

# 7 Anhang

**Anlage 1: Thermische Gebäudesimulation**

**Anlage 2: Raumklimamessungen**

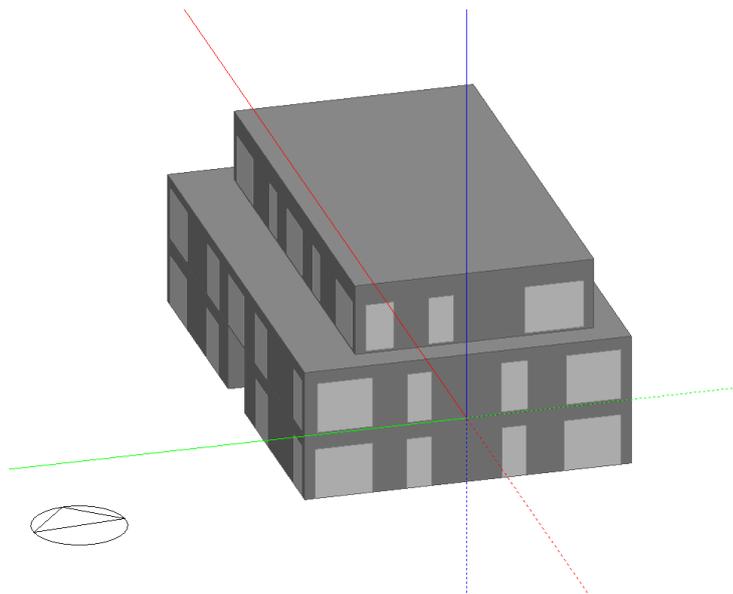
## Thermische Gebäudesimulation

### Bauvorhaben Tonpfeiffengasse

Bei dem untersuchten Gebäude handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten und einer Bruttogrundfläche von 773 m<sup>2</sup>. Die gesamte Gebäudehülle ist in Passivhausqualität projektiert. Das Gebäude wird über thermisch aktivierte Bauteile beheizt und gekühlt, welche von einer Luft/Wasser Wärmepumpe an gespeist werden. Die Warmwasserbereitung erfolgt wohnungsweise mittels Kleinstwärmepumpen, die die Wärme aus den Bauteilen nutzen um das Warmwasser auf ein höheres Temperaturniveau zu heben. Ebenfalls ist eine Photovoltaikanlage mit ca. 10 kWp geplant, die zusätzlich Strom für den Betrieb der Wärmepumpen liefert. Das Gebäude verfügt über keine Lüftungsanlage.

### Randbedingungen thermische Simulation

- Bauteilaufbauten entsprechend Energieausweis (24.09.2018)
- Nutzungsprofil Wohnen
- Variation Luftwechsel zw. 0,3 – 0,5 1/h (Abluftanlage, ohne WRG)
- Luftdichtheit n50 = 1,0 1/h
- Raumsolltemperatur 22°C



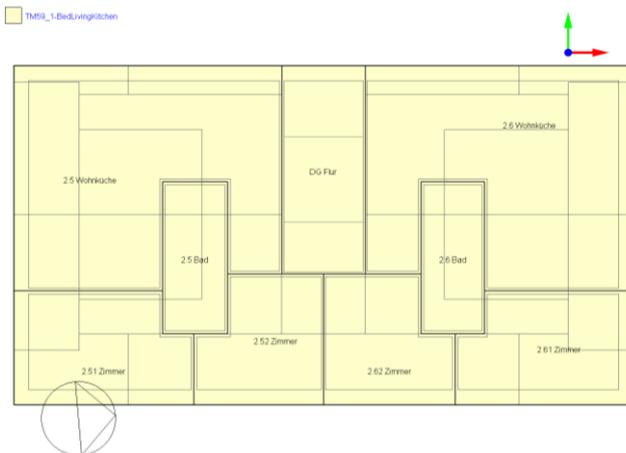
# Zonierung



EG



OG



DG

# Stationäre Heizlast

In der nachfolgenden Tabelle ist die stationäre Heizlast für die einzelnen Zonen ausgewiesen. Bei der Berechnung werden solare und innere Gewinne nicht mitberücksichtigt.

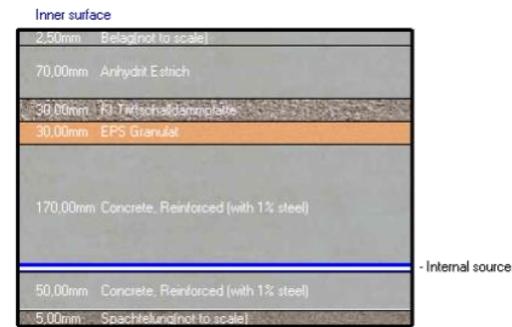
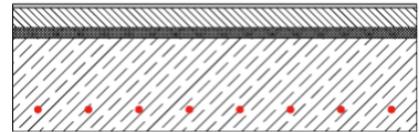
Maximum = 36 W/m<sup>2</sup>

Zone	Comfort Temperature (°C)	Steady-State Heat Loss (kW)	Design Capacity (kW)	Design Capacity (W/m <sup>2</sup> )
<b>Building 1 Total Design Heating Capacity = 14,880 (kW)</b>				
<b>-EG Total Design Heating Capacity = 5,380 (kW)</b>				
2.1 Zimmer	21,42	0,26	<b>0,26</b>	25,2941
EG AR	21,42	0,16	<b>0,16</b>	27,5369
2.4 Zimmer	21,42	0,25	<b>0,25</b>	25,2014
2.4 Wohnküche	21,46	0,87	<b>0,87</b>	22,8835
2.1 Wohnküche	21,46	0,87	<b>0,87</b>	22,8890
EG Flur	21,56	0,29	<b>0,29</b>	14,2781
2.4 Bad	21,77	0,10	<b>0,10</b>	17,0927
2.2 Wohnküche	21,46	0,87	<b>0,87</b>	22,9611
2.3 Wohnküche	21,45	0,87	<b>0,87</b>	23,0021
2.3 Bad	21,77	0,10	<b>0,10</b>	17,1268
2.2 Zimmer	21,33	0,27	<b>0,27</b>	28,8896
2.3 Zimmer	21,33	0,27	<b>0,27</b>	28,9177
2.2 Bad	21,77	0,10	<b>0,10</b>	17,0935
2.1 Bad	21,77	0,10	<b>0,10</b>	17,0714
<b>-DG Total Design Heating Capacity = 5,230 (kW)</b>				
2.2 Zimmer	21,33	0,31	<b>0,31</b>	24,6409
DG Flur	21,53	0,32	<b>0,32</b>	18,9131
2.3 Zimmer	21,32	0,31	<b>0,31</b>	24,6909
2.3 Zimmer	21,04	0,38	<b>0,38</b>	35,0594
2.2 Flur	21,78	0,17	<b>0,17</b>	29,0421
2.3 Flur	21,78	0,17	<b>0,17</b>	30,2891
2.3 Bad	21,85	0,12	<b>0,12</b>	13,8641
2.3 Zimmer	21,43	0,24	<b>0,24</b>	23,1078
2.1 Flur	21,79	0,17	<b>0,17</b>	30,5375
2.4 Flur	21,79	0,17	<b>0,17</b>	31,9170
2.4 Bad	21,85	0,12	<b>0,12</b>	13,8058
2.4 Zimmer	21,43	0,24	<b>0,24</b>	22,8661
2.1 Zimmer	21,40	0,36	<b>0,36</b>	22,2046
2.4 Zimmer	21,40	0,36	<b>0,36</b>	22,2383
2.4 Zimmer	21,13	0,35	<b>0,35</b>	33,1810
2.2 Zimmer	21,06	0,37	<b>0,37</b>	34,5951
2.1 Zimmer	21,13	0,35	<b>0,35</b>	33,1906
2.2 Zimmer	21,43	0,24	<b>0,24</b>	22,9267
2.2 Bad	21,85	0,12	<b>0,12</b>	13,8665
2.1 Zimmer	21,43	0,24	<b>0,24</b>	22,9217
2.1 Bad	21,85	0,12	<b>0,12</b>	13,8203
<b>-DG Total Design Heating Capacity = 4,270 (kW)</b>				
DG Flur	21,33	0,27	<b>0,27</b>	35,9062
2.6 Wohnküche	21,20	1,08	<b>1,08</b>	27,3556
2.5 Wohnküche	21,19	1,08	<b>1,08</b>	27,5353
2.5 Zimmer	21,36	0,29	<b>0,29</b>	26,5849
2.6 Zimmer	21,36	0,29	<b>0,29</b>	26,4779
2.6 Zimmer	21,09	0,45	<b>0,45</b>	34,8382
2.5 Zimmer	21,02	0,48	<b>0,48</b>	36,7853
2.5 Bad	21,56	0,17	<b>0,17</b>	21,4461
2.6 Bad	21,57	0,16	<b>0,16</b>	21,4229

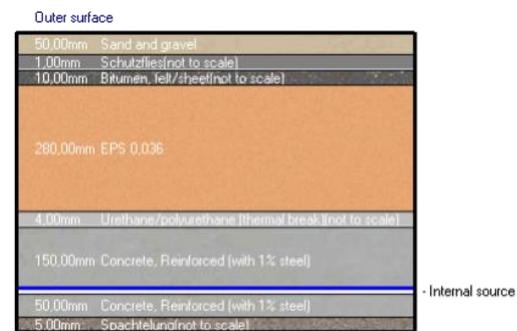
edit Visualise Heating design Cooling design Simulation CFD Daylighting Cost and Carbon

# Bauteilaktivierung

Anordnung der BTA auf der unteren Bewehrungslage  
 (55mm Rohrüberdeckung)  
 Rohrdimension 20 x 2,0 mm  
 Verlegeabstand 150 mm



## Zwischendecke



## Flachdach

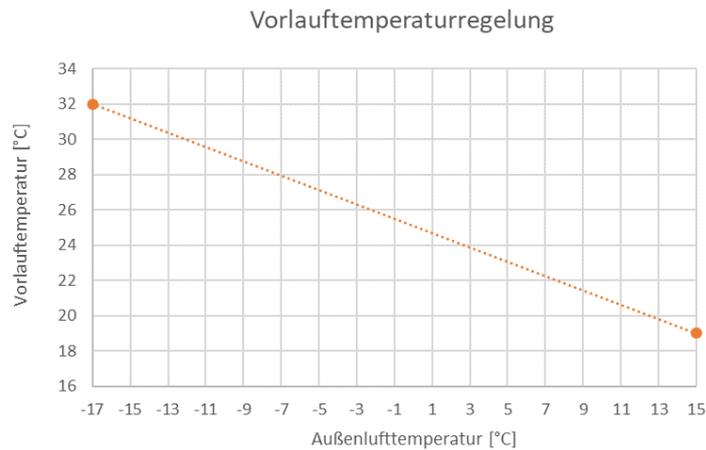


## Flachdach Terrasse

# Anlagentechnik

Für die Regelung der Bauteilaktivierung wird eine Variante mit konstantem Massenstrom untersucht und bezüglich Behaglichkeit (operative Temperatur, PMV, Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur der Decke) bewertet.

Massenstrom konstant zwischen 70% und 100%; Regelung der Vorlauftemperatur nach der Außenlufttemperatur



Variante Massenstrom konstant (Systemtemperaturen 30/25°C bei Normaußentemperatur)

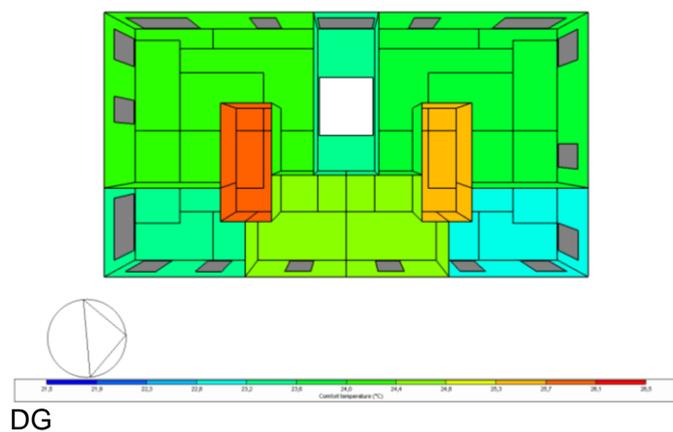
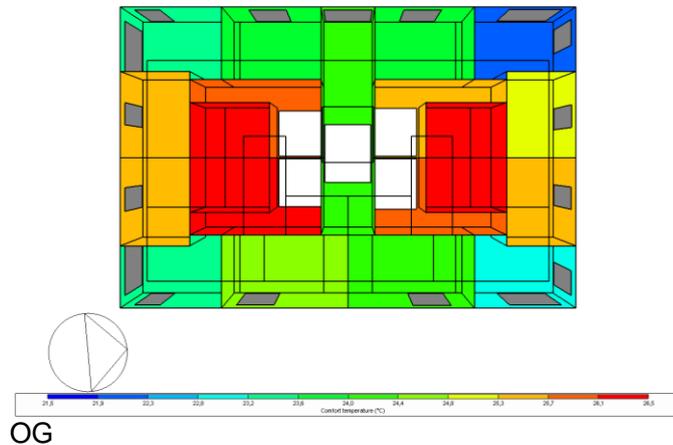
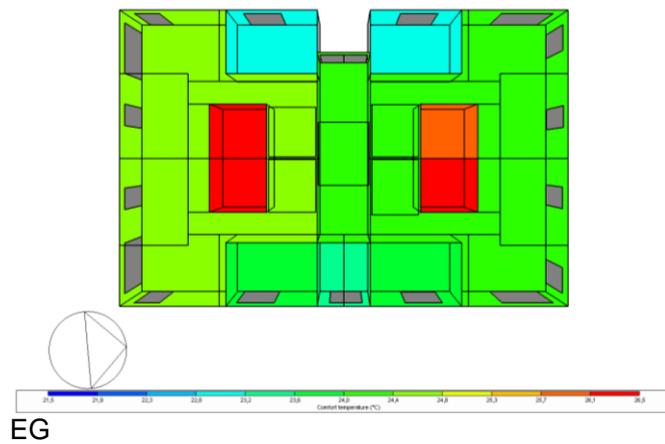
# Simulationsergebnisse

Massenstrom konstant zwischen 70% und 100%; Regelung der Vorlauftemperatur nach der Außenlufttemperatur

