

Schlussbericht, 31. Oktober 2016

Anwesenheitssensorenheizung

Thermische Simulationen zur
Ermittlung des Heizenergieeinspar-
Potenzials



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autor

Dr. Davide Bionda, Hochschule Luzern – T&A

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

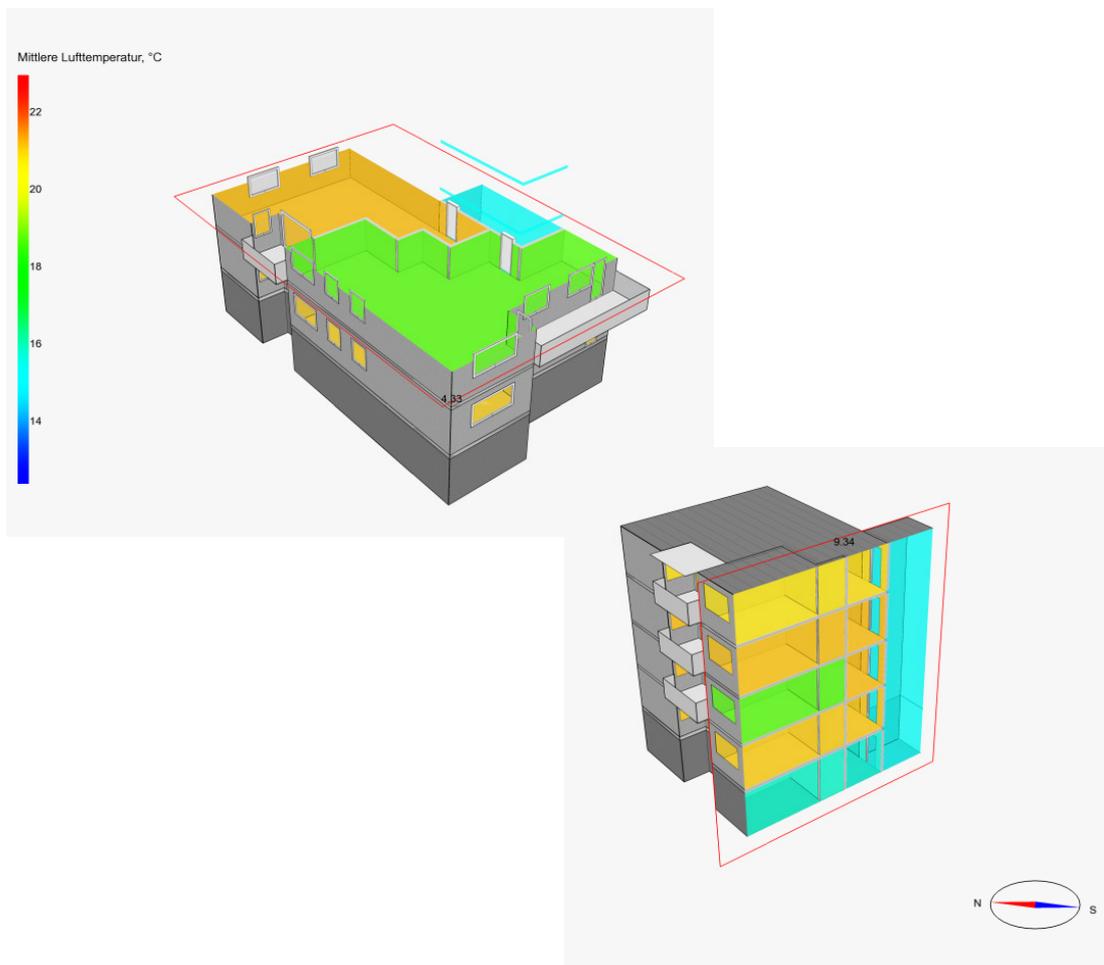
EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern
Infoline 0848 444 444. www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Schlussbericht

Horw, 31. Oktober 2016
Seite 1/36

Anwesenheitssensorheizung

Thermische Simulationen zur Ermittlung des Heizenergie- Einsparpotenzials



Impressum

Auftraggeber	Bundesamt für Energie BFE Mühlestrasse 4 CH-3063 Ittigen
Auftragnehmer	Hochschule Luzern Technik & Architektur Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG Technikumstrasse 21 CH-6048 Horw
Verfasser	Dr. Davide Bionda, Hochschule Luzern – T&A
Projektmitarbeit	Dr. Silvia Domingo, Hochschule Luzern – T&A
Verteiler	Erich Bötsch, Bundesamt für Energie BFE
Version/Datum	Version 1, 31. Oktober 2016
SAP-Nr.	1121514
Dateiname	d_20161031_Sim_Anwesenheitssensorheizung_Schlussbericht.docx

Titelbild

3D-Ansichten des simulierten Gebäudes und Temperaturverteilung in den einzelnen Modellzonen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
2. Methodik.....	4
2.1. Gebäudemodell.....	4
2.2. Simulationsvarianten.....	5
3. Resultate.....	7
3.1. Altbau.....	7
3.2. Altbau saniert.....	14
4. Schlussfolgerungen.....	21
5. Empfehlungen.....	22
6. Anhang: Simulationsgrundlagen.....	23
6.1. Simulationsperiode.....	23
6.2. Standort.....	23
6.3. Klimadaten.....	23
6.4. Geometrie.....	24
6.5. Gebäudehülle.....	25
6.6. Räume / Zonen.....	29
6.7. Fahrpläne.....	33

1. Einleitung

Im Rahmen des Projektes „Anwesenheitssensorheizung“¹ wurde die Heizenergieeinsparung, welche potenziell mit einer bedarfsabhängigen Heizungsregelung erzielt werden kann, anhand von statischen Berechnungen quantifiziert. Das dynamische Verhalten des Gebäudes konnte damit nicht berücksichtigt werden, dieses ist jedoch bei der Ermittlung des Einsparpotenzials von hoher Relevanz.

Thermische Gebäudesimulationen erlauben eine präzise Erfassung des dynamischen Verhaltens eines Gebäudes, insbesondere wird der Einfluss der Gebäudemasse auf die Raumlufttemperaturen berücksichtigt.

Ziel der vorliegenden Studie ist, das im Projekt „Anwesenheitssensorheizung“ mit statischen Berechnungen ermittelte Einsparpotenzial anhand von dynamischen, thermischen Simulationen zu prüfen. Untersucht wird eine Heizung mit raumseitiger Heizungssteuerung/-regelung und ohne regeltechnischen Verknüpfungen zu einer Gruppen- oder Wärmeerzeugerregulierung. Die Wohnung bzw. Zone wird entsprechend einem Nutzeranwesenheitsprofil geheizt, wobei sowohl interne Wärmelasten (Wärmeabgabe von Personen und elektrischen Geräten) als auch externe Wärmelasten (solare Wärmegewinne durch Verglasungen) mitberücksichtigt werden.

2. Methodik

2.1. Gebäudemodell

In einem ersten Schritt wurde ein Mehrzonen-Gebäudemodell mit dem Gebäudesimulationsprogramm IDA ICE² erstellt (Abbildung 1). Das Gebäudemodell basiert auf einem existierenden Mehrfamilienhaus aus den 70er Jahren mit acht Wohnungen, einem Treppenhaus und einem Kellergeschoss. Jede Einheit wurde im Simulationsmodell als separate Zone abgebildet. Alle Randbedingungen für die thermischen Simulationen sind im Anhang dokumentiert.

