erfasst wurden.

## 2 Kurzbeschreibung der Gebäude im unsanierten Zustand

Die beiden im Rahmen des Projekts SüdSan sanierten Gebäude sind im Zwischenbericht Februar 2025 detailliert vorgestellt. Die wichtigsten Kenndaten der unsanierten Gebäude sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt, Abbildungen 2.1 und 2.2 zeigen die Gebäude vor Sanierung.

	<b>kleines Gebäude St. Antoniusstraße 19</b>	<b>großes Gebäude St. Antoniusstraße 12a</b>
Fertigstellung	1942	1959
Standort	Bludenz	Bludenz
Seehöhe	631 m	643 m
Mitteltemperatur Oktober bis März	4,4 °C Quelle: Meteonorm-Klimadatensatz Bludenz, neuere Periode, d.h. 2000 bis 2019	
Anzahl Wohnungen	5	10
Anzahl Geschosse	E + 1 + 1 DG-Wohnung	E + 2 + 1 DG-Wohnung
BGF	448 m <sup>2</sup>	745 m <sup>2</sup>
WNF	315,2 m <sup>2</sup>	571,8 m <sup>2</sup>
A/V	0,59	0,51

**Tabelle 2.1: Kenndaten der beiden Mustergebäude vor Sanierung**



**Abbildung 2.1: Gebäudetyp klein (Foto EIV)**



**Abbildung 2.2: Gebäudetyp groß (Foto M.Fortenbacher)**



Beim großen Gebäude handelt es sich um einen Dreispänner mit jeweils drei 2-Zimmer-Wohnung im Erdgeschoß, im ersten und im 2. Obergeschoß. Die Wohnungen haben Wohnflächen von 56m<sup>2</sup> bzw. 57m<sup>2</sup>. Im Dachgeschoß befindet sich eine weitere Wohnung, die jedoch im Monitoring vor Sanierung nicht berücksichtigt wurde, da sie frühzeitig leergezogen wurde.

### **Heizungssysteme der Wohnungen**

Alle Wohnungen verfügen über elektrische Warmwasserboiler in den Bädern. Sie werden ohne Heizsystem vermietet, jeder Mieter entscheidet über das Heizsystem in seiner Wohnung und ließ es nach seinen Wünschen und auf seine Kosten installieren oder installierte es selbst. Dies führte dazu, dass in den beiden Gebäuden wohnungsweise sehr unterschiedliche Systeme zum Einsatz kommen.

### **Benutzereinwilligung**

Alle Bewohner der beiden Gebäude haben eine Benutzereinwilligung unterzeichnet. Damit wurde die Erlaubnis erteilt, die erhobenen Messdaten in anonymisierter Form auszuwerten. Zur Anonymisierung der Ergebnisse wurden den einzelnen Wohnungen Baumnamen zugewiesen.

### **St. Antoniusstraße 19:**

Linde (1 Bewohner):

3 Elektrospeicheröfen (Zimmer 1 bis 3) + Strom (Infrarot), Zimmer 3 und Bad

Weide (3 Bewohner):

Stückholz, Aufstellort Zimmer 4; sonstige Zimmer nur indirekt beheizt

Pappel (2 Bewohner):

Strom (Infrarot) in allen Räumen außer Bad

Douglasie (4 Bewohner):

Strom (Infrarot) in allen Räumen inkl. Bad

Die Dachgeschoßwohnung war nicht Teil des Monitorings vor Sanierung, da sie schon frühzeitig leergezogen wurde.

**St. Antoniusstraße 12a:**

Ahorn (1 Bewohner):

Stückholzofen, Kohle; Aufstellort: Küche/Wohnen

Eiche (1 Bewohner):

Stückholzofen, Aufstellort: Zimmer 1

zusätzlich Infrarot im Bad

Birke (Anzahl Bewohner nicht bekannt):

Stückholzofen, Aufstellort Küche/Wohnen

zusätzlich: Strom (Radiatoren), Strom (Infrarot) in Zimmer 1, Zimmer 2 und Bad

Tanne (1 Bewohner):

Pelletofen, Aufstellort Zimmer 2

Strom (Radiatoren), Strom (Infrarot) im Bad

Fichte (1 Bewohner):

zwei Elektro-Speicherheizungen Aufstellorte: Kochen/Wohnen sowie Zimmer 1

Elektro radiator in Zimmer 2

Esche (1 Bewohner):

Pelletofen, Aufstellort Küche/Wohnen

Strom (Radiator) in Zimmer 2

Buche (1 Bewohner):

Stückholz

Strom (Radiatoren)

Kastanie (1 Bewohner):

Stückholz, Aufstellort Zimmer 1

Strom (mobiler Radiator) in Zimmer 2, Strom (mobiles Infrarotpanel) in Küche/Wohnen

Erle (3 Bewohner):

Stückholzofen Aufstellort Zimmer 2, in Eigenregie errichtetes Verteilsystem mit

Heizkörpern in Zimmer 1, Zimmer 2, Flur und Bad; zusätzliches Infrarotpanel im Bad

Die Dachgeschoßwohnung war nicht Teil des Monitorings vor Sanierung, da sie schon frühzeitig leergezogen wurde.

Einige Zimmer, vor allem bei den Wohnungen mit Einzelraumöfen mit Stückholz, Kohle und Pellets wurden nur indirekt über die angrenzenden Zimmer geheizt.

### **3 Monitoring ex-ante**

Das Monitoring ex-ante, also vor der Sanierung, wurde Anfang 2022 geplant. Die Messungen der Behaglichkeitsparameter konnten Ende August 2022 gestartet werden und laufen seitdem – von einigen Datenausfällen abgesehen – kontinuierlich, d.h. auch während der Sanierung. Die Messungen der Stromverbräuche bzw. der elektrischen Leistungsaufnahme starteten im Dezember 2022 und liefen bis Oktober 2023. Die zur Auswertung herangezogenen Zeiträume werden in den jeweiligen Kapiteln präzisiert.

#### **3.1 Inhalte und Ziele**

Übergeordnetes Ziel ist die Abschätzung der Komfort- bzw. Behaglichkeitssituation sowie die Erstellung einer Energiebilanz vor der Sanierung.

Als Basis für den späteren Vergleich mit den sanierten Gebäuden werden im Bereich Komfort Raumlufttemperatur, relative Feuchte und CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Wohneinheiten im Jahr vor der Sanierung messtechnisch erfasst. Die Messwerte zur Raumlufttemperatur während der Heizperiode werden zur Überprüfung der Annahmen für die PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung verwendet, in der der reale Endenergieverbrauch für die Beheizung der Gebäude vor Sanierung abgeschätzt wird. Die Verbrauchsprognose dient u.a. dazu, die realen Energieeinsparungen, die Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie die Reduktion der Energiekosten zu bestimmen.

Zusätzlich werden Raumlufttemperatur und relative Feuchte im Keller erfasst, um Grundlagen für die Optimierung der Dämmung der Kellerdecke zu erlangen und geeignete Maßnahmen zur Schimmelvermeidung im Keller planen zu können.

Darüber hinaus werden die Stromverbräuche (bzw. der Verlauf der Leistungsaufnahme) der einzelnen Wohneinheiten vor Sanierung erfasst. Dabei wird eine Separation nach den Anwendungen Haushaltsstrom, Warmwasserbereitung und Heizung vorgenommen.

Die Stückholz- bzw. Pelletmengen konnten nicht erfasst werden.

## **3.2 Sensorik**

Für beide Häuser wurde ein Konzept erstellt, um den Energieverbrauch und die Behaglichkeit der einzelnen Wohnungen messen zu können.

### **3.2.1 Behaglichkeit**

Die Sensorik wurde in den einzelnen Wohnungen folgendermaßen aufgeteilt:

#### **Haus 12a**

##### **Wohnzimmer:**

- Raumlufftemperatur in °C
- Relative Feuchte in %
- CO<sub>2</sub> Konzentration in der Raumlufft in ppm
- Lichtstärke in lux
- Bewegung (einfache Anwesenheitserkennung)

##### **Küche:**

- Raumlufftemperatur in °C
- Relative Feuchte in %

##### **Schlafzimmer:**

- Raumlufftemperatur in °C
- Relative Feuchte in %

## Haus 19

### **Wohnzimmer / Küche:**

- Raumlufftemperatur in °C
- Relative Feuchte in %
- CO<sub>2</sub> Konzentration in der Raumlufft in ppm
- Lichtstärke in lux
- Bewegung (einfache Anwesenheitserkennung)

### **Schlafzimmer 1:**

- Raumlufftemperatur in °C
- Relative Feuchte in %

### **Schlafzimmer 2:**

- Raumlufftemperatur in °C
- Relative Feuchte in %

### **Allgemein:**

Um die Feuchtigkeit im Keller monitoren zu können, wurde dort jeweils ein kombinierter Temperatur- und Feuchtesensor verbaut.

An der Außenwand von Gebäude 12a (Nordseite, ohne direkte Sonneneinstrahlung) wurde ein Außenluftsensor angebracht. Dieser Sensor misst die Außentemperatur, Luftfeuchte und den Luftdruck.

Die entsprechenden Mess-Schemata finden sich in den Abschnitten 3.4 und 3.5.

### **3.2.2 Energieverbrauch / Strom**

Des Weiteren erfolgte die Installation von Stromzählern in sämtlichen Wohneinheiten des Gebäudes 12a, um den Stromverbrauch vor der Sanierung quantifizieren zu können. Die gemessenen Stromverbräuche entsprechen dem Gesamtstromverbrauch jeder Wohnung (Hausstrom, Strom für Warmwasserbereitung durch elektrische Boiler sowie - für die Wohnungen mit elektrischen Heizsystemen – Stromverbrauch für die Beheizung). In der Auswertung der Monitoring-Ergebnisse werden die Stromverbräuche als Summenwerte je Wohnung dargestellt.

Im Gebäude 19 konnten keine Stromzähler installiert werden, da die Elektrik vor der Sanierung in einem elektrotechnisch nicht ausreichend sicheren Zustand war. Ein vollständiger Umbau des Verteilerschranks wäre notwendig gewesen.

### 3.3 Messkonzept Haus 12a

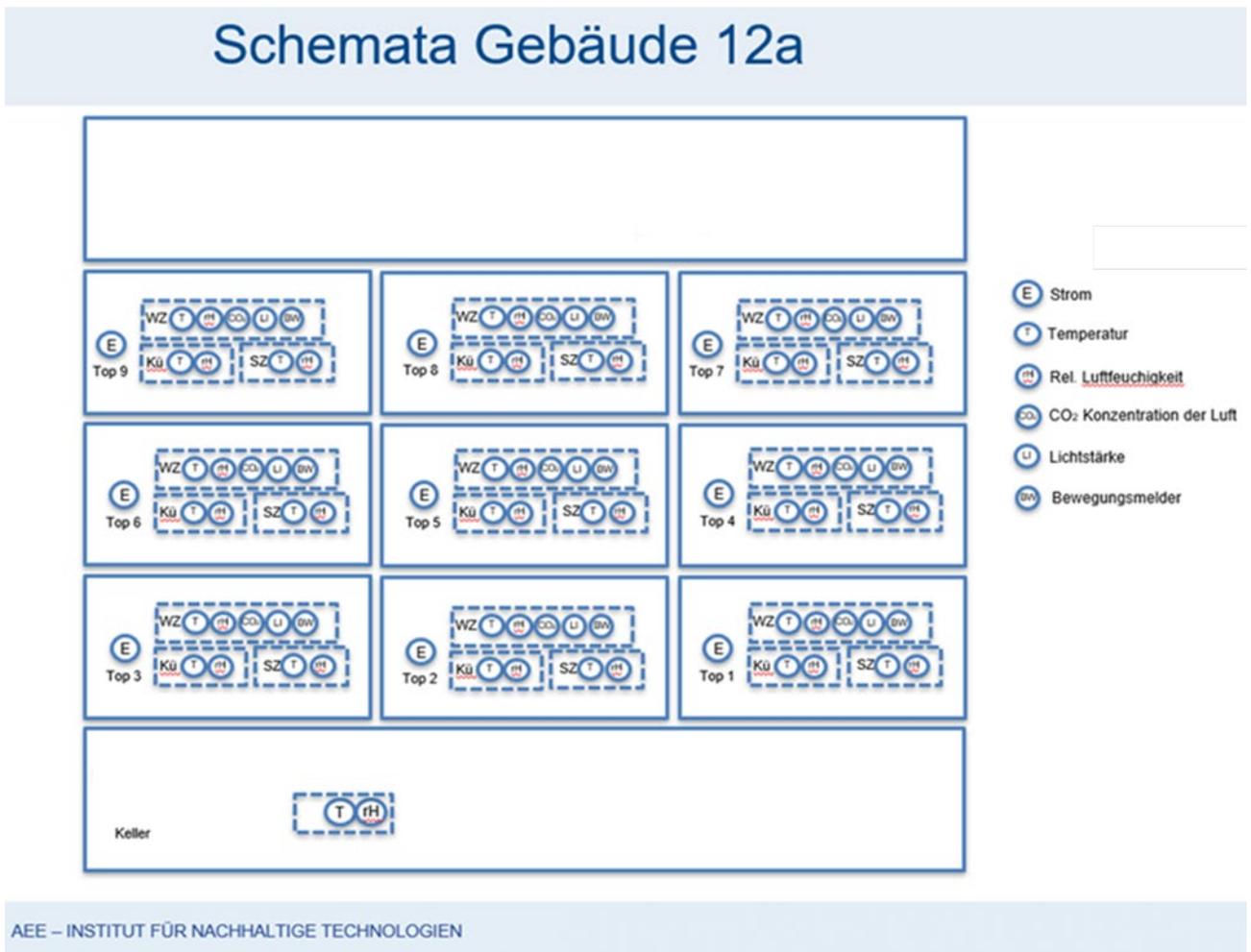
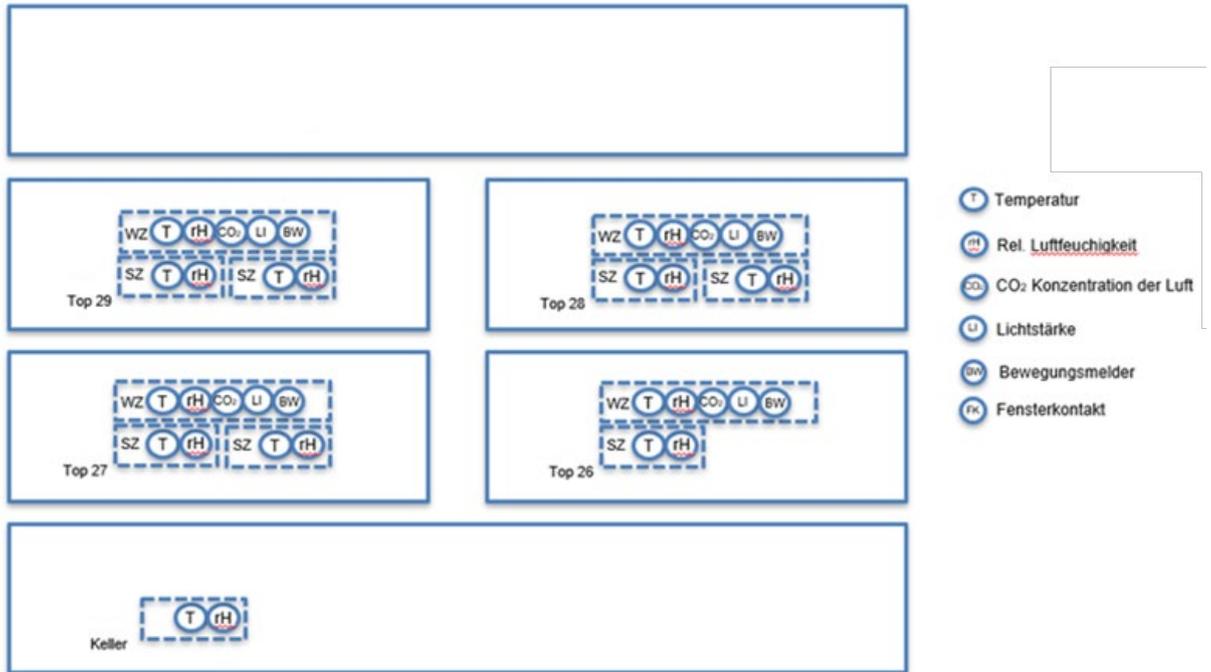


Abbildung 3.1: Messschema Gebäude 12a

Alle Wohnungen erhielten die gleiche Anzahl und Arten an Sensoren.

### 3.4 Messkonzept Haus 19

## Schemata Gebäude 19



AEE – INSTITUT FÜR NACHHALTIGE TECHNOLOGIEN

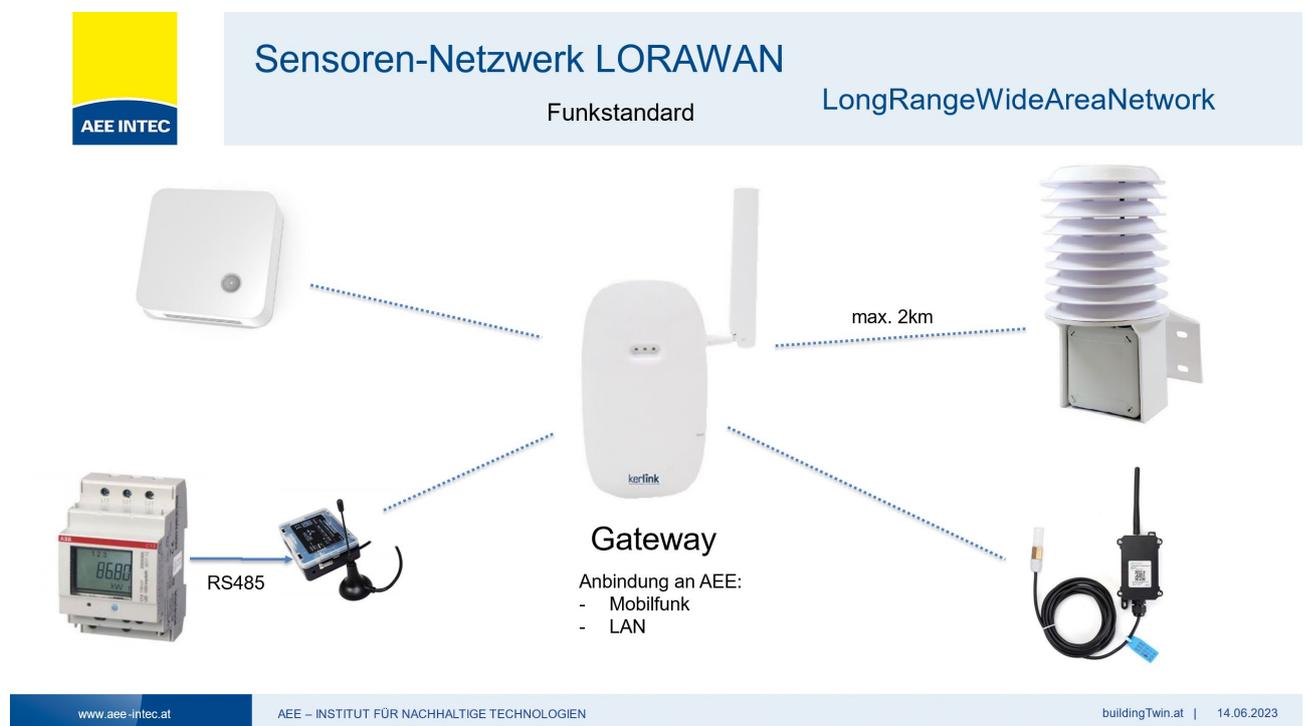
Abbildung 3.2: Messschema Gebäude 19

In der Wohnung Top 26 wurde auf Ersuchen des Mieters lediglich ein Schlafzimmer vermessen.

### 3.5 Technik

Für die Sensorik wurde die LoRaWAN-Technologie benutzt. Sie beschreibt einen Messtechnikstandard, in dem die Sensoren mit Funk an einem Gateway angebunden sind. Dieses Gateway verwaltet die Sensoren und übernimmt die Kommunikation und das Senden der Messdaten an einen Server mit Messdatenbank.

Abbildung 2.3 zeigt ein Beispiel für einen solchen Aufbau. In der linken oberen Ecke ist ein Raumfühler zu sehen, der so in den Wohnungen verbaut wurde. Rechts oben ist der Außenfühler und rechts unten der Temperatur- und Feuchtefühler zu sehen, der in den Kellerräumen installiert ist.



**Abbildung 3.3: LoRaWAN Beispielabbildung**

Die Behaglichkeitssensoren übertragen ihre Messwerte in einem Intervall von fünf Minuten an das Gateway. Die Stromsensoren übermitteln den Mittelwert ihrer gemessenen Leistung und die Energiewerte in einem Intervall von zehn Minuten an das Gateway.