## LW 0,5 1/h bei 100% Massenstrom

Operative Raumtemperatur bei -17°C Außenlufttemperatur

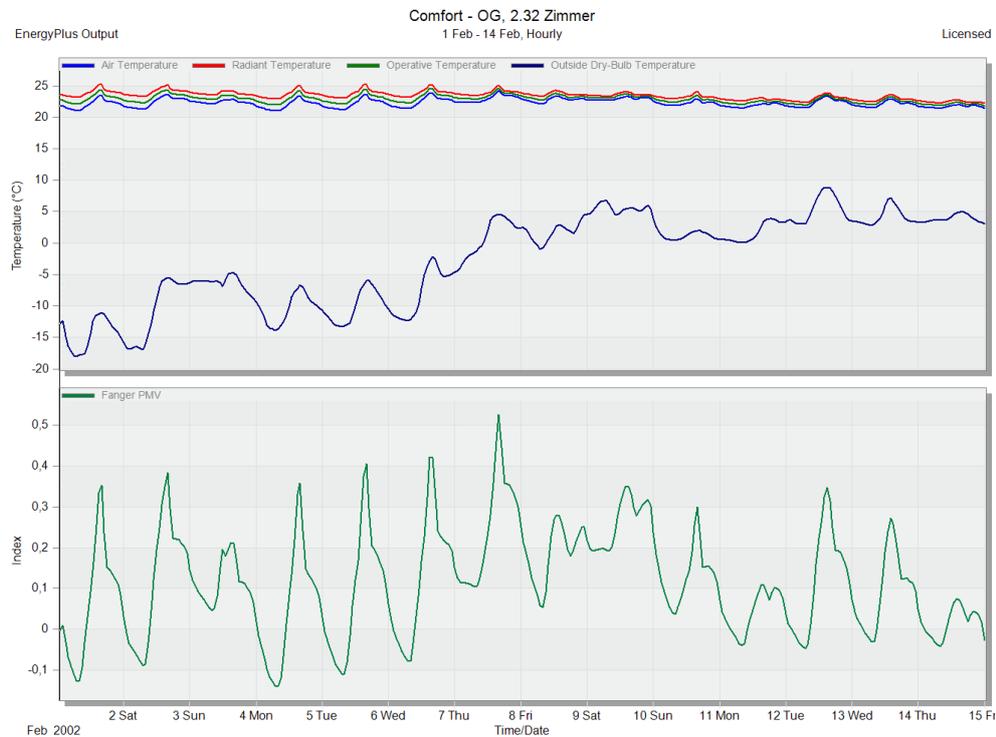
minimale Raumtemperatur 22,0°C (OG – NO/NW Räume)



## Raumtemperaturen und PMV (Zeitraum 01. – 14. Februar)

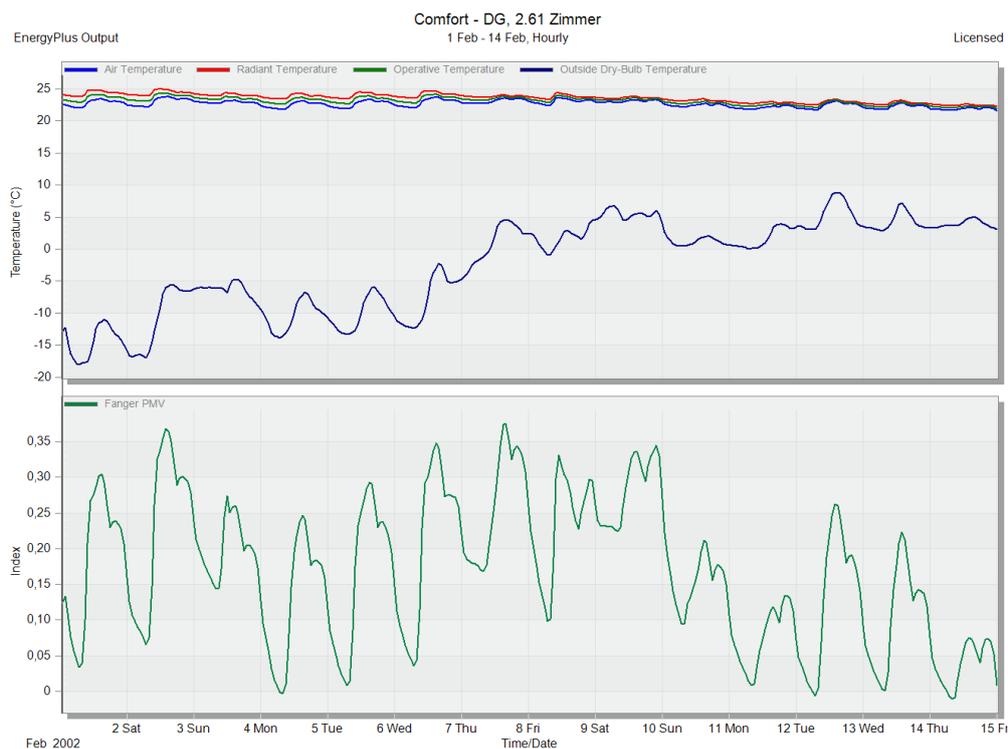
NO-Raum OG (Zimmer)

Einhaltung 22°C operative Temperatur / PMV zw. -0,15 und + 0,5 (clothing factor 1,0)



NW-Raum DG (Zimmer)

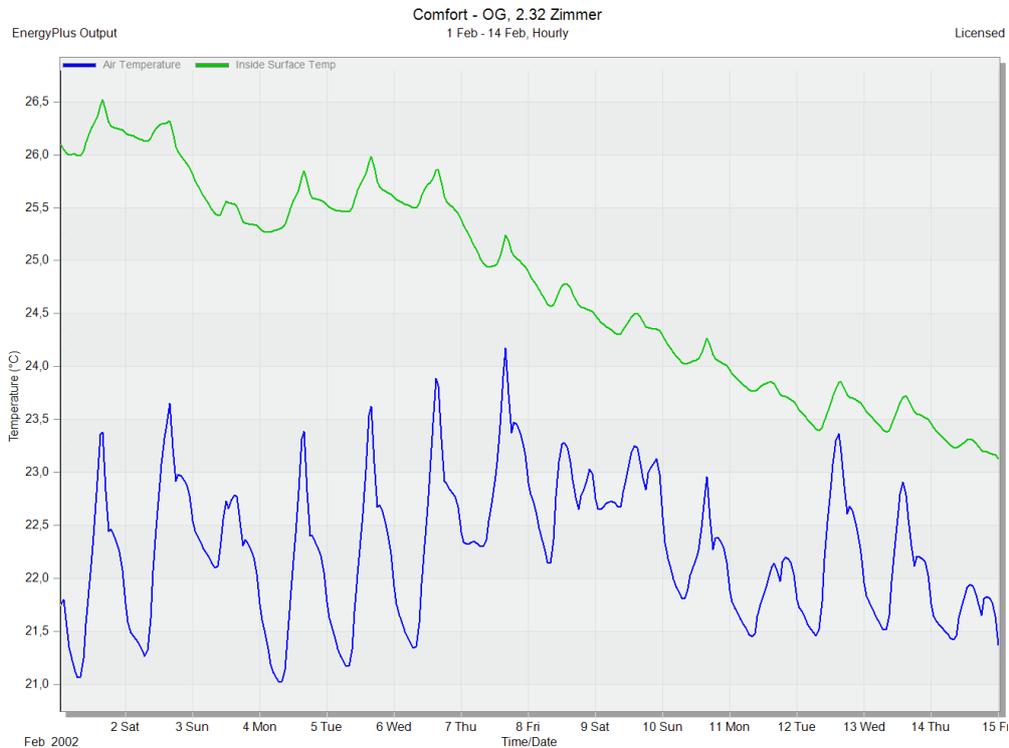
Einhaltung 22°C operative Temperatur / PMV zw. 0,0 und + 0,37 (clothing factor 1,0)



## Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur Decke (Zeitraum 01. – 14. Februar)

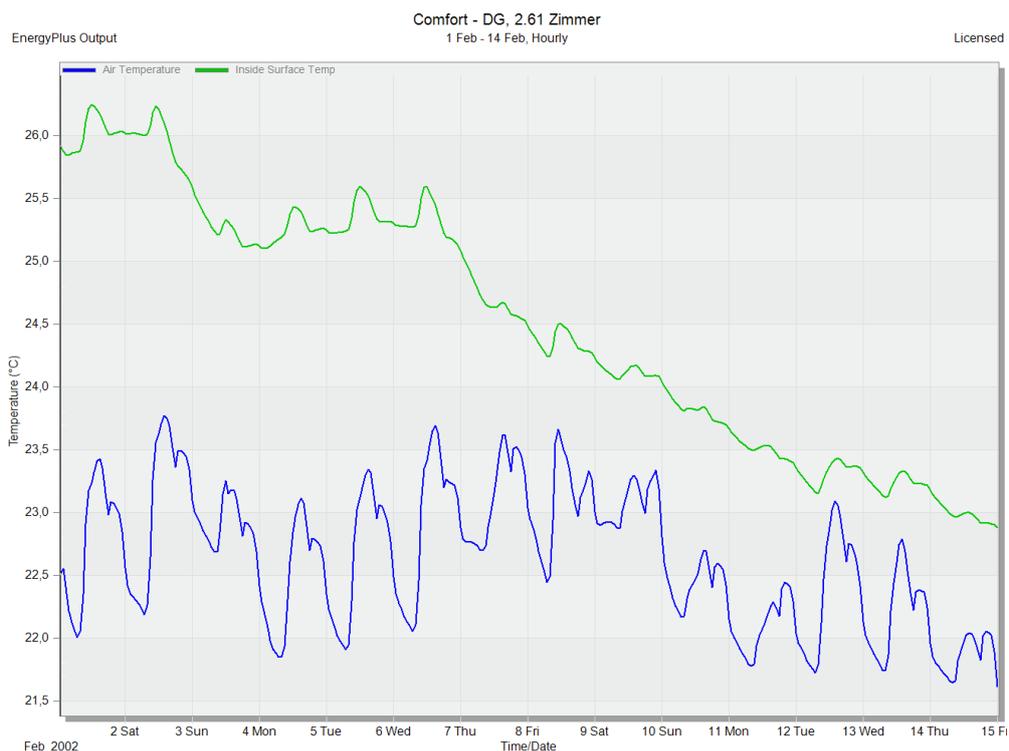
NO-Raum OG (Zimmer)

Temperaturdifferenz zw. Deckenoberfläche und Raumluft ca. 5,0K bei -17°C Außenlufttemperatur



NW-Raum DG (Zimmer)

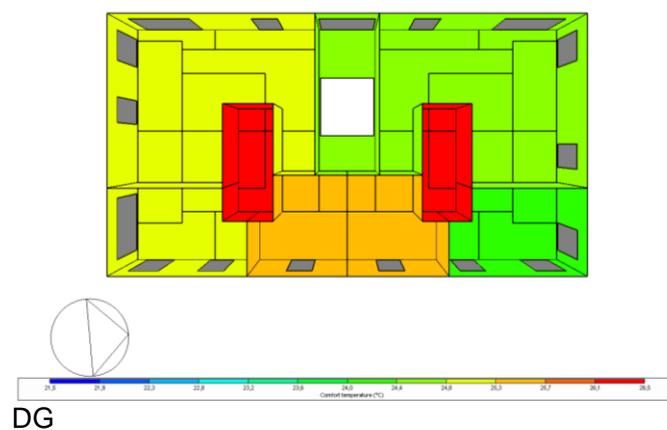
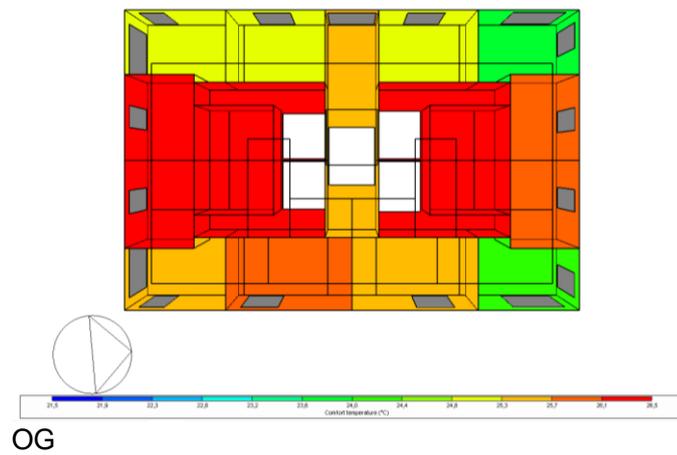
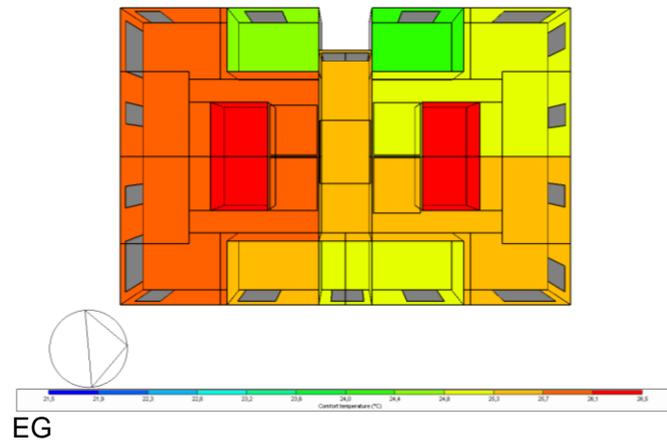
Temperaturdifferenz zw. Deckenoberfläche und Raumluft ca. 3,8K bei -17°C Außenlufttemperatur



## LW 0,3 1/h bei 70% Massenstrom

Operative Raumtemperatur bei -17°C Außenlufttemperatur

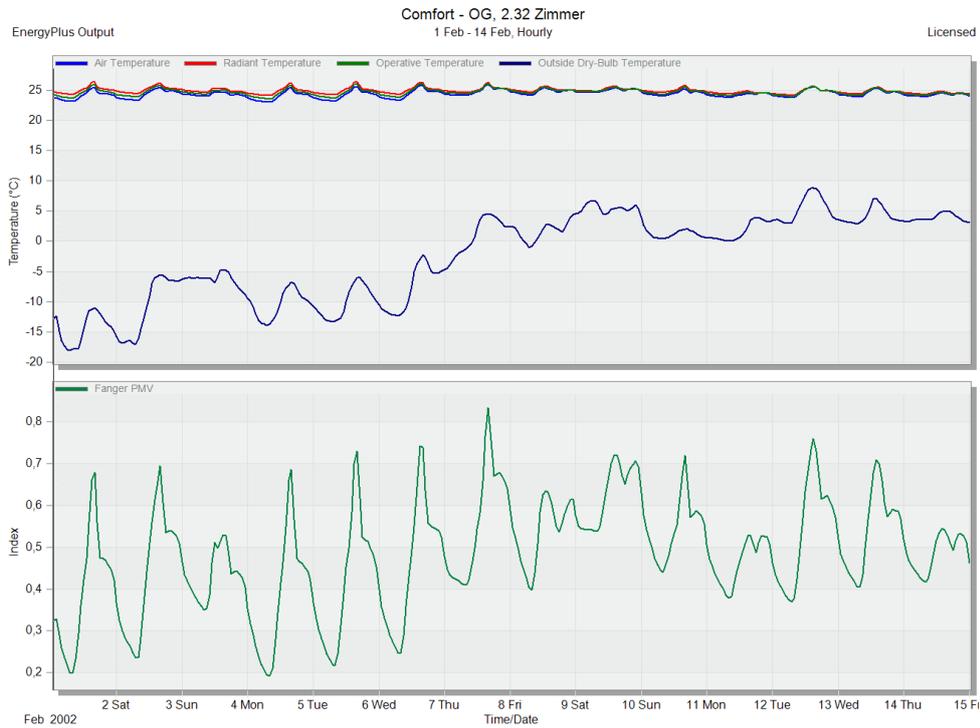
Minimum = 23,6°C (OG – NO/NW Räume)