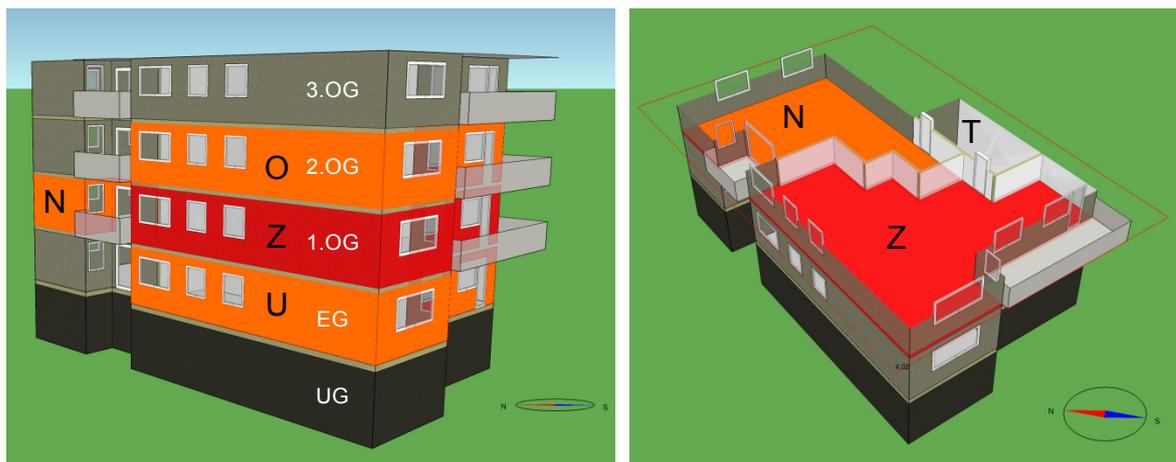


Abbildung 1. 3D-Ansicht und Horizontalschnitt (1.OG) des simulierten Gebäudes. Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung, T=Treppenhaus.

¹ Aeschlimann M., Frei V., Iseli L., Reust P., Schöbi P., Vogelsang M. Projekt BFE EnergieSchweiz: Anwesenheitssensorheizung. Hochschule Luzern - Technik & Architektur, 2015.

² IDA ICE Expert Edition, Version 4.7, EQUA Simulation AB.

2.2. Simulationsvarianten

Abbildung 2 zeigt einen Überblick der untersuchten Simulationsvarianten und der Parameter, die variiert wurden. Die Simulationen wurden für den Standort Zürich unter Änderung von Qualität der Gebäudehülle (Altbau/Altbau saniert³), Heizstrategie (eine/alle Wohnung/en mit bedarfsabhängiger Heizungsregelung) und Nachtabsenkung der Solltemperatur (nein/ja) durchgeführt.

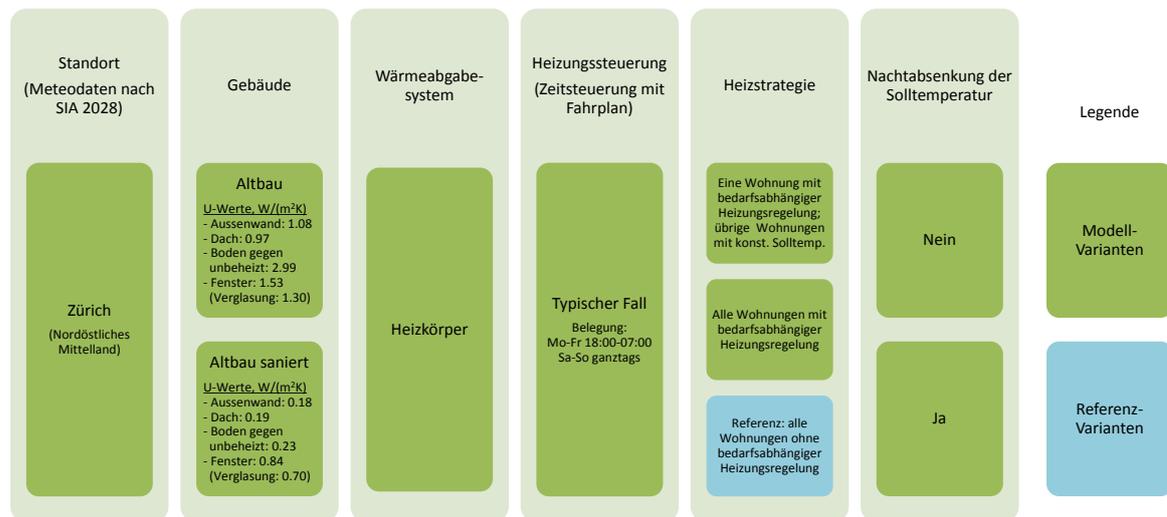


Abbildung 2. Überblick der untersuchten Simulationsvarianten und der variierten Parameter.

Es wurden insgesamt acht Modellvarianten und vier Referenzvarianten berechnet und verglichen, d.h. je für den Altbau und das sanierte Gebäude (Tabelle 1):

Heizbetrieb *ohne* Nachtabsenkung:

- Referenzvariante 1: Alle Wohnungen mit durchgehendem Heizbetrieb auf eine konstante Soll-Raumlufttemperatur (heute übliche Situation im Bestand).
- Modellvariante 1: Die zentrale Wohnung wird mit einer anwesenheitsabhängigen Heizungsregelung ausgerüstet (zeitliche Anwesenheitsfahrpläne), die Solltemperatur wird tagsüber gesenkt (unbenutzte Wohnung). Die übrigen Wohnungen sind mit einem durchgehendem Heizbetrieb auf eine konstante Soll-Raumlufttemperatur geregelt.
- Modellvariante 1a: Alle Wohnungen werden mit einer anwesenheitsabhängigen Heizungsregelung ausgerüstet (zeitliche Anwesenheitsfahrpläne).

Heizbetrieb *mit* Nachtabsenkung:

- Referenzvariante 2: Alle Wohnungen mit durchgehendem Heizbetrieb am Tag und einem Absenkbetrieb in der Nacht (heute bekannte Standard-Optimierungsmassnahme im Bestand).
- Modellvariante 2: Die zentrale Wohnung wird mit einer anwesenheitsabhängigen Heizungsregelung ausgerüstet (zeitliche Anwesenheitsfahrpläne) und einem Absenkbetrieb in der Nacht. Die übrigen Wohnungen sind mit durchgehendem Heizbetrieb am Tag und einem Absenkbetrieb in der Nacht geregelt.
- Modellvariante 2a: Alle Wohnungen werden mit einer anwesenheitsabhängigen Heizungsregelung ausgerüstet (zeitliche Anwesenheitsfahrpläne) und einem Absenkbetrieb in der Nacht.

³ Sanierung gemäss Gebäudeprogramm-Anforderungen (www.dasgebaeudeprogramm.ch). U-Werte: Aussenwand/Dach ≤ 0.20 W/(m²K), Boden gegen unbeheizt ≤ 0.25 W/(m²K), Verglasung ≤ 0.70 W/(m²K).

Varianten		Solltemperatur Heizung	
		Zentrale Wohnung	Übrige Wohnungen
ohne Nachtabsenkung	Referenzvariante 1	21°C ganztags	
	Modellvariante 1	<p>21°C bei Personenanwesenheit 18°C übrige Zeit</p>	21°C ganztags
	Modellvariante 1a	<p>21°C bei Personenanwesenheit, 18°C übrige Zeit</p>	
mit Nachtabsenkung	Referenzvariante 2	<p>21°C zwischen 04-22, 16°C zwischen 22-04 (Nachtabsenkung)</p>	
	Modellvariante 2	<p>21°C bei Personenanwesenheit zwischen 04-22 18°C übrige Zeit zwischen 04-22 16°C zwischen 22-04 (Nachtabsenkung)</p>	<p>21°C zwischen 04-22 16°C zwischen 22-04 (Nachtabsenkung)</p>
	Modellvariante 2a	<p>21°C bei Personenanwesenheit zwischen 04-22, 18°C übrige Zeit zwischen 04-22, 16°C zwischen 22-04 (Nachtabsenkung)</p>	

Tabelle 1. Solltemperaturen für den Heizbetrieb. Die Heizung wird jeweils zwei Stunden, bevor die Raumtemperatur wieder 21°C betragen muss, hochgefahren.

3. Resultate

3.1. Altbau

3.1.1. Eine Wohnung mit anwesenheitsabhängiger Heizungsregelung

3.1.1.1. Heizenergiebedarf

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen den berechneten jährlichen Heizenergiebedarf auf Stufe Nutzenergie, sowie das erzielte Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude.

