

Bericht

Horw, 20. August 2015
Seite 1/31

Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH Messungen und thermische Simulationen



Horw, 20. August 2015
Seite 2/31
Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH – Messungen und thermische Simulationen

Impressum

Auftraggeber	wibo-Werk GmbH Hamburg Herr Wolfgang Wegner Jägerlauf 41-51 D-22529 Hamburg
Auftragnehmer	Hochschule Luzern Technik & Architektur Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG Technikumstrasse 21 CH-6048 Horw
Verfasser	Dr. Davide Bionda, Hochschule Luzern – T&A
Projektbeteiligte	Dr. Tjeerd de Neef, Hochschule Luzern – T&A René Stockhaus, Hochschule Luzern – T&A
Verteiler	Herr Wolfgang Wegner, wibo-Werk GmbH
Version/Datum	Version 1, 20. August 2015
SAP-Nr.	1101355
Dateiname	r_20150820_wibo_Bericht.docx

Titelbild

Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH (2.0 kW) bereit für die Messungen in der Klimakammer der Prüfstelle Gebäudetechnik, Hochschule Luzern – Technik & Architektur.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
1.1. Ausgangslage und Fragestellung.....	4
1.2. Geräte.....	4
2. Methodik.....	6
2.1. Messanordnung.....	6
2.2. Randbedingungen.....	7
2.3. Heizkörper-Einstellungen.....	8
2.4. Auswertungsperioden.....	8
2.5. Ermittlung der Leistungsaufnahme und der zugeführten Energie.....	9
2.6. Ermittlung der thermischen Zeitkonstante.....	9
2.7. Ermittlung des Thermischen Komforts.....	9
2.8. Thermische Simulationen.....	9
3. Resultate.....	10
3.1. Gemessene Temperaturverläufe.....	10
3.2. Leistungsaufnahme und zugeführte Energie.....	11
3.3. Thermische Zeitkonstante.....	12
3.4. Thermischer Komfort.....	12
3.5. Thermische Simulationen.....	14
3.5.1. Kalibrierung des Modells.....	14
3.5.2. Simulation eines Wohnzimmers.....	14
4. Zusammenfassung.....	20
5. Anhang 1: Spezifikation der Messmittel.....	21
6. Anhang 2: Randbedingungen Klimakammer.....	23
7. Anhang 3: Simulationsgrundlagen.....	24
7.1. Simulationsperiode.....	24
7.2. Standort.....	24
7.3. Klimadaten.....	24
7.4. Gebäude und Zonen.....	25
7.5. Gebäudehülle.....	26
7.5.1. Wand gegen Aussenklima.....	26
7.5.2. Innenwand gegen beheizt.....	26
7.5.3. Decke gegen beheizt.....	26
7.5.4. Boden gegen unbeheizt.....	26
7.5.5. Fenster.....	27
7.5.6. Wärmebrücken.....	27
7.5.7. Verschattung.....	27
7.6. Räume / Zonen.....	27
7.6.1. Wohnzimmer.....	27

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage und Fragestellung

Die Geräte der Modellreihe Biomatic der Firma wibo-Werk GmbH sind Elektroheizungen, welche mit einem sekundären Wärmespeicher aus Schamotteplatten ausgestattet sind und die Wärme ohne Ventilatoren durch passive Konvektion (ca. 70%) und Strahlung (ca. 30%) an die Umgebung abgeben.

Gemäss Information des Herstellers ermöglicht ein korrekt dimensioniertes wibo-Gerät dank seiner Bauweise und präziser Steuerung, eine Reduktion der Heizleistung bis zu ca. 60% und der Heizenergie bis ca. 35-40% gegenüber konventionellen Elektrospeicherheizungen. So sollte zum Beispiel mit einem wibo-Gerät à 2 kW ein ähnliches Niveau an thermischem Komfort erreicht werden können wie mit einer 5 kW-Elektrospeicherheizung.

Im Auftrag des Herstellers wibo-Werk GmbH soll eine neutrale Instanz anhand von Labormessungen und Simulationen die Leistungsaufnahme und den Energieverbrauch einer wibo-Elektroheizung mit einer herkömmlichen Elektrospeicherheizung vergleichen, unter gleichzeitiger Überprüfung des thermischen Komforts im Innenraum.

1.2. Geräte

Folgende Geräte wurden geprüft:

- wibo Biomatic Classic 83 CH Elektroheizung mit 2.0 kW Nennleistung, Abmessungen (B x T x H) von ca. 100 x 10 x 62 cm und drahtlosem Funkthermostat 3662-EP (Abbildung 1).
- Vergleichsgerät: alte Elektrospeicherheizung (ohne Typenschild) mit ca. 4.5 kW Nennleistung, Abmessungen (B x T x H) von ca. 129 x 33 x 64 cm (Abbildung 2).



Abbildung 1. wibo Biomatic Classic 83 CH Elektroheizung à 2 kW (oben), Funkthermostat (oben rechts) und Geräte-Typenschild (rechts).



Horw, 20. August 2015

Seite 5/31

Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH – Messungen und thermische Simulationen



Abbildung 2. Alte Elektrospeicherheizung (links) und Detail des Einstellrads am Heizkörper (rechts).

2. Methodik

2.1. Messanordnung

Die Messungen wurden unter kontrollierten Raumklimabedingungen in der Klimakammer der Prüfstelle Gebäudetechnik durchgeführt.

In der Klimakammer wurde eine Messkabine (Abbildung 3) mit den Abmessungen (L x B x H) 4.0 x 4.2 x 2.4 m in Leichtbauweise aufgestellt (die Innenabmessungen der Klimakammer betragen 6.3 x 4.2 x 3.35 m). Die Messkabine diente als Analogiemodell im Massstab 1:1 eines Wohnzimmers mit einer wärmegeprägten Aussenwand mit Fenster, drei Innenwänden und einer Decke gegen beheizten Räumen sowie einem Boden gegen den unbeheizten Keller. Die Kenndaten der Messkabine sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

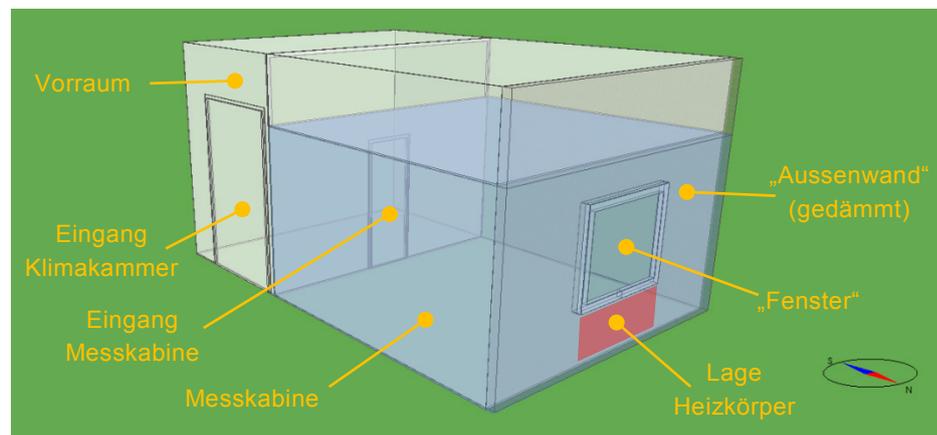


Abbildung 3. Grafische Darstellung der Klimakammer der Prüfstelle Gebäudetechnik mit der eingebauten Messkabine (blau schattiert), der gedämmt „Aussenwand“ mit „Fenster“ im Vordergrund und der Lage des Heizkörpers.

Bauteil Klimakammer / Messkabine	Material	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m K)]	Bauteil Analogiemodell
Decke	OSB Platte	18	0.130	Decke gegen beheizt
Wand Süd	OSB Platte	18	0.130	Innenwand gegen beheizt
Wand Nord	Flumroc Dämmplatte 1 OSB Platte (raumseitig)	100 18	0.035 0.130	Wand gegen Aussen (Ausrichtung nach Norden)
Fenster Wand Nord (separat steuerbare Paneele in der Mitte der Nordwand)	Wand Klimakammer (Absorberplatte mit Metalloberfläche)			Fenster gegen Aussen (Ausrichtung nach Norden)
Wand Ost				Innenwand gegen beheizt
Wand West				Innenwand gegen beheizt
Boden	Boden Klimakammer (Tobler R25)			Boden gegen unbeheizt

Tabelle 1. Materialisierung und thermische Eigenschaften der raumabschliessenden Flächen der Messkabine.

Der zu prüfende Heizkörper wurde an der „Aussenwand“, unter dem „Fenster“ in der Messkabine platziert und mit einem Temperaturfühler (Pt100) für die Messung der Oberflächentemperatur in der Mitte der Frontseite versehen (Abbildung 4). Die Raumlufttemperatur wurde an drei Stellen in der Messkabine (direkt oberhalb des Heizkörpers, in der östlichen und in der westlichen Raumhälfte) sowie an zwei Stellen im Vorraum (bei ca. 60 und 300 cm über den Boden) gemessen. Parallel dazu wurden der thermische Komfort mittels PMV-Sonde und die Leistungsaufnahme des Heizkörpers erfasst. Alle Messwerte wurden von Datenloggern im 15-Sekunden-Zeitschritt aufgenommen. Die verwendeten Messmittel sind im Anhang 1: Spezifikation der Messmittel aufgelistet.

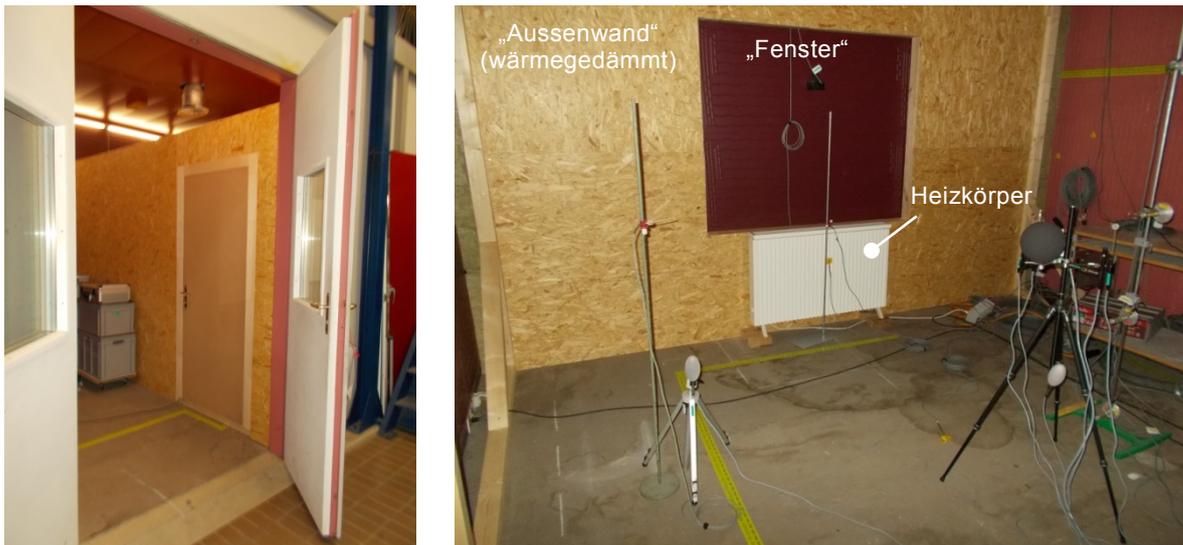


Abbildung 4. Links: Eingang zur Klimakammer und zur Messkabine. Rechts: Innenansicht der Messkabine mit der „virtuellen Aussenwand“ und „Fenster“ sowie dem zu prüfenden Heizkörper im Hintergrund.

2.2. Randbedingungen

Die Oberflächentemperaturen innerhalb der Klimakammer wurden während der Messungen unter kontrollierten Bedingungen gehalten (Abbildung 5).