## Raumtemperaturen und PMV (Zeitraum 01. – 14. Februar)

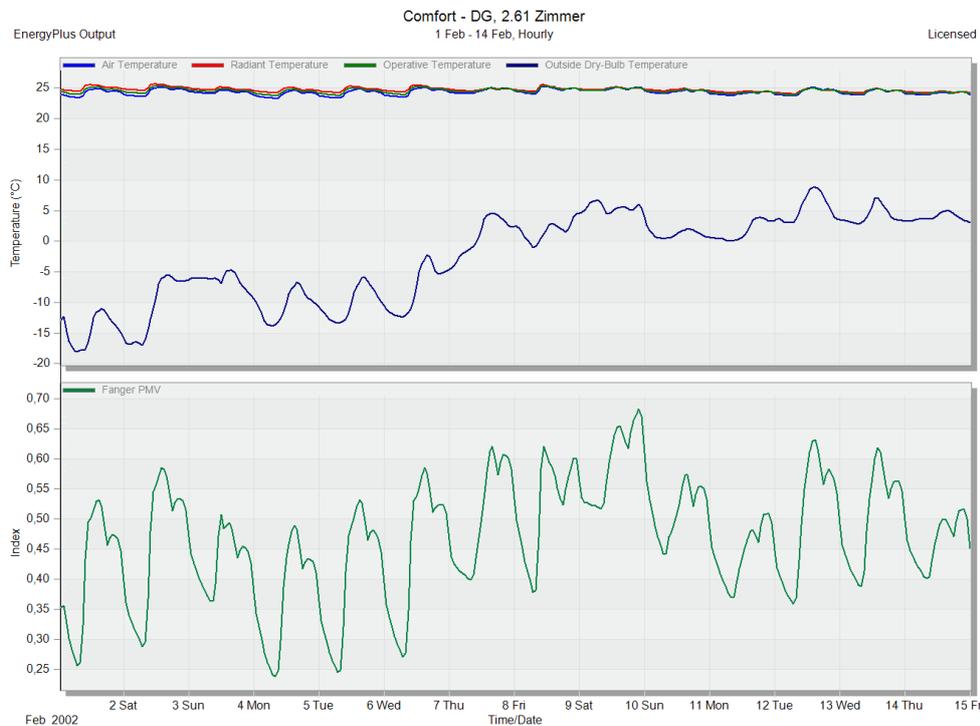
NO-Raum OG (Zimmer)

Einhaltung 22°C operative Temperatur / PMV zw. +0,2 und + 0,8 (clothing factor 1,0)



NW-Raum DG (Zimmer)

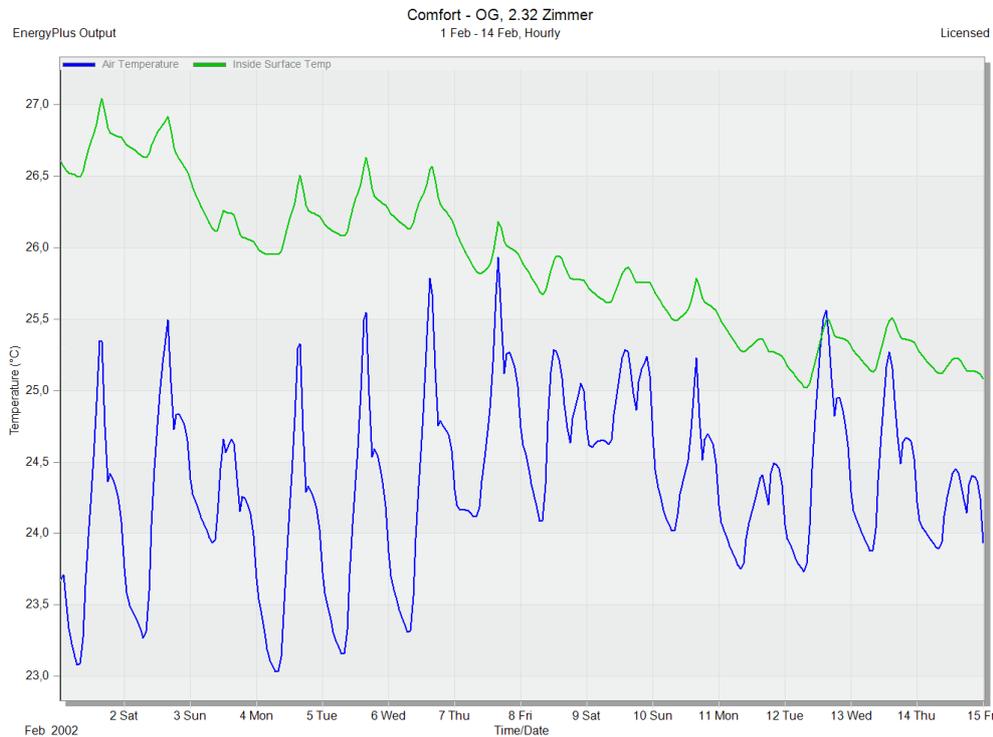
Einhaltung 22°C operative Temperatur / PMV zw. +0,25 und + 0,65 (clothing factor 1,0)



## Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur Decke (Zeitraum 01. – 14. Februar)

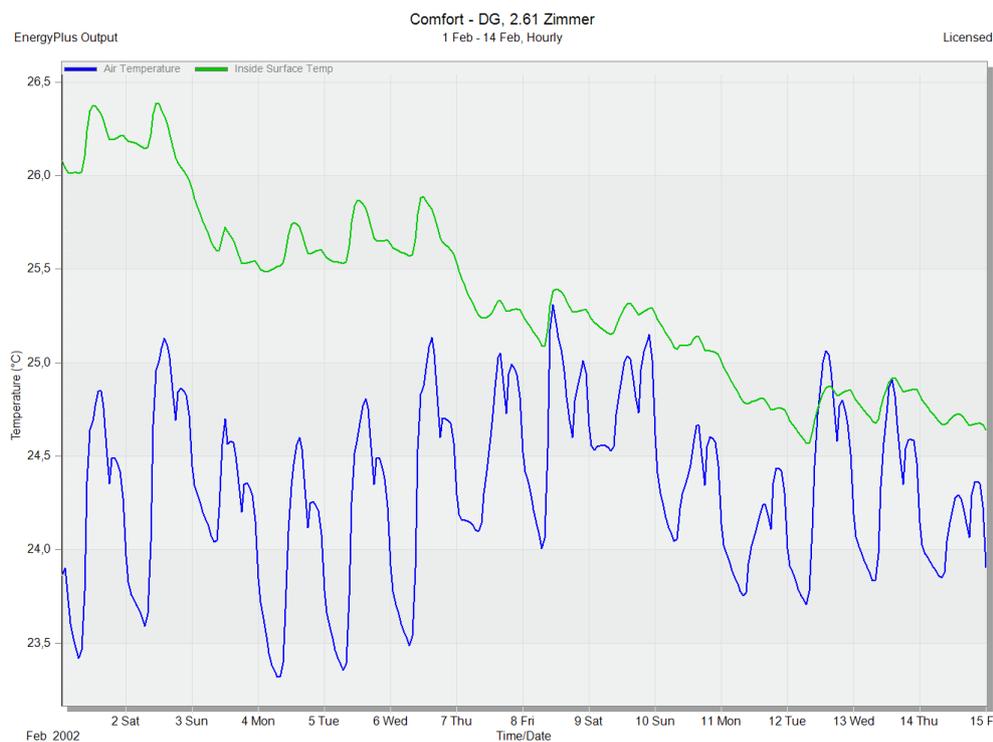
NO-Raum OG (Zimmer)

Temperaturdifferenz zw. Deckenoberfläche und Raumluft ca. 3,5K bei -17°C Außenlufttemperatur



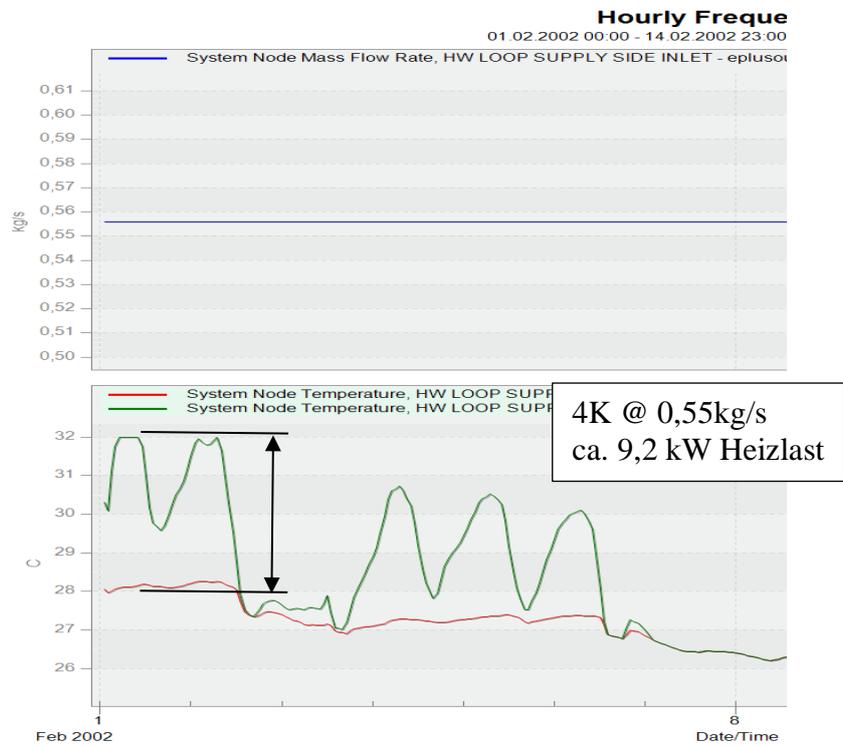
NW-Raum DG (Zimmer)

Temperaturdifferenz zw. Deckenoberfläche und Raumluft ca. 2,5K bei -17°C Außenlufttemperatur



## Anlagentechnik (Zeitraum 01. – 08. Februar)

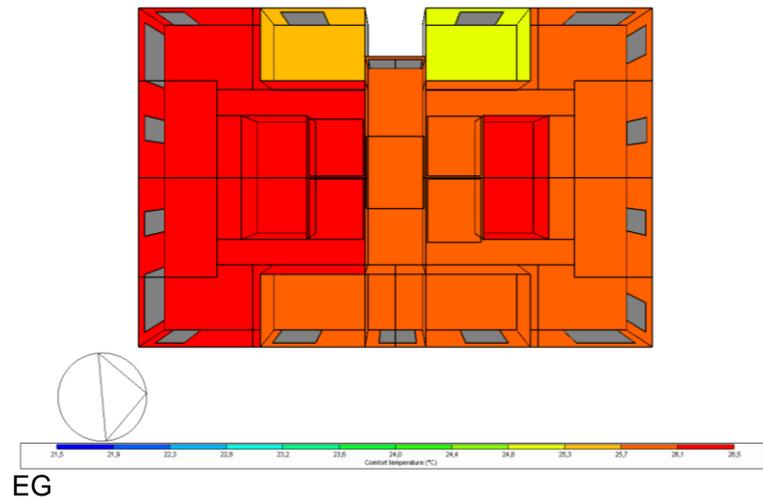
Massenstrom 70% mit 0,55kg/s



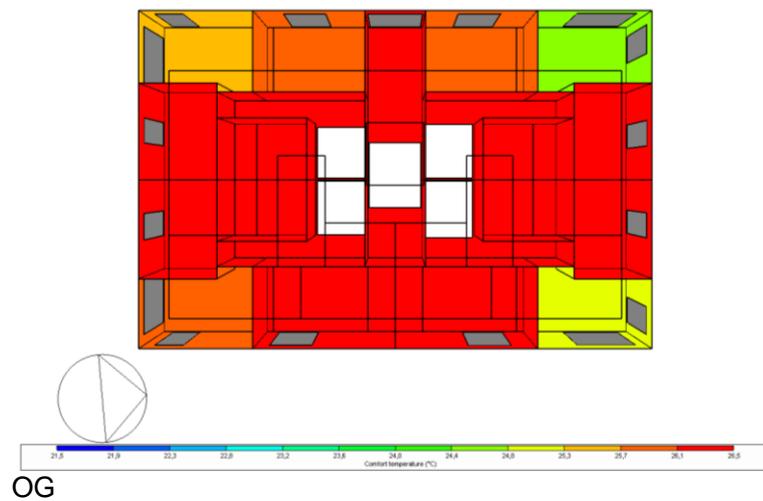
# LW 0,3 1/h bei 100% Massenstrom

Operative Raumtemperatur bei -17°C Außenlufttemperatur

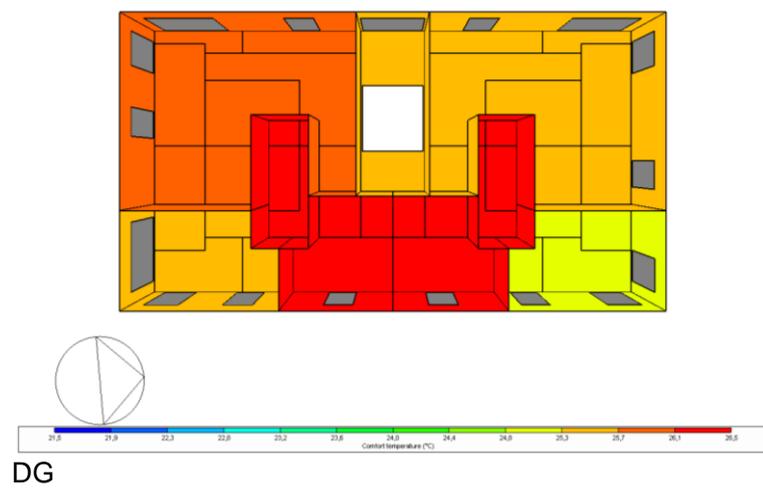
Minimum = 24,4°C (OG – NO/NW Räume)