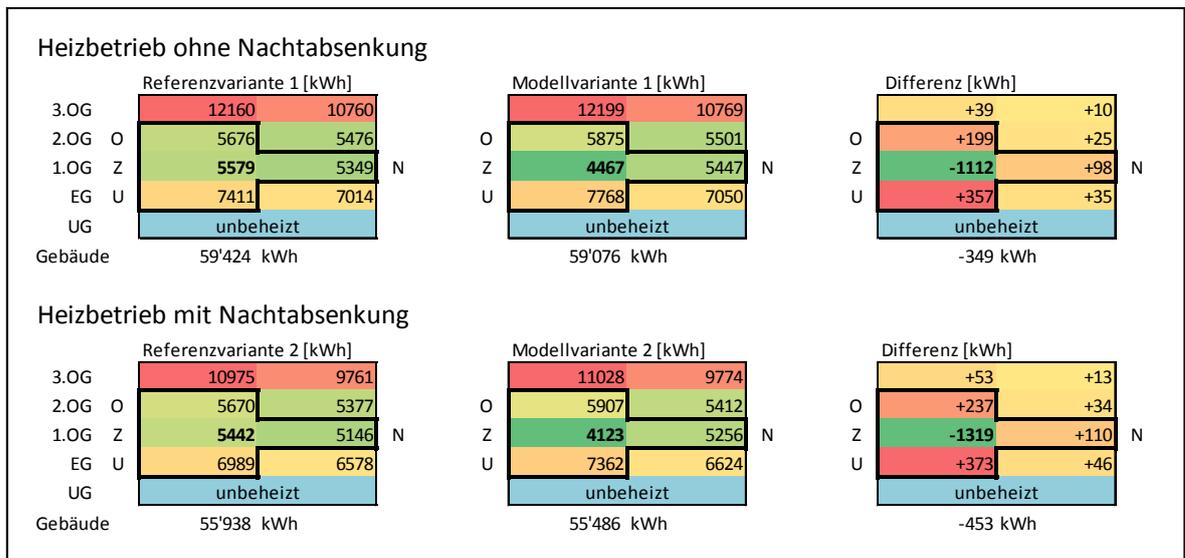


Abbildung 3. Jährlicher absoluter Heizenergiebedarf und Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude. Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung.

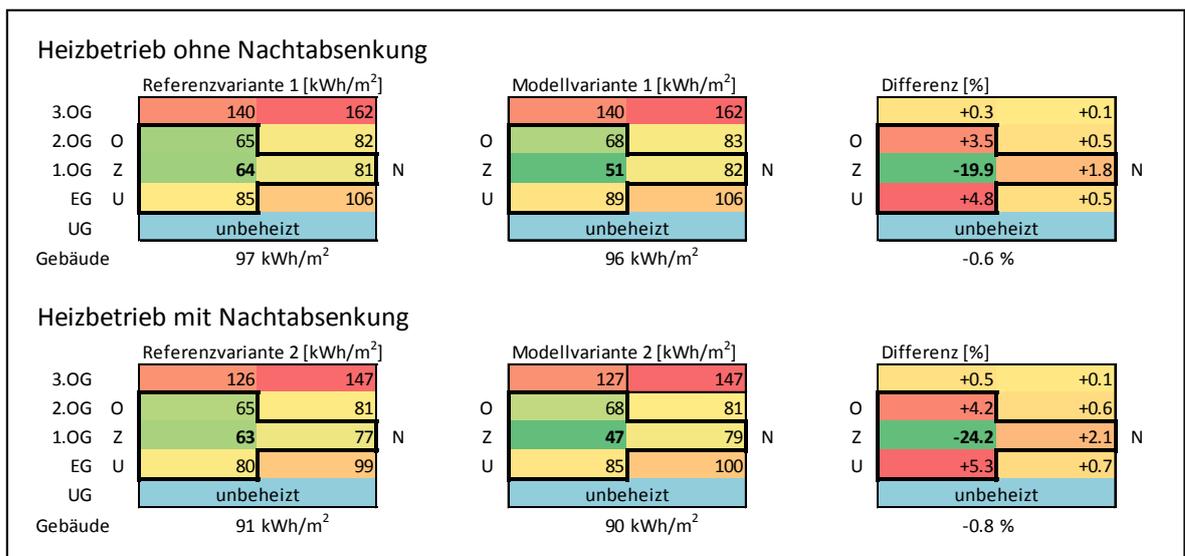


Abbildung 4. Jährlicher spezifischer Heizenergiebedarf und prozentmässiges Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude. Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung.

In der zentralen Wohnung mit anwesenheitsabhängigem Heizbetrieb ergibt sich eine Reduktion des Heizenergiebedarfs von 19.9-24.2% (ohne bzw. mit Nachtabsenkung der Solltemperatur). In allen anderen Wohnungen erhöht sich der Heizenergiebedarf um – je nach Lage – bis zu ca. 5%.

Die jährliche Einsparung von 1112-1319 kWh in der zentralen Wohnung (Abbildung 5) wird grösstenteils dank dem Wärmestrom von 763-867 kWh aus den übrigen Wohnungen erreicht (Abbildung 6). Die restlichen 349-453 kWh, d.h. 0.6-0.8% des gesamten Heizenergiebedarfs, entsprechen der effektiven Netto-Einsparung für das ganze Gebäude.

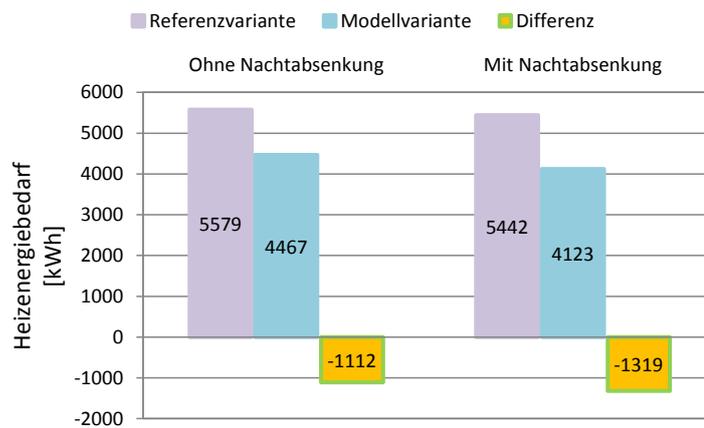


Abbildung 5. Heizenergiebedarf der zentralen Wohnung und Differenz bzw. Einsparung durch den anwesenheitsabhängigen Heizbetrieb.