### **3.6 Messzeitraum**

Für die vorliegende Auswertung wurde der Zeitraum von September 2022 bis Mai 2023 ausgewählt, der der typischen Heizperiode der unsanierten Gebäude entspricht. Als charakteristische bzw. typische Winterwoche wurde der 25. Januar 2023 bis zum 1. Februar 2023 definiert. Die charakteristische Sommerwoche wurde entsprechend mit dem Zeitraum vom 25. August 2022 bis zum 1. September 2022 festgelegt.

Es gab einige wenige Unterbrechungen der Messungen. Zum Beispiel war das Gateway einmal nicht mehr ansprechbar und musste ausgetauscht werden. Außerdem hat ein Mieter im Dezember 2022 seine Sensoren trotz Zustimmung zum Monitoring abmontiert und ausgeschaltet.

Insgesamt beeinträchtigen diese Unterbrechungen die Auswertungen nicht oder haben nur einen minimalen Einfluss.

Die Sensorik wurde am 22.08.2022 montiert und in Betrieb genommen.

## 4 Auswertungen Haus 12a

Die Auswertungen für Haus 12a umfassen die Behaglichkeit in den Wohnungen, die Messungen im Keller sowie den Stromverbrauch der Wohnungen.

### 4.1 Behaglichkeit in den Wohnungen

#### 4.1.1 Raumlufthtemperatur

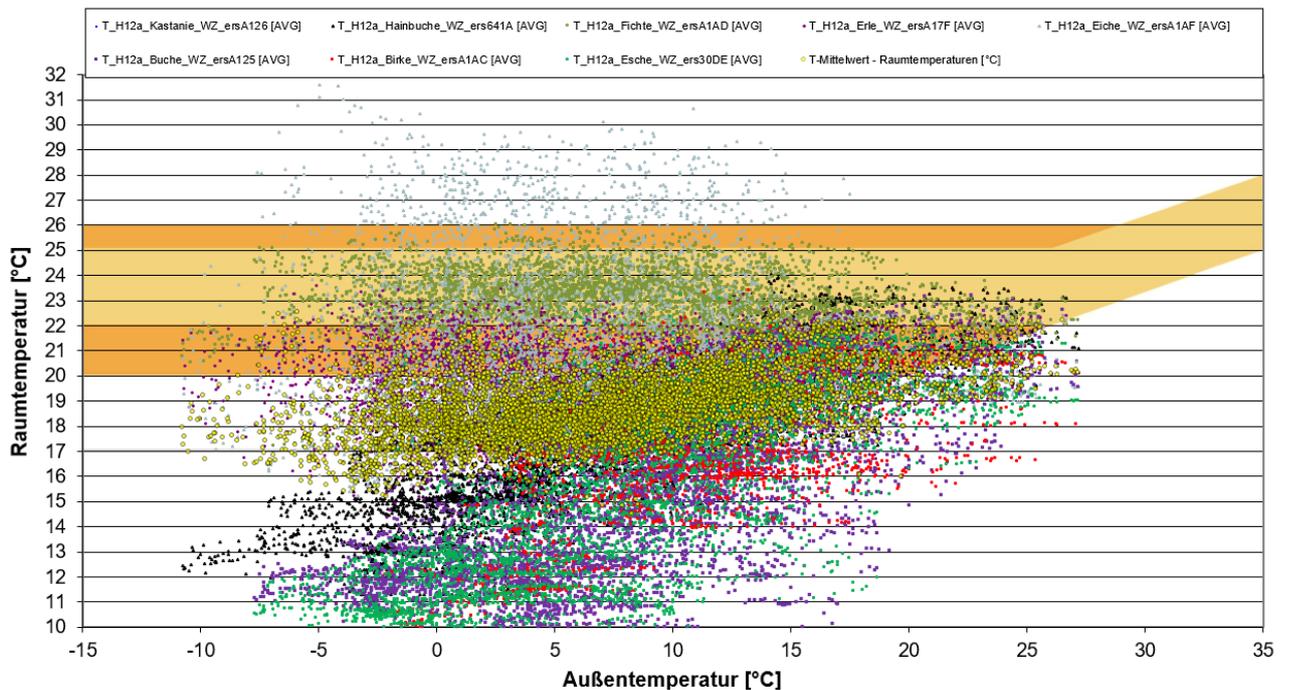


Abbildung 4.1: Haus 12a, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte

Für einen ersten Überblick des Raumtemperaturkomforts im Winterhalbjahr eignet sich die Darstellung einer Punktwolke, mit der Darstellung der Raumtemperatur über die Außentemperatur. Jeder dargestellte Punkt entspricht einem Stundenmittelwert. Die orangenen Bereiche stellen dabei die für Menschen als behaglich empfundenen Bereiche dar, und es wird deutlich, dass sich die Raumlufthtemperatur überwiegend unter diesem Bereich befindet. In großen Teilen der Heizperiode liegen die Raumlufthtemperaturen in den Wohnzimmern niedriger als der Behaglichkeitsbereich. Das spiegelt sich auch in der Bewohnerbefragung wider, drei Viertel der Bewohner beurteilten die Raumlufthtemperatur im Winter als unbehaglich. Es zeigt sich, dass mit abnehmender Außentemperatur auch die Unterschiede zwischen den Raumlufthtemperaturen in den einzelnen Wohnungen zunehmen. Diese Unterschiede werden durch die unterschiedlichen Heizsysteme verursacht.

Es konnte festgestellt werden, dass bei Außentemperaturen von über 20 °C, bei denen keine zusätzliche Beheizung erfolgt, geringere Unterschiede in den Raumlufttemperaturen der einzelnen Wohnungen auftreten.

Für eine genauere Betrachtung der einzelnen Wohnungen werden nachfolgend Liniendiagramme herangezogen.

### Übersicht Winterhalbjahr:

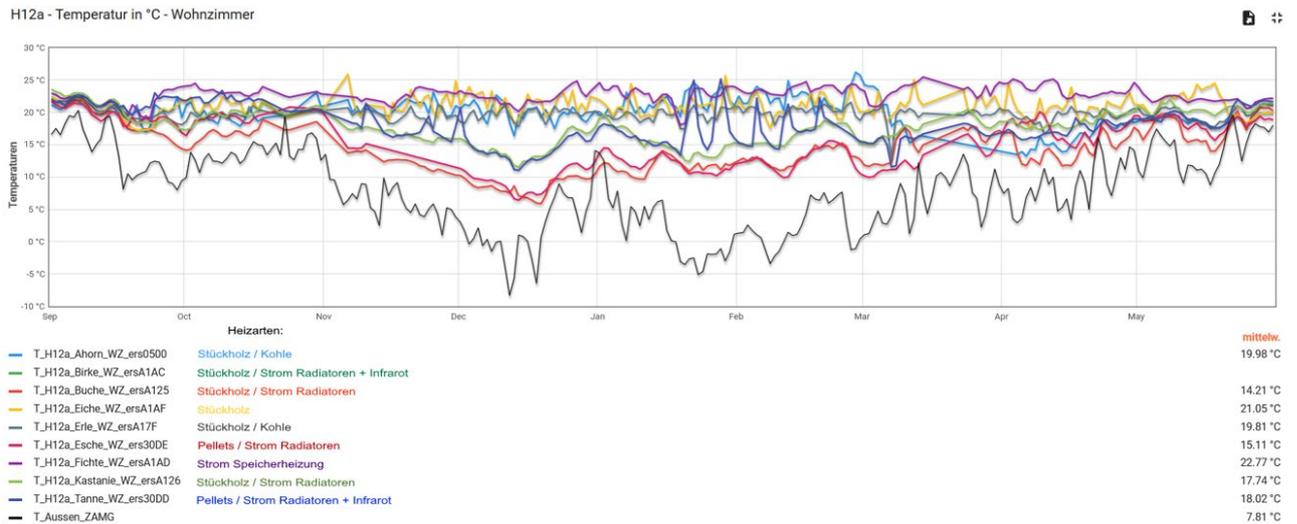
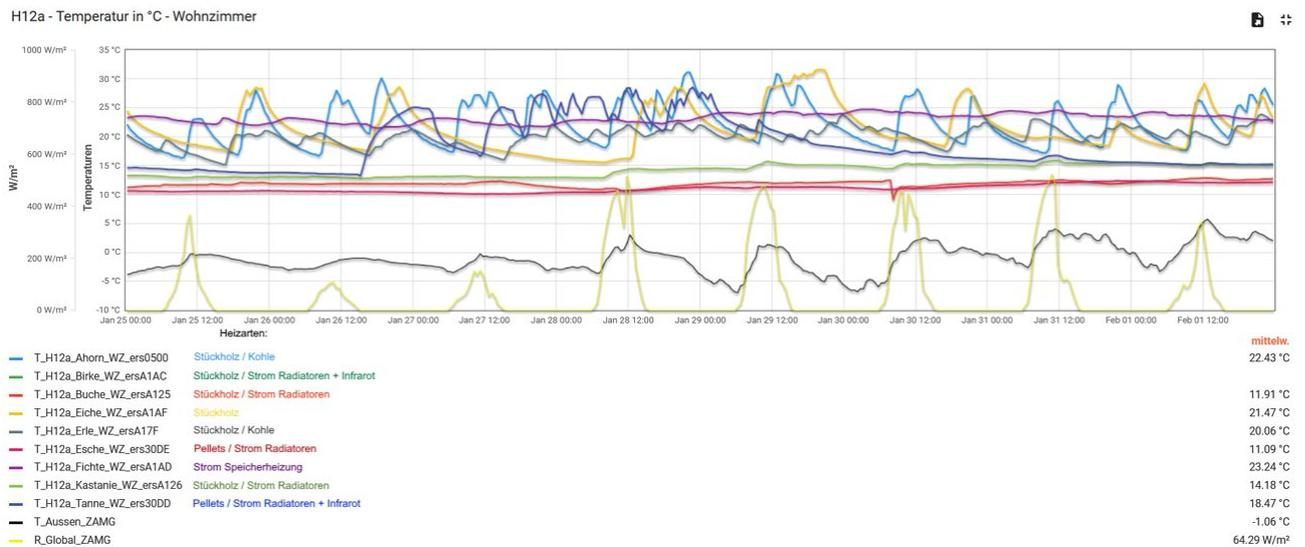


Abbildung 4.2: Haus 12a, Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Tagesmittelwerte

Hier wurden für den Betrachtungszeitraum September 2022 bis Mai 2023 die Tagesmittelwerte der Raumtemperaturen der Wohnzimmer aufgetragen.

Im September, als repräsentativer Zeitpunkt für die nicht beheizte Zeit, zeigt sich eine relativ homogene Temperaturverteilung innerhalb der Wohnzimmer der untersuchten Wohnungen. In der kalten Jahreszeit hingegen manifestieren sich signifikante Unterschiede, die durch die unterschiedlichen Heizsysteme und das Heiz- und Lüftungsverhalten der Bewohner bedingt sind.

## Typische Winterwoche:



**Abbildung 4.3: Haus 12a, Raumlufthtemperaturen in den Wohnzimmern, typische Woche Winter 2022/23, Halbstundenmittelwerte**

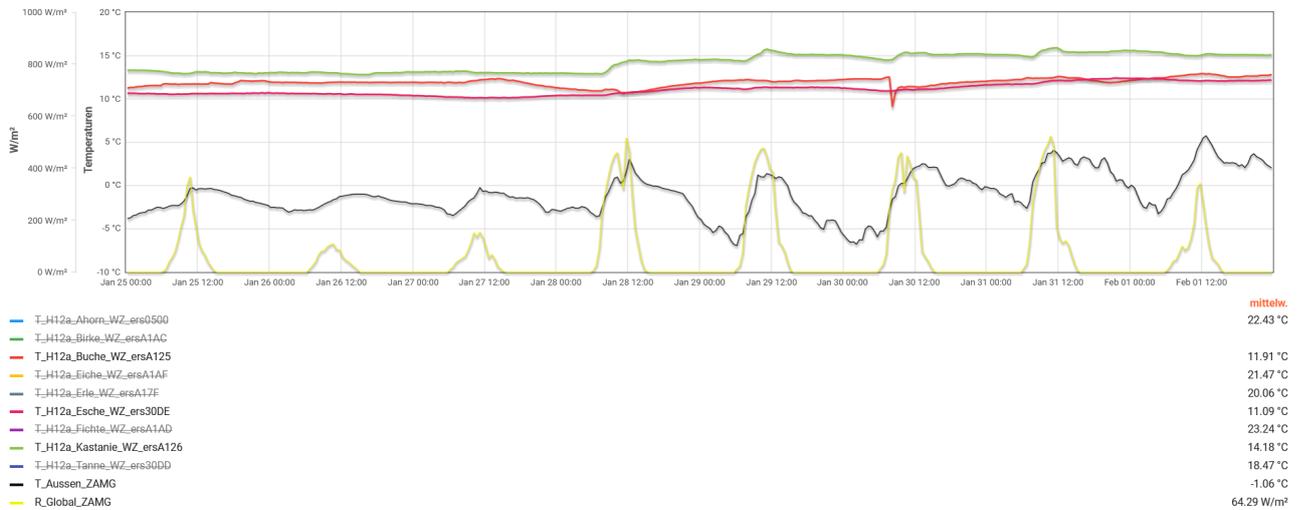
Der konstante Temperaturverlauf der mit Elektrospeicherheizungen beheizten Wohnung (Fichte – lila Kurve) ist deutlich erkennbar. Im Gegensatz dazu weisen die Wohnungen mit Stückgutheizungen (Eiche / gelb und Ahorn / hellblau) deutlich ausgeprägtere Temperaturschwankungen auf.

Bei der Wohnung Eiche (gelb) kann man erkennen, dass am Sonntag, den 27. Januar mit dem Stückgutofen nicht eingehetzt wurde. Daraufhin fiel die Raumlufthtemperatur innerhalb kurzer Zeit auf bis zu 15°C ab.

Die Temperaturverläufe der drei Wohnungen Buche (hellrot), Esche (dunkelrot) und Kastanie (hellgrün) indizieren eine längerfristige Abwesenheit der Bewohner in dem beobachteten Zeitraum. In den unbeheizten Wohnungen stellen sich Raumlufthtemperaturen um etwa 10°C ein.

## Einfluss Globalstrahlung:

H12a - Temperatur in °C - Wohnzimmer

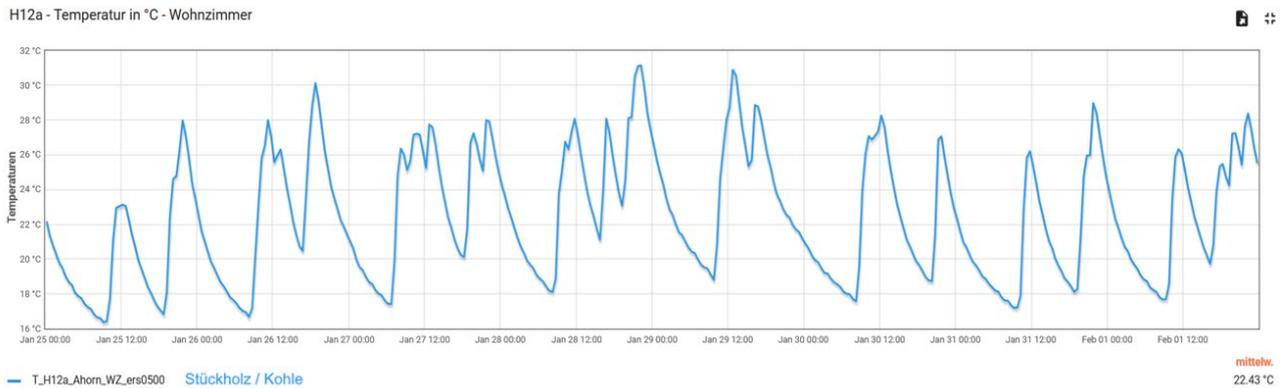


**Abbildung 4.4: Haus 12a, Temperaturverlauf in den Wohnzimmern, typische Woche Winter 2022/23, Einfluss der Globalstrahlung in den unbewohnten Wohnungen, Halbstundenmittelwerte**

Um den Einfluss der solaren Gewinne auf die Raumlufttemperaturen zu untersuchen, sind in dieser Abbildung die Raumlufttemperaturen der drei in der dargestellten Woche unbewohnten Wohnungen, die Außentemperatur (schwarz) und die Globalstrahlung (gelb) dargestellt. Die Wohnräume der Objekte in den Farben Buche (hellrot) und Esche (dunkelrot) sind in unterschiedliche Himmelsrichtungen ausgerichtet: Buche zeigt in Richtung Süd-West, Esche in Richtung Norden. Das Objekt Buche (grün) ist hingegen in Richtung Süd-Ost ausgerichtet. An Tagen mit hoher Sonneneinstrahlung, das heißt in der zweiten Wochenhälfte, kann zwar eine Anpassung der Außentemperatur als Folge der Sonneneinstrahlung beobachtet werden, aber nur in Wohnung Kastanie ist eine Erhöhung der Raumtemperatur ersichtlich.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass die Globalstrahlung die Raumlufttemperaturen aufgrund der kleinen Fenstergrößen und der Ausrichtung des Gebäudes nur in den Süd-Ost-ausgerichteten Wohnungen - wenn auch nur geringfügig - beeinflusst.

## Temperaturverlauf Wohnungen mit Stückgutheizungen:



**Abbildung 4.5: Haus 12a, Raumlufttemperatur im Wohnzimmer der Wohnung Ahorn, typische Winterwoche Ende Januar/Anfang Februar 2023, Halbstundenmittelwerte**

Zur Veranschaulichung des Temperaturverlaufs im Laufe einer Winterwoche wird exemplarisch die Wohnung Ahorn mit Stückholz bzw. Kohleheizung herangezogen.

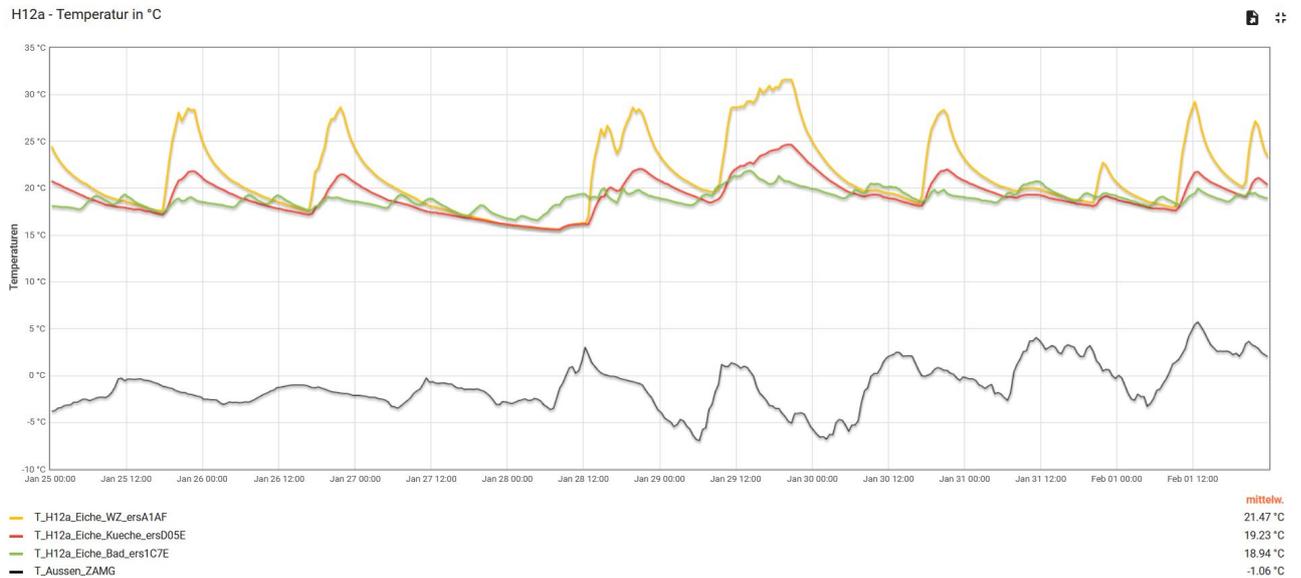
In der dargestellten Winterwoche läuft jeder Tag nach dem gleichen Schema ab.

Nach dem Anheizen des Ofens am Vormittag steigt die Raumlufttemperatur im Aufstellraum recht zügig auf Werte von bis zu 31°C an. Da in den kleinen Räumen nicht oft nachgelegt wird, sinkt die Raumlufttemperatur innerhalb weniger Stunden auf Werte bis zu 16°C ab. Am Abend wird der Ofen wieder eingeheizt und die Raumlufttemperatur steigt auf 28 bis 31°C. Über die Nacht kühlt der Raum wieder auf Temperaturen von bis zu 16°C ab.