EG



OG

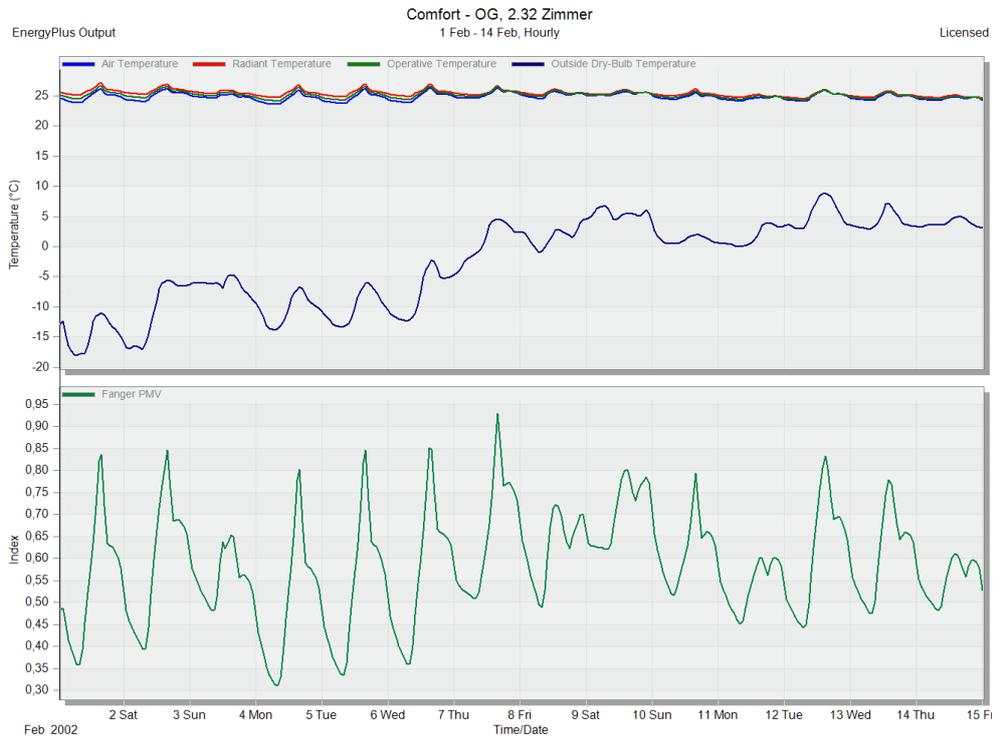


DG

## Raumtemperaturen und PMV (Zeitraum 01. – 14. Februar)

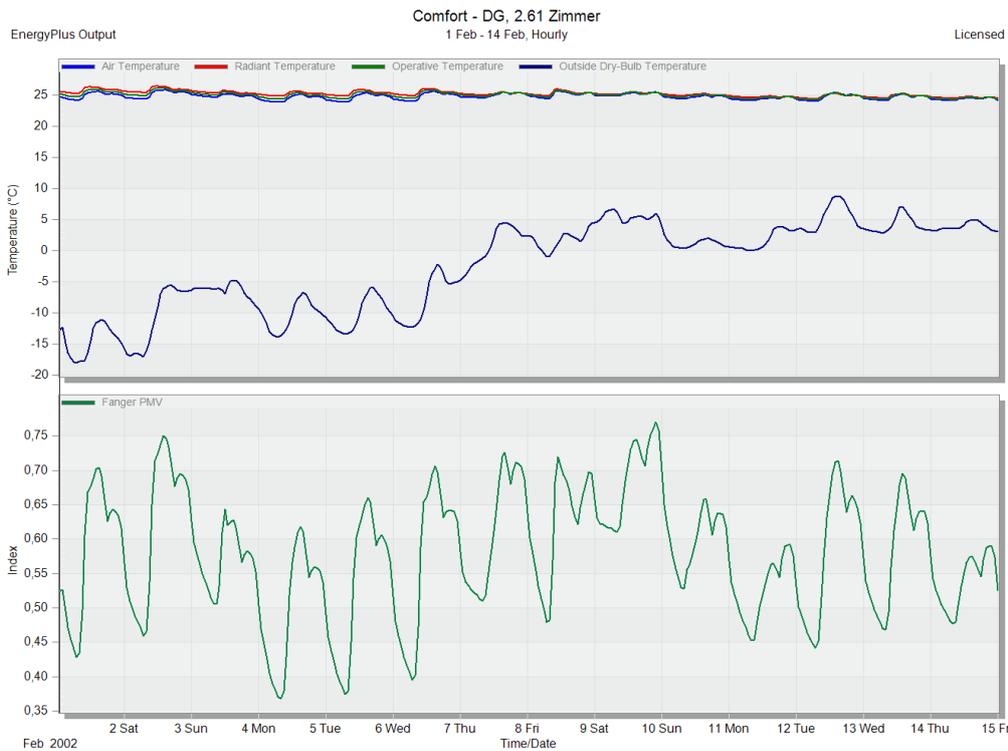
NO-Raum OG (Zimmer)

Einhaltung 22°C operative Temperatur / PMV zw. +0,3 und + 0,9 (clothing factor 1,0)



NW-Raum DG (Zimmer)

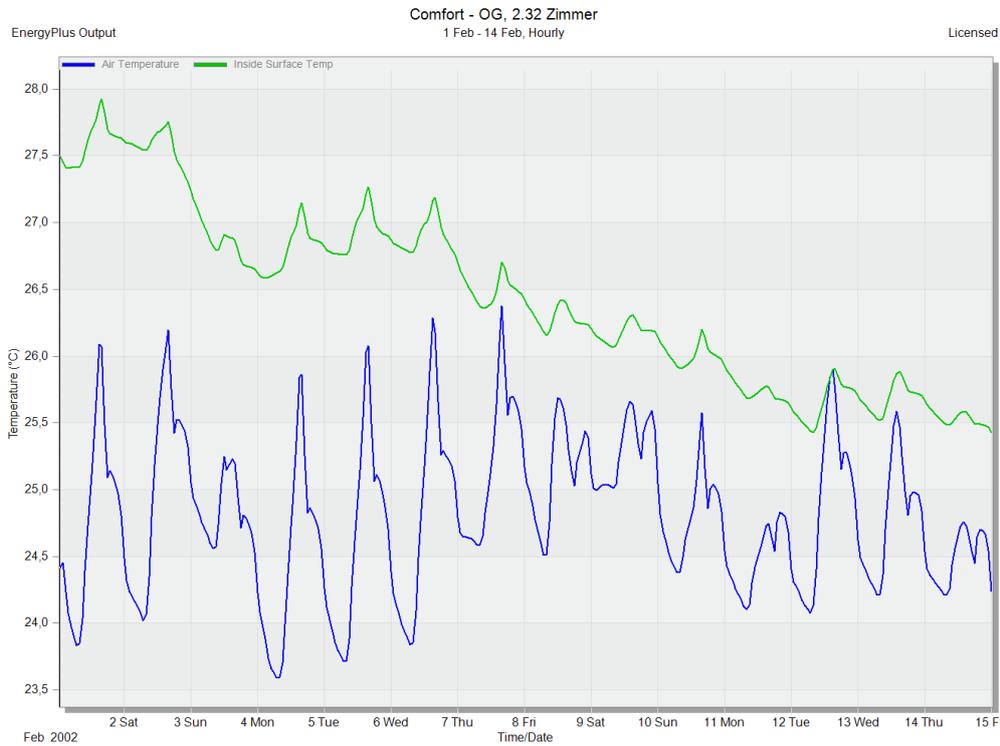
Einhaltung 22°C operative Temperatur / PMV zw. +0,35 und + 0,75 (clothing factor 1,0)



## Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur Decke (Zeitraum 01. – 14. Februar)

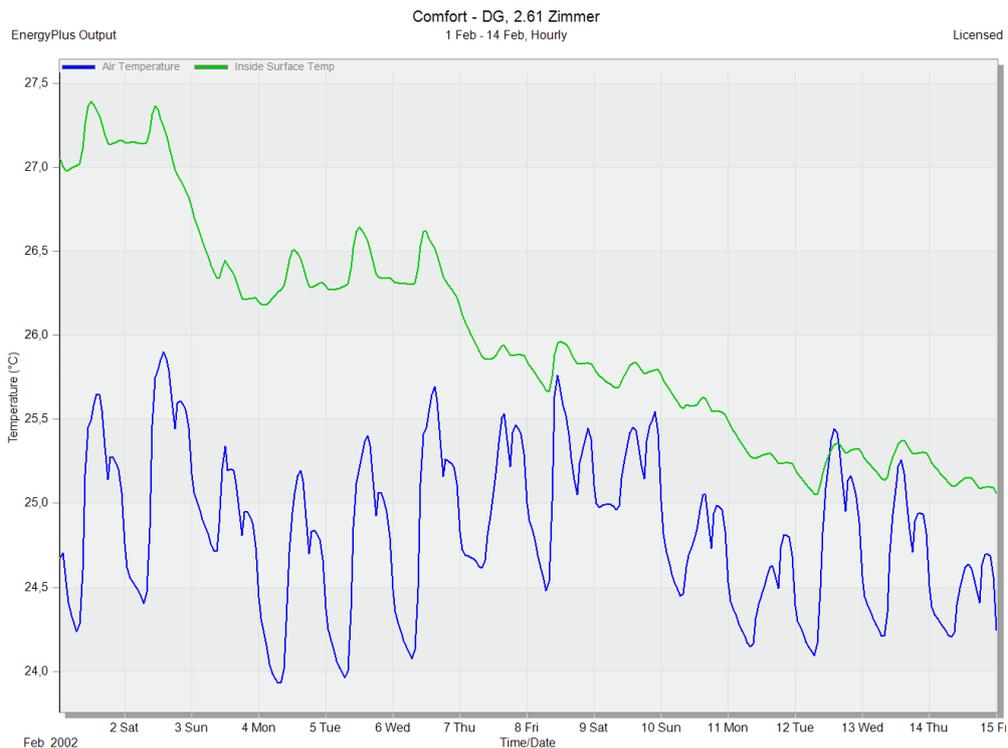
NO-Raum OG (Zimmer)

Temperaturdifferenz zw. Deckenoberfläche und Raumluft ca. 3,4K bei -17°C Außenlufttemperatur



NW-Raum DG (Zimmer)

Temperaturdifferenz zw. Deckenoberfläche und Raumluft ca. 2,7K bei -17°C Außenlufttemperatur



## Anlagentechnik (Zeitraum 01. – 08. Februar)

Massenstrom 100% mit 0,78kg/s



## Zusammenfassung

Bei einem Luftwechsel von 0,5 1/h und einer Außenlufttemperatur von  $-17^{\circ}\text{C}$  kann bei der angedachten Regelstrategie, mit konstantem Massenstrom zw. 70% und 100% in allen Räumen eine operative Temperatur von  $22^{\circ}\text{C}$  eingehalten werden. Das minimale vorausgesagte mittlere Votum (PMV) von  $-0,15$  liegt geringfügig im Bereich „etwas kühl“ (Bandbreite PMV von  $-3$  „kalt“ bis  $+3$  „zu warm“; Klassifizierung PMV nach EN 15251 in Kategorie A  $\pm 0,2$ , Kategorie B  $\pm 0,5$  und Kategorie C  $\pm 0,7$ ).

Die Temperaturdifferenz zwischen Deckenoberfläche und Raumluft liegt mit max.  $5,0\text{K}$  in einem noch akzeptablen Bereich bzgl. Behaglichkeit.

Zur Einhaltung der operativen Temperatur von  $22^{\circ}\text{C}$  in allen Räumen, bei reduziertem Luftwechsel von  $0,3$  1/h und einer Außenlufttemperatur von  $-17^{\circ}\text{C}$ , ist ein Massenstrom von 70% ausreichend und kann je nach Lüftungsverhalten der Bewohner ggf. bei höheren Außenlufttemperaturen noch weiter reduziert werden. Bei erhöhtem PMV im Bereich von bis zu  $+1,0$  „leicht warm“ kann zudem der clothing factor durch Anpassung der Kleidung entsprechend reduziert werden.

Bei einem Luftwechsel von  $0,3$  1/h und einer Außenlufttemperatur von  $-17^{\circ}\text{C}$  kann bei der angedachten Regelstrategie und bei Betrieb der Pumpe mit 100% Massenstrom eine gezielte Überladung der Bauteilaktivierung auf operative Raumtemperaturen zw.  $24,5$  und  $26,5^{\circ}\text{C}$  erfolgen.

Die Realisierung der Massenstromregelung auf ca. 70% des Auslegungsmassenstroms im Normalbetrieb führt bei reduziertem Luftwechsel zu einer ausreichend hohen thermischen Behaglichkeit und ermöglicht eine Leistungsreserve für die gezielte Überladung der Bauteilaktivierung mit 100% des Auslegungsmassenstroms.

# Simulationsergebnisse – 1 Zonen Modell Matlab

Das Gebäude soll Erzeugungsspitzen im öffentlichen Stromnetz nutzen und in Form von Wärme im Gebäude speichern, um in weiterer Folge den eigenen Wärmebedarf abzudecken.

Um dies mittels Simulationen nachbilden zu können, wird ein 1 Zonen Simulationsmodell in Matlab aufgebaut. Im Rahmen der Simulationen wird davon ausgegangen, dass für die Nutzung netzseitiger Umweltenergien ein analoges Regelsignal vom Energieversorger bereitgestellt wird. Das für die Simulation erforderliche Freigabesignal wird in die Simulation wie eine Klimarandbedingung eingelesen. Das verwendete Signal ist aus den realen Stromerzeugungsdaten eines Windparkbetreibers abgeleitet. Das Signal verfügt über eine Umweltenergiefreigabe zu ca. 30% der gesamten Jahresdauer. Für die Nutzung und Speicherung von netzseitigen Umweltenergien wird die Kennzahl definiert, die beschreibt welcher Anteil des gesamten Wärmebedarfs zu Zeiten der Umweltenergiefreigabe bezogen wird:

$$d_{\text{Netz}} = \frac{Q_{\text{Wärmeabgabe}}}{Q_{\text{Wärmeabgabe bei Netzfriegabe}}}$$

$d_{\text{Netz}}$	-	Deckungsgrad für netzseitige Umweltenergien
$Q_{\text{Wärmeabgabe}}$	kWh/a	Wärmelieferung an das Wärmeabgabesystem
$Q_{\text{Wärmeabgabe bei Netzfriegabe}}$	kWh/a	Wärmelieferung an das Wärmeabgabesystem während der Netzfriegabe

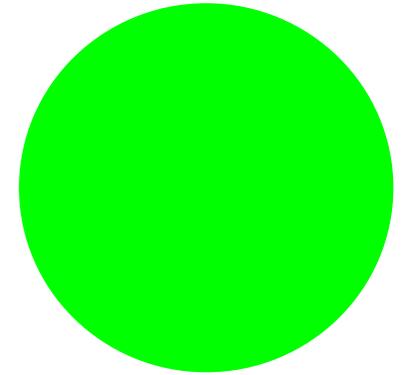
Nachfolgend werden die Ergebnisse der durchgeführten Simulation zusammengefasst:

	<b>Leistung</b>
Gebäude-Heizlast (stationär)	14.900 W
max. spez. Raumheizlast eines Aufenthaltsraumes (stationär)	36 W/m <sup>2</sup>
Gebäude-Heizlast-Abschätzung (Energieausweisberechnung)	17.400 W
Gebäude-Heizlast (Simulation Matlab)	12.600 W
max. spez. Raumheizlast eines Aufenthaltsraumes (Simulation Matlab)	31 W/m <sup>2</sup>
min. Gebäude-Heizleistung (Simulation Matlab) zur Sicherstellung eines maximalen Temperaturabfalls von 1K	8.500 W
	<b>Energie</b>
HWB (Energieausweisberechnung)	20.400 kWh
HWB (Simulation Matlab)	17.900 kWh
Auskühdauer (Simulation Matlab, 2 K Temperaturband)	62 h
$d_{\text{Netz,RH}}$ (Simulation Matlab, 2 K Temperaturband)	0,84

Durch die Nutzung des Gebäudes als Energiespeicher lässt sich der Deckungsgrad für netzseitig bereitgestellte Umweltenergien unter den getroffenen Annahmen von 30% auf über 80% anheben.