An der Nordwand der Klimakammer, hinter der Dämmschicht der eingebauten „virtuellen Aussenwand“, wurde der Temperaturverlauf der Aussenoberfläche einer am Standort Zürich nach Norden ausgerichteten Aussenwand gefahren. Beim „virtuellen Fenster“ wurde der entsprechende Temperaturverlauf der inneren Oberflächentemperatur einer ebenfalls nach Norden ausgerichteten Verglasung am Standort Zürich einprogrammiert. Beide Temperaturverläufe decken eine Zeitspanne von vier Tagen in Herbst¹ (Abbildung 6) und wurden im Vorfeld der Messungen mit Hilfe eines Gebäudesimulationsprogramms (siehe 2.8) berechnet. Alle anderen raumabschliessenden Flächen der Klimakammer wurden auf eine möglichst konstante Temperatur gehalten (siehe Anhang 2: Randbedingungen Klimakammer).

Die Messungen wurden – bezogen auf die simulierten Temperaturverläufe der „virtuellen Aussenwand“ – in Echtzeit durchgeführt, um für die instationären Wärmespeichervorgänge der Materialien und das Verhalten der Heizkörper einen möglichst realitätsnahen Kontext herzustellen. Ein Tagesgang der Aussentemperatur beanspruchte somit genau 24 Stunden reeller Messzeit.

¹ Das Kühlsystem der Klimakammer ermöglicht keine Oberflächentemperaturen unter ca. 5 °C.

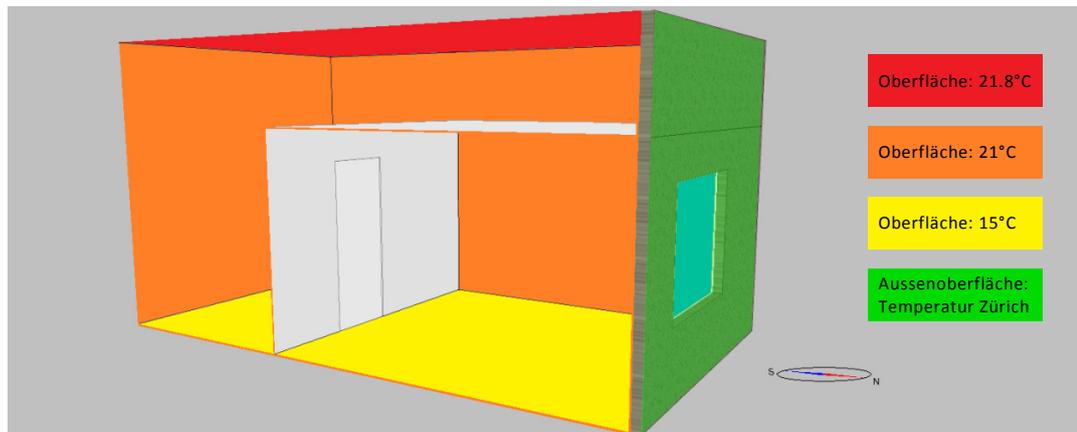


Abbildung 5. N-S Schnitt durch die Klimakammer und die Messkabine mit Angabe der während der Messungen eingestellten Oberflächentemperaturen. Die Ostwand (nicht abgebildet) wies dieselbe Oberflächentemperatur wie die West- und die Südwand. Die Nordwand der Klimakammer wurde als „virtuelle Aussenwand“ mit dem berechneten Oberflächentemperaturverlauf am Standort Zürich konfiguriert (siehe Details im Text).

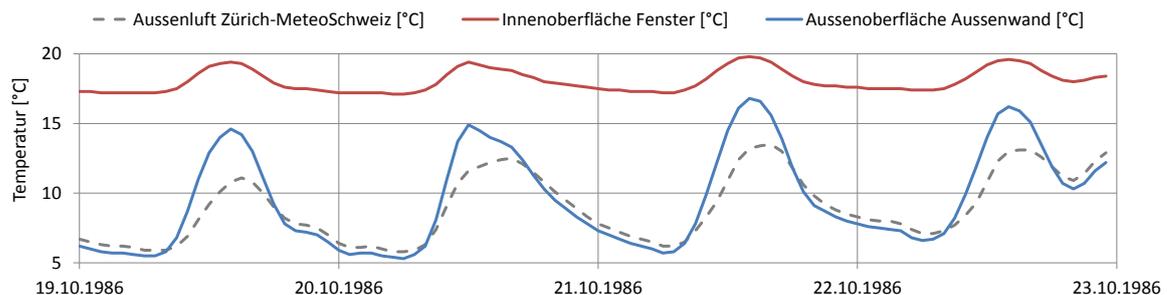


Abbildung 6. Berechnete Oberflächentemperaturverläufe einer nach Norden ausgerichtete Aussenwand und Fenster beim Standort Zürich. Aussenlufttemperatur nach SIA Merkblatt 2028 für den Standort Zürich-MeteoSchweiz.

2.3. Heizkörper-Einstellungen

Der Raumthermostat der wibo Elektroheizung wurde auf 20.5°C eingestellt. Die Regulierung der alten Elektrospeicherheizung erfolgte durch Ausprobieren, da keine Dokumentation zum Gerät vorhanden war. Folgende Einstellungen erwiesen sich als passend und wurden für die Messung übernommen: Einstellrad am Heizkörper auf Position „1“, Ladezeit von 3 Stunden pro Tag.

2.4. Auswertungsperioden

Die Messungen in der Klimakammer erstreckten sich vom 29.4.2015 bis zum 11.5.2015. Pro geprüften Heizkörper wurde eine dreitägige Messperiode im eingeschwungenen Zustand ausgewertet (Tabelle 2).

Heizkörper	Auswertungsperiode	Dauer
wibo Biomatic Classic 83 CH	30.04.2015 00:00 – 03.05.2015 00:00	3 Tage
alte Elektrospeicherheizung	07.05.2015 00:00 – 10.05.2015 00:00	3 Tage

Tabelle 2. Auswertungsperioden und –Dauer für die zwei geprüften Heizkörper.

2.5. Ermittlung der Leistungsaufnahme und der zugeführten Energie

Die Leistungsaufnahme von Heizung und Steuerungselektronik sowie (nur beim Vergleichsgerät) des Ventilators wurde aus den entsprechenden elektrischen Phasen abgelesen und zeitaufgelöst aufgenommen. Die während der ganzen Messphase zugeführte Energie wurde durch Integration über die Zeit der gesamten Leistungsaufnahme bestimmt.

2.6. Ermittlung der thermischen Zeitkonstante

Die thermische Zeitkonstante τ bezeichnet diejenige Zeit, bei welcher die Temperatur T auf den $1/e$ -Teil abgeklungen ist ($e = 2.71828$, somit $1/e = 36.8\%$) und ist wie folgt definiert:

$$\tau = \frac{1}{k} \quad [\text{s}] \text{ oder } [\text{h}]$$

k : Abkühlungsrate [s^{-1}] oder [h^{-1}]

Die Abkühlungsrate des Heizkörpers wurde durch Anpassung („curve fitting“) des Newtonschen Abkühlungsgesetzes an den gemessenen Oberflächentemperaturen anhand der Methode der kleinsten Quadrate ermittelt:

$$T(t) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-kt} \quad [^\circ\text{C}]$$

$T(t)$: Oberflächentemperatur des Heizkörpers als Funktion der Zeit [$^\circ\text{C}$]

T_a : Umgebungstemperatur [$^\circ\text{C}$]

T_0 : Anfangstemperatur der Oberfläche des Heizkörpers [$^\circ\text{C}$]

k : Abkühlungsrate [s^{-1}]

t : Zeit [s]

2.7. Ermittlung des Thermischen Komforts

Der thermische Komfort in der Messzelle wurde während der Messungen mittels PMV-Sonde nach Norm SN ISO 7730:2006 erfasst. Die mit dem jeweiligen Heizkörper erreichten Raumluft- und operativen Temperaturen sowie den vorausgesagten Prozentsatz Unzufriedenen (PPD, „Predicted Percentage of Dissatisfied“) wurden nach Norm EN 15251 bewertet.

2.8. Thermische Simulationen

Die thermischen Simulationen wurden mit dem Gebäudesimulationsprogramm IDA ICE (Expert Edition, Version 4.6.1) der Firma EQUA Simulation AB durchgeführt.

In einem ersten Schritt wurden zwei Simulationsmodelle der Klimakammer inklusive Elektroheizung erstellt (je ein Modell für die wibo Heizung und für das Vergleichsgerät). Da die Heizelemente-Standardbibliothek von IDA ICE kein Modell von Elektrospeicherheizungen zur Verfügung stellt, wurde ein solches Modell spezifisch für das vorliegende Projekt im „Advanced Level“ entwickelt.

Die zwei Modelle – und insbesondere die Parameter der Elektroheizungen – wurden anhand der Resultate der Messungen kalibriert. Die kalibrierten Elektroheizungsmodelle wurden anschliessend für die Simulation einer Wohnzimmerzone in einem fiktiven Mustergebäude am Standort Zürich eingesetzt.

Die Grundlagen für die thermischen Simulationen sind im Anhang 3: Simulationsgrundlagen dokumentiert.

3. Resultate

3.1. Gemessene Temperaturverläufe

Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen die während der dreitägigen Messperiode erfassten Temperaturverläufe für die wibo Elektroheizung und die alte Elektrospeicherheizung.

Die mit der wibo Elektroheizung erreichte Raumlufthtemperatur in der Messkabine lag mehrheitlich im Bereich zwischen ca. 20.5°C und 21.5°C. Die Oberflächentemperatur des Heizkörpers schwankte zwischen ca. 25°C und 55°C.

Mit der alten Elektrospeicherheizung schwankte die Raumlufthtemperatur in der Messkabine im Tagesrhythmus zwischen ca. 21°C und 23.5°C. Beim Unterschreiten von ca. 21.5°C Raumlufthtemperatur schaltete sich der Ventilator im Heizgerät im Stundentakt ein, bis die Raumlufthtemperatur wieder überschritten hatte. Die Temperatur der ausgeblasenen Luft erreichte Spitzen von ca. 45°C bis 70°C.

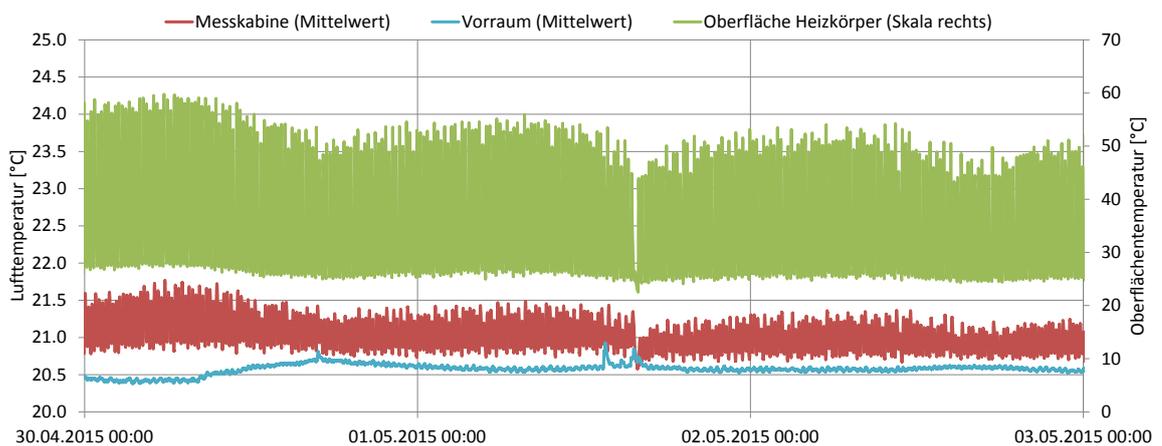


Abbildung 7. wibo Biomatic Classic 83 CH: gemessene Temperaturverläufe während der dreitägigen Messperiode.