Am 26. Januar zeigt das Thermometer um 18:45 Uhr eine Temperatur von 30,1 °C an, während es am darauffolgenden Morgen, dem 27. Januar, um 6:45 Uhr (12 Stunden später) nur noch 17,4 °C beträgt. Die Temperatur der Außenluft sinkt in dieser Nacht auf Werte zwischen -1 und -3,5 °C. Das signifikante Absinken der Raumtemperatur innerhalb eines solch kurzen Zeitraums ist auf die sehr schlechte energetische Qualität der ungedämmten Gebäudehülle zurückzuführen.

## Temperaturverteilung in den Zimmern einer Wohnung:

### - Stückholzofen, Wohnung Eiche

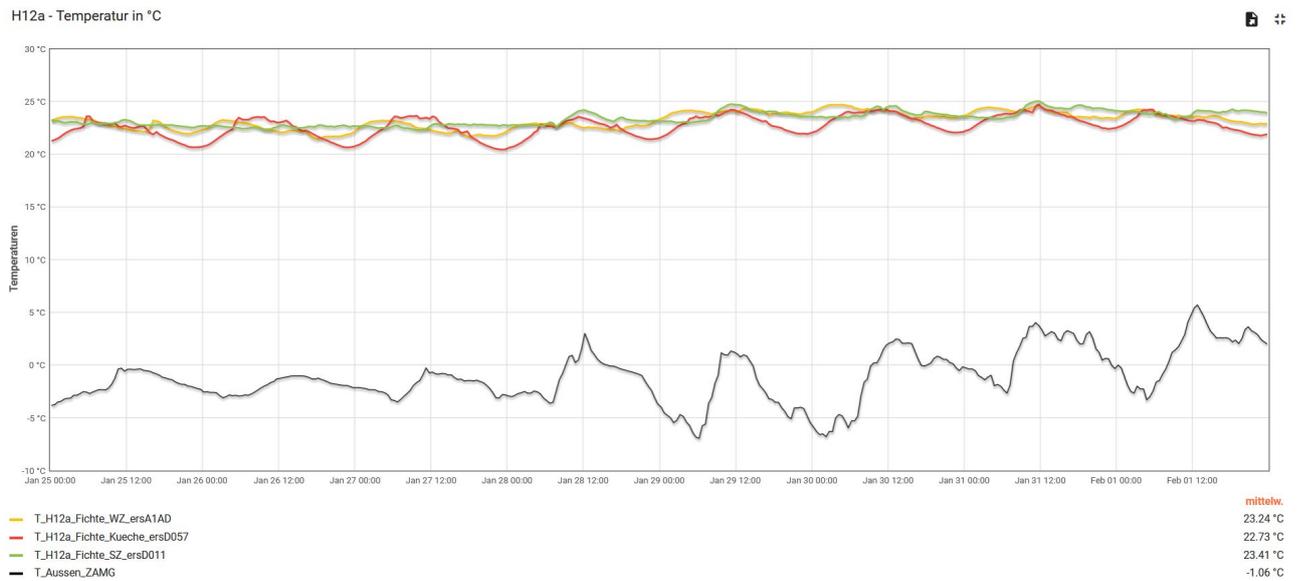


**Abbildung 4.6: Haus 12a, Raumlufttemperaturen in drei Räumen der Wohnung Eiche, typische Winterwoche Ende Januar/Anfang Februar 2023, Halbstundenmittelwerte**

Die obige Abbildung beleuchtet die Frage, wie sich die Wärme eines Stückholzofens in einer Wohnung verteilt. Exemplarisch wird hierfür die Wohnung "Eiche" mit nur einem Stückholzofen im Wohnzimmer analysiert.

Die Abbildung, respektive die Temperaturverteilung, gibt die räumliche Aufteilung adäquat wieder. Die gelbe Kurve stellt das Wohnzimmer mit dem Stückgutofen dar. Der weitest entfernte Raum ist die Küche, deren Temperaturverlauf in rot dargestellt ist. Das Bad (grün) liegt zwischen Wohnzimmer und Küche. Die Grafik verdeutlicht, dass die Temperaturen der indirekt beheizten Räume dem Verlauf der Temperatur im Wohnzimmer folgen. Während sich die Raumlufttemperatur im Wohnzimmer nach dem Anfeuern jedoch um etwa 10K erhöht, steigt sie in der Küche nur um etwa 4K.

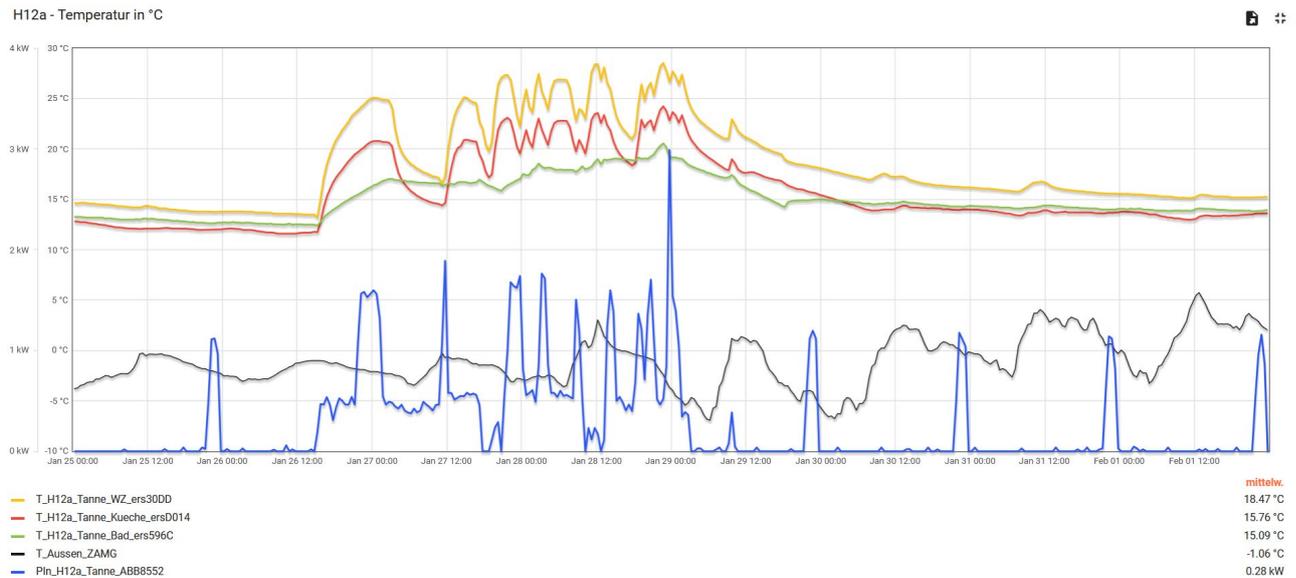
- **Strom Nachtspeicheröfen, Wohnung Fichte**



**Abbildung 4.7: Haus 12a, Raumlufttemperaturen in drei Räumen der Wohnung Fichte, typische Winterwoche Ende Januar/Anfang Februar 2023, Halbstundenmittelwerte**

Die Temperaturdifferenz zwischen den Räumen der Wohnung Fichte, die mit zwei Nachtspeicheröfen (in Wohnen/Küche und Schlafzimmer 1) ausgestattet ist, ist deutlich geringer als in den Wohnungen mit Stückholzöfen. Sichtbar sind lediglich die Schwankungen zwischen Tag und Nacht.

- Pellets und Strom-Radiatoren, Wohnung Tanne



**Abbildung 4.8: Haus 12a, Raumlufttemperaturen in drei Räumen der Wohnung Tanne, typische Winterwochenende Januar/Anfang Februar 2023, Pellets und Strom-Radiatoren, Halbstundenmittelwerte**

Die Analyse der Daten zeigt eine ähnliche Situation in der Wohnung mit Pelletofen im Wohnzimmer und zusätzlichen Strom-Radiatoren wie in der Wohnung mit den Nachtspeicheröfen. In der Abbildung wurde zusätzlich in blau der Stromverbrauch der Wohnung aufgetragen. Es wird deutlich, dass die elektrische Beheizung der Wohnung nur zwischen dem 26. und dem 29. Januar aktiviert war. Die Temperaturverteilung zwischen den Räumen war relativ homogen. Das Bad wies im Gegensatz zu den anderen beiden Räumen keine Überschwingungen in beide Richtungen auf.

**Flächengewichtete Mittelwerte der Raumlufftemperaturen:**

In der folgenden Tabelle sind die flächengewichteten Monatsmittelwerte der einzelnen Wohnungen dargestellt (Mittelwerte aller Räume pro Wohnung). Dabei wurde der Mittelwert über die Monate September 2022 bis Mai 2023 und Oktober 2022 bis März 2023 berechnet.

Zusätzlich wurde für beide Zeiträume ein Mittelwert über alle Wohnungen gebildet.

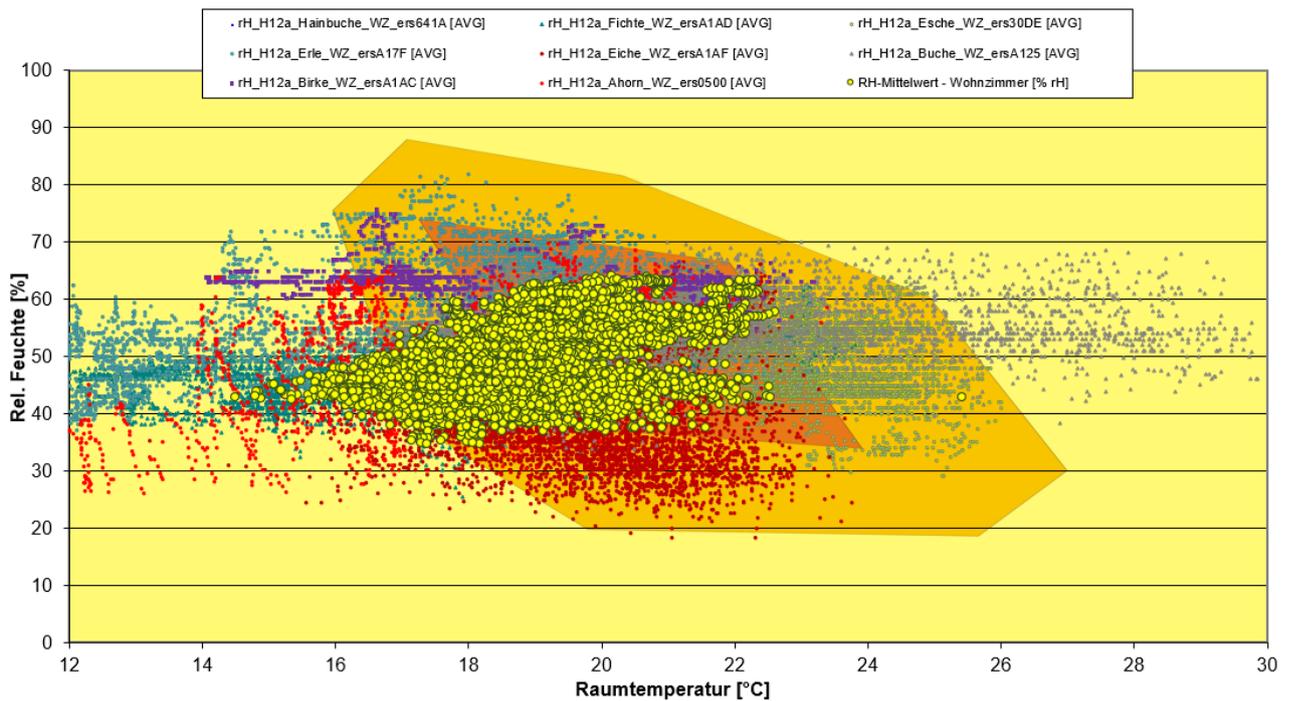
Wohnung	Pers.	Heizart	Wohnfl. [m <sup>2</sup> ]	Temp [°C]	Mittel	Mittel								
				Sep. 22	Okt. 22	Nov. 22	Dez. 22	Jan. 23	Feb. 23	März 23	April 23	Mai 23	Temp [°C] Sep.-Mai 23	Temp [°C] Okt.-März 23
Ahorn	1	Holz / Kohle	56	20,19	19,51	20,12	19,20	20,34	21,18	20,93	19,80	19,71	20,11	20,21
Buche	1	Holz / <b>Strom Radiatoren</b>	56	18,83	16,41	12,94	8,61	11,77	13,10	15,31	14,85	17,98	14,42	13,02
Eiche	1	Stückholz	56	20,18	20,60	20,58	20,22	20,05	20,26	19,98	19,69	20,69	20,25	20,28
Erle	3	Stückholz / Kohle	56	20,37	19,82	19,26	19,42	19,78	20,31	19,32	19,29	19,75	19,70	19,65
Esche	1	Pellets / <b>Strom Radiatoren</b>	56	19,57	19,15	14,53	9,53	12,06	12,82	13,02	17,87	18,72	15,25	13,52
Fichte	1	<b>Strom Nachtspeicher</b>	56	21,90	23,94	22,91	22,47	22,81	23,67	22,44	22,98	22,01	22,79	23,04
Kastanie	1	Holz / <b>Strom Radiatoren</b>	56	20,56	19,71	16,90	15,41	15,40	16,51	18,78	20,03	21,73	18,34	17,12
Tanne	1	Pellets / <b>Strom Radiat. + IR</b>	56	20,84	20,87	16,31	13,44	16,27	16,37	15,64	16,97	19,37	17,34	16,48
Mittel aller Wohnungen			56										18,53	17,92

**Tabelle 4.1: : Haus 12a, flächengewichtete Monatsmittelwerte der Raumlufftemperaturen pro Wohnung**

Der flächengewichtete Mittelwert der Raumlufftemperatur aller Wohnungen von Okt 2022 bis März 2023 liegt bei 17,9°C. Dieser Wert liegt geringfügig höher als die Annahme für die vorab durchgeführten PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen. In diesen Berechnungen wurde die mittlere Raumlufftemperatur mit 17,5°C angenommen.

Die Mittelwerte der einzelnen Wohnungen differieren stark und liegen für die Periode von Oktober 22 bis März 23 in den meisten Wohnungen zwischen 16,5 und 23,0°C. Zwei Wohnungen sind offensichtlich über längere Perioden nicht bewohnt, diese haben daher Mittelwerte von 13 bzw. 13,5°C.

#### 4.1.2 Relative Feuchte der Raumluft

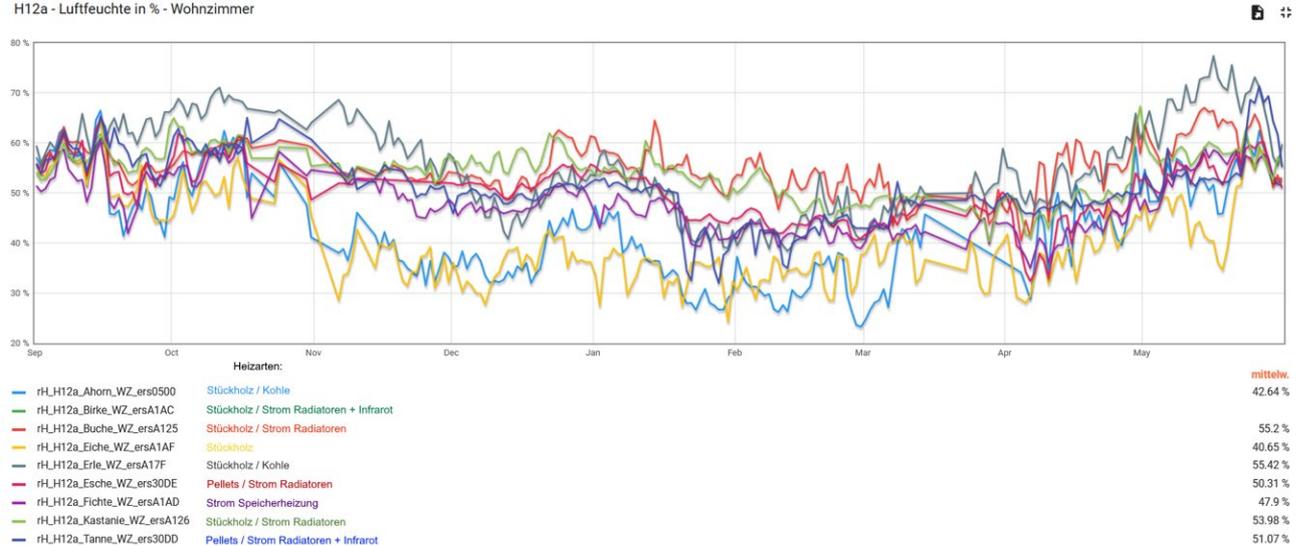


**Abbildung 4.9: Haus 12a, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte**

Die Abbildung verdeutlicht, dass die gemessenen Werte der relativen Feuchte sich überwiegend im behaglichen Bereich befinden und die Raumlufttemperatur signifikante Abweichungen davon aufweist.

## Übersicht Winterhalbjahr:

H12a - Luftfeuchte in % - Wohnzimmer



**Abbildung 4.10: Haus 12a, rel. Feuchte, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Tagesmittelwerte**

Die Übersicht über das Winterhalbjahr zeigt keine besonderen Auffälligkeiten. Die Feuchtigkeitswerte lagen zumeist in einem angemessenen Bereich. Im Mai stiegen die Werte, vor allem in der Wohnung Erle, auf höhere Werte an.

## Vergleich Winter- und Sommerwoche:

### Winter:

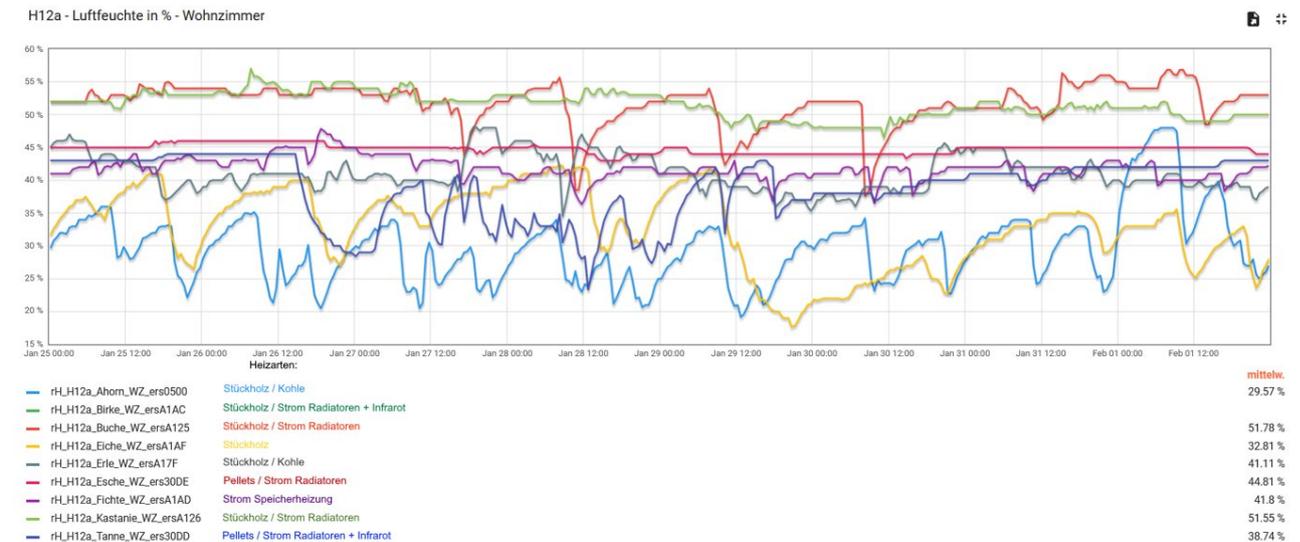


Abbildung 4.11: Haus 12a, rel. Feuchte, Wohnzimmer, typ. Woche Winter 2022/23, Halbstundenmittelwerte