Mit freundlichen Grüßen

ALLPLAN GmbH



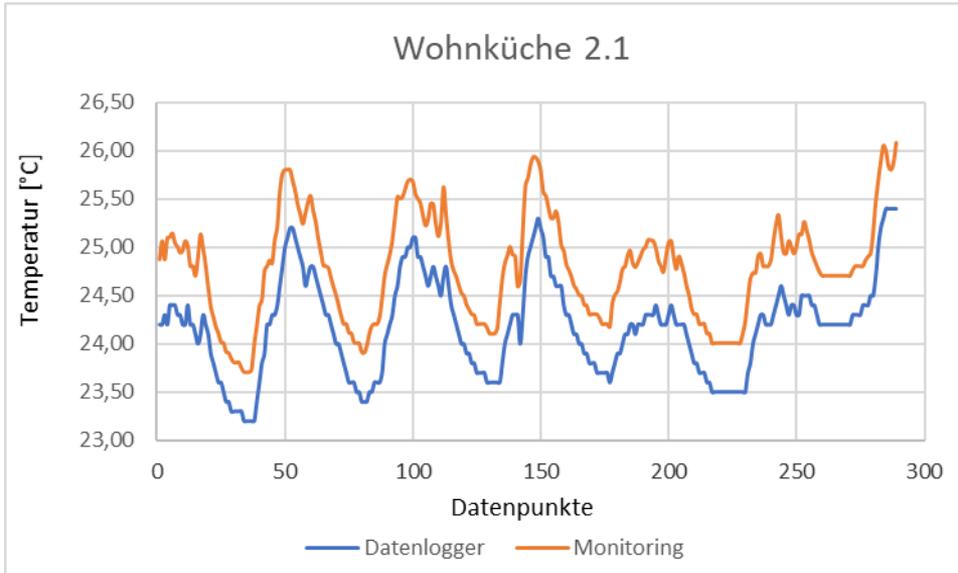
# **BVH Tonpfeifengasse - Datenabgleich Raumklima**