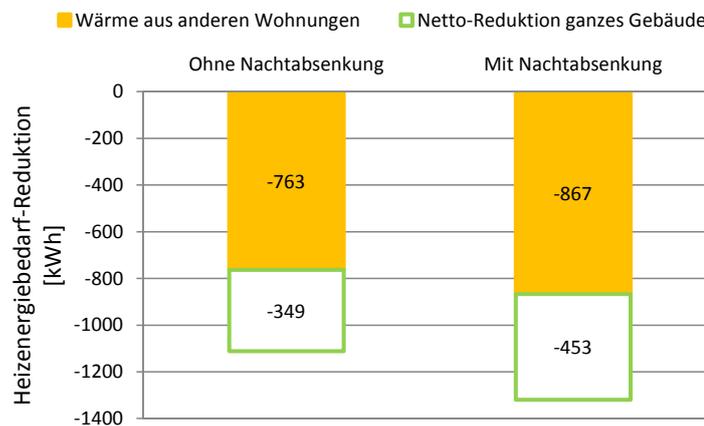
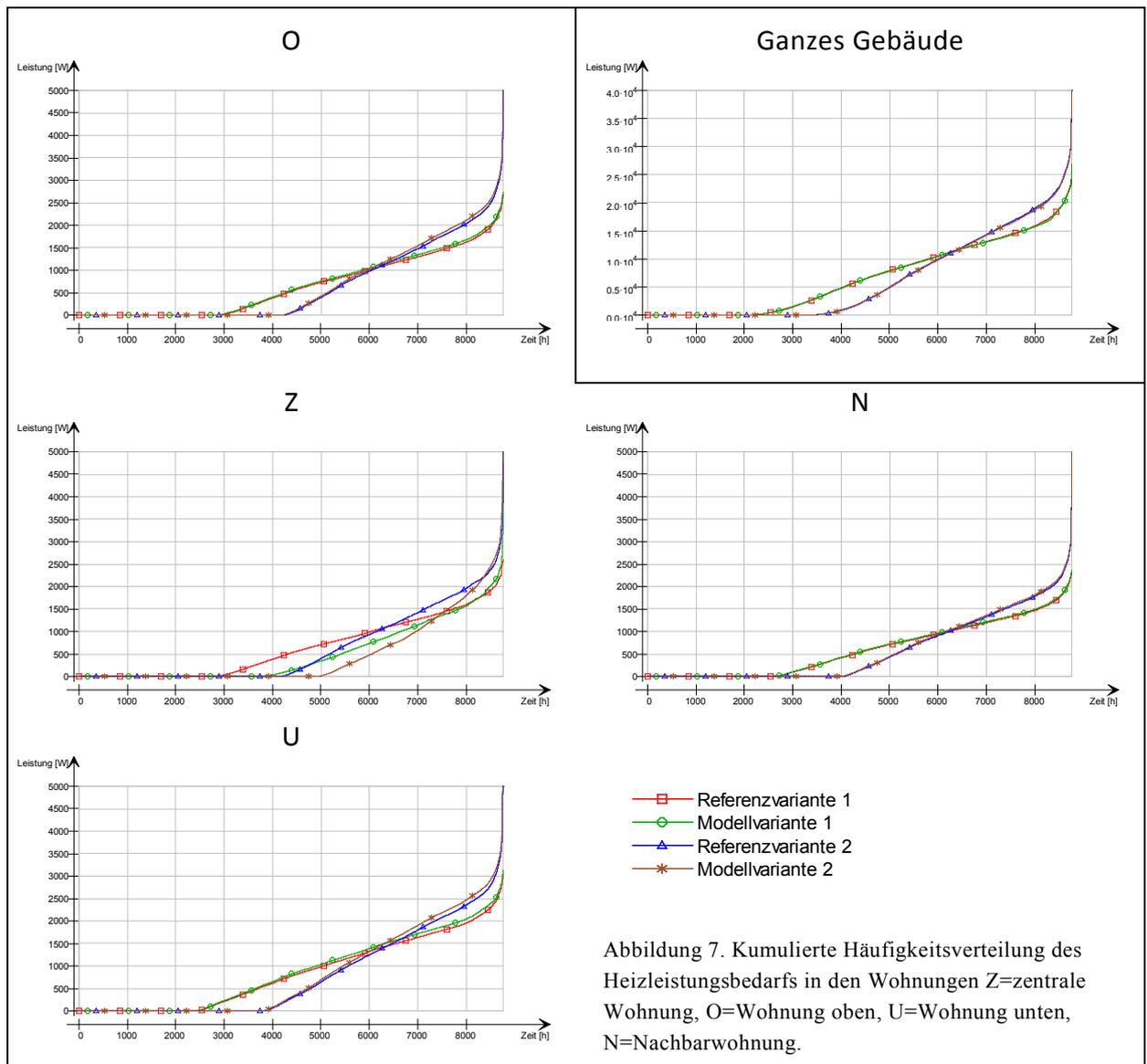


Abbildung 6. Anteilmässige Zusammensetzung der in der zentralen Wohnung eingesparten Heizenergie.

3.1.1.2. Heizleistung

Abbildung 7 zeigt den berechneten Heizleistungsbedarf der zentralen und der angrenzenden Wohnungen, sowie des ganzen Gebäudes.

In der zentralen Wohnung mit anwesenheitsabhängigem Heizbetrieb ergibt sich eine spürbare Reduktion der benötigten durchschnittlichen Heizleistung (vgl. jeweils Referenz- und Modellvariante). In allen anderen Wohnungen ist die Änderung von keiner Relevanz.



3.1.1.3. Raumlufthemperaturen

Abbildung 8 zeigt die berechneten Raumlufthemperaturen in der zentralen und den angrenzenden Wohnungen während der kältesten Woche des Jahres.

Die Solltemperatur von 21°C wird mit der Heizung im Betrieb in allen Wohnungen und bei allen Simulationsvarianten weitestgehend erreicht. Im Nachtabsenkbetrieb (22-04 Uhr) sinkt die Raumlufthtemperatur bis auf einen Minimalwert von ca. 16.5°C (Solltemperatur 16°C). Im Absenkbetrieb während des Tages (07-16 Uhr) liegt die minimale Raumlufthtemperatur in der zentralen Wohnung mit anwesenheitsabhängigem Heizbetrieb bei knapp 18.5°C (Solltemperatur 18°C).

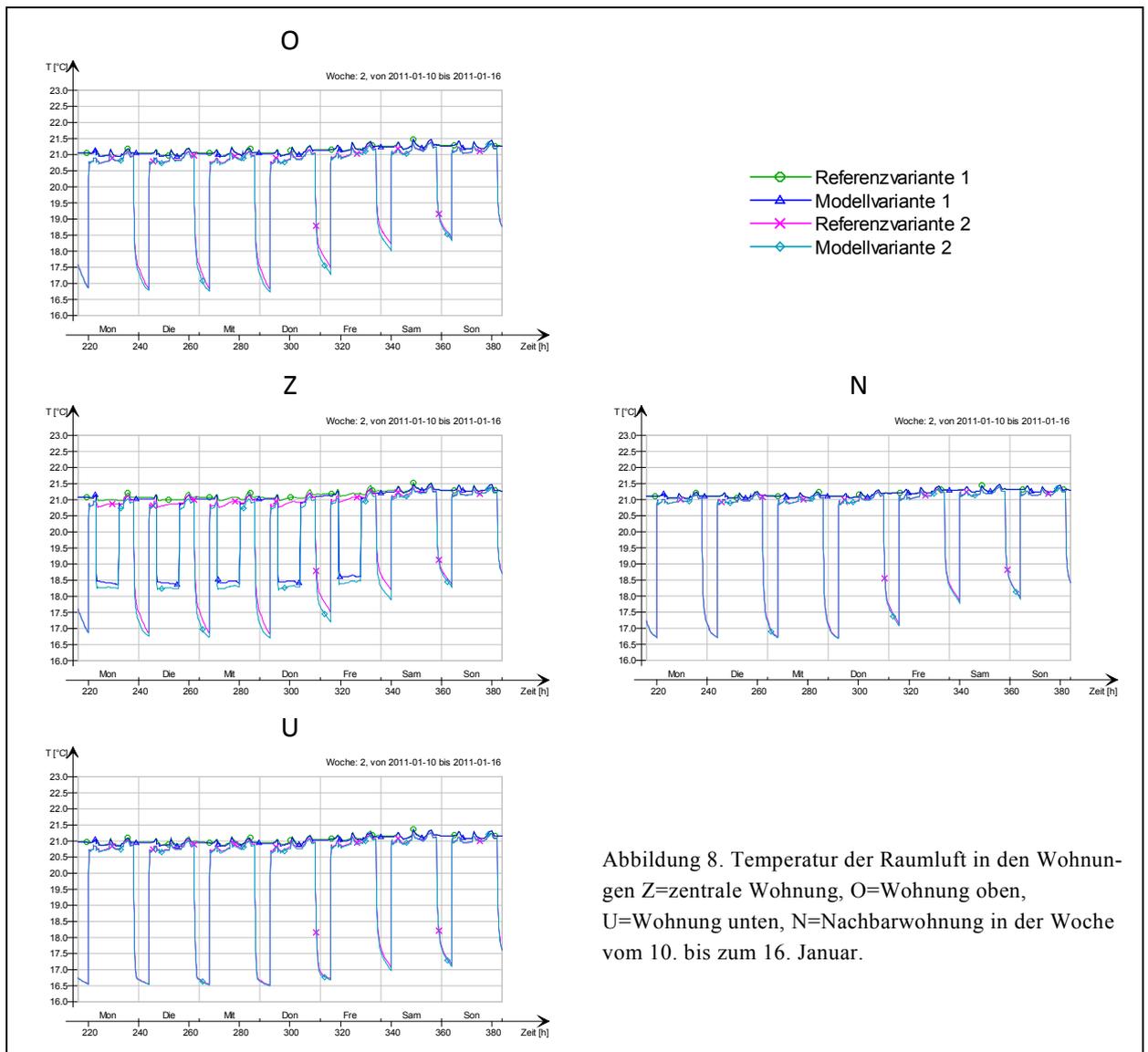


Abbildung 8. Temperatur der Raumluft in den Wohnungen Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung in der Woche vom 10. bis zum 16. Januar.