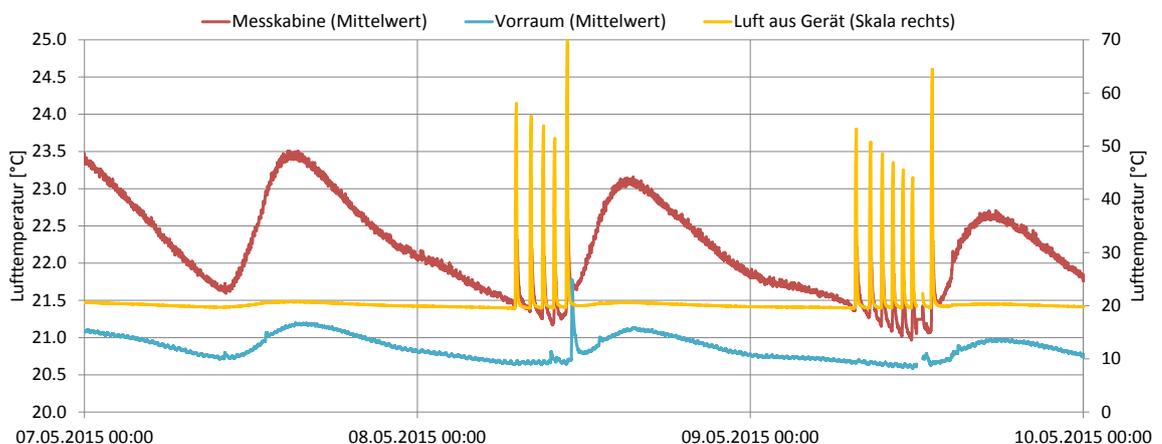


Abbildung 8. Alte Elektrospeicherheizung: gemessene Temperaturverläufe während der dreitägigen Messperiode.

3.2. Leistungsaufnahme und zugeführte Energie

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen die elektrische Leistung, welche während der Messperiode von den geprüften Heizkörpern aufgenommen wurde.

Bei eingeschalteter Heizung lag die Leistungsaufnahme des wibo Geräts im Mittel bei ca. 2040 W. Die Heizung schaltete sich regelmässig jede 15 Minuten für 3 Minuten ein. Die während der dreitägigen Messperiode (30.04.2015 00:00 – 03.05.2015 00:00) total zugeführte elektrische Energie beträgt ca. 24.8 kWh.

Die alte Elektrospeicherheizung wurde so eingestellt, dass sie einmal pro Tag während 3 Stunden auflädt. Die Leistungsaufnahme beim Aufladen lag im Mittel bei ca. 4393 W. Die während der dreitägigen Messperiode (07.05.2015 00:00 – 10.05.2015 00:00) total zugeführte elektrische Energie beträgt ca. 37.9 kWh.

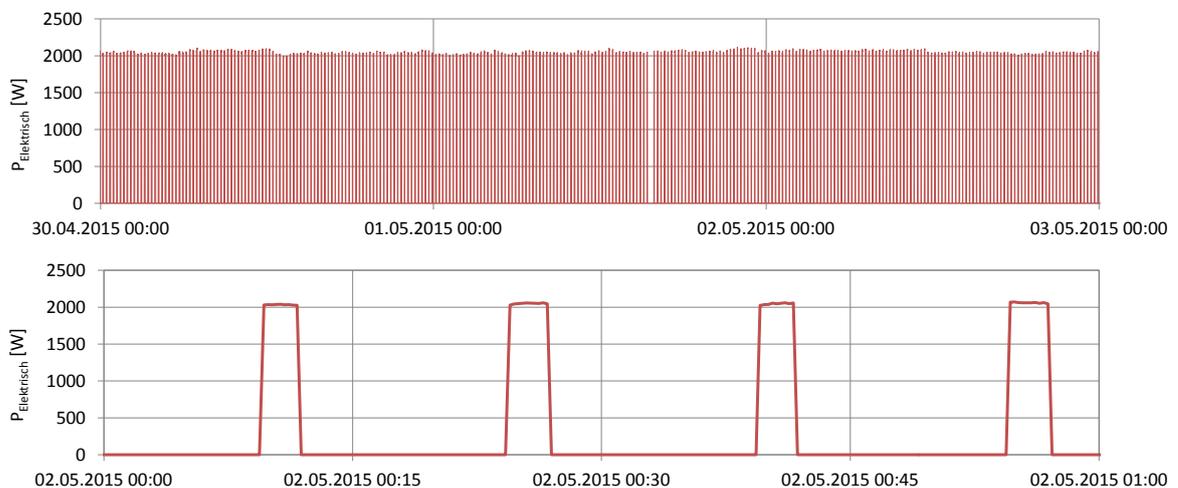


Abbildung 9. Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH: gemessene elektrische Leistungsaufnahme während der dreitägigen Messperiode (oben) und Detail einer Stunde (unten).

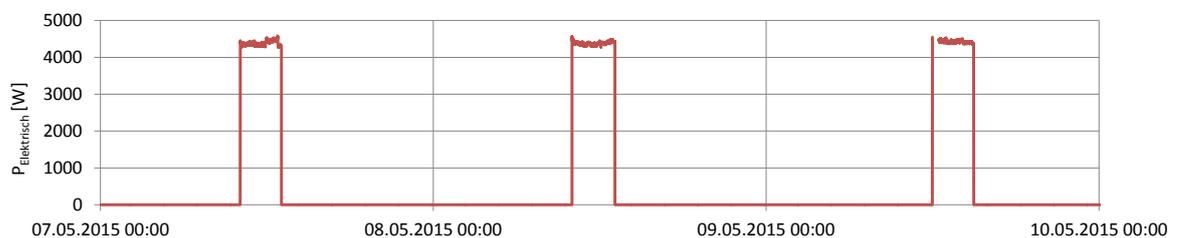


Abbildung 10. Alte Elektrospeicherheizung: gemessene elektrische Leistungsaufnahme während der dreitägigen Messperiode.

3.3. Thermische Zeitkonstante

Abbildung 11 zeigt die Übereinstimmung der gemessenen mit den durch Anpassung des Newtonschen Abkühlungsgesetzes berechneten Temperaturverläufen für den wibo Heizkörper und für die alte Elektrospeicherheizung.

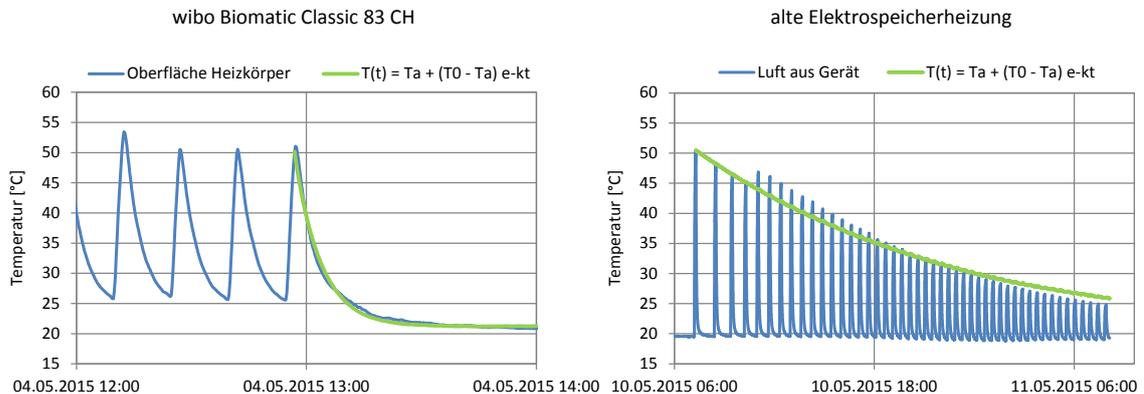


Abbildung 11. Verlauf der gemessene und den durch Anpassung des Newtonschen Abkühlungsgesetzes berechneten Temperaturverläufen für die zwei geprüften Heizkörper.

Die durch „curve fitting“ ermittelte thermische Zeitkonstante der wibo Elektroheizung liegt bei 0.11 h (knapp über 6.5 Minuten) und ist somit um ca. zwei Grössenordnungen kleiner als diejenige des Vergleichsgeräts (14.86 Stunden, siehe Tabelle 3).

Heizkörper	Abkühlungsrate [h ⁻¹]	Thermische Zeitkonstante [h]	Messstelle
wibo Biomatic Classic 83 CH	8.962	0.11	Oberflächentemperatur in der Mitte der Frontseite
alte Elektrospeicherheizung	0.067	14.86	Lufttemperatur beim Luftauslass an der Frontseite unten

Tabelle 3. Abkühlungsraten und thermische Zeitkonstanten für die Abkühlung der Heizkörper.

3.4. Thermischer Komfort

Die gemessenen Grössen geben Auskunft über den in der Messkabine mit dem jeweiligen Heizkörper erreichten thermischen Komfort. Die Bewertung erfolgte anhand der in der Norm EN 15251 definierten Behaglichkeitskategorien (Tabelle 4).

Kategorie	Beschreibung	Temperaturbereich für die Heizung [°C]	PPD [%]
I	Hohe Erwartungen	21.0 – 25.0	< 6
II	Normale Erwartungen	20.0 – 25.0	< 10
III	Moderate Erwartungen	18.0 – 25.0	< 15
IV	Nicht annehmbar	< 18 oder > 25	> 15

Tabelle 4. Behaglichkeitskategorien und Anforderungen für Wohngebäude / Wohnräume nach Norm EN 15251. Annahmen: Aktivitätsgrad = 1.2 met (Sitzende Aktivitäten), Bekleidung = 1.0 clo (leichte Winterbekleidung).

Die mit der wibo Elektroheizung erreichte Raumlufttemperatur (Abbildung 12) lag während der ganzen Messperiode innerhalb der Behaglichkeitskategorien I und II (normale bis hohe Erwartungen). Mit der alten Elektrospeicherheizung war die Temperatur auch mehrheitlich innerhalb den Kategorien I und II. Rund 5% der Messpunkte lagen jedoch aufgrund der für den Raum zu gross dimensionierte Heizleistung bzw. der mit drei Stunden zu lange Ladezeit im nicht annehmbaren Bereich oberhalb von 25 °C. Die operative Temperatur reichte aufgrund der kalten Bodenoberfläche und „virtuelle Aussenwand“ von Kategorie I bis III.

Die Auswertung des PPD-Wertes (Abbildung 13) zeigt, dass dieser mit beiden Heizkörpern immer im annehmbaren Bereich lag, wobei die wibo Elektroheizung mehrheitlich in den Bereichen II und III, während die alte Elektrospeicherheizung tendenziell eher in den Bereichen I und II lag.

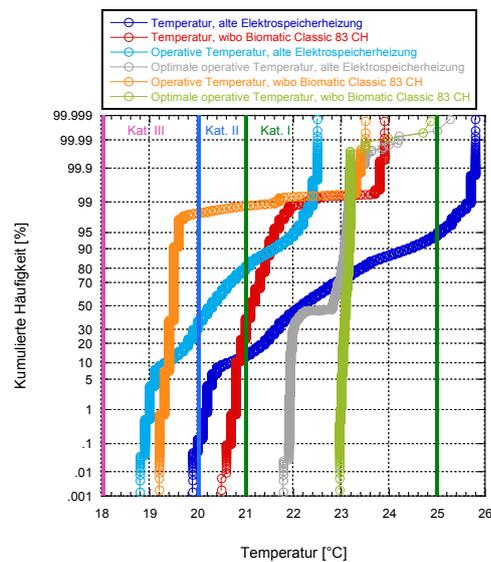


Abbildung 12. Kumulierte Häufigkeit der Temperatur, der operativen Temperatur und der optimalen operativen Temperatur sowie Behaglichkeitskategorien nach Norm EN 15251.