DI DI Dr. Simon Handler

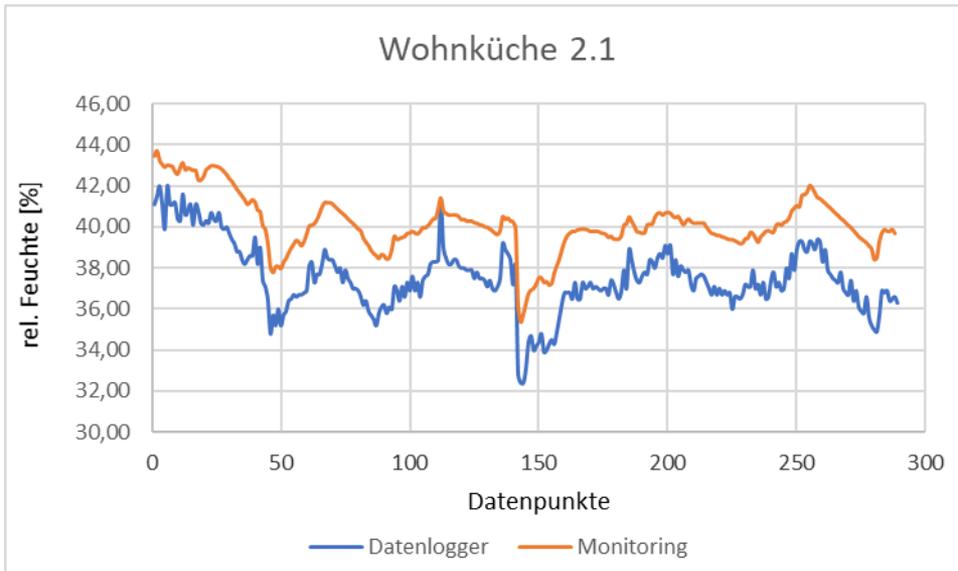
DI(FH) Gernot Haslinger

hacon GmbH

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

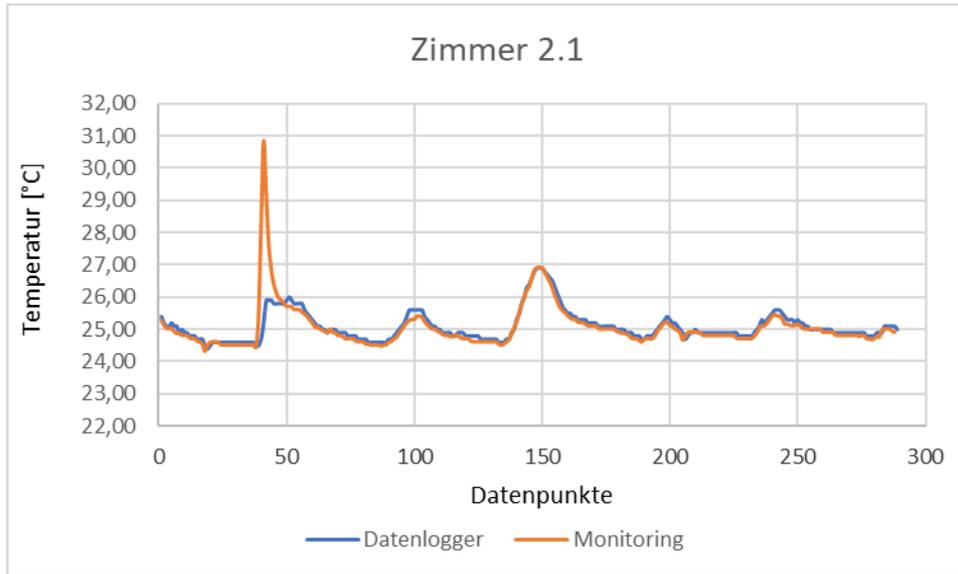


Korrekturfaktor: -0,6 K

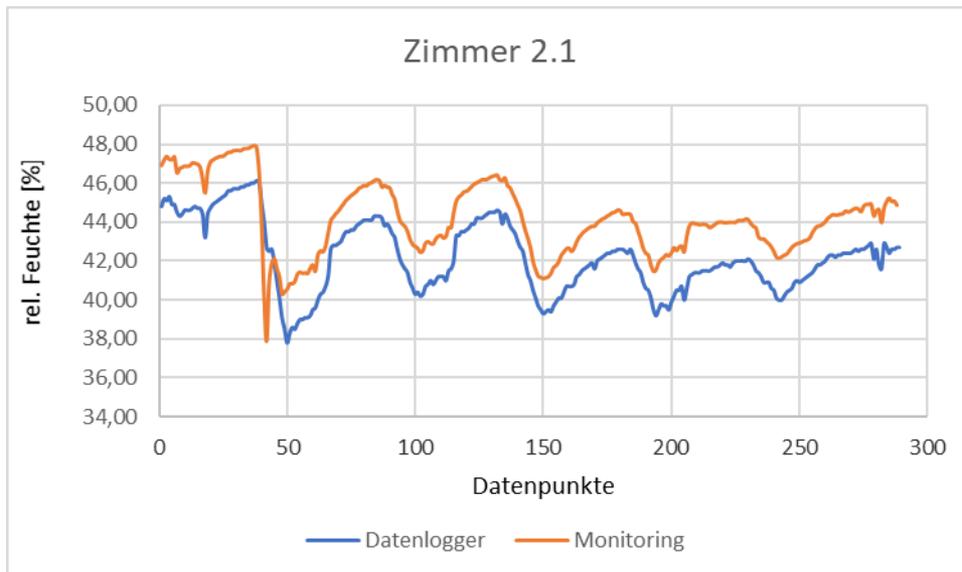


Korrekturfaktor: -2,6 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

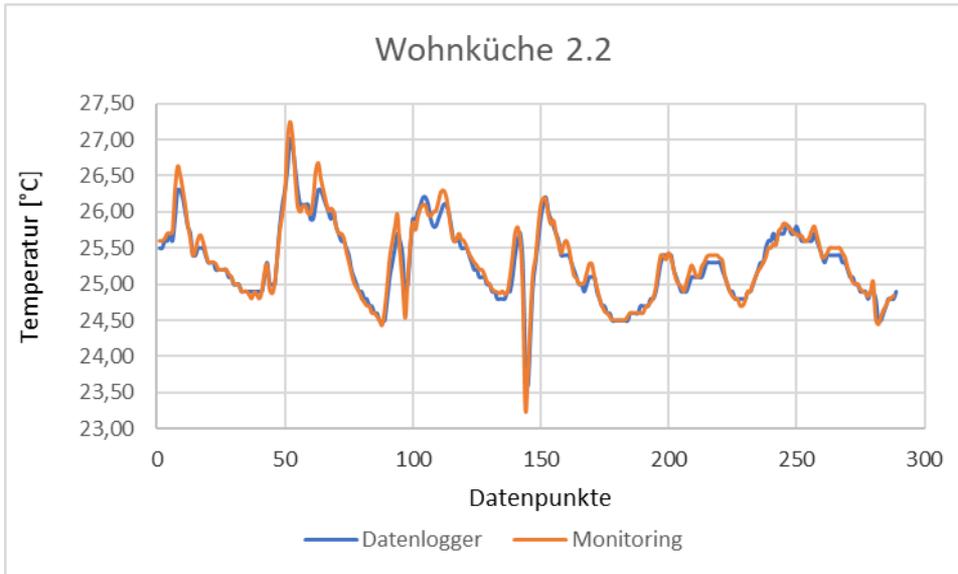


Korrekturfaktor: 0,0 K

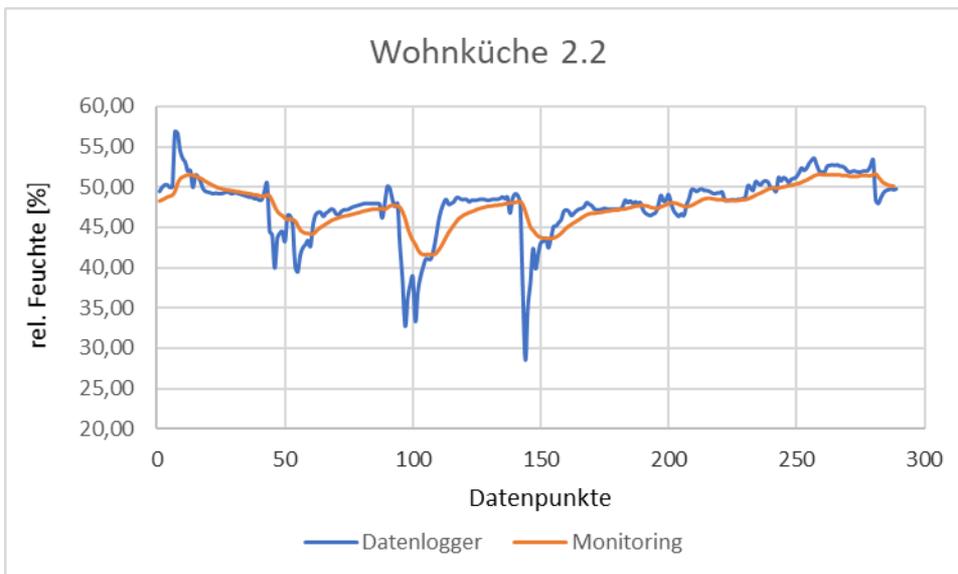


Korrekturfaktor: -2,0 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

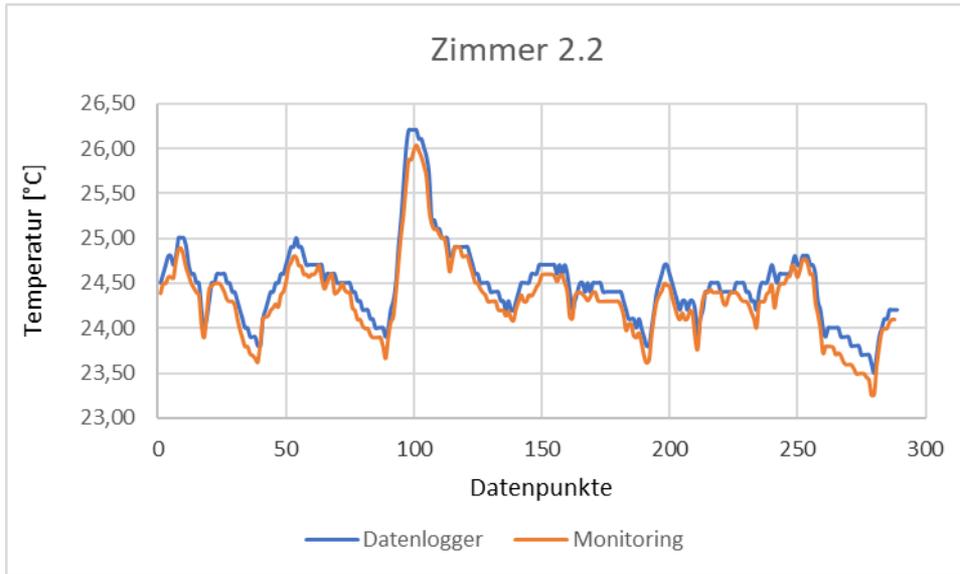


Korrekturfaktor: 0,0 K

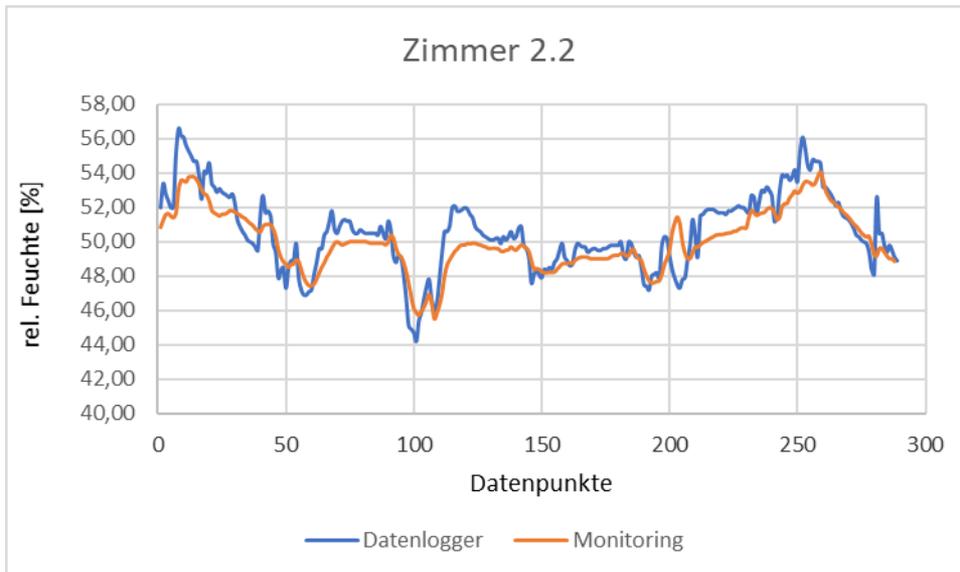


Korrekturfaktor: 0,0 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

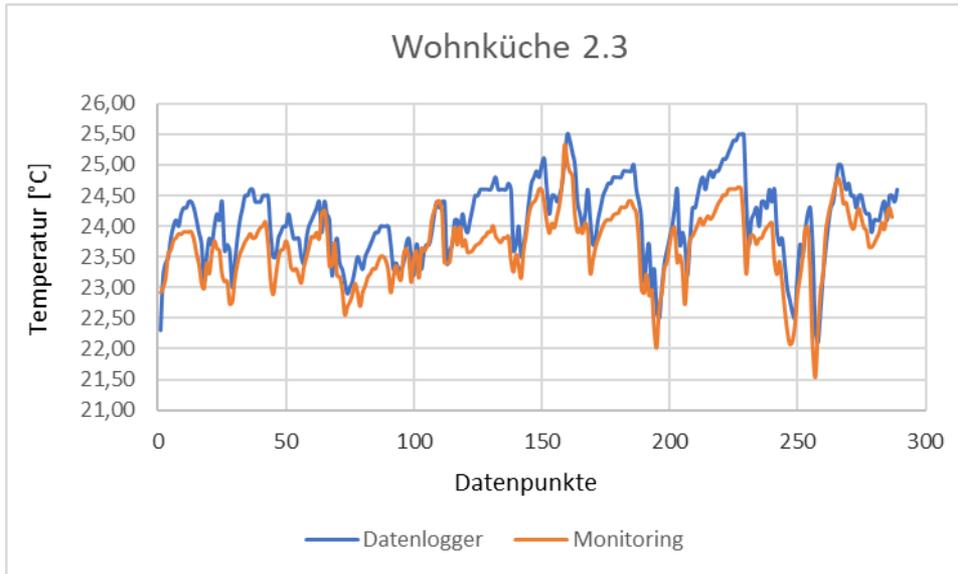


Korrekturfaktor: 0,1 K

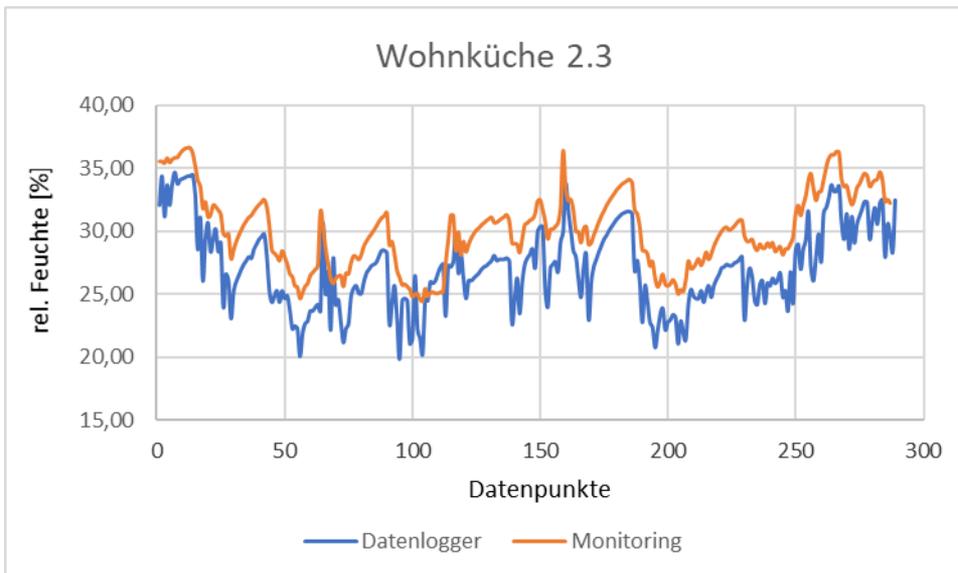


Korrekturfaktor: 0,6 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

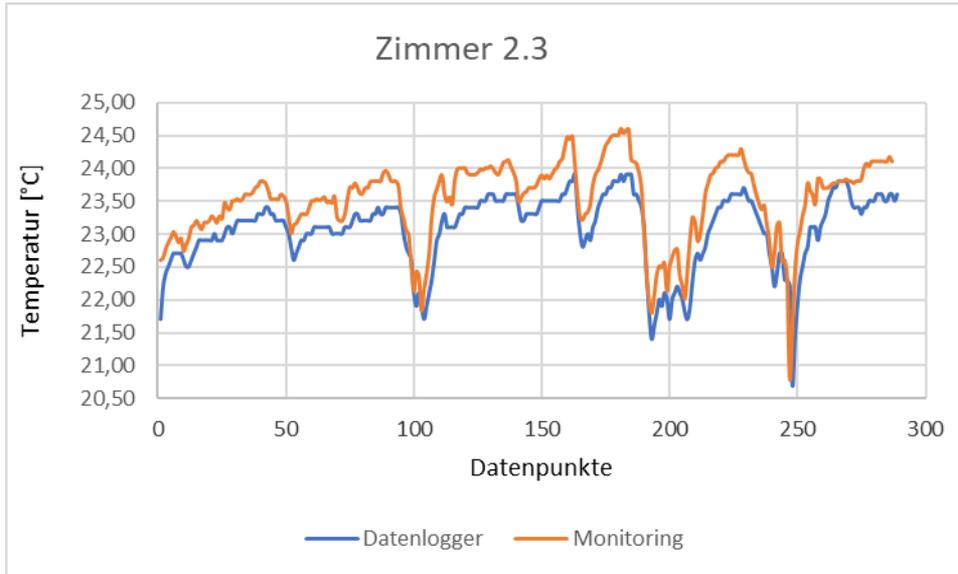


Korrekturfaktor: 0,4 K

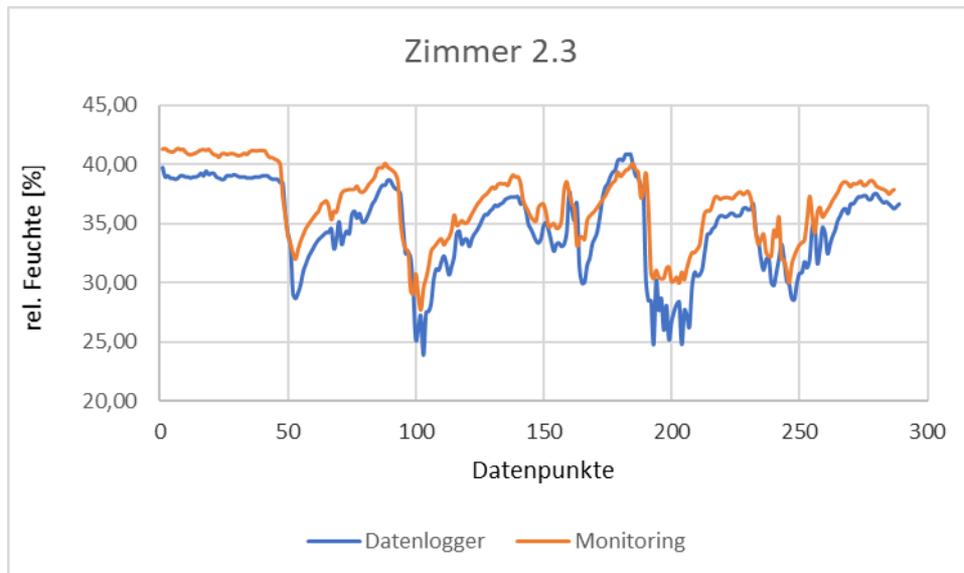