### Sommer:

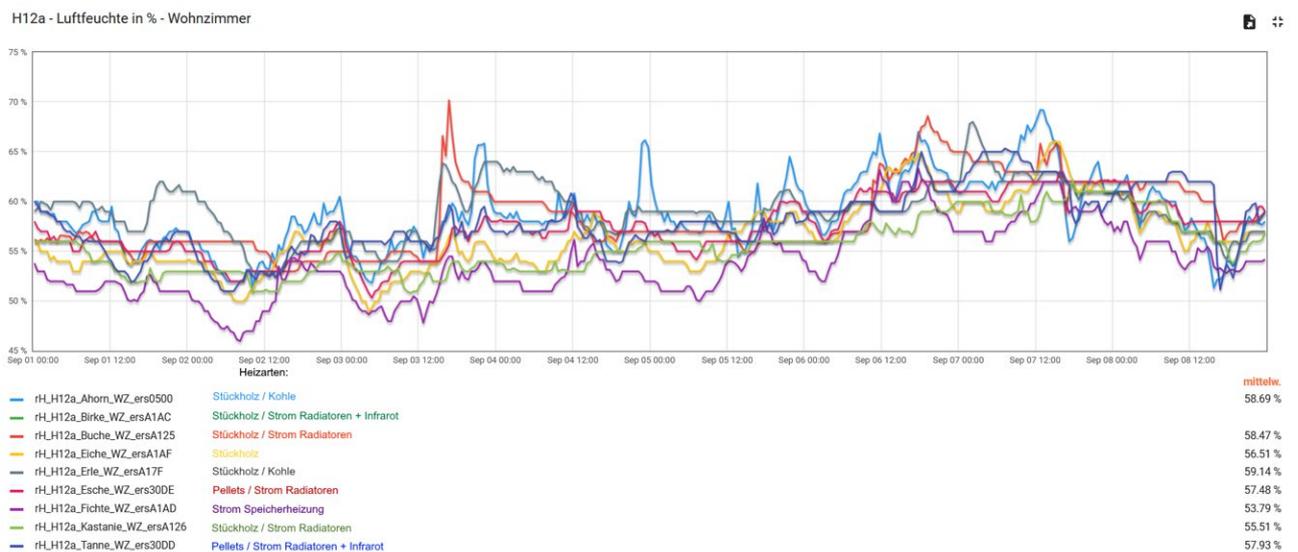
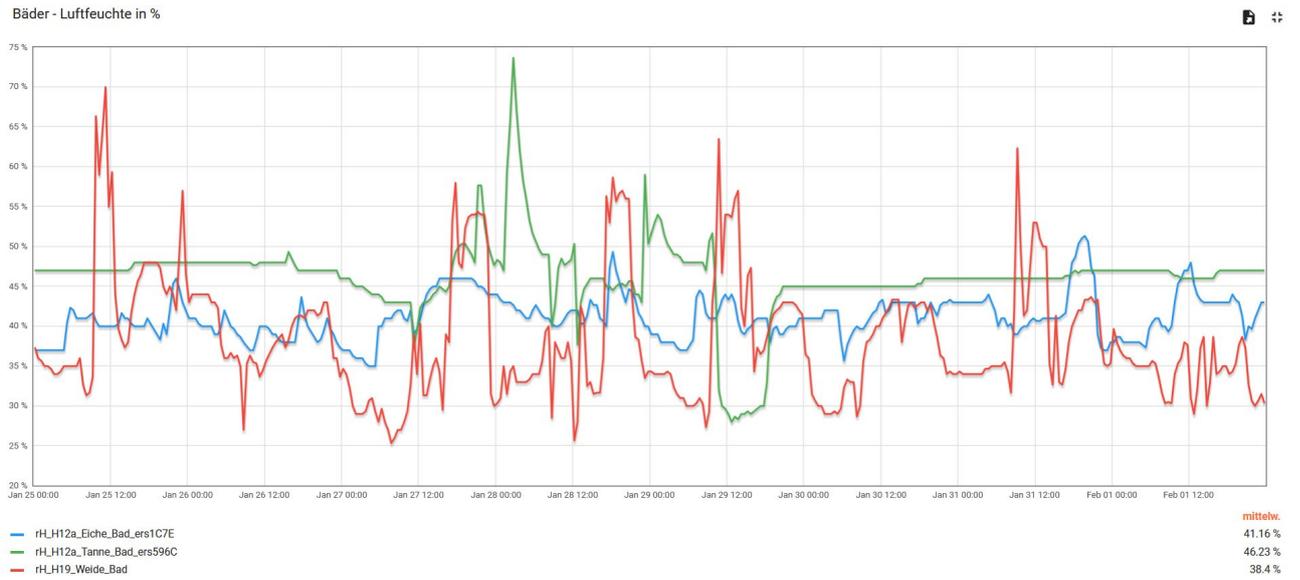


Abbildung 4.12: Haus 12a, rel. Feuchte, Wohnzimmer, typ. Woche Sommer 2022, Halbstundenmittelwerte

Der Vergleich Winter und Sommer verdeutlicht, dass die relative Luftfeuchtigkeit im Winter viel niedrigere Werte als im Sommer einnehmen kann (hier bis zu 18%).

Im Winter nahm die Luftfeuchtigkeit Werte bis zu 55% an, im Sommer wurden kurzzeitig maximal 70% gemessen. In der Regel lag der Wert aber bei etwa 55-60%. Bei zu diesen Werten sollte es noch zu keinen Feuchte- oder Schimmelschäden kommen.

**Rel. Luftfeuchtigkeit in den Bädern Haus 12a und Haus 19:**



**Abbildung 4.13: Haus 12a / 19, rel. Feuchte, Bäder, typ. Woche Winter 22/23, Halbstundenmittelwerte**

Wie erwartet, unterliegt die relative Luftfeuchtigkeit in den Bädern zumindest in den Wohnungen "Weide" und "Tanne" im Tagesverlauf starken Schwankungen.

#### 4.1.3 Kohlendioxidgehalt der Luft (CO<sub>2</sub>) in den Wohnzimmern

In den Wohnzimmern der beiden Häuser wurde zusätzlich der Kohlendioxidgehalt der Luft vermessen.

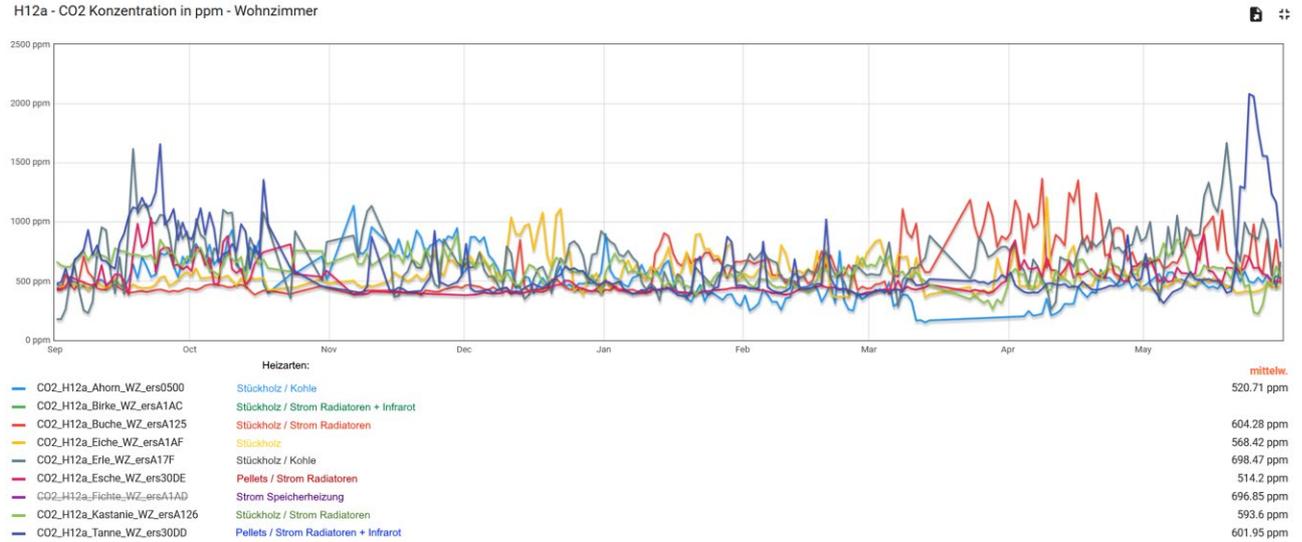
Der Sensor besitzt folgende Spezifikationen:

- Bereich, kalibriert: 0 - 2000 ppm
- Bereich, erweitert: 0 - 10000ppm
- Genauigkeit, kalibriert:  $\pm 50$  ppm /  $\pm 3$  % des Messwerts
- Genauigkeit, erweitert:  $\pm 10$  % des Messwerts

Der CO<sub>2</sub>-Sensor ist mit einer internen automatischen Kalibrieroutine ausgestattet, die eine Kalibrierung des Sensors auf den niedrigsten innerhalb der letzten acht Tage gemessenen Wert vornimmt. Bei der Interpretation der gemessenen Werte ist dieser Umstand zu berücksichtigen. Die automatische Kalibrierung ist nur dann zielführend, wenn der Sensor über einen Zeitraum von acht Tagen mindestens einmal einer frischen (gut belüfteten) Luft ausgesetzt war. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht dies anhand eines Beispiels, in dem der gemessene Wert des Kohlendioxidgehalts von Mitte März bis April unter 200 ppm liegt, obwohl die Außenluft einen Wert von mindestens 400 ppm aufweist. Dies verdeutlicht, dass die Messwerte in diesem Zeitraum nicht aussagekräftig sind.

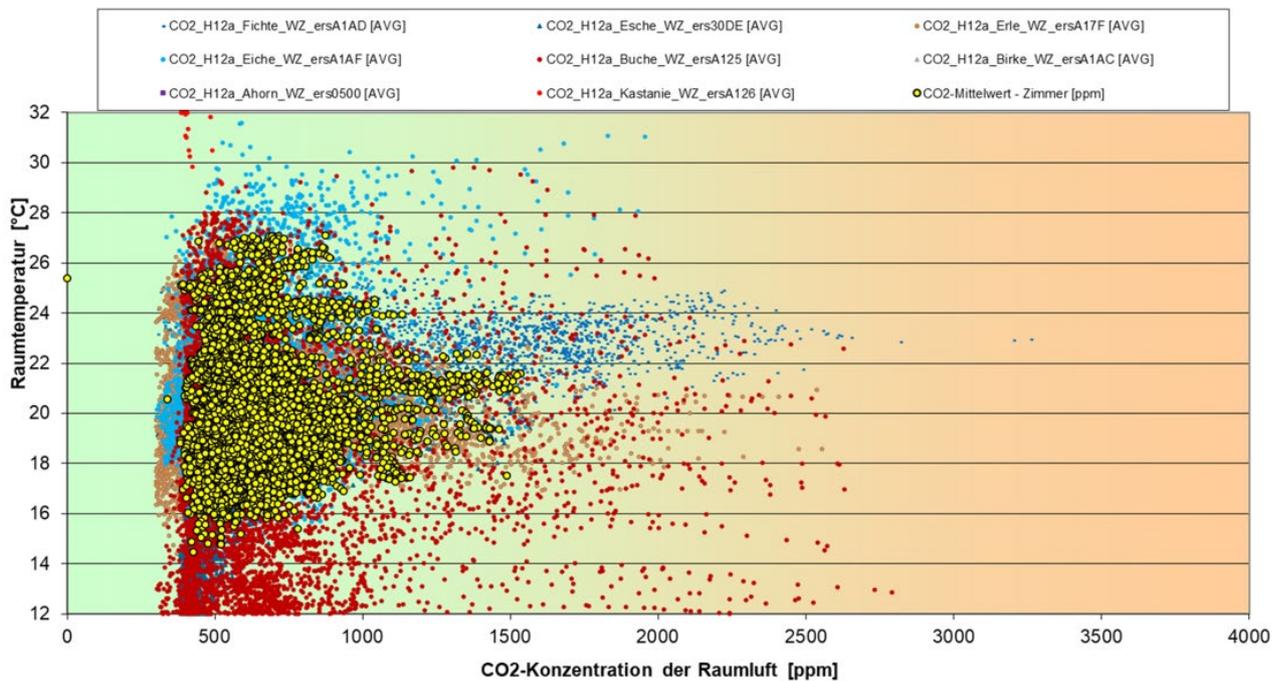
## Übersicht Winterhalbjahr:

H12a - CO2 Konzentration in ppm - Wohnzimmer



**Abbildung 4.14: Haus 12a, CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Tagesmittelwerte**

Die Kohlendioxidkonzentration weist über das gesamte Winterhalbjahr eine hohe Variabilität auf und bewegt sich in der Regel in einem Bereich zwischen 400 und 1000 ppm. Diese Werte zeigen, dass die Wohnungen auch im Winter ausreichend über die Fenster gelüftet werden, so dass bei der geringen Belegungsdichte (viele Wohnungen werden nur von einer Person bewohnt) ein Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf zu hohe Werte vermieden wird.

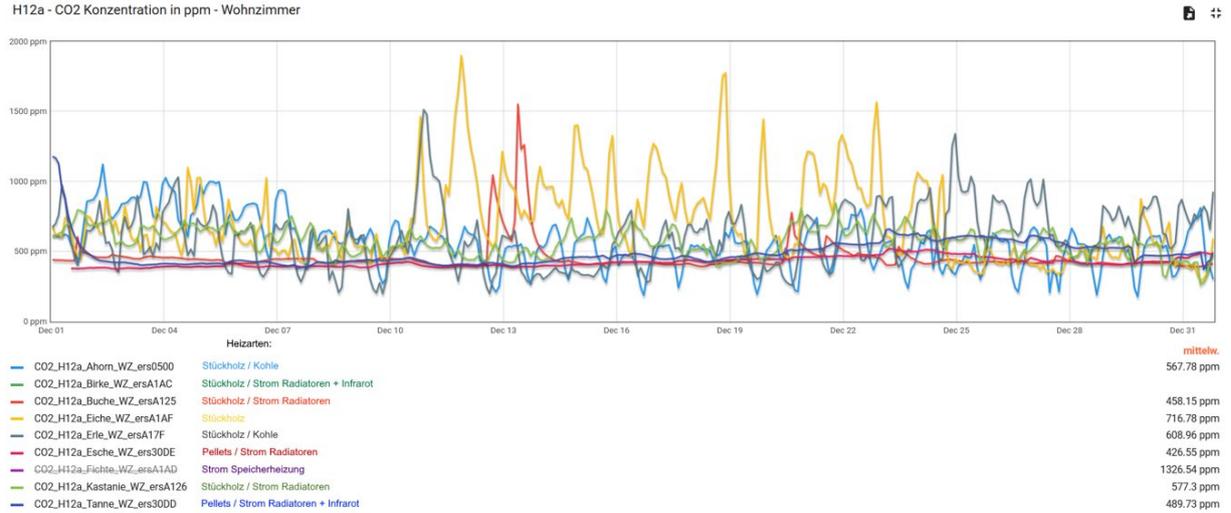


**Abbildung 4.15: Haus 12a, Raumtemperatur über CO<sub>2</sub>-Konzentration, Wohnzimmer, Sept 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte**

In dieser Abbildung werden die Raumtemperaturen sowie die jeweilige Kohlendioxidkonzentration als Punktwolke dargestellt. Auffällig ist die hohe Temperaturstreuung in den jeweiligen Wohnzimmern, was auf die unterschiedlichen Heizarten zurückzuführen ist. Auch ist der Bereich der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf 400 bis 1000 ppm in diesem Diagramm deutlich erkennbar. Die Mittelwerte der Kohlendioxidkonzentration der Wohnungen sind hier als gelbe Punkte dargestellt.

## Übersicht Dezember:

H12a - CO<sub>2</sub> Konzentration in ppm - Wohnzimmer

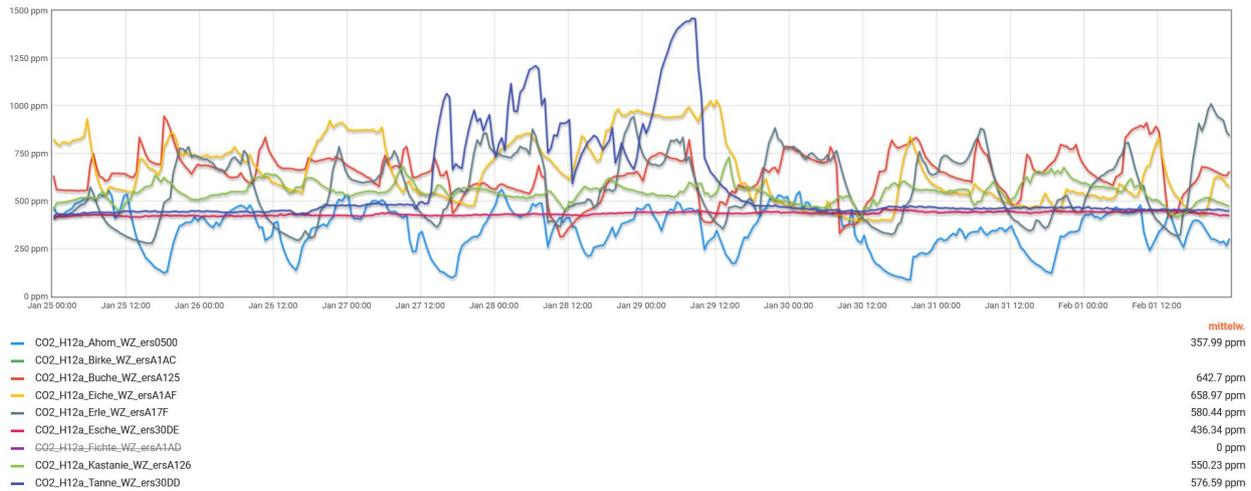


**Abbildung 4.16: Haus 12a, CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Dezember 2022, Stundenmittelwerte**

Eine detaillierte Analyse der Daten aus dem Monat Dezember erlaubt präzisere Rückschlüsse auf das Lüftungsverhalten der Bewohner. Die nachfolgende Abbildung zeigt dazu die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft für die typische Winterwoche Ende Januar 2023 bis Anfang Februar 2023.

## Typische Woche im Januar 2023:

H12a - CO<sub>2</sub> Konzentration in ppm - Wohnzimmer



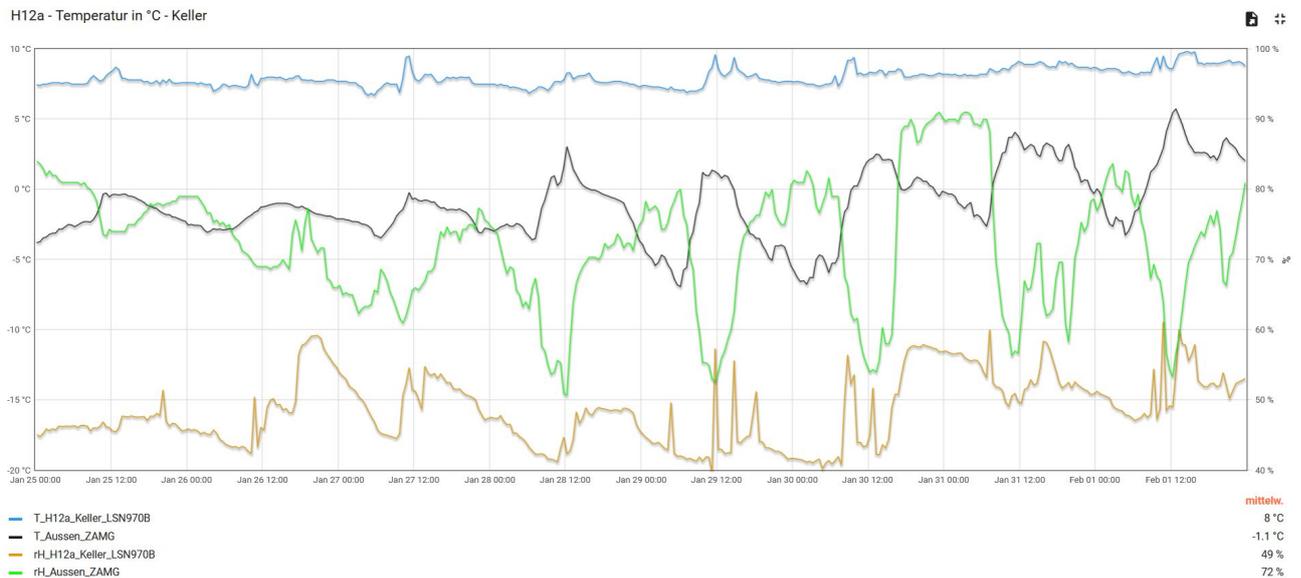
**Abbildung 4.17: Haus 12a, CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, typ. Woche Jan/Feb 2023, Halbstundenmittelwerte**

Eine detailliertere Analyse einer typischen Winterwoche ergibt folgende Erkenntnisse: Bei mehreren Wohnungen (beispielsweise Ahorn, Eiche) zeigt sich, dass die Kohlendioxidkonzentration im Verlauf des Tages abnimmt. Unter der Annahme, dass sich zu diesen Zeitpunkten keine Personen in den Räumlichkeiten aufhielten, könnten beispielsweise die Undichtigkeiten oder ein gekipptes Fenster als Ursache in Frage kommen. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Fenster im kalten Januar tagsüber in geschlossener Position verblieben, da die CO<sub>2</sub>-Konzentration langsam, aber stetig abnimmt (vgl. Erle). Im Gegensatz dazu steht beispielsweise das Lüftungsverhalten in der Wohnung Buche. Hier ist fast jeden Vormittag zwischen 10 und 12 Uhr ein rapider Abfall der CO<sub>2</sub>-Konzentration zu verzeichnen.