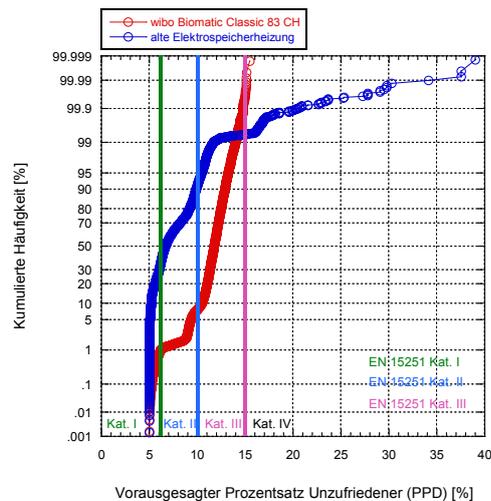


Abbildung 13. Kumulierte Häufigkeit des vorausgesagten Prozentsatzes Unzufriedener (PPD) und Behaglichkeitskategorien nach Norm EN 15251.

3.5. Thermische Simulationen

3.5.1. Kalibrierung des Modells

Die Simulationsmodelle wurden anhand der Resultate der Messungen in der Klimakammer kalibriert. Insbesondere die Modellparameter der Heizkörper wurden soweit angepasst, bis eine akzeptable Übereinstimmung zwischen Mess- und Simulationsergebnisse – inklusive Energieverbrauch von ca. 25 kWh (wibo Elektroheizung) bzw. ca. 38 kWh (alte Elektrospeicherheizung) während der dreitägigen Messperiode – erreicht wurde. Abbildung 14 zeigt den Vergleich zwischen der gemessenen und der anhand der Simulation berechneten mittleren Raumlufthtemperaturen für die zwei Heizkörper.

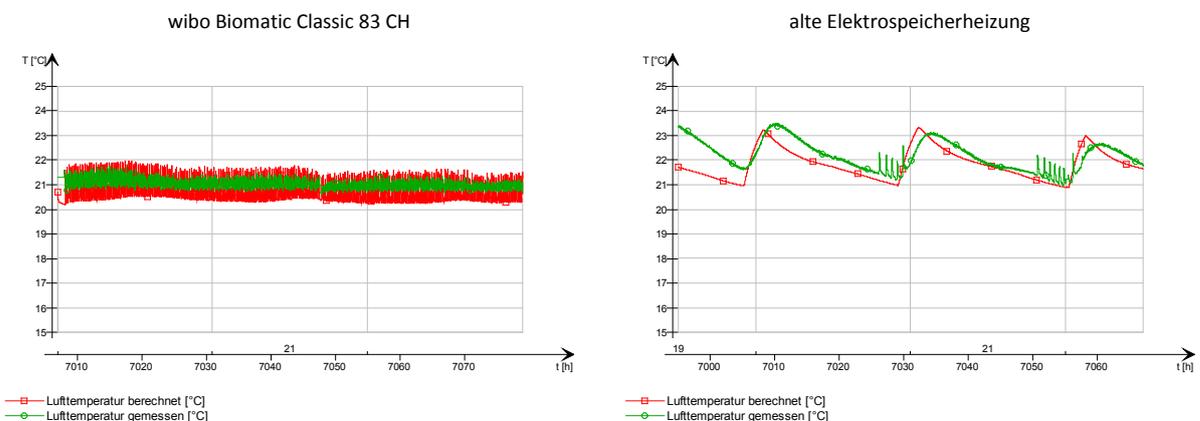


Abbildung 14. Vergleich der berechneten (simulierten) mit der gemessenen Raumlufthtemperaturen. Links: Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH. Rechts: alte Elektrospeicherheizung.

3.5.2. Simulation eines Wohnzimmers

Die kalibrierten Modelle der Elektroheizungen wurden für die Simulation einer Wohnzimmerzone in einem fiktiven Mustergebäude am Standort Zürich eingesetzt. Dabei wurde speziell geachtet, dass mit beiden Heizkörpern möglichst ähnliche minimale Raumlufthtemperaturen erreicht wurden. Für die Simulationen mit der alten Elektrospeicherheizung musste die tägliche Ladezeit von 3 auf 1.5 Stunden verkürzt werden. Eine passende Übereinstimmung konnte während der Winterzeit erreicht werden; in Herbst und in Frühling führt dagegen die alte Elektrospeicherheizung zu einer um ca. 1.5 °C höheren Raumlufthtemperaturen (Abbildung 15).

Während der Heizperiode (16. Oktober – 15 April), bei Aussentemperaturen zwischen -10°C und 20°C (Aussenklima in Zürich nach SIA Merkblatt 2028) und einem Sollwert am Thermostat von 21°C, schwankt die Raumlufthtemperaturen zwischen ca. 18.5°C und 22.5°C (wibo Elektroheizung, Abbildung 16) bzw. zwischen ca. 19°C und 24°C (alte Elektrospeicherheizung, Abbildung 17).

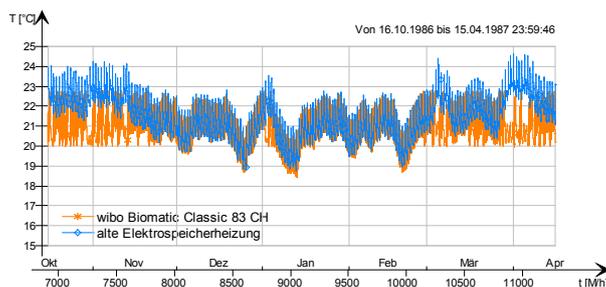


Abbildung 15. Vergleich der berechneten Raumlufthtemperaturen, die mit den zwei Heizkörpern während der Heizperiode (16. Oktober – 15 April) erzielt werden.

Horw, 20. August 2015

Seite 15/31

Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH – Messungen und thermische Simulationen

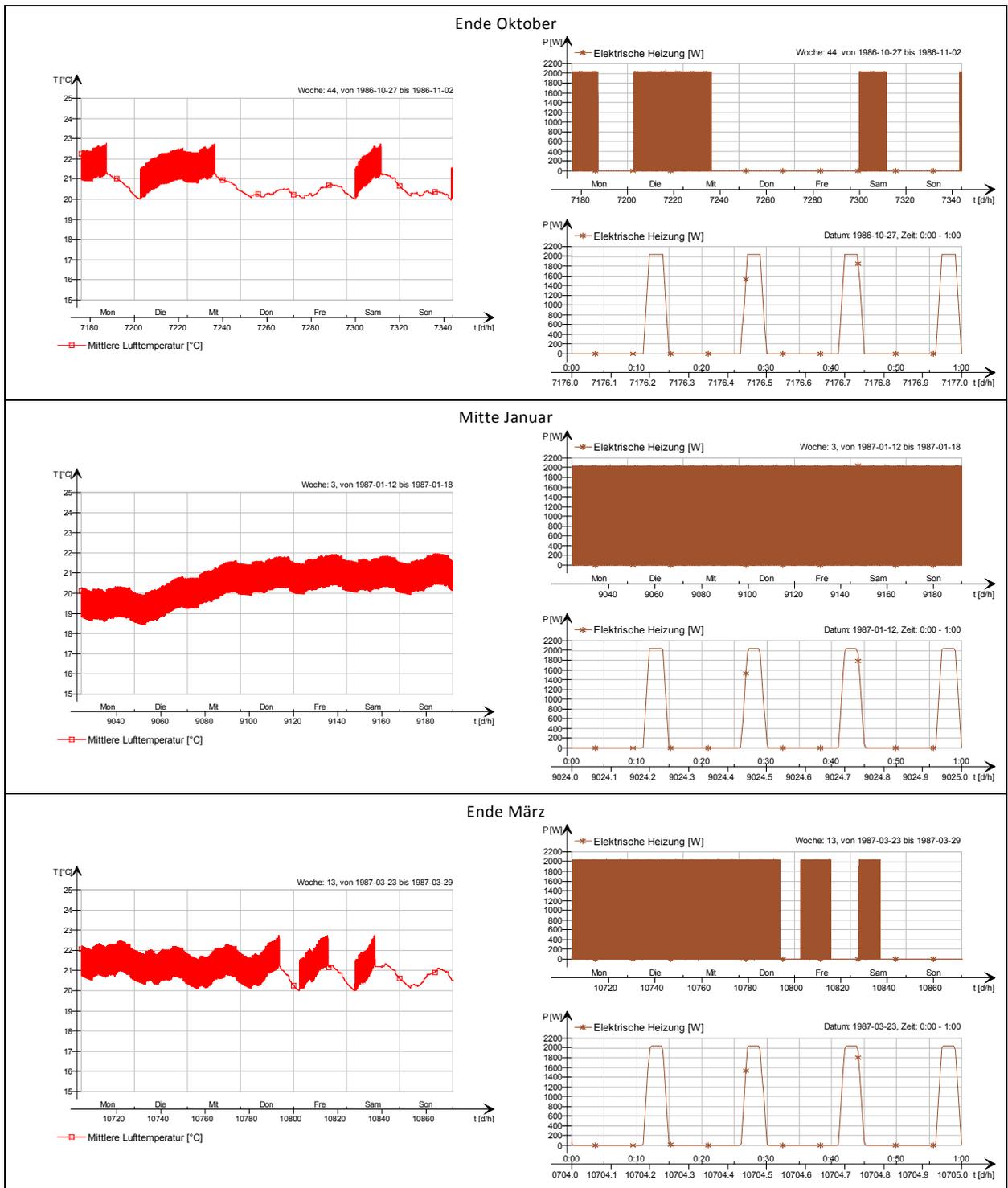


Abbildung 16. Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH: Verlauf der berechneten Raumlufttemperatur (links, Stundenmittelwerte) und der Leistungsaufnahme (rechts, für die ganze Woche und für eine Stunde im Detail) während jeweils einer Woche in Oktober, Januar und März beim Standort Zürich. Wenn die Heizung in Betrieb ist, dann nimmt sie nur jede 15 Minuten während ca. 3 Minuten elektrische Leistung auf.