3.1.2. Alle Wohnungen mit anwesenheitsabhängiger Heizungsregelung

3.1.2.1. Heizenergiebedarf

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen den berechneten jährlichen Heizenergiebedarf auf Stufe Nutzenergie, sowie das erzielte Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude.

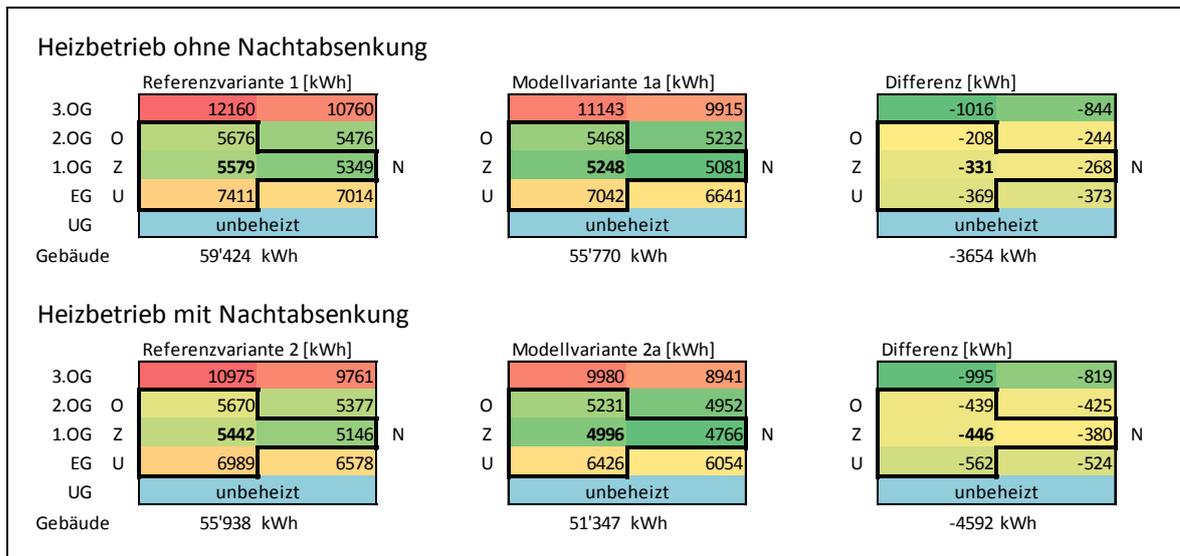


Abbildung 9. Jährlicher absoluter Heizenergiebedarf und Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude. Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung.

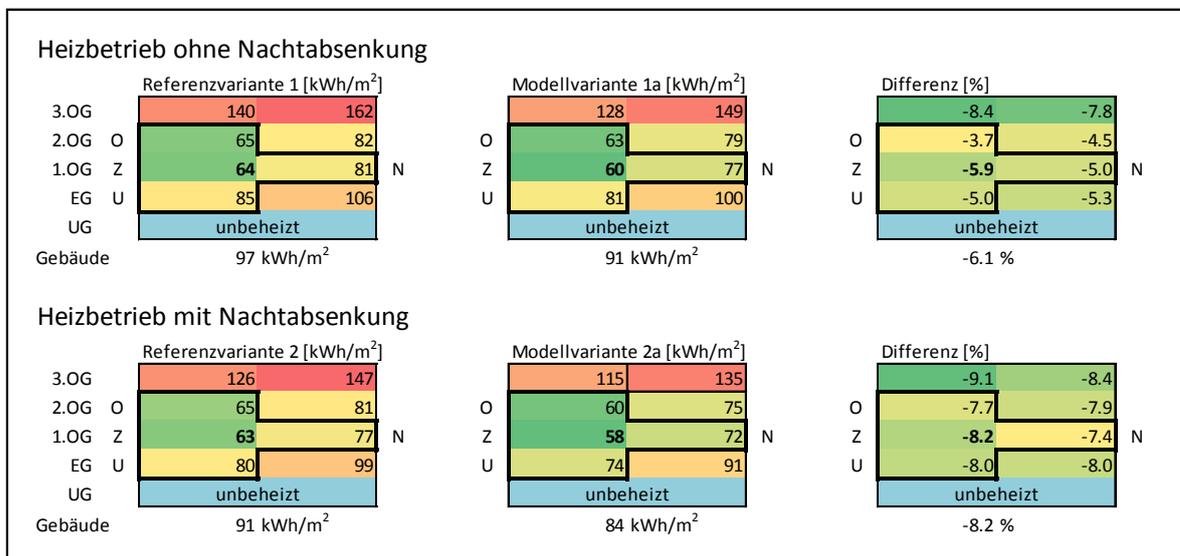
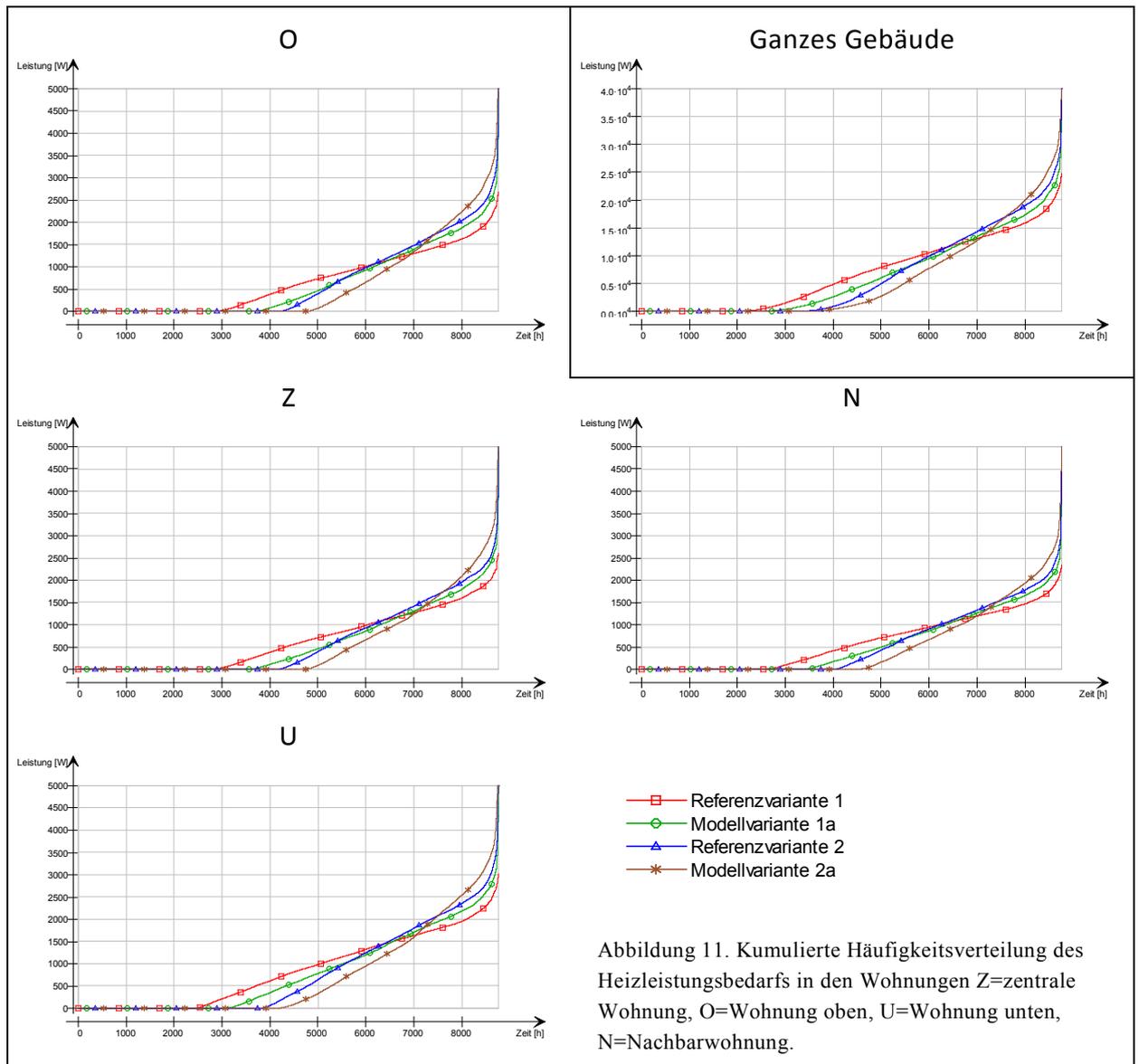