Zudem ist erkennbar, dass die Wohnung Esche in diesem Zeitraum nicht und die Wohnung Tanne nur zeitweise bewohnt waren.

## 4.2 Keller – Temperatur & Feuchte

### Typische Woche im Januar 2023:

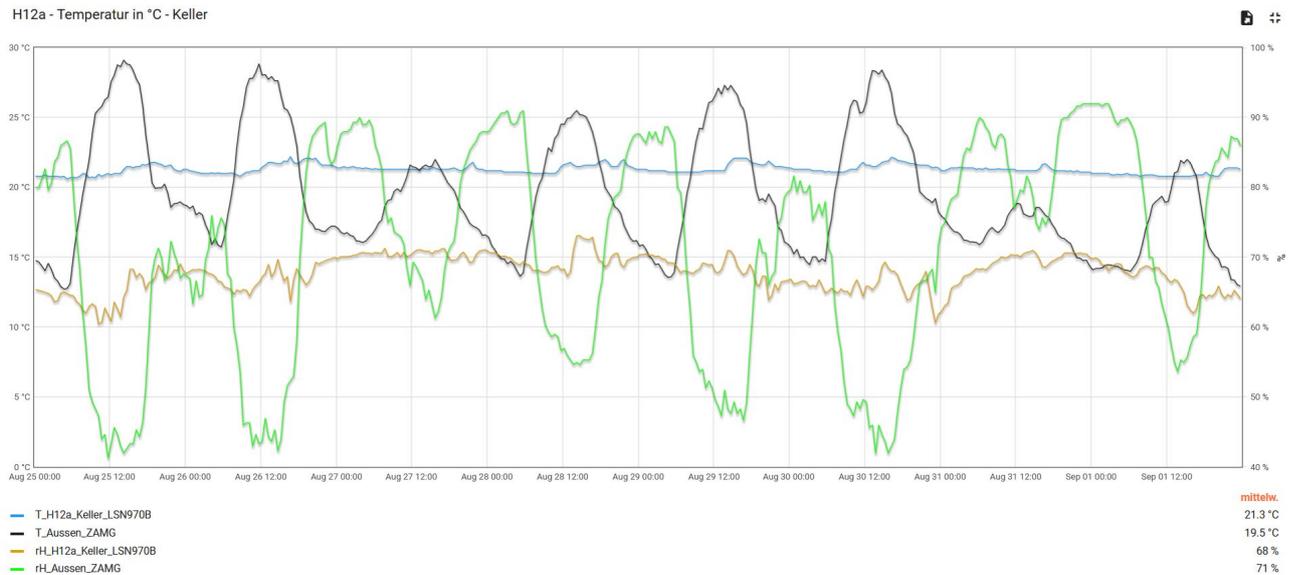


**Abbildung 4.18: Haus 12a, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, typ. Winterwoche Jan/Feb 2023, Halbstundenmittelwerte**

Der Sensor im Keller befindet sich etwa in der Mitte des Kellers im Flur in einer Höhe von 1,8 m. Die Raumlufttemperatur im Keller (blaue Kurve) befindet sich immer auf einem etwas höheren Niveau als die Außentemperatur (schwarz) und hat sich in der typischen Winterwoche auf Werte zwischen etwa 7 und 9,5°C eingependelt.

Die Luftfeuchtigkeit im Keller (braun) hängt ein wenig von der Außenluftfeuchtigkeit (grün) ab, ist aber insgesamt auf einem niedrigeren Niveau und schwankt zwischen 40 und 60%. Die Spitzen bei der Luftfeuchtigkeit entstehen wahrscheinlich durch den Gebrauch von Waschmaschinen und Trocknern.

Bei durchschnittlich 8°C und einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit im Keller von ca. 49% würde die Taupunkttemperatur bei ca. -2°C liegen.

**Typische Woche im Sommer 2022:**

**Abbildung 4.19: Haus 12a, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte, Keller, typ. Woche Sommer 2022, Halbstundenmittelwerte**

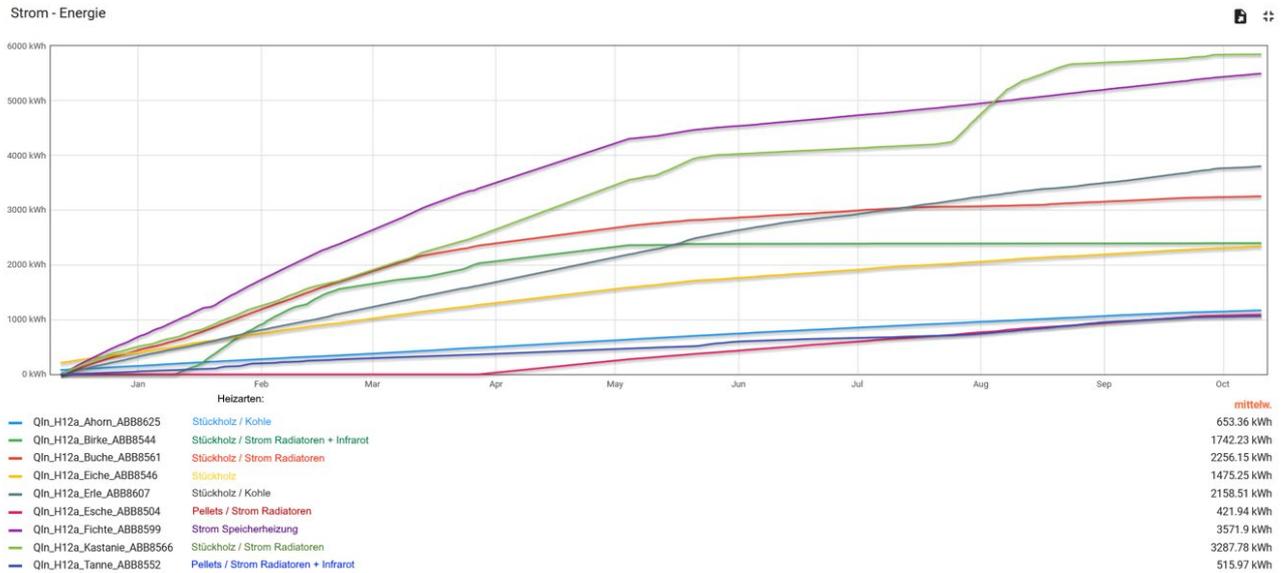
In einer typischen Sommerwoche mit hohen Außentemperaturen (schwarze Kurve) und hoher relativer Außenluftfeuchte (grün) ist die Kellertemperatur (hellblau) und die relative Luftfeuchte im Keller (orange) relativ konstant geblieben. Die rel. Feuchte lag in der dargestellten Sommerperiode zwischen 50 und 73%.

Bei durchschnittlich 21°C und einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit im Keller von ca. 68% läge die Taupunkttemperatur bei ca. 14,9°C.

Im Sommer ist eine relative Feuchtigkeit von 68 % als bedenklich einzustufen. Die Bildung von Schimmel im Keller ist in der Regel bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 65 % zu verzeichnen. Die meisten Schimmelarten entwickeln sich erst bei Werten über 70 %, einige bereits ab 65 %. Um Schimmelbildung vorzubeugen, sollte die Luftfeuchtigkeit im Keller idealerweise zwischen 50 % und 65 % gehalten werden.

### 4.3 Stromverbrauch der Wohnungen

Die erste Grafik zeigt den aufsummierten Zählerstand der einzelnen Wohnungen:



**Abbildung 4.20: Haus 12a, Strom - aufsummierter Zählerstand, Dezember 2022 bis Oktober 2023, Tageswerte**

Der erhöhte Strombedarf der mit Elektroheizungen ausgestatteten Wohnungen ist deutlich erkennbar. Die nachfolgende Tabelle präsentiert die entsprechenden Werte sowie den jährlichen Verbrauch.

**Anmerkung:** Bedauerlicherweise wurden die Stromzähler während der Sanierung im Oktober 2023 entfernt. Vor der Sanierung standen lediglich Messdaten über einen Zeitraum von zehn Monaten zur Verfügung, beginnend ab dem 12. Dezember 2022 bis zum 10. Oktober 2023. In der Folge war eine Hochrechnung des Jahresverbrauchs erforderlich.

Bei den Wohnungen ohne Elektroheizung wurde der Verbrauch aus den gemessenen Werten für 10 Monate auf 12 Monate hochskaliert. Bei den Wohnungen mit Elektroheizung wurden, da die beiden fehlenden Monate November und Dezember in die Heizperiode fallen, die beheizten Monate Januar und Februar doppelt berücksichtigt. Der so ermittelte Verbrauch liegt tendenziell etwas zu hoch, da der Verbrauch in der messtechnisch nicht erfassten Periode vom 11. Oktober bis zum 11. Dezember 23 etwas niedriger liegen sollte als in der gemessenen Periode Januar Februar 2023.

Wohnung	Personen	Heizart	Zählerstand 12. Dez. 22 [kWh]	Zählerstand 10. Okt 23 [kWh]	Verbrauch 10 Monate [kWh]	Verbrauch Jan-Feb 23	berechneter Verbrauch 12 Mon. [kWh]	Wohnfläche [m <sup>2</sup> ]	spez. Stromverbrauch [kWh/m <sup>2</sup> Wfl]
Ahorn	1	Holz / Kohle	81	1168	1087		1304	56	23
Birke	1	Holz / Strom Radiatoren + IR	0	2398	2398	1558	3956	56	71
Buche	1	Holz / Strom Radiatoren	1	3254	3253	1237	4490	56	80
Eiche	1	Stückholz	209	2339	2130		2556	56	46
Erle	3	Stückholz / Kohle	3	3803	3800		4560	56	81
Esche	1	Pellets / Strom Radiatoren	0	1093	1093		1421	56	25
Fichte	1	Strom Nachtspeicher	5	5494	5489	1675	7164	56	128
Kastanie	1	Holz / Strom Radiatoren	7	5851	5844	1190	7034	56	126
Tanne	1	Pellets / Strom Radiatoren + IR	1	1062	1061		1379	56	25

Tabelle 4.2: Haus12a, Stromverbrauch der einzelnen Wohnungen

Der spezifische Stromverbrauch pro Quadratmeter Wohnfläche weist eine hohe Variabilität in Abhängigkeit von der Art der Beheizung der Wohnungen auf. Mittels einer Abschätzung der Verbräuche für die elektrische Warmwasserbereitung und elektrische Heizung lassen sich die spezifischen Verbräuche der verschiedenen Energieanwendungen ermitteln. Eine detaillierte Erläuterung erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

Tagesverbräuche / Leistungen:

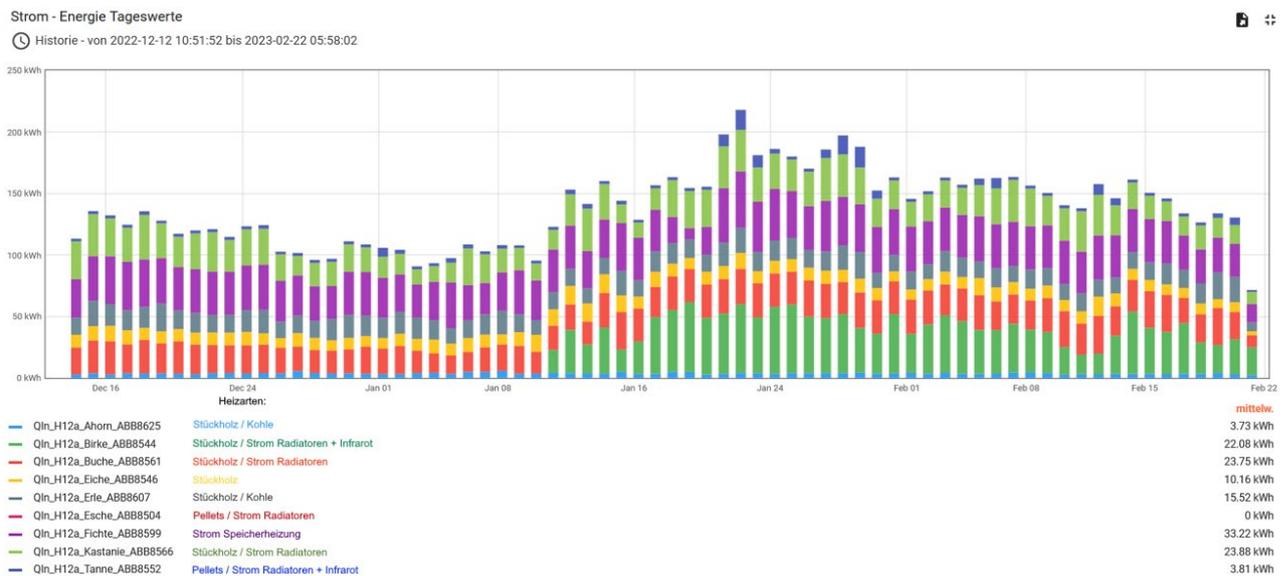


Abbildung 4.21: Haus 12a, Strom - Tagesverbräuche, Dezember 2022 bis Februar 2023

In den Tagesverbräuchen der einzelnen Wohnungen ist der Unterschied in den Verbräuchen der Wohnungen mit und ohne Elektroheizungen gut erkennbar. Die Heizung der Wohnung Birke (dunkelgrün) wurde am 11. Januar eingeschaltet, davor ist nur ein sehr geringer Stromverbrauch ersichtlich.

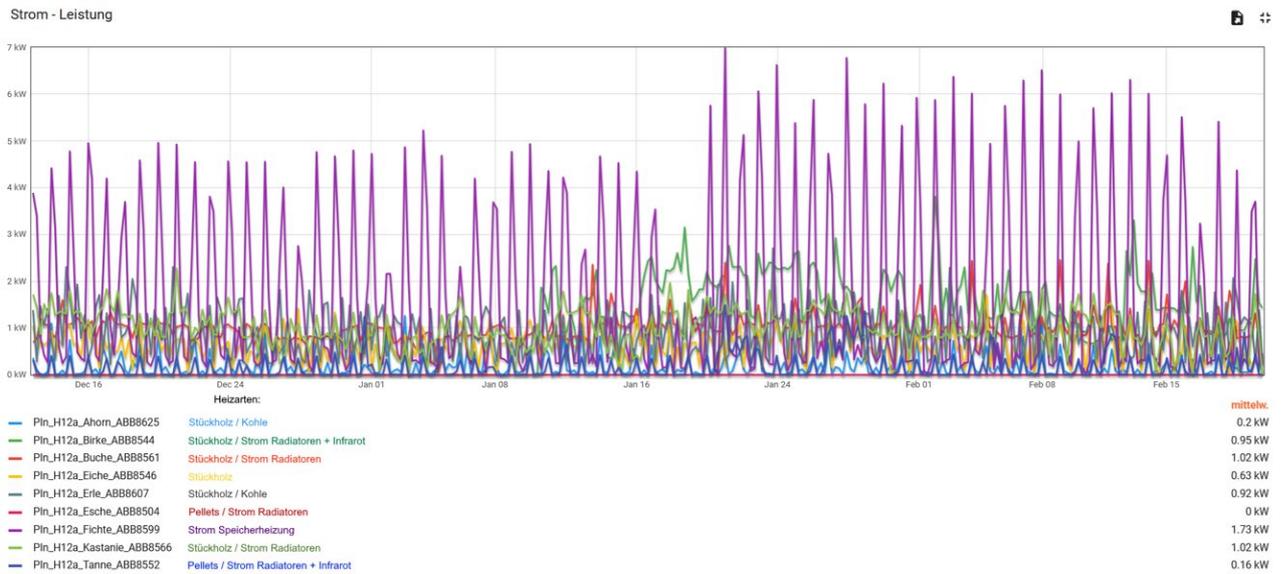


Abbildung 4.22: Haus 12a, elektrische Leistung, Wohnungen, Dez. 2022 bis Feb 2023, 5-Stunden-Mittelwerte

Die obige Abbildung veranschaulicht den signifikanten Unterschied im Stromverbrauch bzw. der Leistungsaufnahme, der durch die diversen Heizungsarten bedingt ist (rot, grün, lila). Insbesondere die Nachtspeicherheizungen in Wohnung Fichte verursachen in der Nacht, ab ca. 21 Uhr bis 5 Uhr früh, eine hohe Spitzenleistung, wie die lila Kurve verdeutlicht:

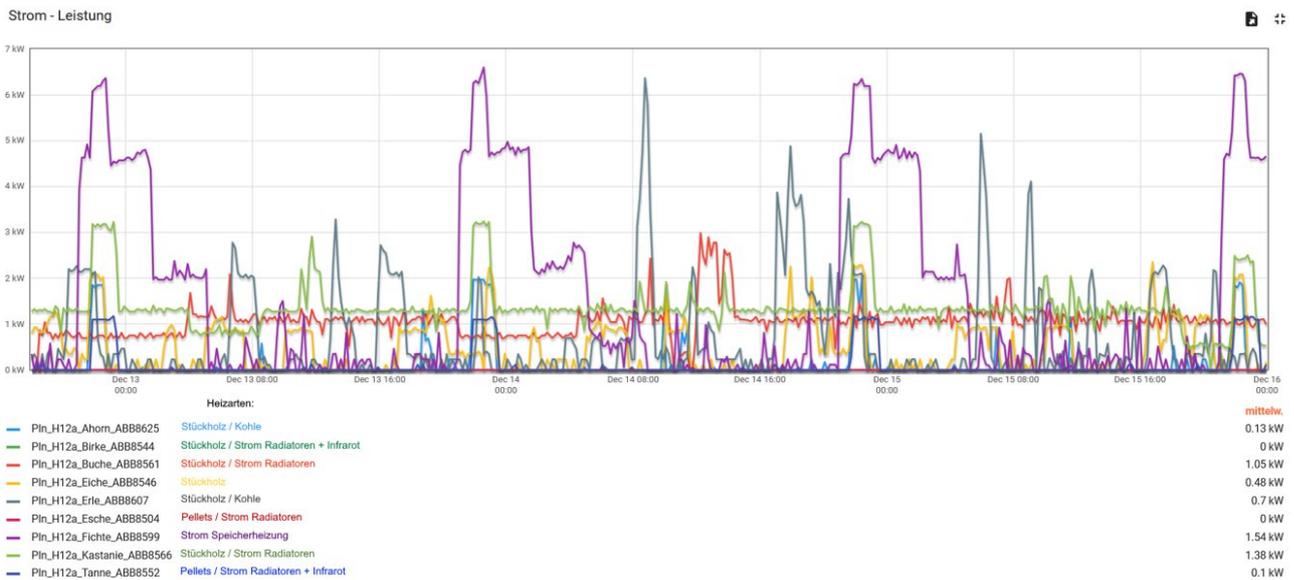
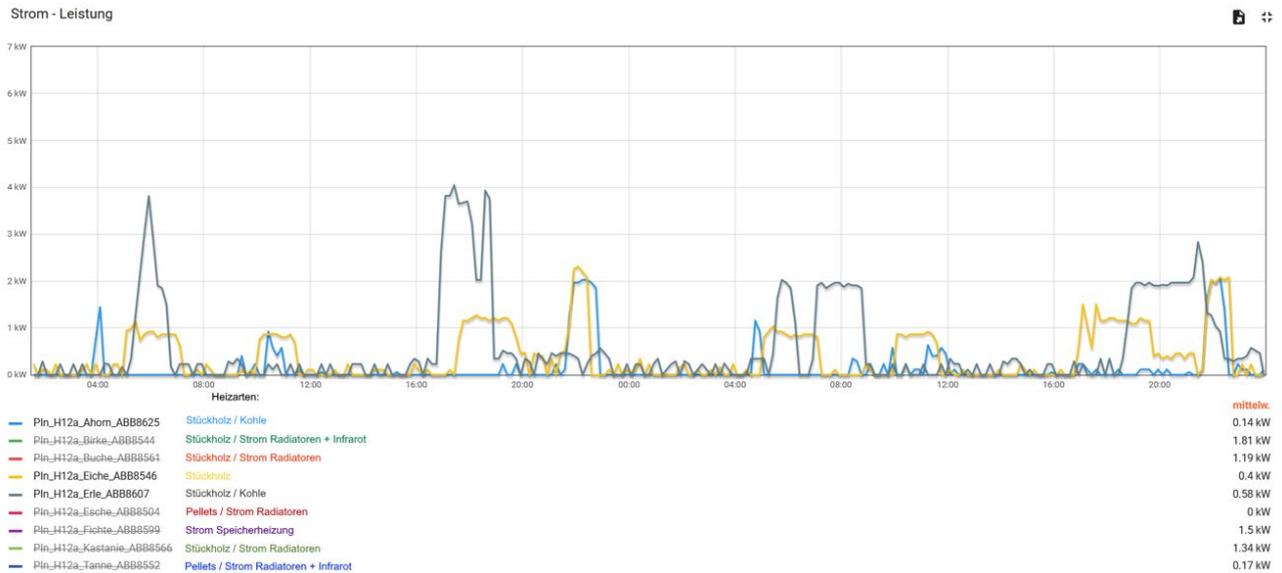