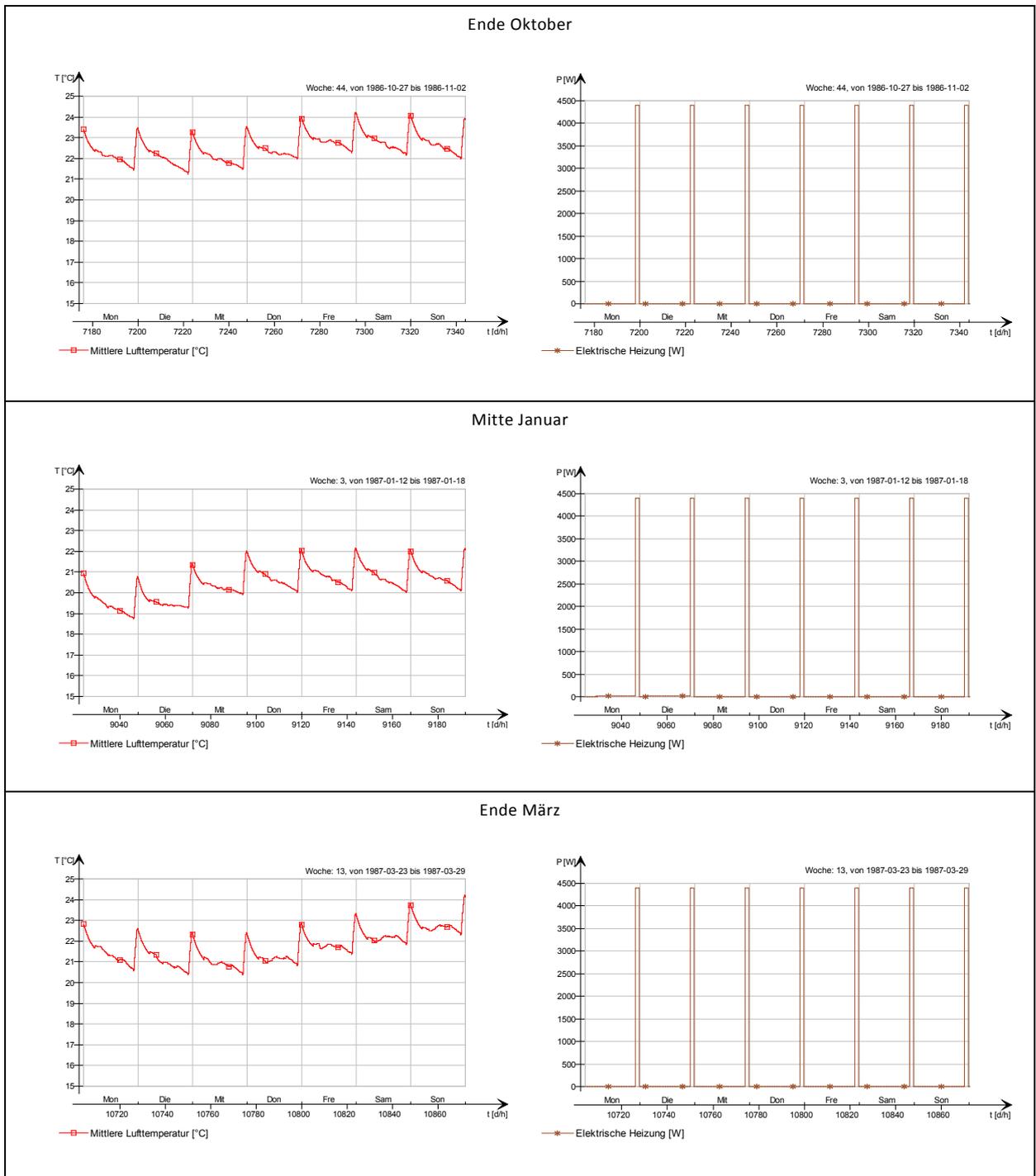


Abbildung 17. Alte Elektrospeicherheizung: Verlauf der berechneten Raumlufttemperatur (links, Stundenmittlere) und der Leistungsaufnahme (rechts) während jeweils einer Woche in Oktober, Januar und März beim Standort Zürich. Je nach Raumlufttemperatur, lädt sich der Heizkörper während bis zu 3 Stunden täglich auf.

Die berechnete operative Temperatur liegt während der Heizperiode mit beiden Heizkörpern mehrheitlich in den Behaglichkeitskategorien I bis II nach Norm EN 15251 (normale bis hohe Erwartungen, siehe Abbildung 18 und Abbildung 19).

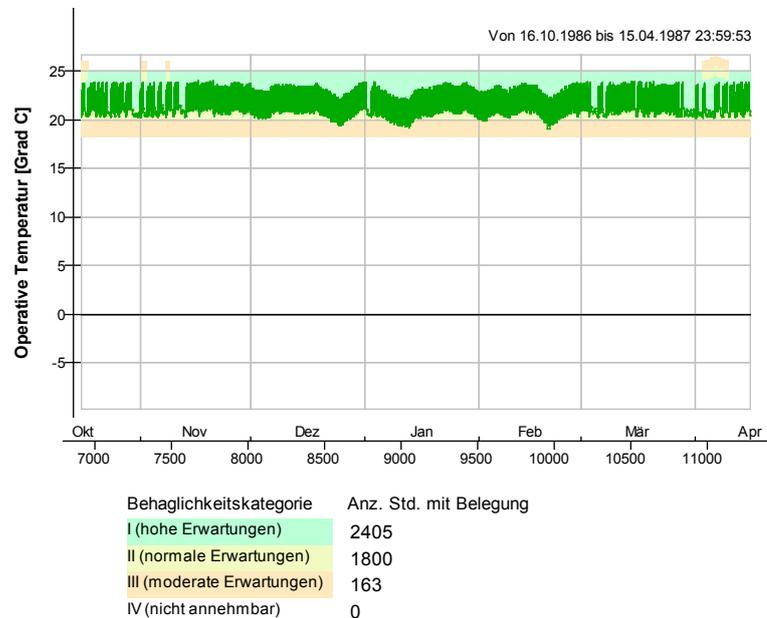


Abbildung 18. Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH: Berechnete operative Temperatur während eines Jahres, Behaglichkeitskategorien und Anzahl Stunden nach Norm EN 15251.

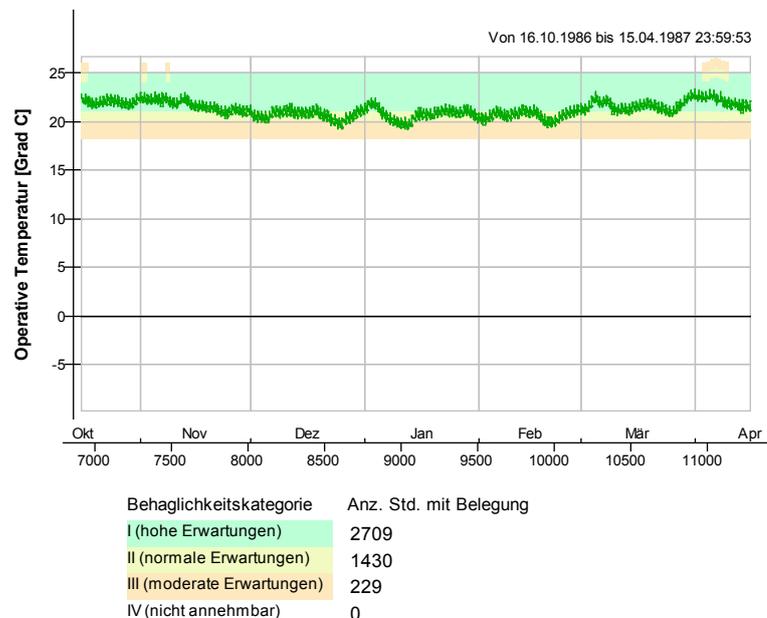


Abbildung 19. Alte Elektrospeicherheizung: Berechnete operative Temperatur während eines Jahres, Behaglichkeitskategorien und Anzahl Stunden nach Norm EN 15251.

Die verbrauchte Energie für die Heizung des simulierten Wohnzimmers während der Heizperiode (16. Oktober – 15 April) beträgt mit der wibo Elektroheizung ca. 1422 kWh/a (Abbildung 20) und entspricht somit einem spezifischen Verbrauch pro Flächeneinheit von ca. 85 kWh/(m² a). Mit der alten Elektrospeicherheizung und einer täglichen Ladezeit von 1.5 Stunden² beträgt die verbrauchte Energie 1206 kWh/a (Abbildung 21), d.h. ca. 72 kWh/(m² a). Durch Erhöhung der Ladezeit auf 3 Stunden steigt jedoch der Energieverbrauch der alten Elektrospeicherheizung bereits auf knapp 2400 kWh/a, bzw. 143 kWh/(m² a) (Abbildung 22). Die Raumtemperatur steigt entsprechend mit Maximalspitzen bis ca. 27°C.

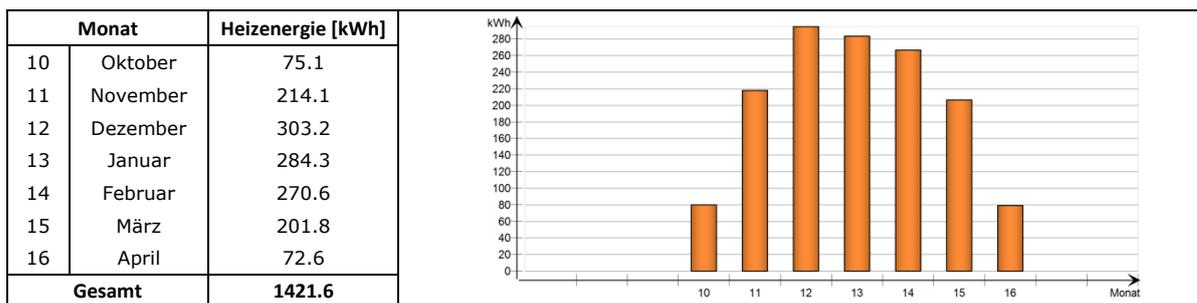


Abbildung 20. Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH: Berechnete verbrauchte Energie für die Heizung des Wohnzimmers während der Heizperiode vom 16. Oktober bis zum 15. April.

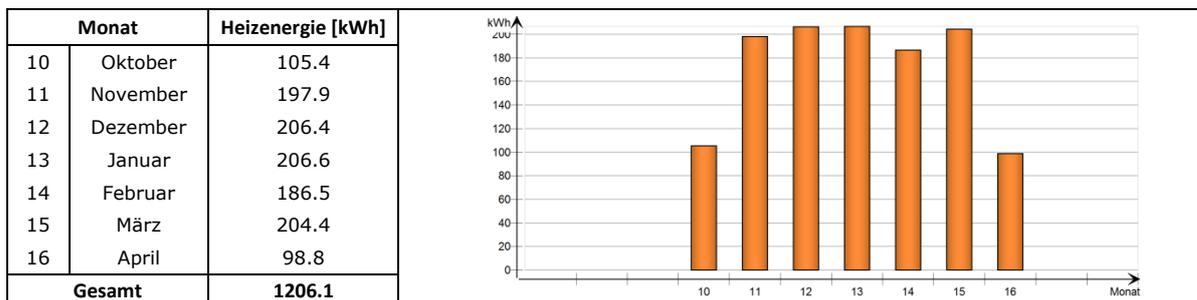


Abbildung 21. Alte Elektrospeicherheizung (1.5 Stunden Ladezeit pro Tag): Berechnete verbrauchte Energie für die Heizung des Wohnzimmers während der Heizperiode vom 16. Oktober bis zum 15. April.

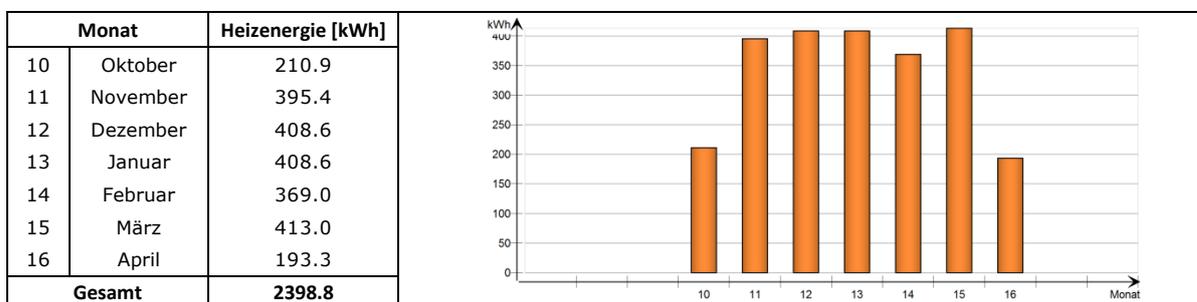


Abbildung 22. Alte Elektrospeicherheizung (3 Stunden Ladezeit pro Tag): Berechnete verbrauchte Energie für die Heizung des Wohnzimmers während der Heizperiode vom 16. Oktober bis zum 15. April.

² Für die Praxis stellt sich jedoch die Frage, ob mit einer Elektrospeicherheizung so kurze Ladezeiten regelungstechnisch realisierbar sind.

Die Resultate der Simulationen zeigen, dass für die Heizung des untersuchten fiktiven Wohnzimmers:

- Die wibo Elektroheizung deutlich weniger Energie braucht als die alte Elektrospeicherheizung mit 3 Stunden Ladezeit. Entsprechend werden mit der Elektrospeicherheizung höhere Raumtemperaturen erlangt (Abbildung 23).
- Die wibo Elektroheizung etwas mehr Energie braucht als die alte Elektrospeicherheizung mit 1.5 Stunden Ladezeit (siehe dazu Fussnote 2, Seite 18). Es werden dabei ähnliche Minimaltemperaturen erreicht (Abbildung 23). Die kleine Diskrepanz im Energieverbrauch lässt sich mit der pulsierenden Funktionsweise des wibo Heizkörpers erklären (Abbildung 24), der in regelmässigen Zeitabständen elektrische Leistung aufnimmt (nur soweit nötig, um den Temperatursollwert zu erreichen oder einzuhalten) und an die Umgebung in Form von Wärme wieder abgibt (siehe Zeitweise höhere Raumlufttemperaturen als mit der alten Elektrospeicherheizung).