Abbildung 10. Jährlicher spezifischer Heizenergiebedarf und prozentmässiges Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude. Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung.

3.1.2.2. Heizleistung

Abbildung 11 zeigt den berechneten Heizleistungsbedarf der einzelnen Wohnungen, sowie des ganzen Gebäudes.

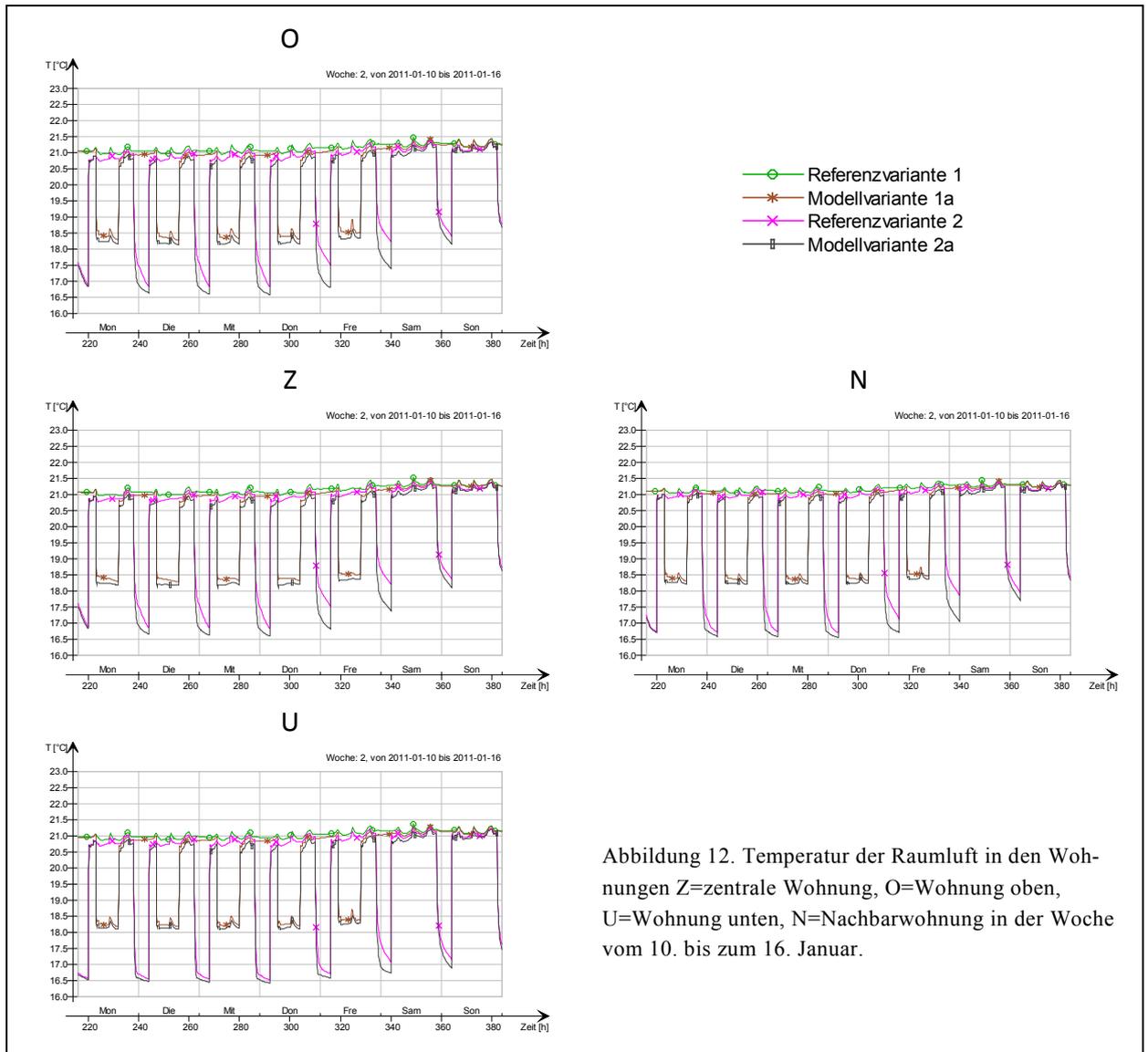
Bei allen Wohnungen ergibt sich eine spürbare Erhöhung der erforderlichen maximalen Heizleistung (vgl. jeweils Referenz- und Modellvariante).



3.1.2.3. Raumlufthtemperaturen

Abbildung 12 zeigt die berechneten Raumlufthtemperaturen in der zentralen und den angrenzenden Wohnungen während der kältesten Woche des Jahres.

Die Solltemperatur von 21°C wird mit der Heizung im Betrieb in allen Wohnungen und bei allen Simulationsvarianten weitestgehend erreicht. Im Nachtabsenkbetrieb (22-04 Uhr) sinkt die Raumlufthtemperatur bis auf einen Minimalwert von ca. 16.5°C (Solltemperatur 16°C). Im Absenkbetrieb während des Tages (07-16 Uhr) liegt die minimale Raumlufthtemperatur in allen Wohnungen bei ca. 18-18.5°C (Solltemperatur 18°C).



3.2. Altbau saniert

3.2.1. Eine Wohnung mit anwesenheitsabhängiger Heizungsregelung

3.2.1.1. Heizenergiebedarf

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen den berechneten jährlichen Heizenergiebedarf auf Stufe Nutzenergie, sowie das erzielte Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude.