Abbildung 4.23: Haus 12a, elektrische Leistung, Wohnungen, 12. bis 16. Dez, Halbstundenmittelwerte

## Vergleich Wohnungen ohne und mit elektrischen Heizungen:

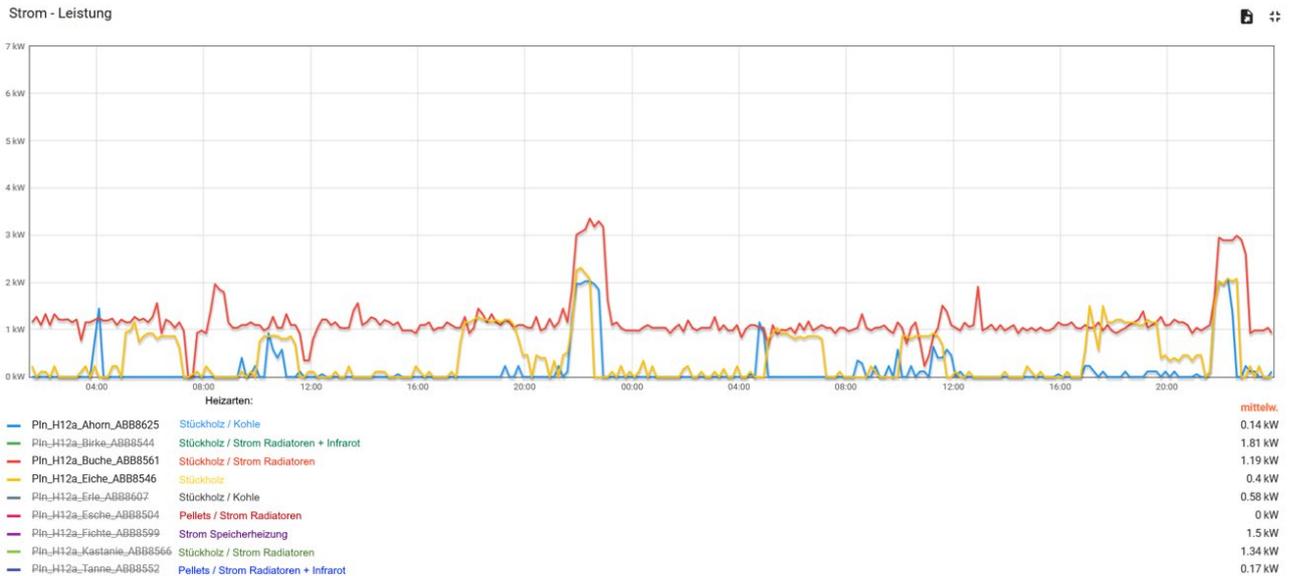


**Abbildung 4.24: Haus 12a, el. Leistungsaufnahme, nur Wohnungen ohne el. Heizung, 25.-26. Januar 2023**

In der vorliegenden Abbildung wurden ausschließlich Wohnungen ohne elektrische Heizung berücksichtigt, d.h., dass die dargestellten Leistungen insbesondere die Warmwasserbereitung durch Elektroboiler und/oder das Kochen abdecken. Es kann angenommen werden, dass in der Wohnung "Erle" das Duschen eher in den frühen Morgenstunden (5–6 Uhr) erfolgt und in den anderen beiden Wohnungen eher zu späteren Uhrzeiten (22–23 Uhr).

Bei den Wohnungen Kohle Ahorn und Eiche ist auch außerhalb des hier gezeigten Zeitraumes die meiste Zeit der Fall, dass der Stromverbrauch gegen 22 Uhr eine ähnliche Lastspitze zeigt.

Diese beiden Tage (25. und 26. Januar) wurden ausgewählt, da hier die Außentemperatur aufgrund der geringen Sonneneinstrahlung lediglich geringfügig zwischen  $-4\text{ °C}$  und  $-1\text{ °C}$  schwankte.



**Abbildung 4.25: Haus 12a, el. Leistungsaufnahme, Vergleich Wohnungen ohne/mit Stromheizung, 25.-26. Januar 2023**

Zum Vergleich wurde hier zusätzlich zu den beiden Wohnungen Ahorn und Eiche, ohne Stromheizung, die Wohnung Buche mit einer elektrischen Radiatorenheizung dargestellt. Hier ist sehr gut die „identische“ Lastspitze gegen 22 Uhr ersichtlich. Die Grundlast der roten Linie von gut 1 kW entsteht durch die Radiatorenheizung, die bei den kalten Außentemperaturen im Januar 2023 fast durchgehend heizt.

Das Integral dieser Lastspitzen, die höchstwahrscheinlich zum Warmwasserbereitung dient, ergibt eine Energie von ca. 1kWh (Laufzeit jeweils ca. 30 Min, Leistung 2kW). Diese Wohnungen waren jeweils nur mit einer Person belegt. D.h. pro Person Belegung wird von einer kWh für die Warmwasserbereitung pro Tag ausgegangen, dies entspricht einem Endenergieverbrauch<sub>WW</sub> von 365 kWh/a pro Person. Dieser Wert entspricht einem sparsamen Umgang mit Warmwasser, die meisten Literaturangaben und Messwerte liegen merklich höher. So liegt etwa der Nutzwärmebedarf für Warmwasser in PHPP bei Standardannahmen bei 520 kWh/a pro Person, nach SIA 2024 bei 591 kWh/a pro Person. Ein Grund für den vergleichsweise geringen Endenergieverbrauch für Warmwasser ist, dass die Bewohner einiger Wohnungen in der Messperiode länger abwesend waren.

Für die folgende Tabelle wird von einem Haushaltsstromverbrauch pro Person im Jahr von 1.200 kWh ausgegangen. Damit stimmen die überschlägliche Abschätzung der aufgeteilten Verbräuche in Haushalt, Warmwasser und Heizung mit der Rechnung überein. Dieser Wert liegt etwas niedriger, als der für das Jahr 2016 ermittelte Durchschnittswert für Einpersonenhaushalte ohne Berücksichtigung der el. Heizung und Warmwasserbereitung. Dieser liegt bei 1.392 kWh/a [1].

Die Tabelle kann nur als grobe Abschätzung dienen, da die Stromverbräuche nicht nach Anwendung getrennt vermessen wurden. Die Werte können aber als Grundlage für die Abschätzung der spezifischen Verbräuche für die Beheizung aus dem Gesamtverbrauch herangezogen werden.

Wohnung	Personen	Heizart	berechneter Verbrauch 12 Mon. [kWh]	Wohnfläche [m <sup>2</sup> ]	spez. Stromverbrauch [kWh/m <sup>2</sup> Wt]	geschätzter Verbrauch Haushalt [kWh]	geschätzter Verbrauch Warmwasser [kWh/Jahr]	geschätzter Verbrauch Heizung [kWh]	geschätzter spezif. Verbrauch Haushalt [kWh/m <sup>2</sup> ]	geschätzter spezif. Verbrauch Warmwasser [kWh/m <sup>2</sup> ]	geschätzter spezif. Verbrauch Heizung [kWh/m <sup>2</sup> ]
Ahorn	1	Holz / Kohle	1304	56	23	1200	365	0	21	7	0
Birke	1	Holz / Strom Radiatoren + IR	3956	56	71	1200	365	2391	21	7	43
Buche	1	Holz / Strom Radiatoren	4490	56	80	1200	365	2925	21	7	52
Eiche	1	Stückholz	2556	56	46	1200	365	0	21	7	0
Erle	3	Stückholz / Kohle	4560	56	81	3600	1095	0	64	20	0
Esche	1	Pellets / Strom Radiatoren	1421	56	25	1200	365	0	21	7	0
Fichte	1	Strom Nachtspeicher	7164	56	128	1200	365	5599	21	7	100
Kastanie	1	Holz / Strom Radiatoren	7034	56	126	1200	365	5469	21	7	98
Tanne	1	Pellets / Strom Radiatoren + IR	1379	56	25	1200	365	0	21	7	0

**Tabelle 4.3: Haus 12a, Abschätzung des absoluten und des spezifischen Stromverbrauchs je Anwendung**

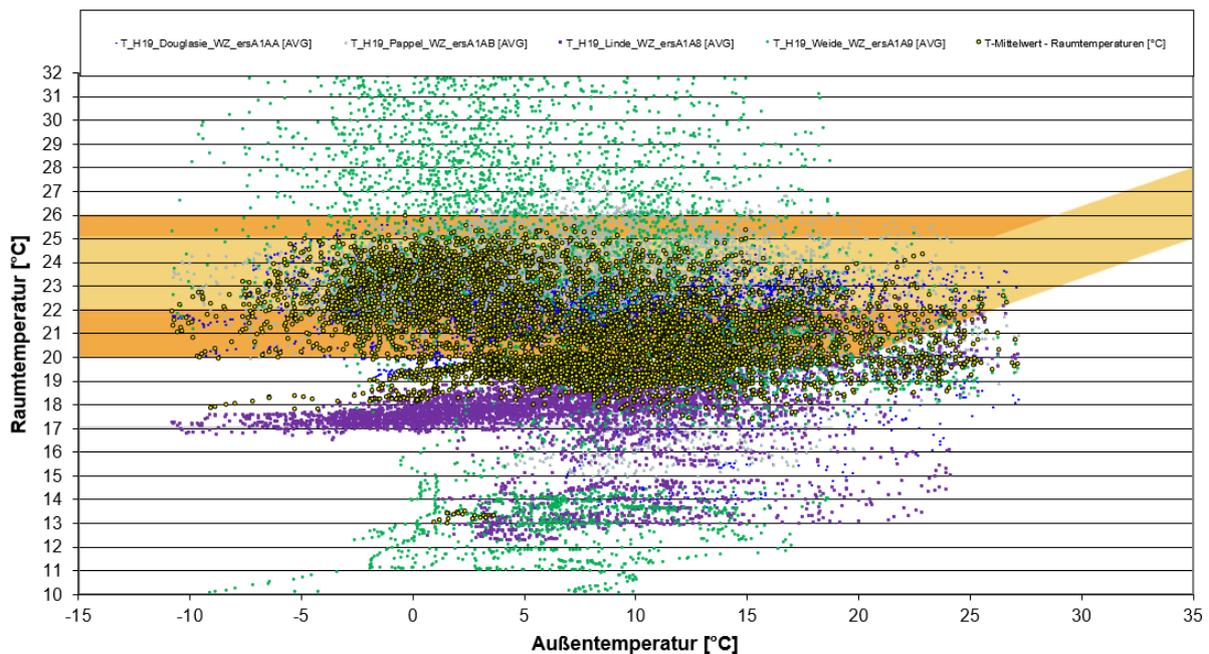
Der Schätzwert des spezifischen Endenergieverbrauchs für die Beheizung der einzigen rein elektrisch beheizten Wohnung (Fichte) liegt bei etwa 100 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>). Dieser Wert erscheint niedrig, zumal die Wohnung im Mittel der Heizperiode auf etwa 23° C beheizt wurde. Da die Wohnung jedoch als "Sandwichwohnung" oben und unten links und rechts an beheizte Wohnungen grenzt hat sie nur eine Außenfassade als Verlustfläche. Wird der Endenergieverbrauch<sub>Heizung</sub> dieser Wohnung in einer Verbrauchsprognoseberechnung mit PHPP mit der gemessenen mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur von 23°C berechnet, so ergibt sich bei Beheizung mit Nachtspeicheröfen ein Endenergieverbrauch von 106 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>). Der aus dem Gesamt-Stromverbrauch abgeschätzte Verbrauchswert ist damit plausibel. Wie groß der Lagevorteil der "Sandwich-Wohnung" ist zeigt ein Vergleich mit dem nach PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung für das Gesamtgebäude ermittelten Vergleichswert: würden alle Wohnungen mit Nachtspeicheröfen auf 23°C beheizt, so wäre ein Verbrauch von etwa 306 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>) zu erwarten.

## 5 Auswertungen Haus 19

Die Auswertungen für Haus 19 umfassen die Behaglichkeit in den Wohnungen und die Messungen im Keller.

### 5.1 Behaglichkeit in den Wohnungen

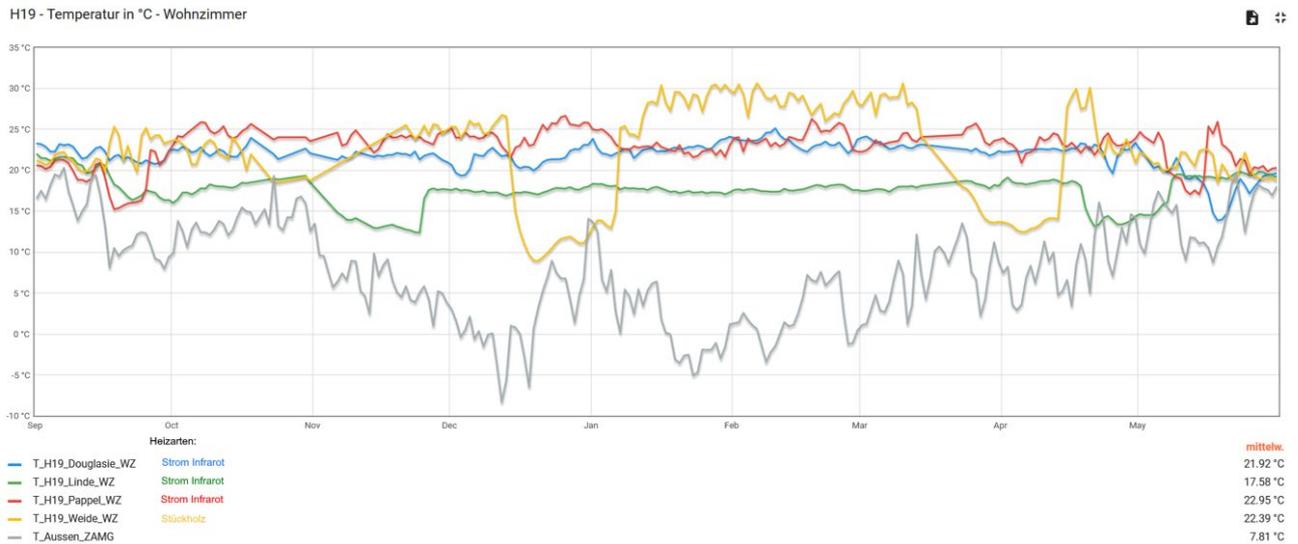
#### 5.1.1 Raumlufthtemperatur



**Abbildung 5.1:** Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte

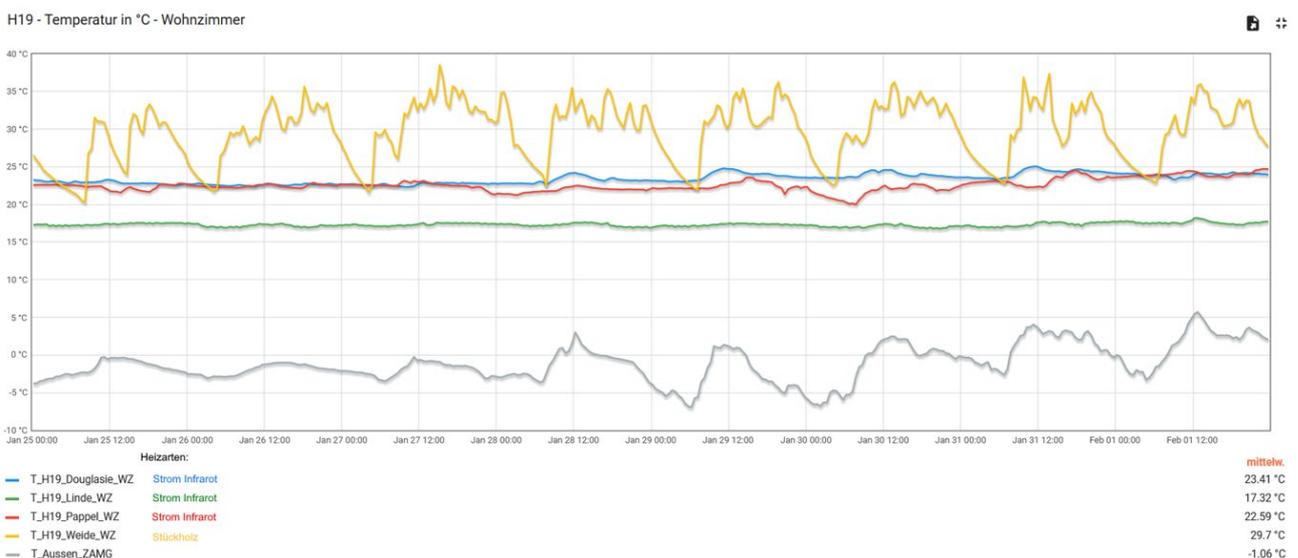
Wie schon für Haus 12a beschrieben, eignet sich diese Darstellung für einen ersten Überblick des Raumtemperaturkomforts im Winterhalbjahr. Jeder dargestellte Punkt entspricht einem Stundenmittelwert. Die orangenen Bereiche stellen dabei die für Menschen als behaglich empfundenen Bereiche dar. Die gemessenen Raumlufthtemperatur befinden sich eher im unteren Bereich des Behaglichkeitsfelds, nur bei Wohnung Linde (lila) befinden sich viele Punkte deutlich unterhalb. Die anderen 3 Wohnungen liegen konstanter im behaglichen Bereich. Heraus sticht aber auch die mit Stückholz beheizte Wohnung Weide (grün), dort befinden sich relativ viele Punkte im zu warm oder zu kalt empfundenen Bereich.

Für eine genauere Betrachtung werden nachfolgend wieder Liniendiagramme herangezogen.



**Abbildung 5.2: Haus 19, Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Tagesmittelwerte**

Ähnlich wie im Haus 12a sind die Raumlufttemperaturen ab Beginn der Heizperiode über den gesamten Winter hinweg stabil. Bei der Stückguttheizung (gelb) ist erkennbar, dass die Wohnung während der Weihnachtszeit für drei Wochen und im März/April für einen Monat lang nicht beheizt wurde.



**Abbildung 5.3: Haus 19, Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern, typ. Winterwoche Jan/Feb 2023, Halbstundenmittelwerte**

Hier lassen sich die unterschiedlichen Verläufe der Raumlufftemperatur im Wohnzimmer zwischen Stromheizung (konstante Verläufe) und des Holzofens (gelb) gut erkennen. In zwei der strombeheizten Wohnungen liegen die Raumlufftemperaturen in den Wohnzimmern meist in einem Bereich zwischen 22 und 25°C. Im Wohnzimmer der dritten strombeheizten Wohnung liegt die Raumlufftemperatur in einem Bereich von 17 bis 18°C. In der Wohnung mit Stückholzheizung liegt die Raumlufftemperatur über den gesamten dargestellten Zeitraum extrem hoch.

Einen Einfluss der solaren Erträge, in der zweiten Wochenhälfte, ist in den beiden Wohnungen Pappel und Douglasie zu erkennen. Im Gegensatz zur Auswertung von Haus 12a waren die beiden Wohnungen zu der Zeit jedoch bewohnt, was die Aussagekraft der Ergebnisse etwas einschränkt.

**Flächengewichtete Mittelwerte der Raumlufftemperaturen:**

In folgender Tabelle sind die flächengewichten Monatsmittelwerte der einzelnen Wohnungen sowie der Mittelwert über die Monate September 2022 bis Mai 2023 und Oktober 2022 bis März 2023 aufgetragen.

Zusätzlich wurde ein Mittel über alle Wohnungen für die beiden Zeiträume berechnet.