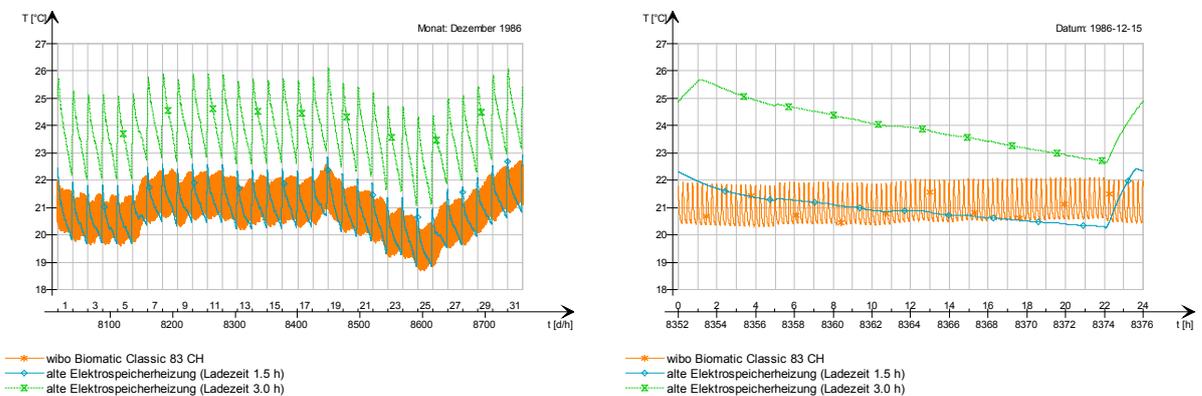


Abbildung 23. Verlauf der mit den zwei Heizkörpern erreichten Raumlufttemperaturen während des Monats Dezember (links) und im Detail über 24 Stunden am 15. Dezember (rechts).

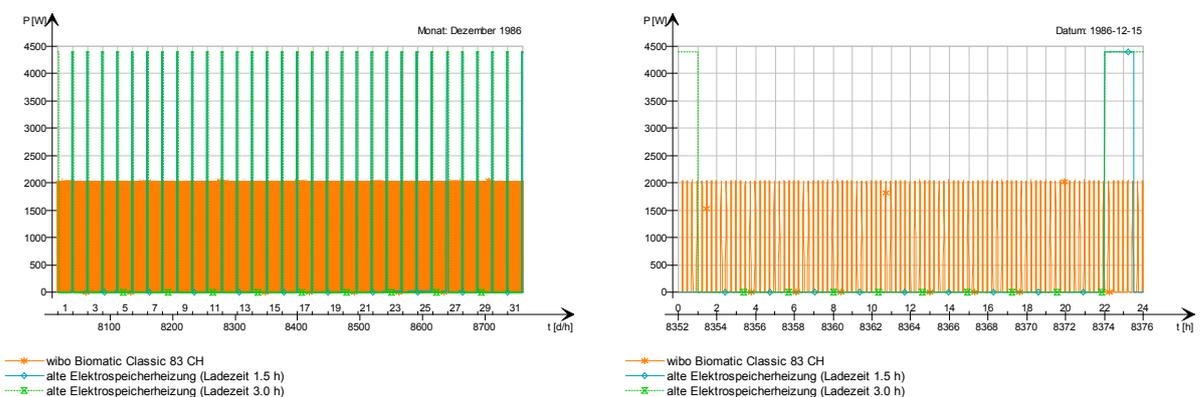


Abbildung 24. Verlauf der Leistungsaufnahme der zwei Heizkörper während des Monats Dezember (links) und im Detail über 24 Stunden am 15. Dezember (rechts).

4. Zusammenfassung

Die Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH sowie eine alte Elektrospeicherheizung als Vergleichsgerät wurden unter klimatisch kontrollierten Bedingungen während jeweils einer dreitägigen Messperiode in der Klimakammer untersucht. Folgende Kennwerte wurden ermittelt und im vorliegenden Bericht dokumentiert:

- Elektrische Leistungsaufnahme und total zugeführte Energie.
- Thermische Zeitkonstante für die Abkühlung und Abkühlungsrate.
- Thermischer Komfort in der Messkabine während der Messungen.

Zwei Simulationsmodelle wurden spezifisch für die geprüften Heizkörper entwickelt und aufgrund der Messresultate kalibriert. Das Verhalten der Heizkörper in einem fiktiven Wohnzimmer am Standort Zürich wurde anhand von dynamischen thermischen Simulationen ermittelt und dokumentiert, insbesondere:

- Verlauf der Raumlufitemperatur und der Leistungsaufnahme für jeweils eine Woche in Herbst, Winter und Frühling.
- Verlauf der operativen Temperatur inkl. Behaglichkeitskategorien nach EN 15251 während der Heizperiode (16. Oktober – 15. April).
- Verbrauchte Energie für die Heizung der simulierten Wohnzimmer während der Heizperiode (16. Oktober – 15. April).

5. Anhang 1: Spezifikation der Messmittel

Genereller thermischer Komfort nach SN ISO 7730:2006

Raumlufttemperatur

Fabr. LumaSense Innova
Typ MM0034
Log. Nr. 1.18 HP 014
Messbereich 5...40°C
Messunsicherheit $\pm 0.2\text{K}$ ($5^\circ\text{C} < t_r < 40^\circ\text{C}$)

Taupunkttemperatur

Fabr. LumaSense Innova
Typ MM0037
Log. Nr. 1.18 HP 014
Messbereich 5...100°C
Messunsicherheit $\pm 0.5\text{K}$ ($t_r - t_d < 10\text{K}$)

Strömungsgeschwindigkeit

Fabr. LumaSense Innova
Typ MM0038
Log. Nr. 1.18 HP 014
Messbereich 0...10m/s
Messunsicherheit $(\pm 0.05v_a + 0.05)\text{m/s}$ für $v_a < 1\text{m/s}$

Operative Temperatur

Fabr. LumaSense Innova
Typ MM0060
Log. Nr. 1.18 HP 014
Messbereich 5...40°C
Messunsicherheit $\pm 0.3\text{K}$

Trockener Wärmeverlust – Dry Heat Loss

Fabr. LumaSense Innova
Typ MM0057
Log. Nr. 1.18 HP 014
Messbereich 175 W/m² oder 3 Met mit drei angeschlossenen DHL-Sensoren
Messunsicherheit $\pm 0.4\text{W/m}^2$ oder $\pm 2\%$

Raumluftströmung – Multichannel Flow Analyzer

Fabr. Dantec
Typ 54N10
Log. Nr. 1.18 HP 004
Messbereich 0 - 100 cm/s / 1 – 5 m/s; 0 - 45°C
Kanäle 12

Fabr. Dantec
Typ 54N10
Log. Nr. 1.18 HP 015
Messbereich 0 - 100 cm/s / 1 – 5 m/s; 0 - 45°C
Kanäle 12

Horw, 20. August 2015
Seite 22/31
Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH – Messungen und thermische Simulationen

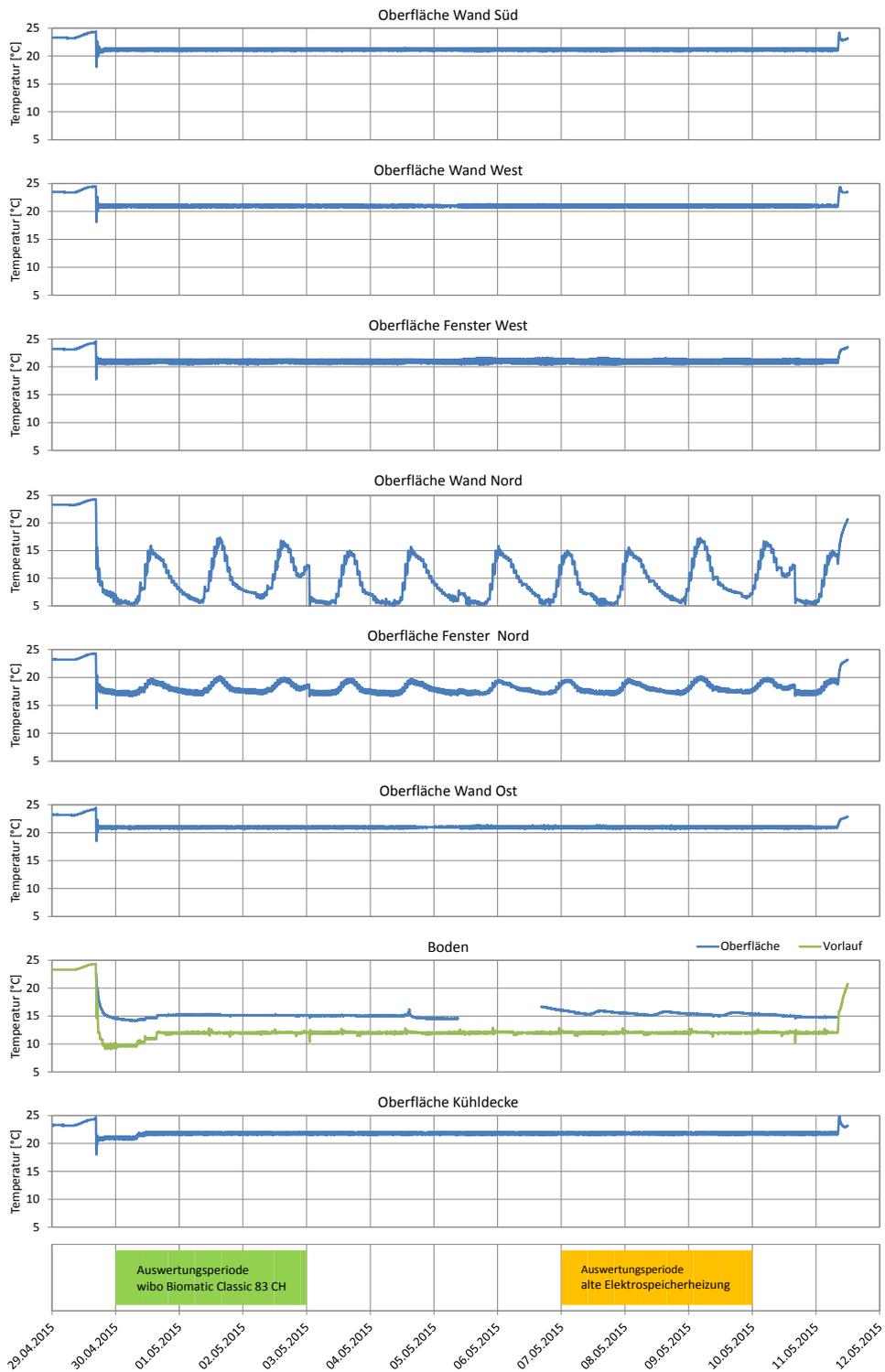
Datenlogger

Fabr.	HP
Typ	34970A
Log. Nr.	1.16 HP 115

Temperaturfühler

Pt100	1.16 HP 115-K203 (Oberflächentemperatur Boden)
Pt100	1.16 HP 115-K205 (Oberflächentemperatur Heizkörper)
Pt100	1.03HP132 (Lufttemperatur Messkabine West)
Pt100	1.03HP135 (Lufttemperatur Messkabine Ost)
Pt100	1.03HP136 (Lufttemperatur Vorraum oben)
Pt100	1.03HP139 (Lufttemperatur Vorraum unten)
Pt100	1.03HP166 (Lufttemperatur über Heizkörper)

6. Anhang 2: Randbedingungen Klimakammer



7. Anhang 3: Simulationsgrundlagen

7.1. Simulationsperiode

Ganzes Jahr.

7.2. Standort

Land: Schweiz
Stadt: Zürich
Breitengrad: 47.38° N
Längengrad: 8.57° O
Höhe über Meer: 569 m
Zeitzone: +1 h

7.3. Klimadaten

Für das Aussenklima werden DRY (Design Reference Year) Klimadaten nach SIA Merkblatt 2028 für den Standort Zürich-MeteoSchweiz eingesetzt (Abbildung 25).