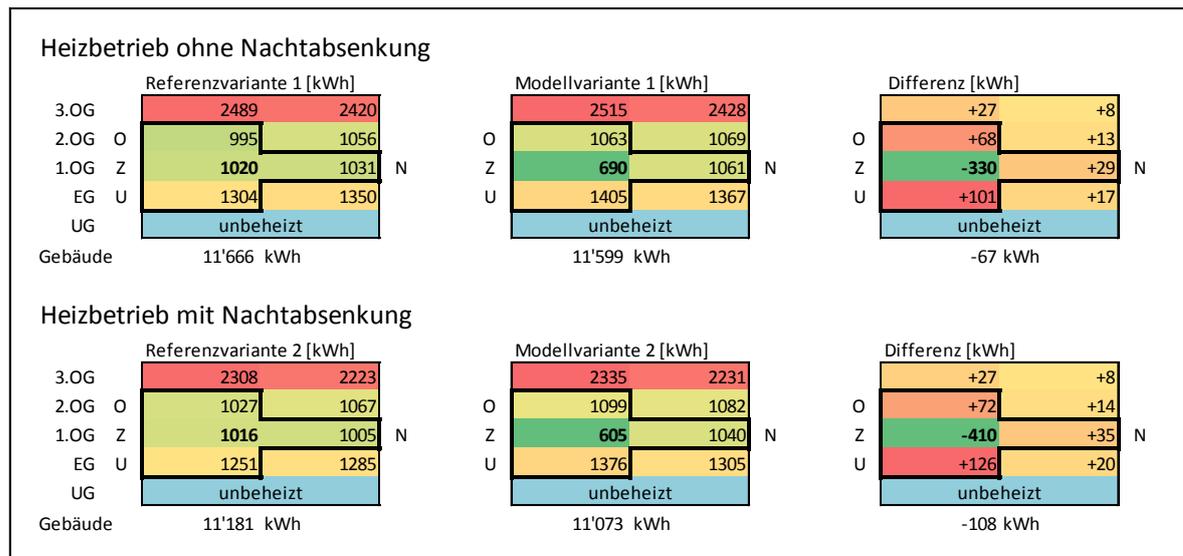


Abbildung 13. Jährlicher absoluter Heizenergiebedarf und Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude. Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung.

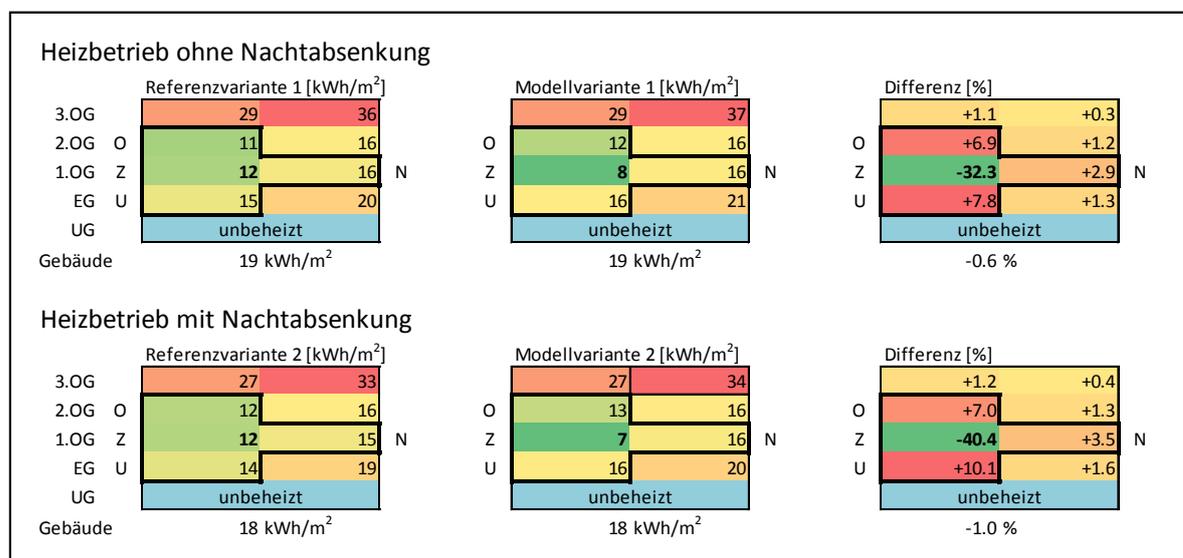


Abbildung 14. Jährlicher spezifischer Heizenergiebedarf und prozentmässiges Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude. Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung.

In der zentralen Wohnung mit anwesenheitsabhängigem Heizbetrieb ergibt sich eine Reduktion des Heizenergiebedarfs von 32.3-40.4% (ohne bzw. mit Nachtabsenkung der Solltemperatur). In allen anderen Wohnungen erhöht sich der Heizenergiebedarf um – je nach Lage – bis zu ca. 10%.

Die jährliche Einsparung von 330-410 kWh in der zentralen Wohnung (Abbildung 15) wird grösstenteils dank dem Wärmezustrom von 263-302 kWh aus den übrigen Wohnungen erreicht (Abbildung 16). Die restlichen 67-108 kWh, d.h. 0.6-1.0% des gesamten Heizenergiebedarfs, entsprechen der effektiven Netto-Einsparung für das ganze Gebäude.

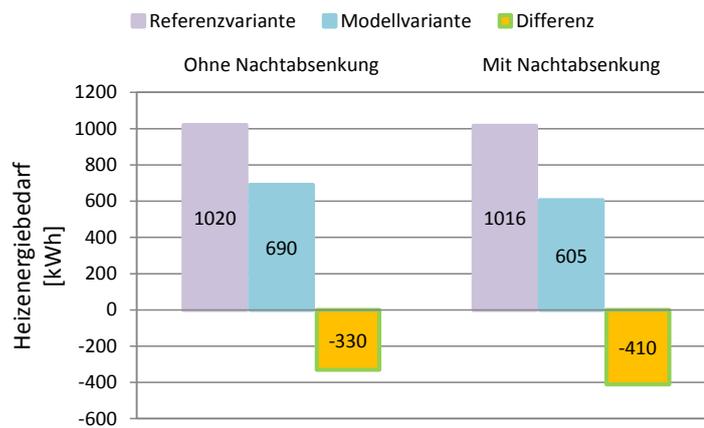


Abbildung 15. Heizenergiebedarf der zentralen Wohnung und Differenz bzw. Einsparung durch den anwesenheitsabhängigen Heizbetrieb.

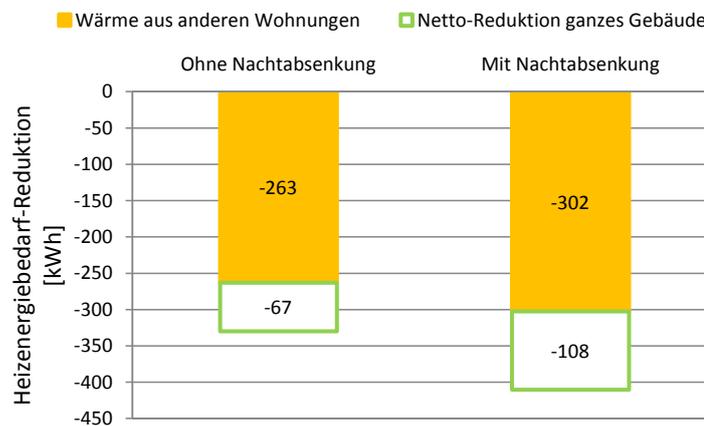
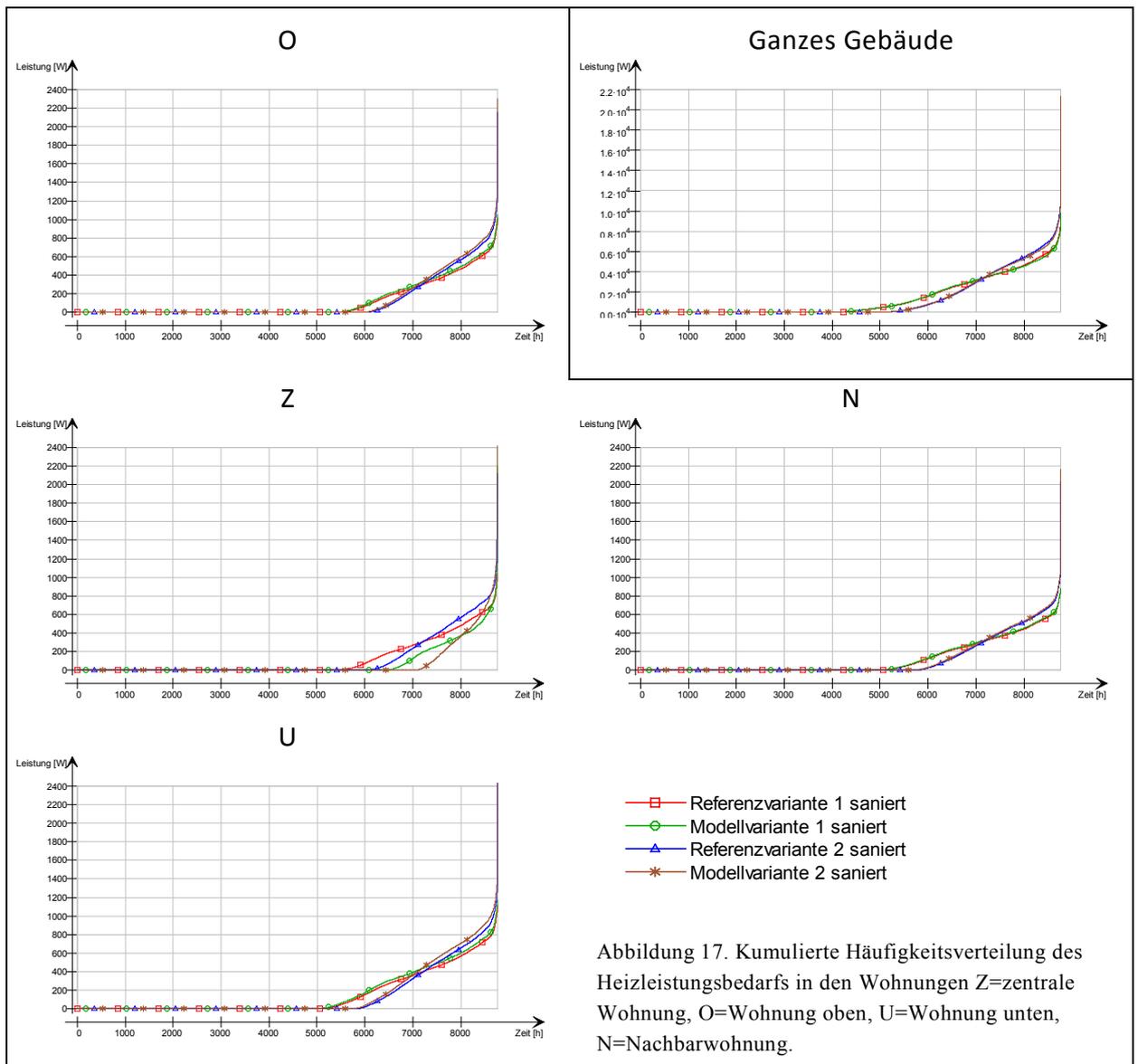