Korrekturfaktor: -2,9 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

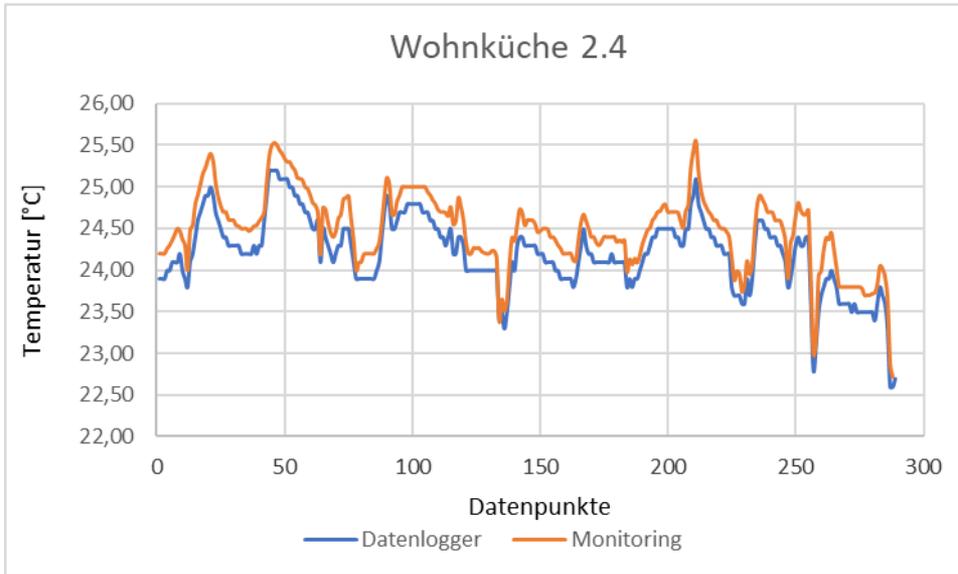


Korrekturfaktor: -0,5 K

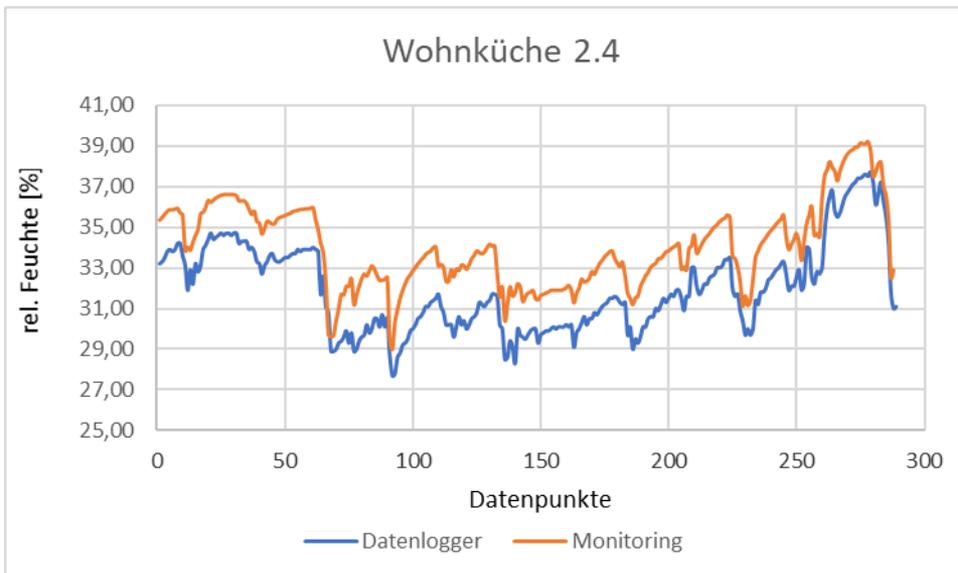


Korrekturfaktor: -1,8 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

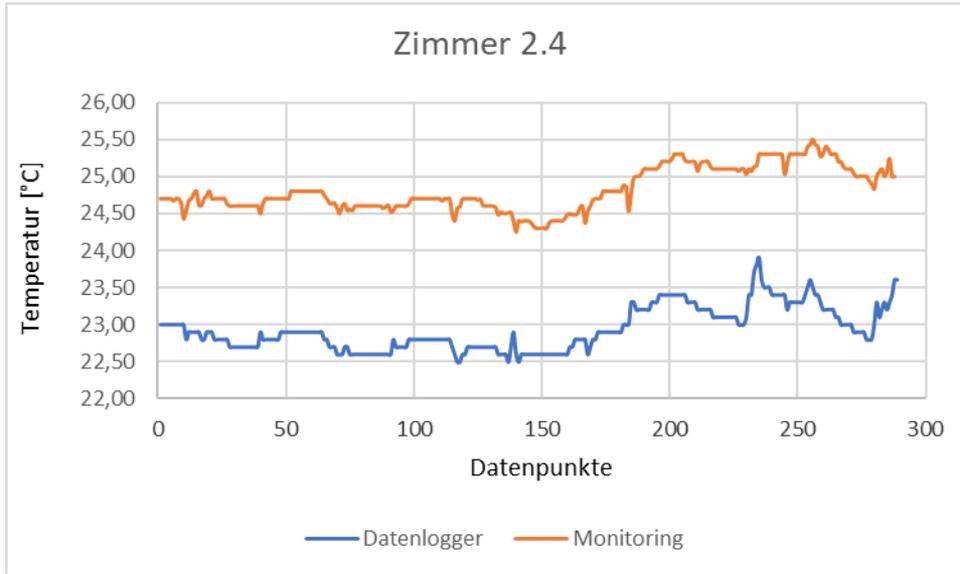


Korrekturfaktor: -0,3 K

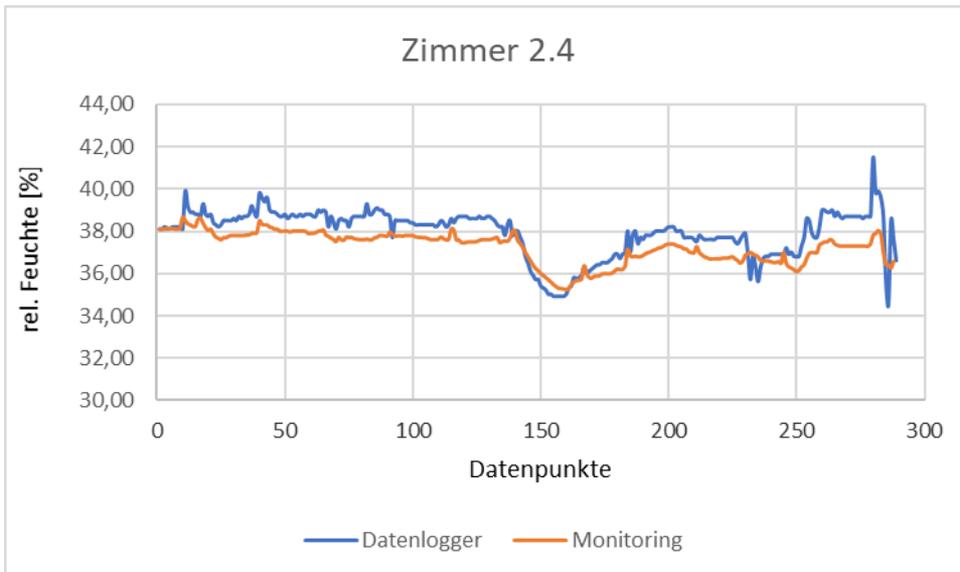


Korrekturfaktor: -2,0 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

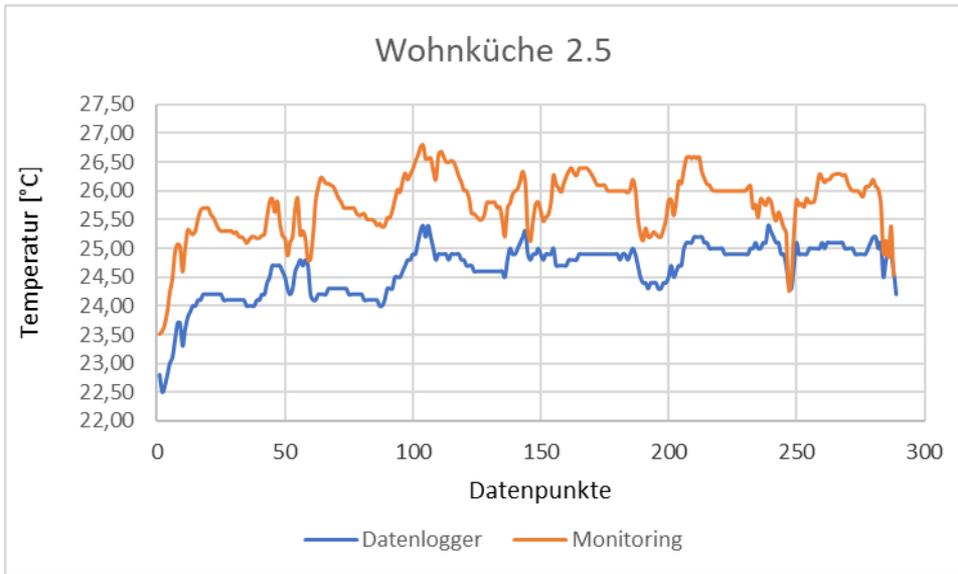


Korrekturfaktor: -1,9 K

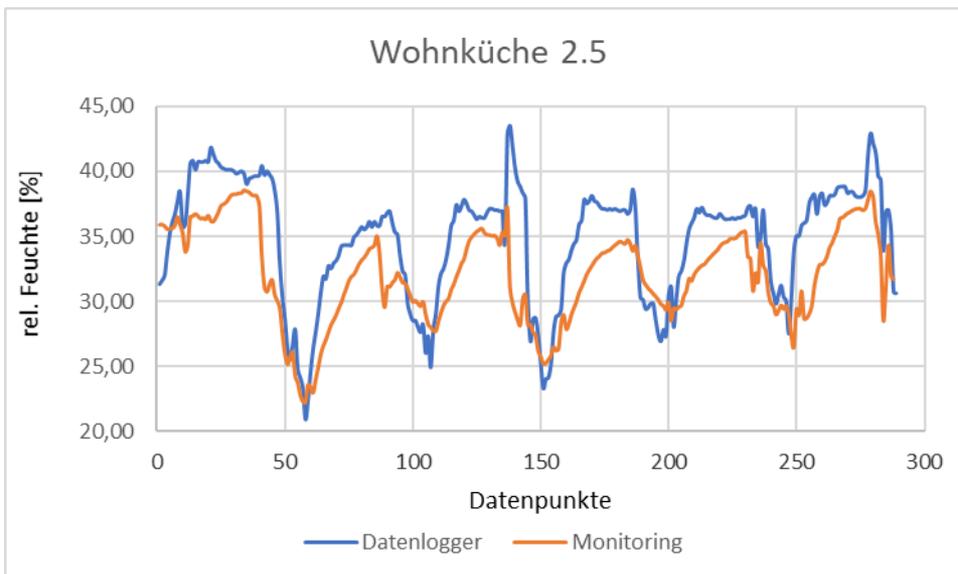


Korrekturfaktor: 0,7 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

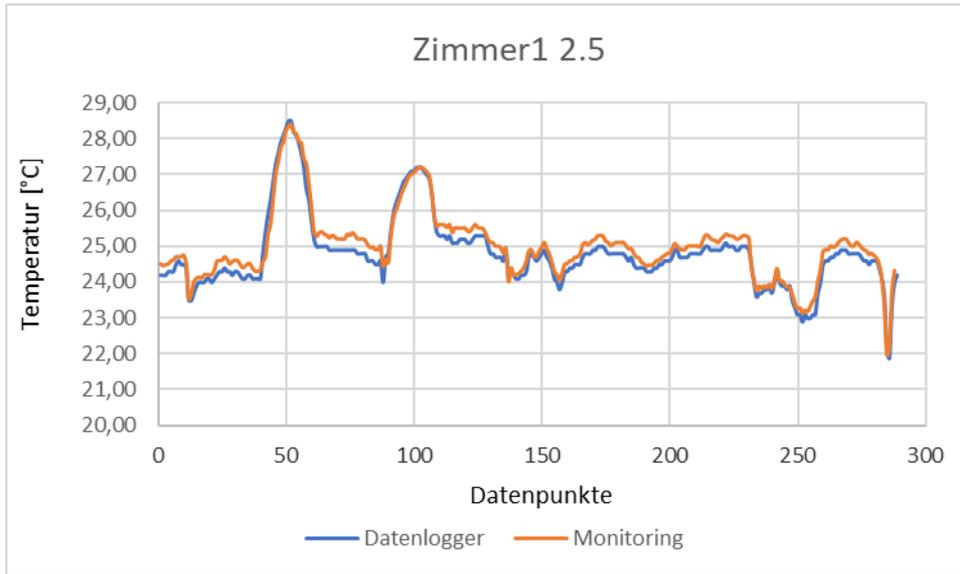


Korrekturfaktor: -1,1 K

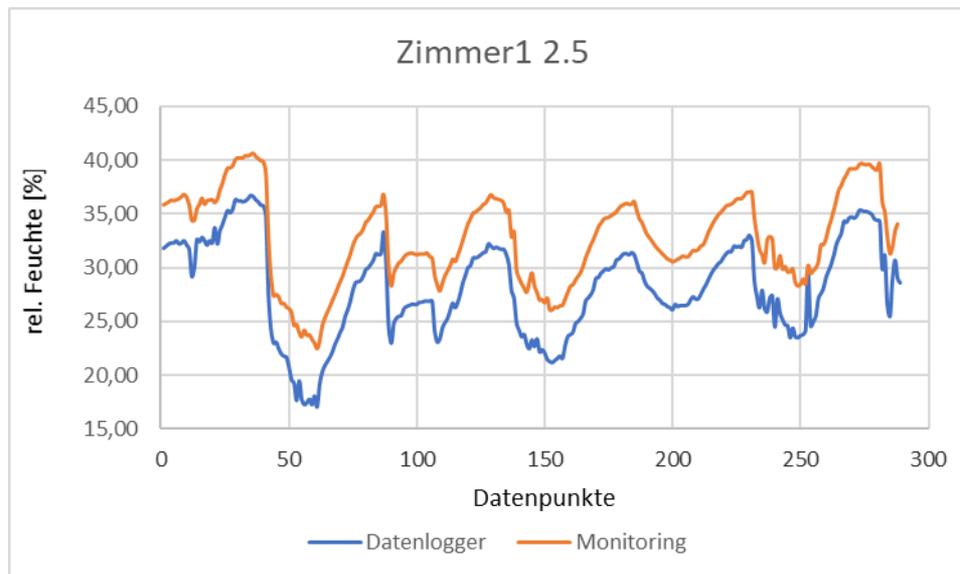


Korrekturfaktor: 2,7 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

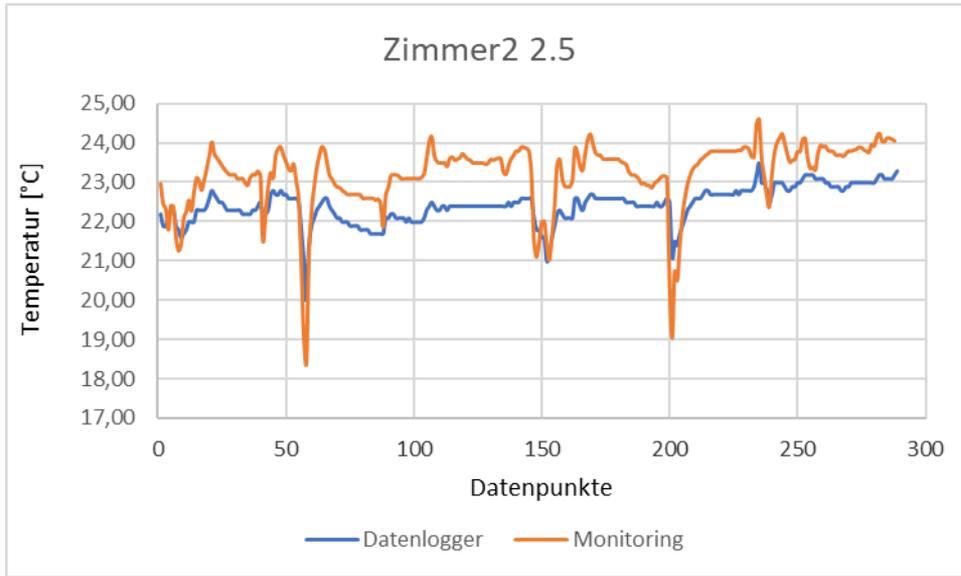


Korrekturfaktor: -0,2 K

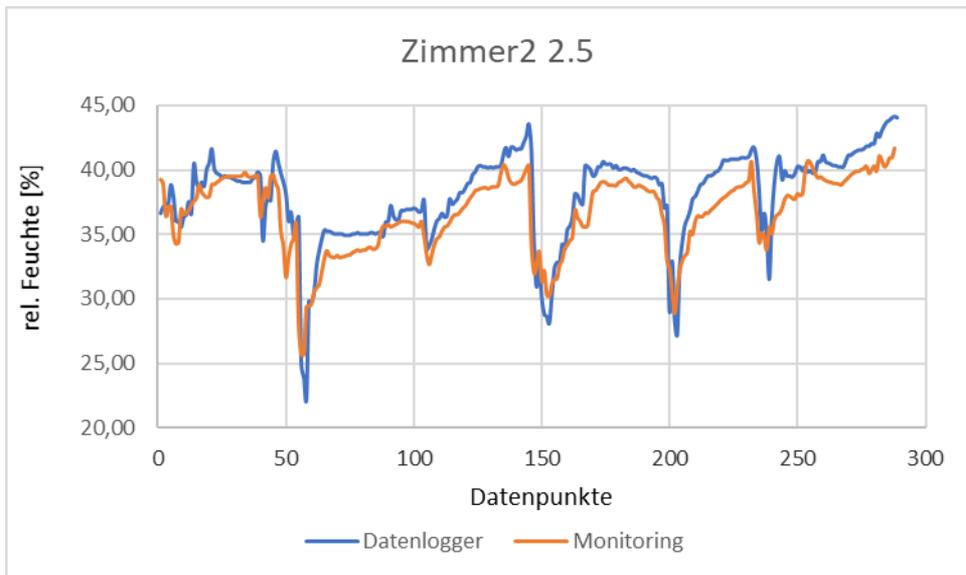


Korrekturfaktor: -4,6 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

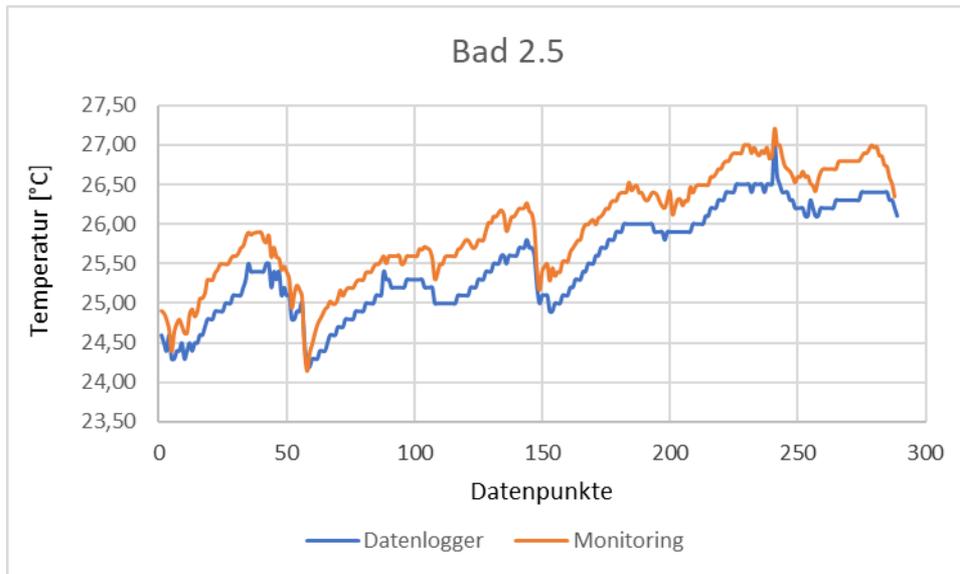


Korrekturfaktor: -0,8 K