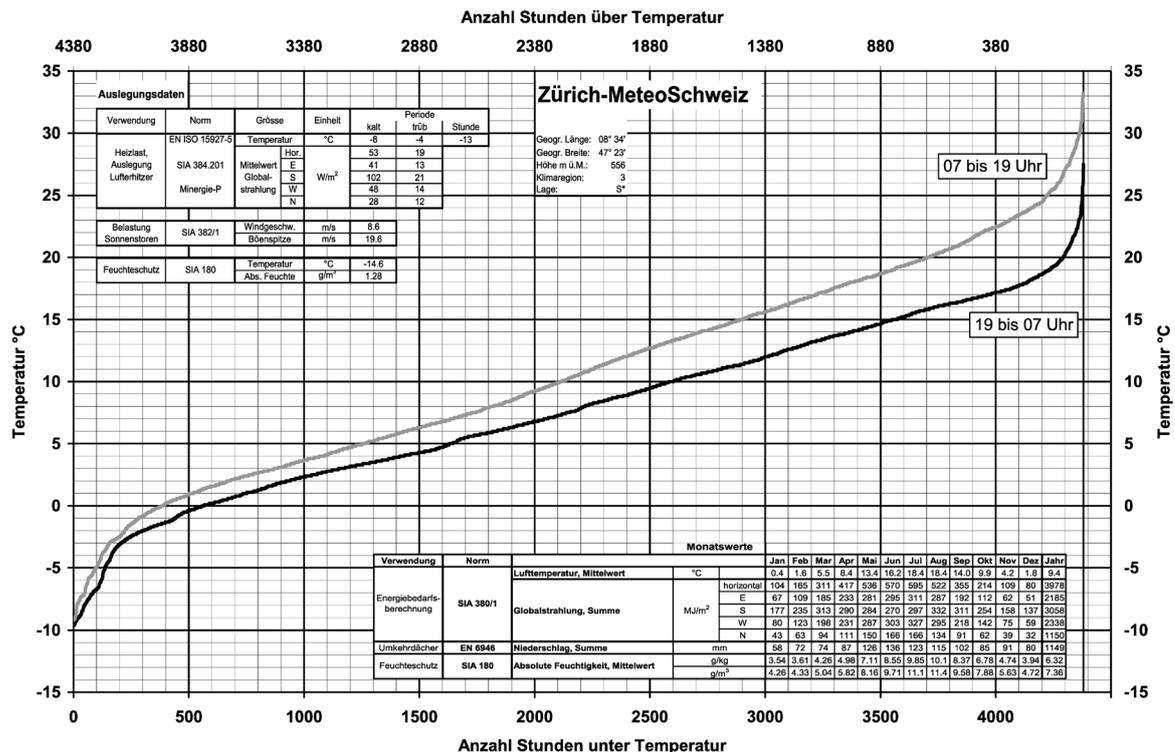


Abbildung 25: Klimadaten für den Standort Zürich-MeteoSchweiz, SIA Merkblatt 2028.

7.4. Gebäude und Zonen

Es wird eine Zone simuliert (Nutzung Wohnzimmer), welche folgende Bauteile aufweist:

- 1 Wand gegen Aussenklima, mit Fenster und nach Norden ausgerichtet
- 3 Innenwände gegen beheizte Räume (21 °C)
- Decke gegen beheizten Raum (21 °C)
- Boden gegen den unbeheizten Kellerraum (10 °C)

Die Aussenwand ist gegen Norden ausgerichtet.

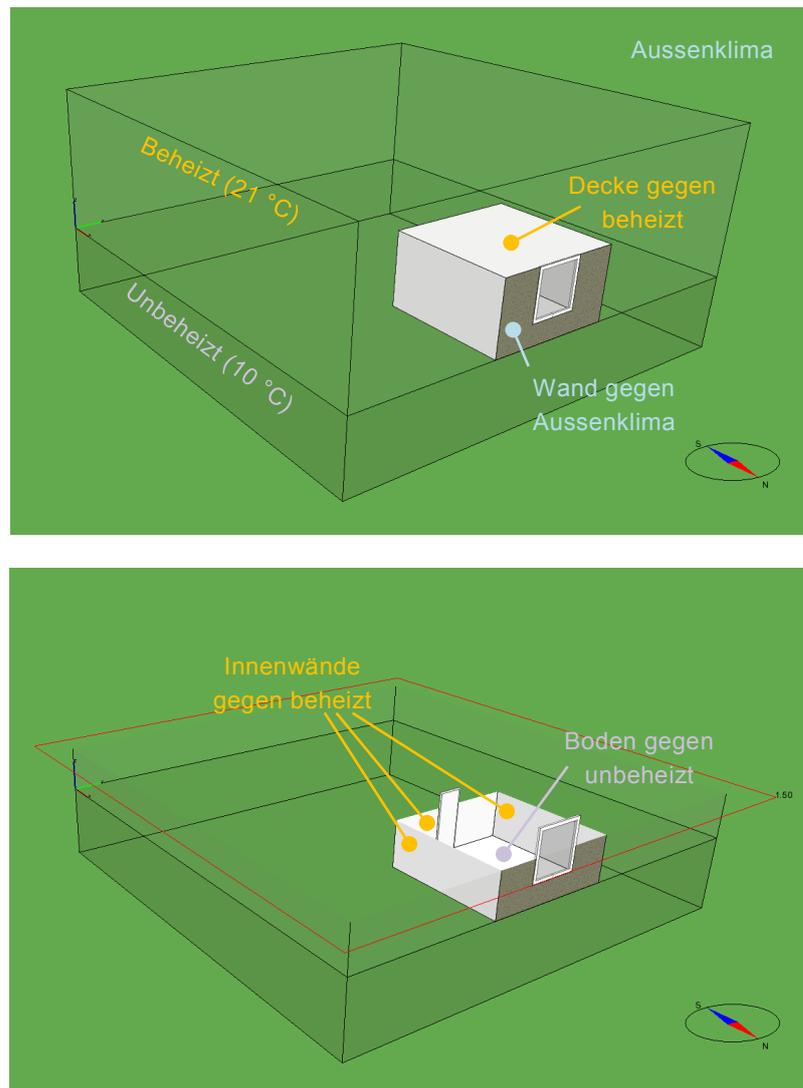


Abbildung 26: 3D-Ansicht der zu simulierenden Zone.

7.5. Gebäudehülle

7.5.1. Wand gegen Aussenklima

Konstruktionsaufbau (von innen nach aussen)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Innenputz	0.015	0.700	1400	1000
Modulbackstein	0.250	0.440	1100	1000
Polystyrol expandiert (EPS)	0.100	0.045	27.5	1450
Aussenputz	0.015	0.870	1800	1000

Tabelle 5: Baustoffkennwerte für die Aussenwand. Der U-Wert beträgt 0.33 W/(m²·K).

7.5.2. Innenwand gegen beheizt

Konstruktionsaufbau (symmetrisch)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Innenputz	0.015	0.700	1400	1000
Modulbackstein	0.125	0.440	1100	1000
Innenputz	0.015	0.700	1400	1000

Tabelle 6: Baustoffkennwerte für die Innenwände. Der U-Wert beträgt 2.01 W/(m²·K).

7.5.3. Decke gegen beheizt

Konstruktionsaufbau (von oben nach unten)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Bodenbelag Holz	0.010	0.140	500	2300
Zementmörtel	0.070	1.400	2200	1000
Beton armiert 1% Stahl	0.200	2.300	2300	1000

Tabelle 7: Baustoffkennwerte für die Decke. Der U-Wert beträgt 2.64 W/(m²·K).

7.5.4. Boden gegen unbeheizt

Konstruktionsaufbau (von oben nach unten)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Bodenbelag Holz	0.010	0.140	500	2300
Zementmörtel	0.070	1.400	2200	1000
Beton armiert 1% Stahl	0.200	2.300	2300	1000
Polystyrol expandiert (EPS)	0.100	0.045	27.5	1450

Tabelle 8: Baustoffkennwerte für den Boden. Der U-Wert beträgt 0.38 W/(m²·K).

7.5.5. Fenster

Parameter	Wert	Einheit
U _g -Wert Glas (SIA Zweifach-Wärmeschutzglas)	1.3*	W/(m ² ·K)
g-Wert	0.64*	[-]
τ _e -solar	0.53*	[-]
τ _v -visible	0.76*	[-]
U _f -Wert Rahmen (Holzrahmen inkl. Randverbund)	3.0**	W/(m ² ·K)
Rahmenanteil	25**	%
* Typischer Wert für Zweifach-Wärmeschutzglas gemäss SIA 382/1:2007 Anhang C Tabelle 32		
** Annahme.		

Tabelle 9: Fenster-Kennwerte.

7.5.6. Wärmebrücken

Fensteranschluss: 0.1 W/(m K)

7.5.7. Verschattung

Das Gebäude besitzt einen aussenliegenden Sonnenschutz. Dieser schliesst wenn die Globalstrahlung auf der Aussenseite der Verglasung über 200 W/m² steigt, die Windgeschwindigkeit tiefer als 92 km/h ist (Norm SIA 180:2014) und die Raumtemperatur über 22°C liegt. Folgende Kennwerte der Verglasung mit Sonnenschutz werden angenommen:

	Verglasung mit Sonnenschutz	Abminderungsfaktor Sonnenschutz
g-Wert	0.09*	0.14
τ _e	0.10*	0.19
τ _v	0.08*	0.11
* Typischer Wert für Zweifach-Wärmeschutzglas mit pastellfarbenem aussenliegendem Sonnenschutz gemäss SIA 382/1:2007 Anhang C Tabelle 33		

Tabelle 10. Solare Kennwerte der Verglasung mit Sonnenschutz und Abminderungsfaktoren.

7.6. Räume / Zonen

7.6.1. Wohnzimmer

Raumklima (gemäss SIA 2024 Wohnraum)

Raumtemperatur: Sollwert Heizen 21°C

Geometrie

Bodenfläche (Netto): 16.8 m²

Lichte Raumhöhe: 2.4 m

Fensterfläche: 2.75 m²

Personen (gemäss SIA 2024 Wohnraum)

Belegung: 1 Person (50 m²/Person)

Aktivität: 1.2 met

Bekleidung: Winter 1.0 clo
Sommer 0.8 clo

Fahrplan: Personenbelegung gemäss SIA 2024 Wohnraum (Abbildung 27).

Horw, 20. August 2015
Seite 28/31
Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH – Messungen und thermische Simulationen

Geräte (gemäss SIA 2024 Wohnraum)

Leistung: 32 W (2 W/m²)
Fahrplan: Auslastung gemäss SIA 2024 Wohnraum (Abbildung 28).

Beleuchtung (gemäss SIA 2024 Wohnraum)

Leistung: 150 W (9.4 W/m²)
Lichtausbeute: 40 lm/W
Konvektiver Anteil: 30%
Fahrplan: Nutzungsstunden gemäss SIA 2024 Wohnraum (Abbildung 29).

Heizung

System: - Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH à 2.0 kW
- Vergleichsgerät (alte Elektrospeicherheizung)
Geräteparameter und Funktionsweise gemäss Erkenntnissen
aus den Messresultaten (Kapitel 3)

Kühlung keine

Lüftung keine

Natürliche Infiltration

Mittlerer Luftwechsel während der Heizsaison unter Berücksichtigung eines durchschnittlichen Benutzerverhaltens (MFH, eher undichte Gebäudehülle, Windklasse II / mittlerer Wind um 4 m/s, exponierte Lage)

N_{L,B}: 0.8 h⁻¹*

*Wert aus C. Zürcher und Th. Frank, „Bauphysik – Bau und Energie“, vdf, 3. Aufl., 2010, gemäss P. Hartmann et al., „Luftwechselfmessungen unter dem Einfluss von Konstruktions-, Klima- und Benutzerparametern“, Empa Bericht Nr. 41645/1, Dübendorf, 1984.