Wohnung	Pers.	Heizart	Wohnfl. [m <sup>2</sup> ]	Temp [°C]	Mittel Temp [°C]	Mittel Temp [°C]									
				Sep. 22	Okt. 22	Nov. 22	Dez. 22	Jan. 23	Feb. 23	März 23	April 23	Mai 23	Sep.-Mai 23	Okt.-März 23	
Douglasie	4	Strom Infrarot	71	22,02	22,29	21,79	21,35	22,70	23,47	22,56	22,49	18,75	21,94	22,36	
Linde	1	Strom Infrarot	57	19,27	17,77	14,42	17,48	17,65	17,76	17,97	16,73	17,65	17,41	17,18	
Pappel	2	Strom Infrarot	57	19,23	24,61	23,87	24,47	22,92	24,05	20,09	19,84	19,97	22,12	23,34	
Weide	3	Stückholz	71	22,11	22,21	24,89	17,51	25,21	28,43	19,19	18,82	20,19	22,06	22,91	
Mittel aller Wohnungen			64										21,00	21,57	

**Tabelle 5.1: Haus 19, flächengewichtete Monatsmittelwerte der Raumlufftemperaturen pro Wohnung**

Der flächengewichtete Mittelwert der Raumlufftemperatur aller Wohnungen von Okt bis März liegt bei knapp 21,6°C, der für die Periode von September bis Mai bei 21,0°C. Beide Werte liegen deutlich höher als die Annahme für die vorab durchgeführten PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen. In diesen Berechnungen wurde die mittlere Raumlufftemperatur mit 17,5°C angenommen. Da die Stromverbräuche für Haus 19 aus technischen Gründen nicht erfasst werden konnten, wurden die Verbrauchsprognoseberechnungen mit den gemessenen mittleren Raumlufftemperaturen als Grundlage zur Abschätzung der Energiekosten vor Sanierung aktualisiert.

Die Mittelwerte von drei Wohnungen liegen für die Periode von Oktober 22 bis März 23 bei 22,4 und 23,3°C, in einer Wohnung liegt der Mittelwert mit 17,2°C deutlich niedriger.

### 5.1.2 Relative Feuchte der Raumluft

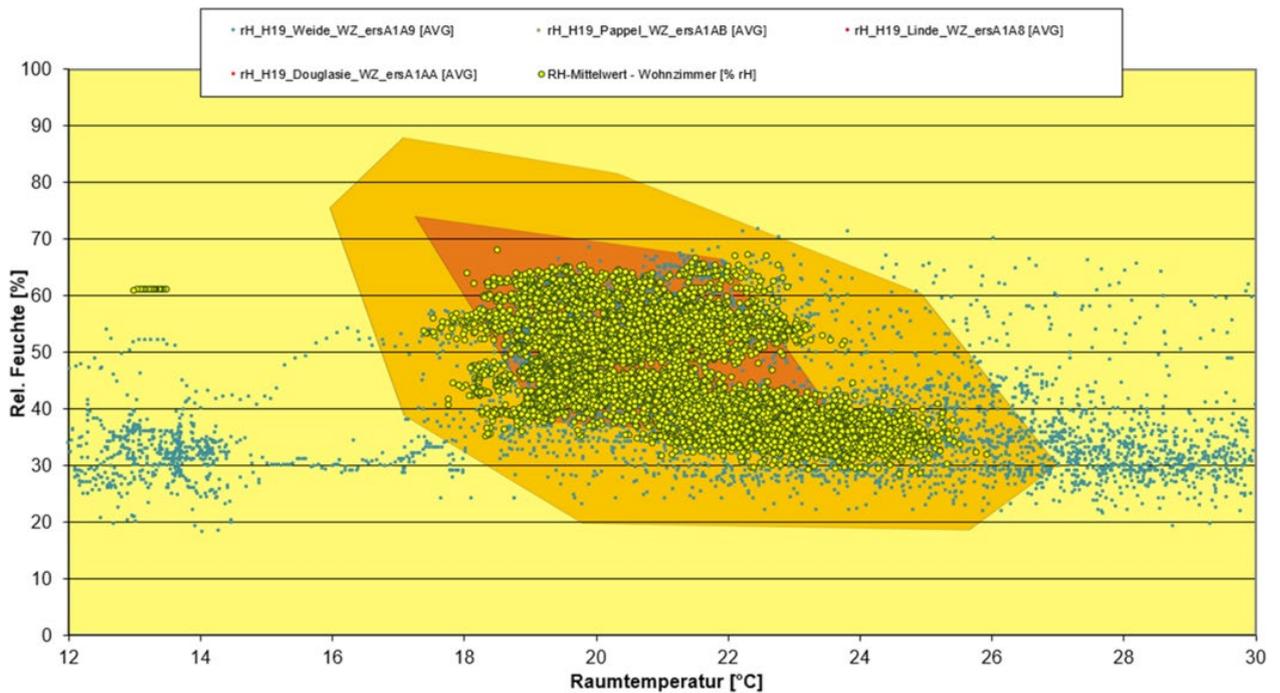


Abbildung 5.4: Haus 19, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Punktwolke, Stundenmittelwerte

Wie hier in der Darstellung rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur zu sehen ist, befinden sich die gemessenen Werte der relativen Feuchtigkeit von September bis Mai recht gut im behaglichen Bereich. Nur die Wohnung Weide mit Stückgutheizung fällt mit sehr niedrigen relativen Feuchten aus dem Rahmen. Ursache für diese niedrigen Feuchten sind die sehr hohen gemessenen Raumtemperaturen.

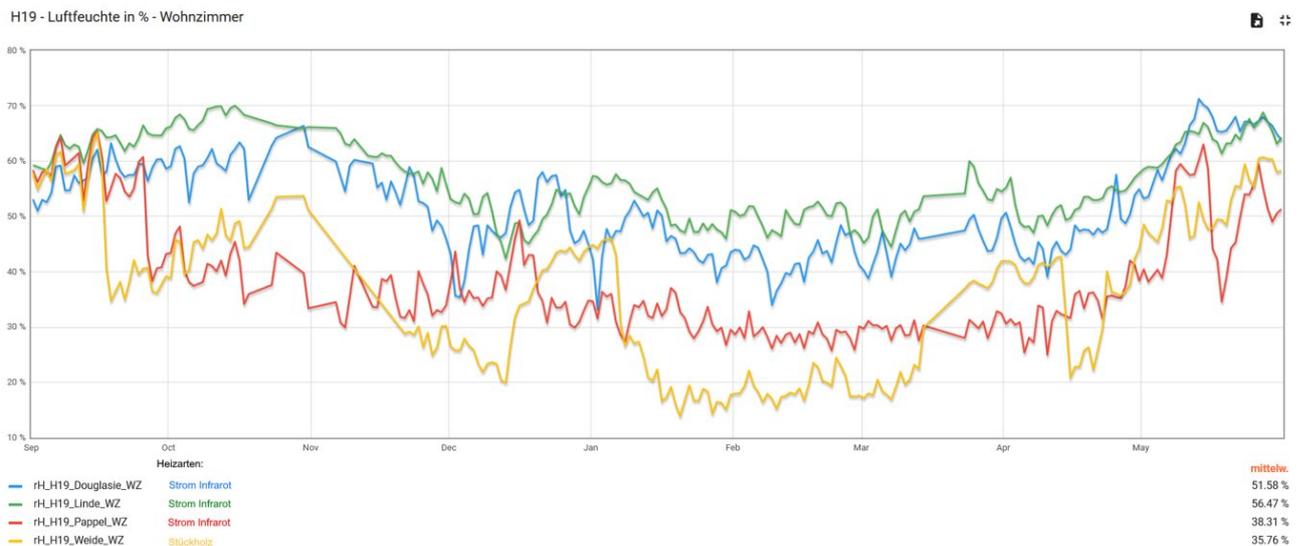


Abbildung 5.5: Haus 19, rel. Feuchte, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Tagesmittelwerte

Die Übersicht über das Winterhalbjahr zeigt die starke Abhängigkeit der rel. Feuchte von der Raumlufthtemperatur: Die höchsten rel. Feuchten treten in der Wohnung Linde auf, die auf eine deutlich niedrigere Temperatur beheizt wird als die anderen Wohnungen.

Deutlich zu niedrige relative Feuchten von unter 20% traten von Mitte Januar bis Anfang März in der Wohnung Weide auf, deren Mitteltemperatur im Wohnzimmer im Januar und Februar bei 25-28°C lag.

### Vergleich Winter- und Sommerwoche:

H19 - Luftfeuchte in % - Wohnzimmer

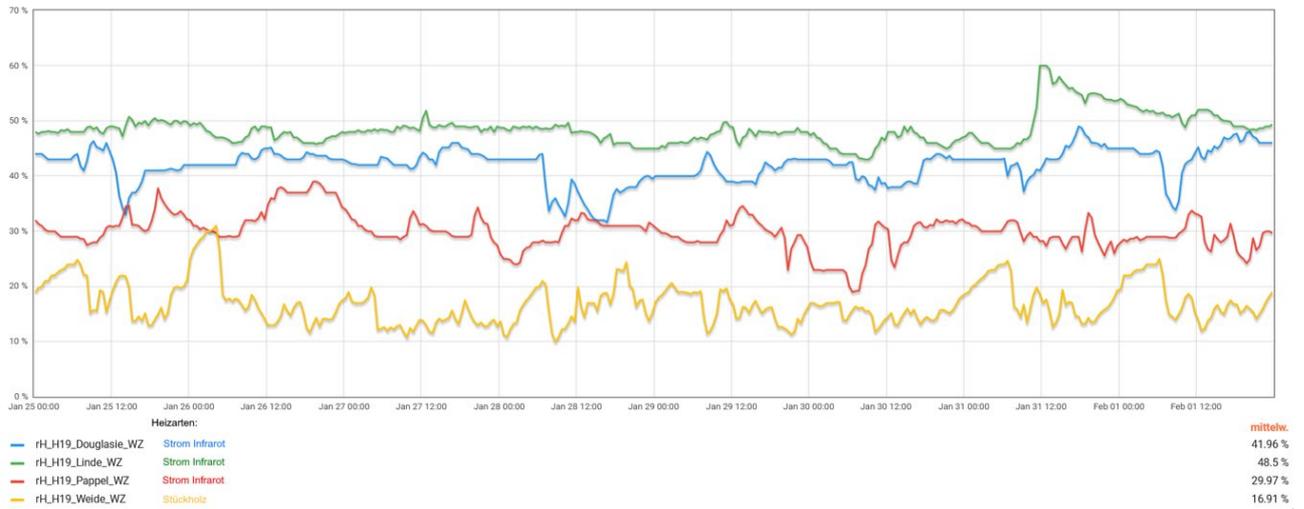


Abbildung 5.6: Haus 19, rel. Feuchte, Wohnzimmer, typ. Winterwoche Januar/Februar 2023, Halbstundenmittelwerte

H19 - Luftfeuchte in % - Wohnzimmer



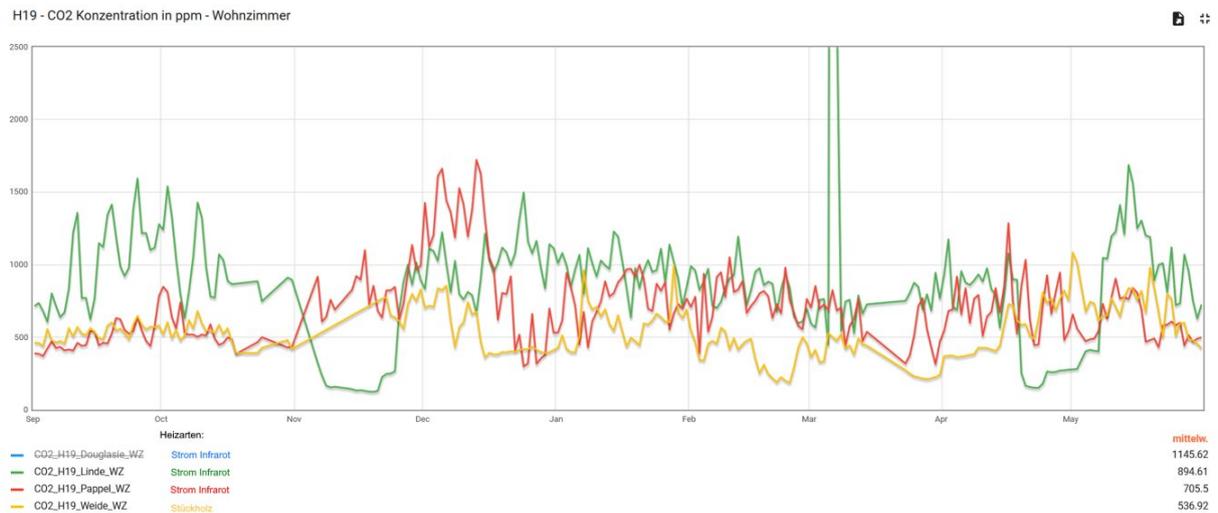
Abbildung 5.7: Haus 19, rel. Feuchte, Wohnzimmer, typ. Woche Sommer 2022, Halbstundenmittelwerte

Der Vergleich Winter und Sommer verdeutlicht, dass die relative Luftfeuchtigkeit im Winter viel niedrigere Werte als im Sommer einnehmen kann (hier bis zu 10%). Vor allem die Wohnung Weide mit Stückholzheizung sticht hier heraus.

Im Winter nahm die Luftfeuchtigkeit Werte bis zu 55% an, im Sommer wurden kurzzeitig maximal 70% gemessen. In der Regel lag der Wert aber auch im Sommer um 55-60%. Bei diesen Werten sollte es noch zu keinen Feuchte- oder Schimmelschäden kommen.

### 5.1.3 Kohlendioxidgehalt der Luft (CO<sub>2</sub>) in den Wohnzimmern

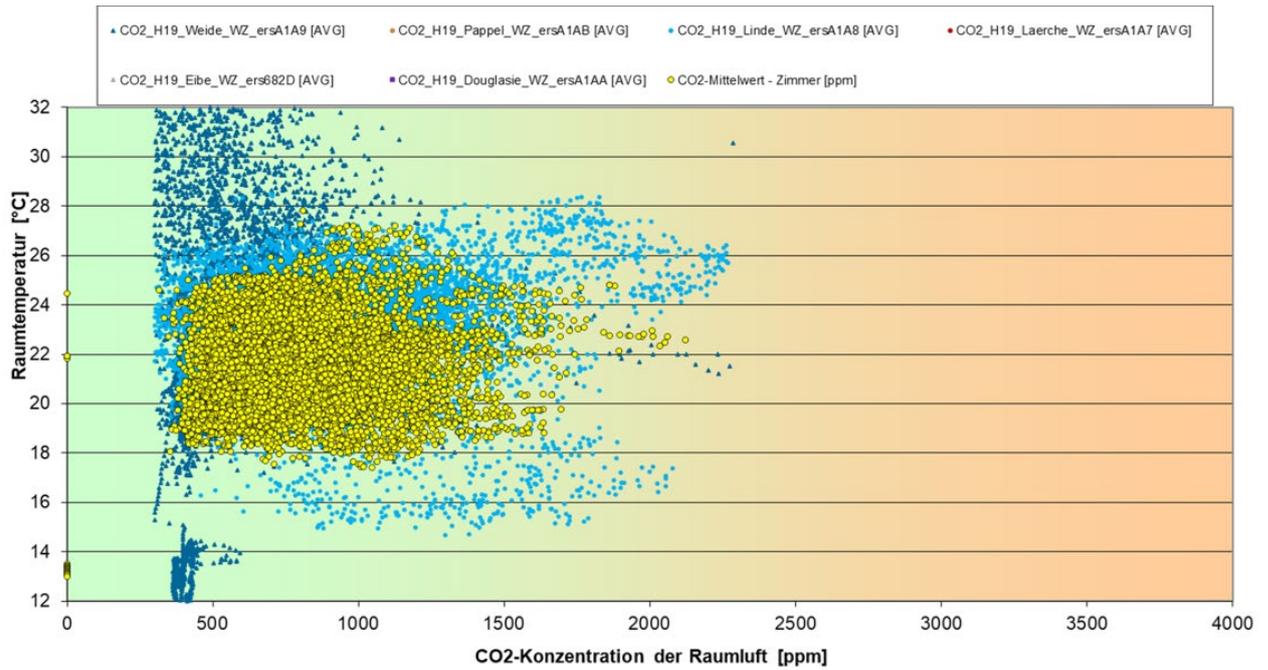
#### Übersicht Winterhalbjahr:



**Abbildung 5.8: Haus 19, CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Wohnzimmern, September 2022 bis Mai 2023, Tagesmittelwerte**

Die Kohlendioxidkonzentration weist über das gesamte Winterhalbjahr eine hohe Variabilität auf und bewegt sich in der Regel in einem Bereich zwischen 400 und 1500 ppm.

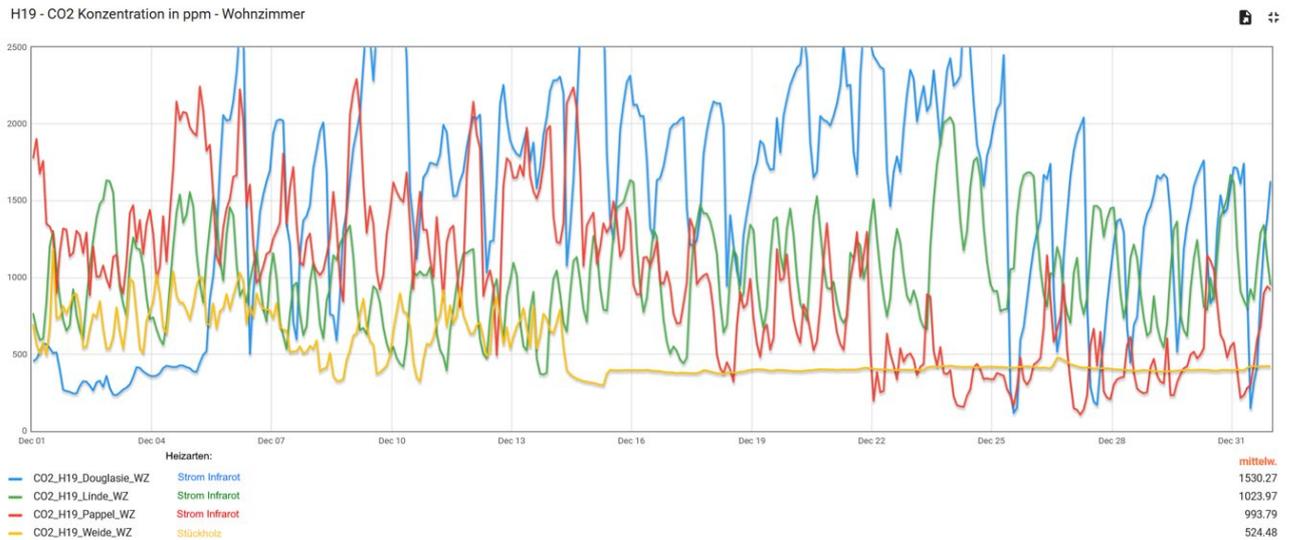
Der CO<sub>2</sub>-Sensor in der Wohnung Douglasie wies ab Februar eine signifikante Abweichung vom regulären Verhalten auf und lieferte ab März nur noch unplausible Werte. Aus diesem Grund wurde er aus der vorliegenden Grafik entfernt.



**Abbildung 5.9: Haus 9, Raumtemperatur über CO<sub>2</sub>-Konzentration, Wohnzimmer, Sept 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte**

In dieser Abbildung werden die Raumtemperaturen sowie die jeweilige Kohlendioxidkonzentration als Punktwolke dargestellt. Wie zu erkennen liegt die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluf meist zwischen 400 und 1500 ppm. Höhere Werte sind relativ selten, die Maximalwerte liegen bei etwa 2.300 ppm. Die Mittelwerte der Kohlendioxidkonzentration sind hier als gelbe Punkte dargestellt.

## Übersicht Dezember:



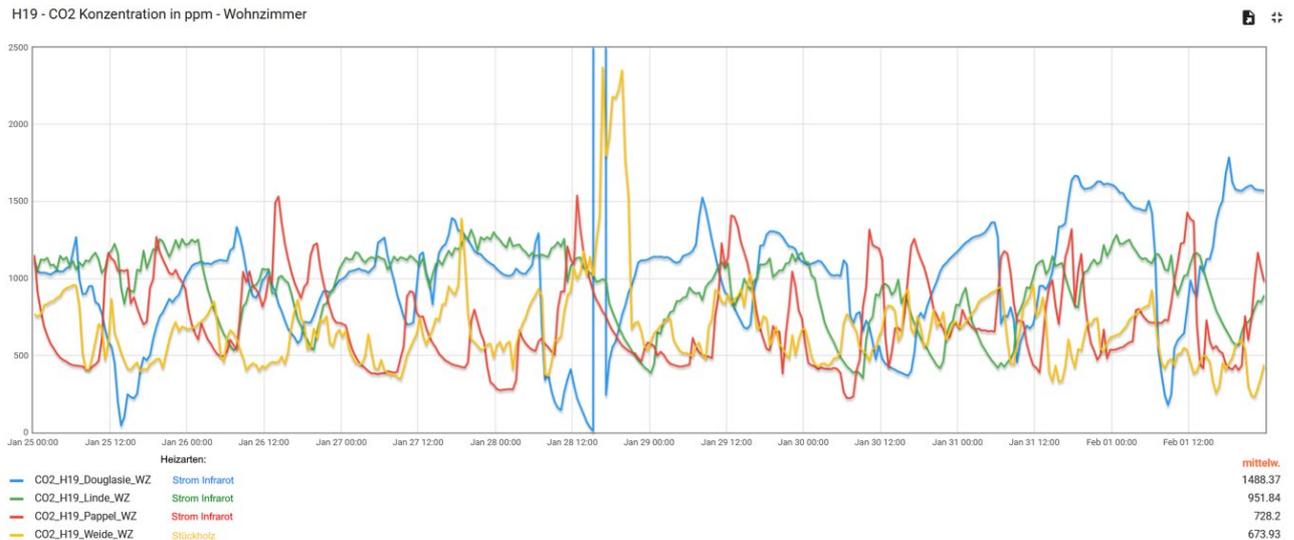
**Abbildung 5.10: Haus 19, CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Wohnzimmern, Dezember 2022, Stundenmittelwerte**

Auffällig ist, dass sich der CO<sub>2</sub>-Wert in der Wohnung 'gelb' vom 14.12.2022 bis zum 07.01.2023 nicht verändert und etwa dem Wert der Außenluft entspricht (400 ppm). Wie im Abschnitt „Temperaturen“ schon angedeutet, stand die Wohnung vermutlich 3 Wochen leer.