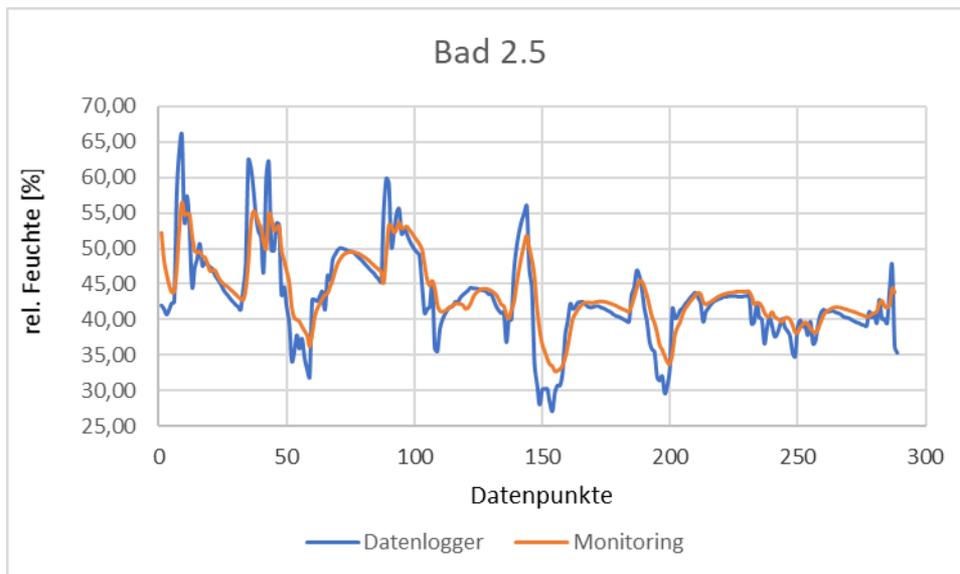


Korrekturfaktor: 1,3 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

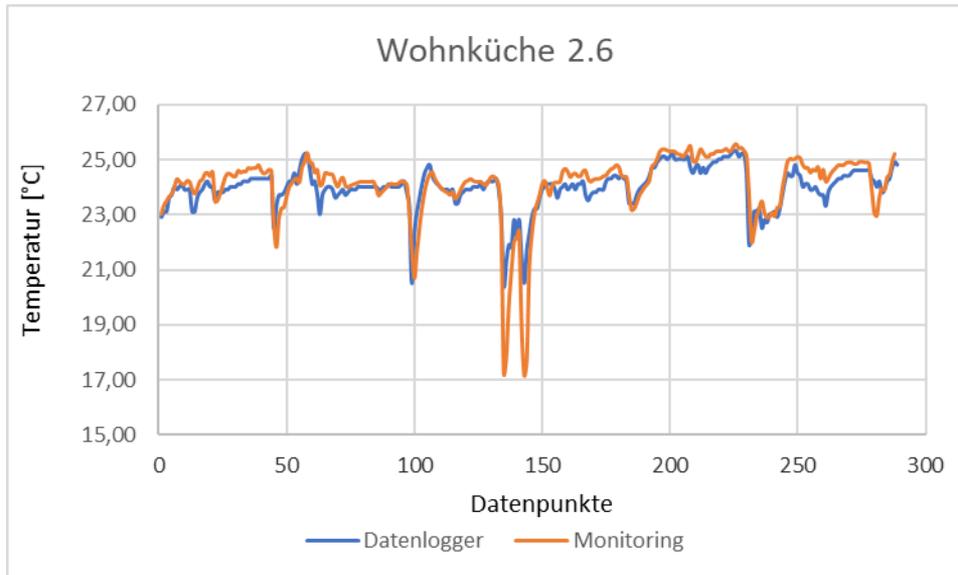


Korrekturfaktor: -0,4 K

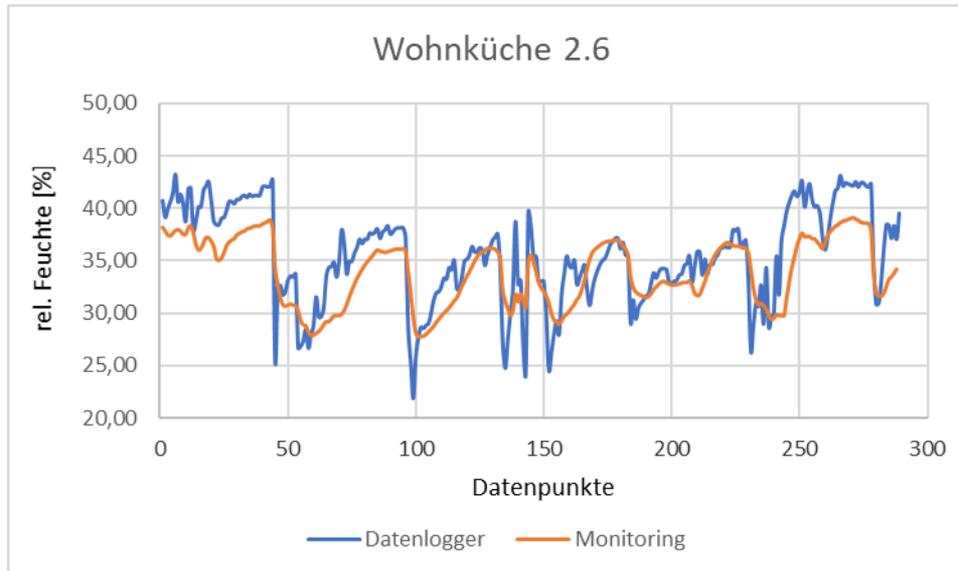


Korrekturfaktor: -0,8 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

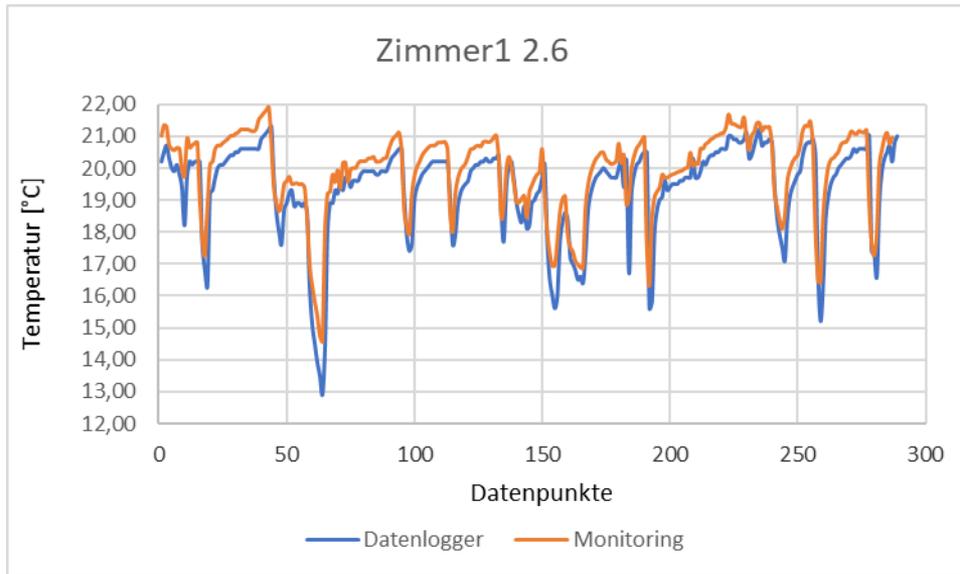


Korrekturfaktor: -0,2 K

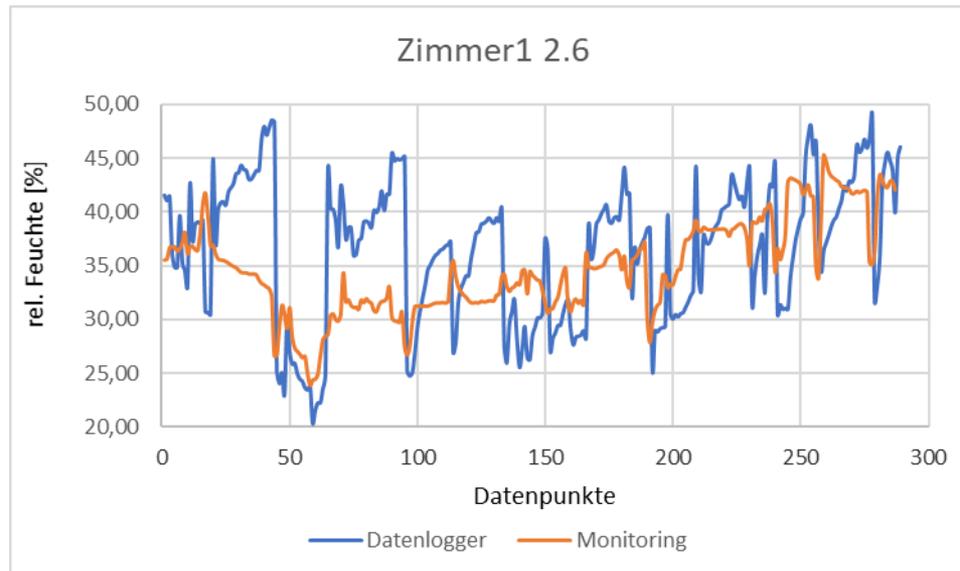


Korrekturfaktor: 1,6 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

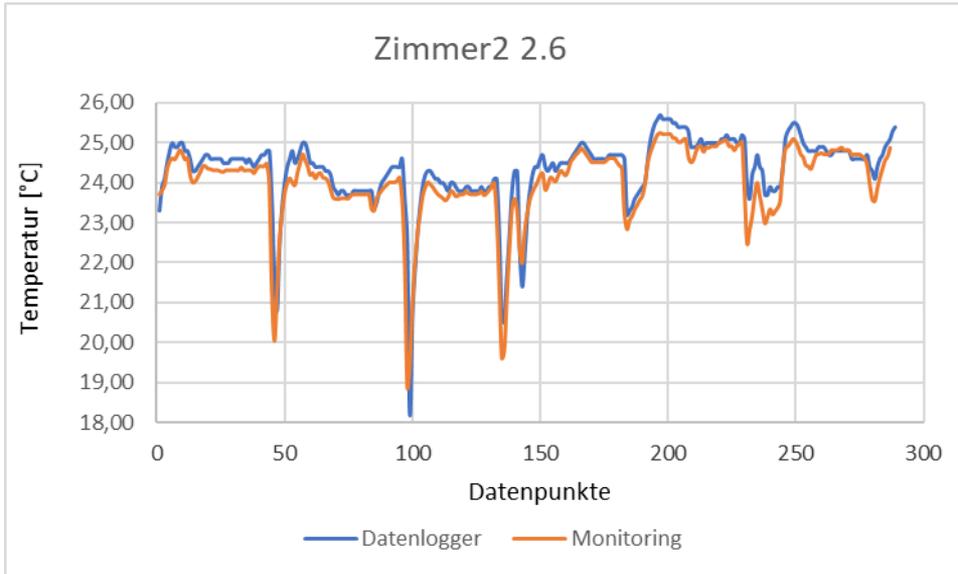


Korrekturfaktor: -0,6 K

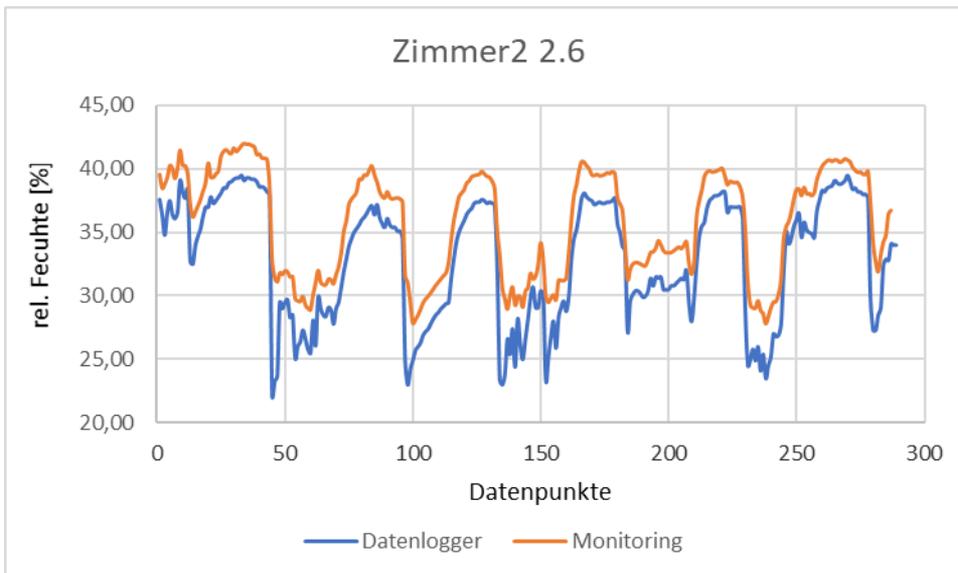


Korrekturfaktor: 1,8 %

# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger

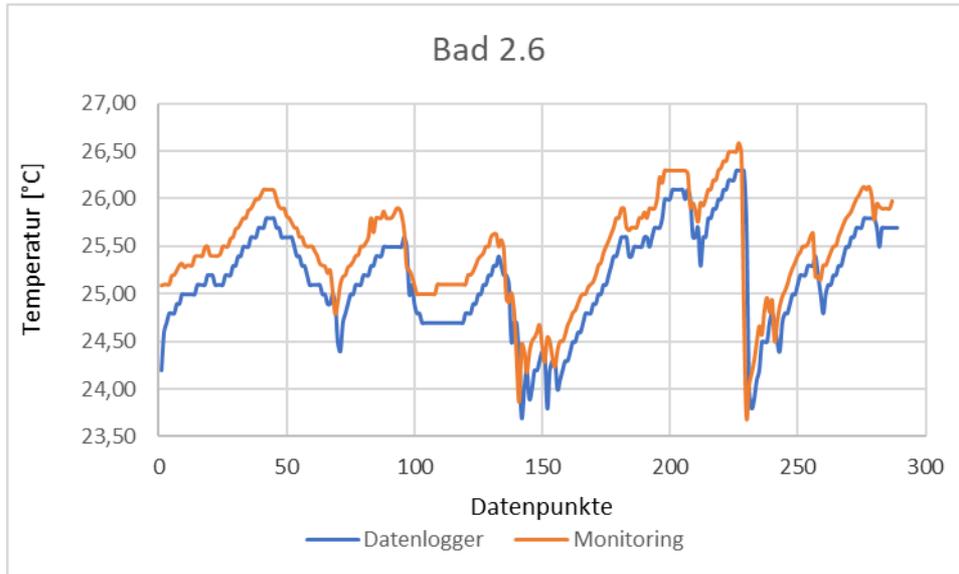


Korrekturfaktor: 0,3 K

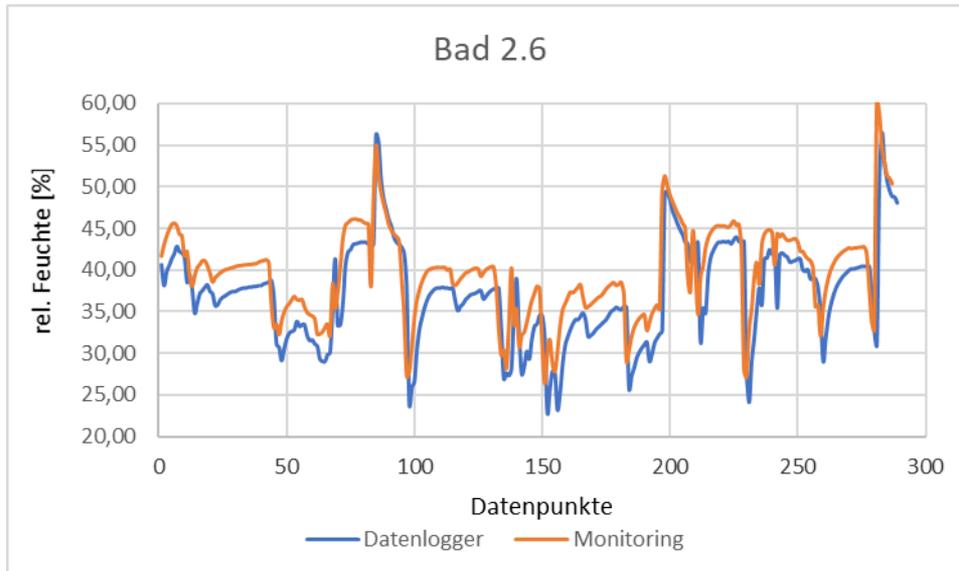


Korrekturfaktor: -2,7 %

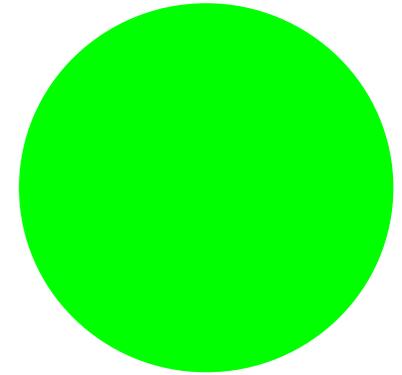
# Datenabgleich Monitoring / Datenlogger



Korrekturfaktor: -0,3 K



Korrekturfaktor: -2,4 %



# consulting for better buildings

hacon GmbH  
[www.ha-con.at](http://www.ha-con.at)