Fahrpläne Personen

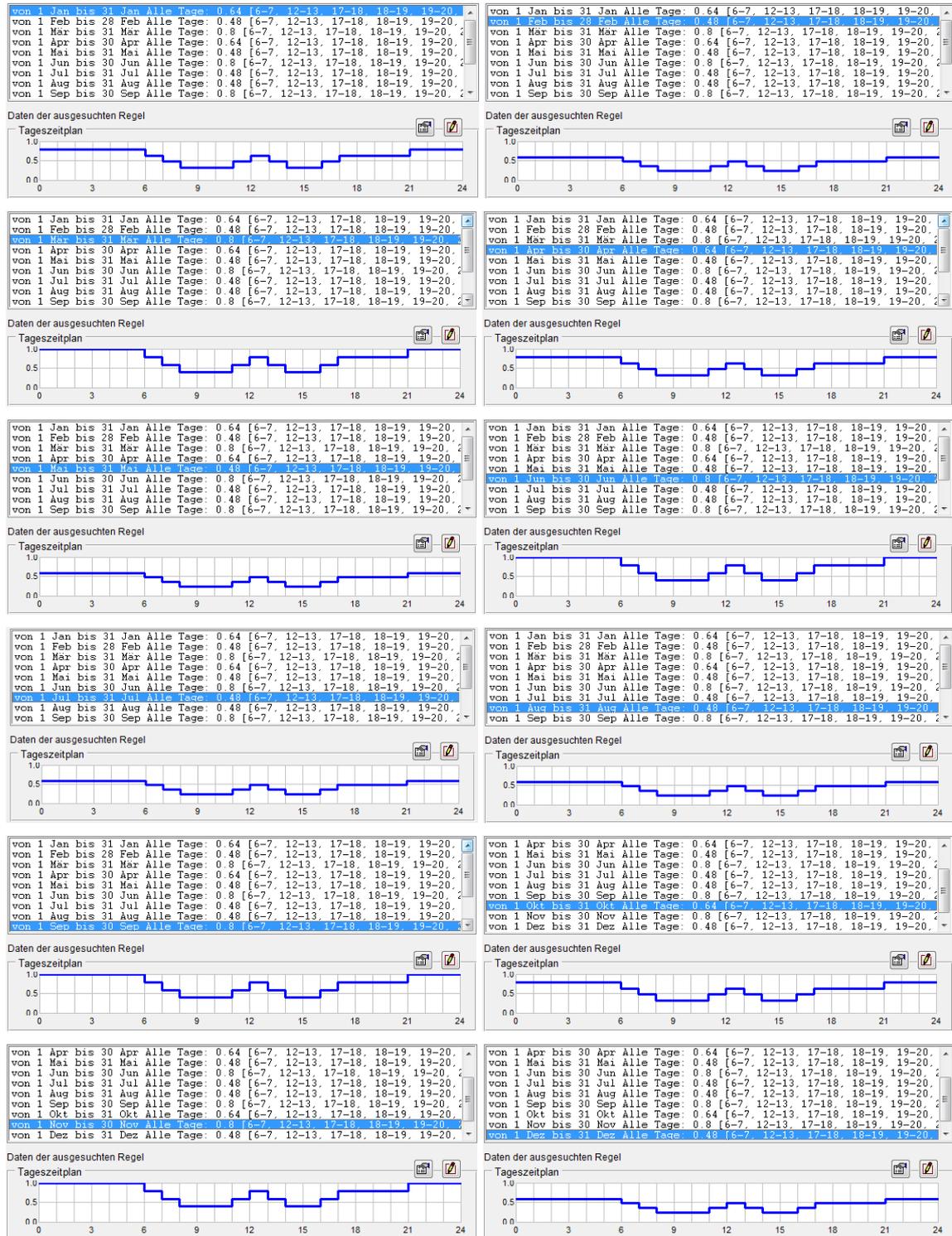


Abbildung 27: Fahrpläne für die Personenbelegung gemäss SIA 2024 Wohnraum.

Fahrpläne Geräte

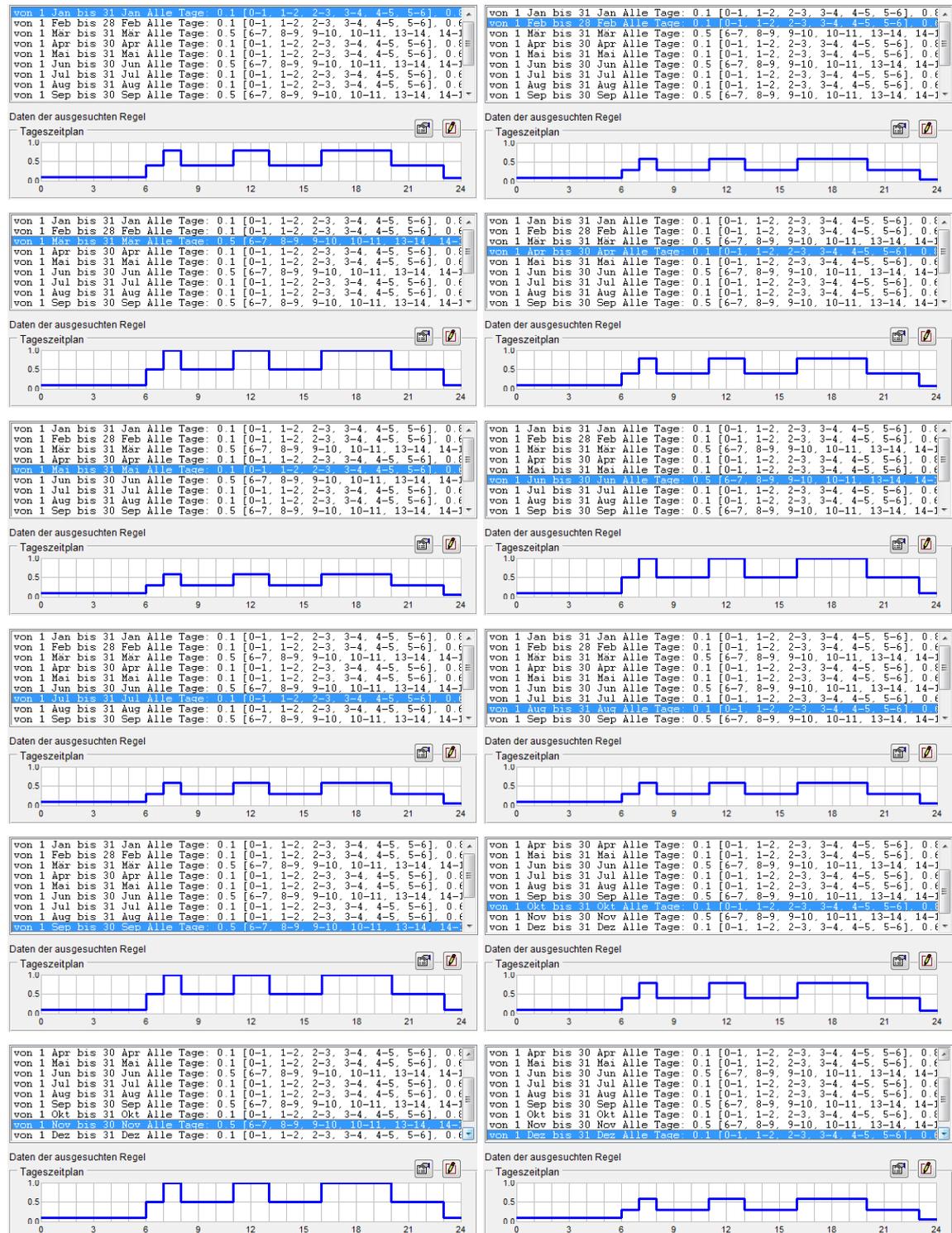


Abbildung 28: Fahrpläne für die Auslastung der Geräte gemäss SIA 2024 Wohnraum.

Horw, 20. August 2015

Seite 31/31

Elektroheizung wibo Biomatic Classic 83 CH – Messungen und thermische Simulationen

Fahrpläne Beleuchtung

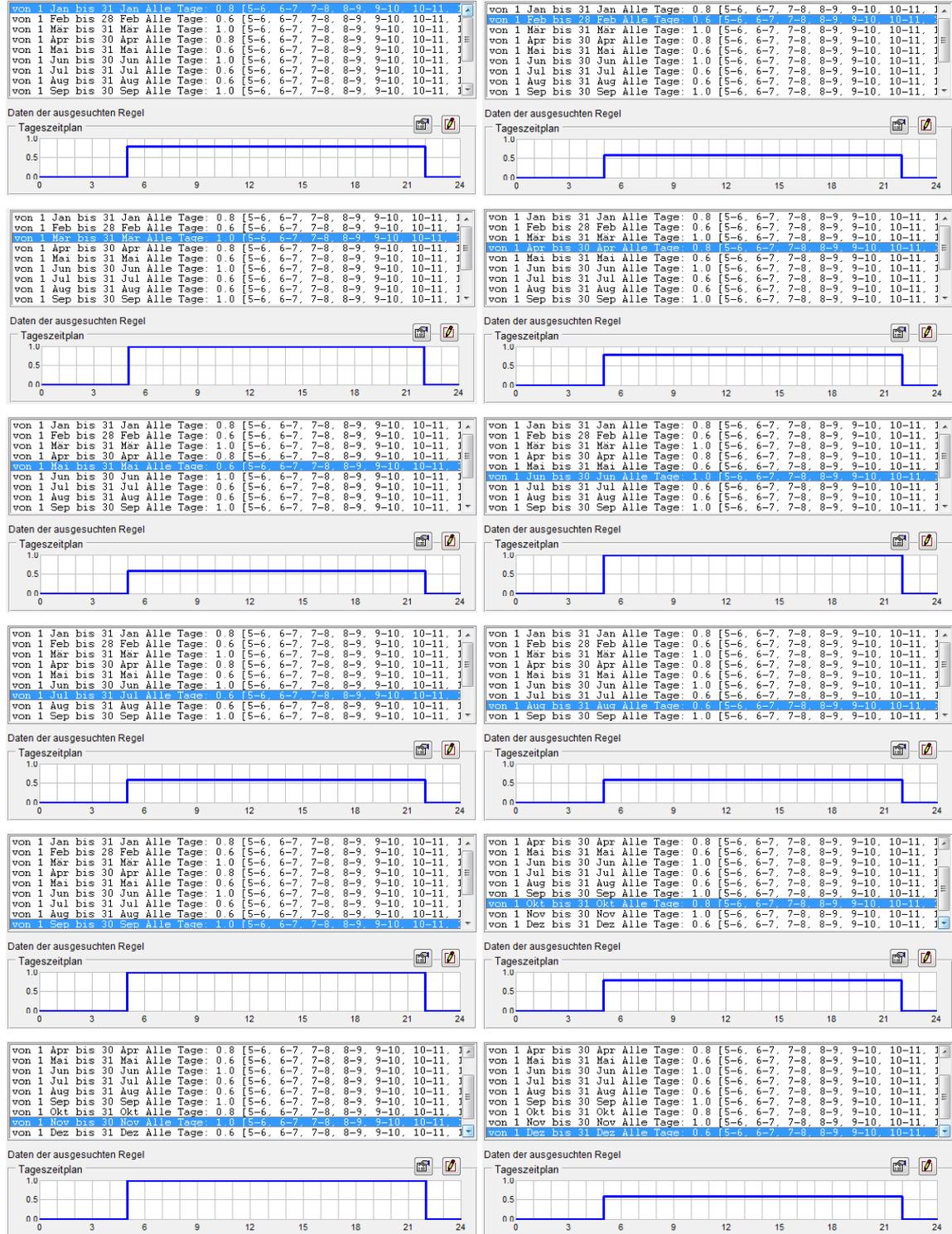


Abbildung 29: Fahrpläne für die Nutzungsstunden der Beleuchtung gemäss SIA 2024 Wohnraum.