Der Sensor im Wohnzimmer der Wohnung Douglasie lieferte im Dezember noch plausible Werte und wurde deswegen hier noch dargestellt.

Ansonsten kann man gut die täglichen Schwankungen zwischen Tag und Nacht beobachten und auf das Lüftungsverhalten der Bewohner schließen. Am Abend stiegen die Werte jeweils an und im Laufe der Nacht kommt es zu einer Senkung der Kohlendioxidkonzentration.

## Typische Woche im Januar 2023:



**Abbildung 5.11: Haus 19, CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Wohnzimmern, typ. Winterwoche Januar/Februar 2023, Halbstundenmittelwerte**

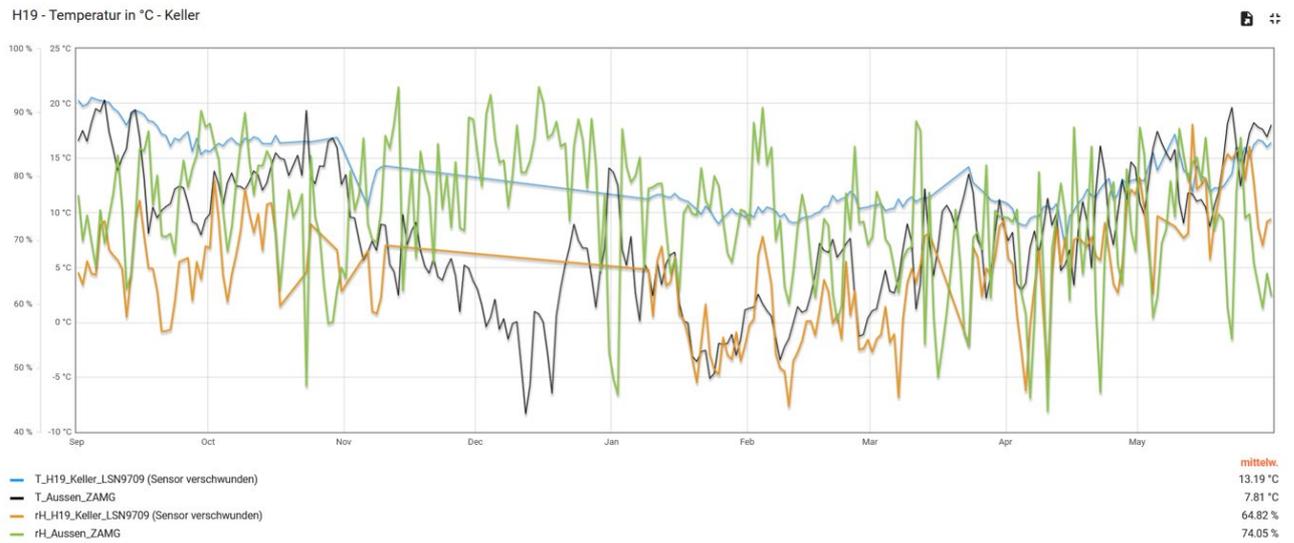
Abbildung 5.12 zeigt erneut die typische Winterwoche.

Eine detailliertere Analyse einer typischen Winterwoche ergibt folgende Erkenntnisse: Die höchsten Messwerte wurden bei der Wohnung Pappel (rote Kurve) stets um die Mittagszeit registriert. Bei der Wohnung Linde (grün) wurde tagsüber eine relativ konstante Kohlenstoffdioxidkonzentration verzeichnet, die über Nacht regelmäßig auf die Außenluftkonzentration abfiel. Demgegenüber blieben die CO<sub>2</sub>-Werte in der Wohnung Weide (gelb) relativ konstant. Die Messung ergab eine unregelmäßige Schwankung zwischen 400 und 1000 ppm, wobei keine klare Tendenz oder Struktur erkennbar war.

Die Ausreißer der blauen Kurve (Wohnung Douglasie) sind höchstwahrscheinlich auf einen sich anbahnenden Defekt des Sensors zurückzuführen. Der Sensor lieferte ab März 2023 nur noch unplausible Werte und fiel aus. Beispielsweise stieg der CO<sub>2</sub>-Wert am 28.01.2023 um 15:45 Uhr bis 17:00 Uhr auf 60.000ppm.

## 5.2 Keller – Temperatur & Feuchte

### Winterhalbjahr:



**Abbildung 5.12: Haus 19, Temperatur und rel. Feuchte im Keller, September 2022 bis Mai 2023, Tagesmittelwerte**

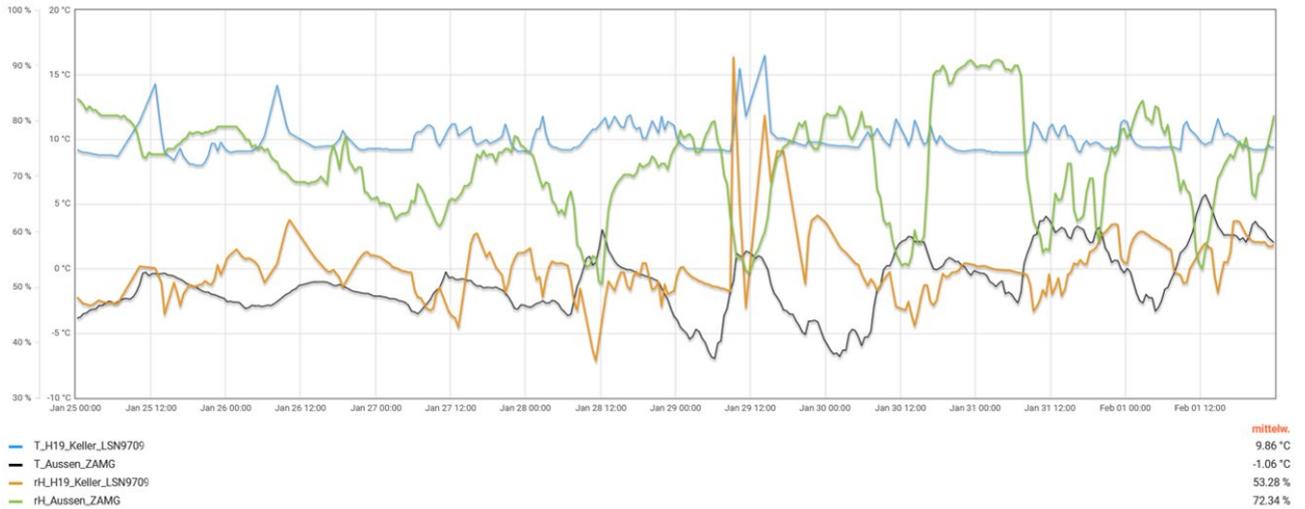
Die obige Abbildung zeigt die Raumlufttemperatur des Kellers (hellblau) und die relative Luftfeuchtigkeit (orange) in Korrelation mit der Außentemperatur (schwarz) und der relativen Luftfeuchte der Außenluft (grün).

In dem hier dokumentierten Zeitraum vom 10.11.2022 bis 09.01.2023 übermittelte der Temperatursensor keine Signale. Aus den vorhandenen Daten ist dennoch ersichtlich, dass die Temperaturverläufe und die relative Luftfeuchtigkeit stark mit den Werten der Außenluft korrelieren.

In den nachfolgenden Abbildungen wurde jeweils eine charakteristische Winter- und eine charakteristische Sommerwoche herangezogen.

**Typische Woche im Januar 2023:**

H19 - Temperatur in °C - Keller

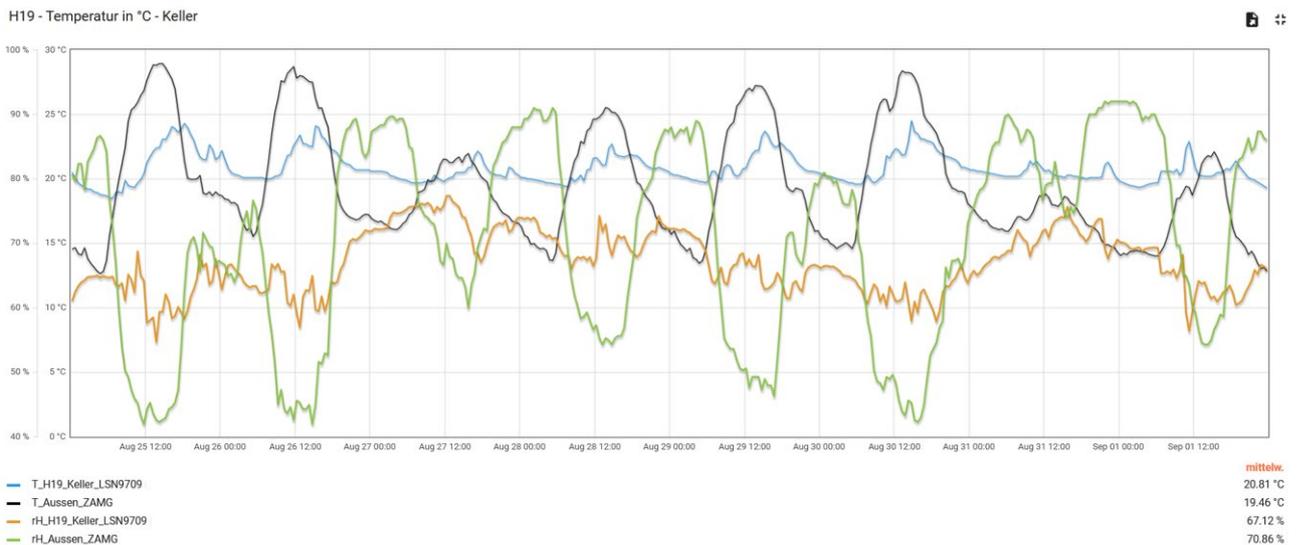


**Abbildung 5.13: Haus 19, Temperatur und rel. Feuchte im Keller, typ. Winterwoche Januar/Februar 2023, Halbstundenmittelwerte**

Die Temperatur im Keller (hellblau) weist in der Winterperiode immer eine etwas höhere Temperatur als die Außentemperatur (schwarz) auf und pendelte sich auf ein Minimum von ca. 9,9°C ein. Dieser Wert ist im Vergleich etwas höher als die Raumlufttemperatur im Keller von Haus 12a.

Die relative Luftfeuchtigkeit (orange) ist in geringem Maße von der Außenluftfeuchtigkeit (grün) abhängig, befindet sich jedoch insgesamt auf einem niedrigeren Niveau und weist Schwankungen zwischen 40 und 60 % auf. Die Spitzen der Luftfeuchtigkeit sind mutmaßlich auf den Einsatz von Waschmaschinen und Trocknern zurückzuführen.

## Typische Sommerwoche:



**Abbildung 5.14: Haus 19, Temperatur und rel. Feuchte im Keller, typ. Woche im Sommer 2022**

In der typischen Sommerwoche mit hohen Außentemperaturen (schwarze Kurve) und hoher relativer Außenluftfeuchte (grün) ist die Kellertemperatur (hellblau) und die relative Luftfeuchte (orange) im Keller nicht so konstant geblieben wie im Haus 12a. Die Kellertemperatur passte sich träge der Außenlufttemperatur an. Dementsprechend änderte sich auch die relative Feuchtigkeit im Keller und schwankte zwischen 55 und 77%.

Bei einer durchschnittlichen Temperatur von 20,8 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 67 % im Keller, würde die Taupunkttemperatur bei etwa 14,5 °C liegen. Am ungünstigsten Zeitpunkt (27. August, ca. 12 Uhr) wurde ein Taupunkt von ca. 15,7°C erreicht, bei einer Raumlufttemperatur von ca. 19,5°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 77%. Es ist anzunehmen, dass die Temperatur der ungeheizten Kellerwände im taupunktkritischen Bereich lag, wenngleich dies nicht vermessen wurde.

Wie bereits im entsprechenden Kapitel zu Haus 12a dargelegt, ist im Sommer eine relative Feuchtigkeit im Keller von über 65 % in Bezug auf Schimmel als bedenklich einzustufen. Die meisten Schimmelarten entwickeln sich bei Werten über 70 %, einige bereits ab 65 %. Um Schimmelbildung vorzubeugen, sollte die Luftfeuchtigkeit im Keller idealerweise zwischen 50 % und 65 % gehalten werden.

Die relative Feuchte im Keller von Haus 19 lag im Sommer 2022 in einem Bereich, der Schimmelschäden befürchten lässt.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Gebäudetyp klein (Foto EIV) .....	9
Abbildung 2.2: Gebäudetyp groß (Foto M.Fortenbacher) .....	9
Abbildung 2.3: kleiner Gebäudetyp, Grundriss 1. Obergeschoß, ohne Maßstab .....	10
Abbildung 2.4: großes Gebäude, Grundriss 1. Obergeschoß, ohne Maßstab .....	10
Abbildung 3.1: Messschema Gebäude 12a .....	16
Abbildung 3.2: Messschema Gebäude 19 .....	17
Abbildung 3.3: LoRaWAN Beispielabbildung .....	18
Abbildung 4.1: Haus 12a, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte .....	20
Abbildung 4.2: Haus 12a, Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Tagesmittelwerte .....	21
Abbildung 4.3: Haus 12a, Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern, typische Woche Winter 2022/23, Halbstundenmittelwerte .....	22
Abbildung 4.4: Haus 12a, Temperaturverlauf in den Wohnzimmern, typische Woche Winter 2022/23, Einfluss der Globalstrahlung in den unbewohnten Wohnungen, Halbstundenmittelwerte .....	23
Abbildung 4.5: Haus 12a, Raumlufttemperatur im Wohnzimmer der Wohnung Ahorn, typische Winterwoche Ende Januar/Anfang Februar 2023, Halbstundenmittelwerte .....	24
Abbildung 4.6: Haus 12a, Raumlufttemperaturen in drei Räumen der Wohnung Eiche, typische Winterwoche Ende Januar/Anfang Februar 2023, Halbstundenmittelwerte .....	25
Abbildung 4.7: Haus 12a, Raumlufttemperaturen in drei Räumen der Wohnung Fichte, typische Winterwoche Ende Januar/Anfang Februar 2023, Halbstundenmittelwerte .....	26
Abbildung 4.8: Haus 12a, Raumlufttemperaturen in drei Räumen der Wohnung Tanne, typische Winterwoche Ende Januar/Anfang Februar 2023, Pellets und Strom-Radiatoren, Halbstundenmittelwerte .....	27
Abbildung 4.10: Haus 12a, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte .....	29
Abbildung 4.11: Haus 12a, rel. Feuchte, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Tagesmittelwerte .....	30
Abbildung 4.12: Haus 12a, rel. Feuchte, Wohnzimmer, typ. Woche Winter 2022/23, Halbstundenmittelwerte .....	31
Abbildung 4.13: Haus 12a, rel. Feuchte, Wohnzimmer, typ. Woche Sommer 2022, Halbstundenmittelwerte .....	31
Abbildung 4.14: Haus 12a / 19, rel. Feuchte, Bäder, typ. Woche Winter 22/23, Halbstundenmittelwerte .....	32
Abbildung 4.15: Haus 12a, CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Tagesmittelwerte .....	34
Abbildung 4.16: Haus 12a, Raumtemperatur über CO <sub>2</sub> -Konzentration, Wohnzimmer, Sept 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte .....	35
Abbildung 4.17: Haus 12a, CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Dezember 2022, Stundenmittelwerte .....	36
Abbildung 4.18: Haus 12a, CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, typ. Woche Jan/Feb 2023, Halbstundenmittelwerte .....	37
Abbildung 4.19: Haus 12a, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, typ. Winterwoche Jan/Feb 2023, Halbstundenmittelwerte .....	38
Abbildung 4.20: Haus 12a, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte, Keller, typ. Woche Sommer 22, Halbstundenmittelwerte .....	39
	60

Abbildung 4.21: Haus 12a, Strom - aufsummierter Zählerstand, Dezember 2022 bis Oktober 2023, Tageswerte	40
Abbildung 4.23: Haus 12a, Strom - Tagesverbräuche, Dezember 2022 bis Februar 2023 .....	41
Abbildung 4.24: Haus 12a, elektrische Leistung, Wohnungen, Dez. 2022 bis Feb 2023, 5-Stunden-Mittelwerte..	42
Abbildung 4.25: Haus 12a, elektrische Leistung, Wohnungen, 12. bis 16. Dez, Halbstundenmittelwerte .....	42
Abbildung 4.26: Haus 12a, el. Leistungsaufnahme, nur Wohnungen ohne el. Heizung, 25.-26. Januar 2023 .....	43
Abbildung 4.27: Haus 12a, el. Leistungsaufnahme, Vergleich Wohnungen ohne/mit Stromheizung, 25.-26. Januar 2023 .....	44
Abbildung 5.1: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte.....	46
Abbildung 5.2: Haus 19, Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Tagesmittelwerte .....	47
Abbildung 5.3: Haus 19, Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern, typ. Winterwoche Jan/Feb 2023, Halbstundenmittelwerte .....	47
Abbildung 5.5: Haus 19, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Punktelwolke, Stundenmittelwerte.....	50
Abbildung 5.6: Haus 19, rel. Feuchte, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Tagesmittelwerte.....	50
Abbildung 5.7: Haus 19, rel. Feuchte, Wohnzimmer, typ. Winterwoche Januar/Februar 2023, Halbstundenmittelwerte .....	52
Abbildung 5.8: Haus 19, rel. Feuchte, Wohnzimmer, typ. Woche Sommer 2022, Halbstundenmittelwerte.....	52
Abbildung 5.9: Haus 19, CO <sub>2</sub> -Konzentration in den Wohnzimmern, September 2022 bis Mai 2023, Tagesmittelwerte .....	53
Abbildung 5.10: Haus 9, Raumtemperatur über CO <sub>2</sub> -Konzentration, Wohnzimmer, Sept 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte.....	54
Abbildung 5.11: Haus 19, CO <sub>2</sub> -Konzentration in den Wohnzimmern, Dezember 2022, Stundenmittelwerte.....	55
Abbildung 5.12: Haus 19, CO <sub>2</sub> -Konzentration in den Wohnzimmern, typ. Winterwoche Januar/Februar 2023, Halbstundenmittelwerte .....	56
Abbildung 5.13: Haus 19, Temperatur und rel. Feuchte im Keller, September 2022 bis Mai 2023, Tagesmittelwerte .....	57
Abbildung 5.14: Haus 19, Temperatur und rel. Feuchte im Keller, typ. Winterwoche Januar/Februar 2023, Halbstundenmittelwerte .....	58
Abbildung 5.15: Haus 19, Temperatur und rel. Feuchte im Keller, typ. Woche im Sommer 2022 .....	59

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Kenndaten der beiden Mustergebäude vor Sanierung.....	9
Tabelle 4.1: : Haus 12a, flächengewichtete Monatsmittelwerte der Raumlufthtemperaturen pro Wohnung.....	28
Tabelle 4.2: Haus12a, Stromverbrauch der einzelnen Wohnungen .....	41
Tabelle 4.3: Haus 12a, Abschätzung des absoluten und des spezifischen Stromverbrauchs je Anwendung .....	45
Tabelle 5.1: Haus 19, flächengewichtete Monatsmittelwerte der Raumlufthtemperaturen pro Wohnung.....	49

## Literatur

- [1] W. Bittermann: Strom- und Gastagebücher 2008/2012/2016: Strom- und Gaseinsatz sowie Energieeffizienz österreichischer Haushalte; Auswertung Gerätebestand und -einsatz – Projektbericht; Statistik Austria, Direktion Raumwirtschaft, Energie, Wien 2018