Abbildung 16. Anteilmässige Zusammensetzung der in der zentralen Wohnung eingesparten Heizenergie.

3.2.1.2. Heizleistung

Abbildung 17 zeigt den berechneten Heizleistungsbedarf der zentralen und der angrenzenden Wohnungen, sowie des ganzen Gebäudes.

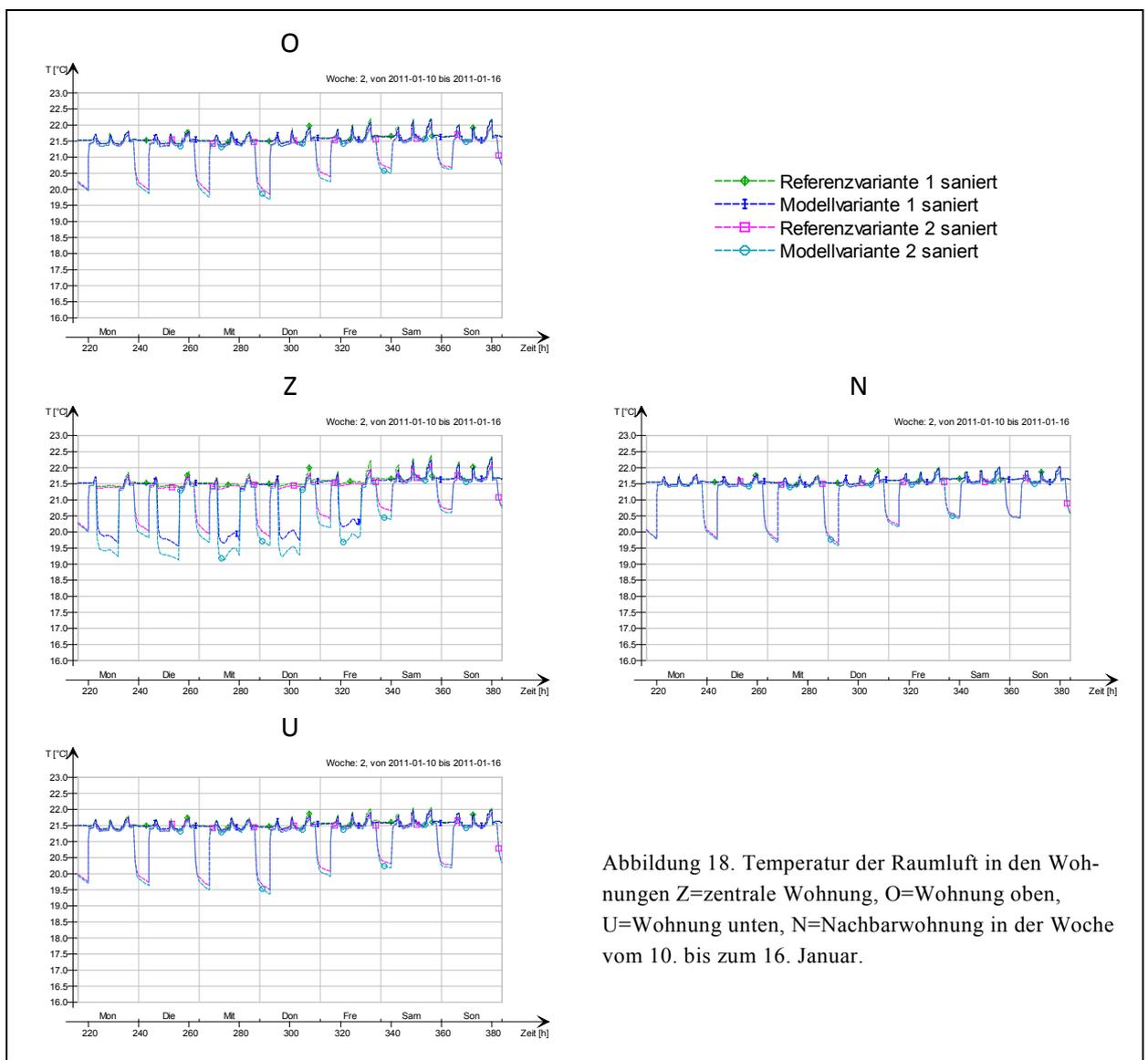
In der zentralen Wohnung mit anwesenheitsabhängigem Heizbetrieb ergibt sich eine spürbare Reduktion der benötigten durchschnittlichen Heizleistung (vgl. jeweils Referenz- und Modellvariante). In allen anderen Wohnungen ist die Änderung von keiner Relevanz.



3.2.1.3. Raumlufthtemperaturen

Abbildung 18 zeigt die berechneten Raumlufthtemperaturen in der zentralen und den angrenzenden Wohnungen während der kältesten Woche des Jahres.

Die Solltemperatur von 21°C wird mit der Heizung im Betrieb in allen Wohnungen und bei allen Simulationsvarianten deutlich erreicht bzw. um ca. 0.5-1°C übertroffen. Im Nachtabsenkbetrieb (22-04 Uhr) sinkt die Raumlufthtemperatur bis auf einen Minimalwert von ca. 19.5°C (Solltemperatur 16°C). Im Absenkbetrieb während des Tages (07-16 Uhr) liegt die minimale Raumlufthtemperatur in der zentralen Wohnung mit anwesenheitsabhängigem Heizbetrieb im Bereich von 19-20°C (Solltemperatur 18°C).



3.2.2. Alle Wohnungen mit anwesenheitsabhängiger Heizungsregelung

3.2.2.1. Heizenergiebedarf

Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigen den berechneten jährlichen Heizenergiebedarf auf Stufe Nutzenergie, sowie das erzielte Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude.

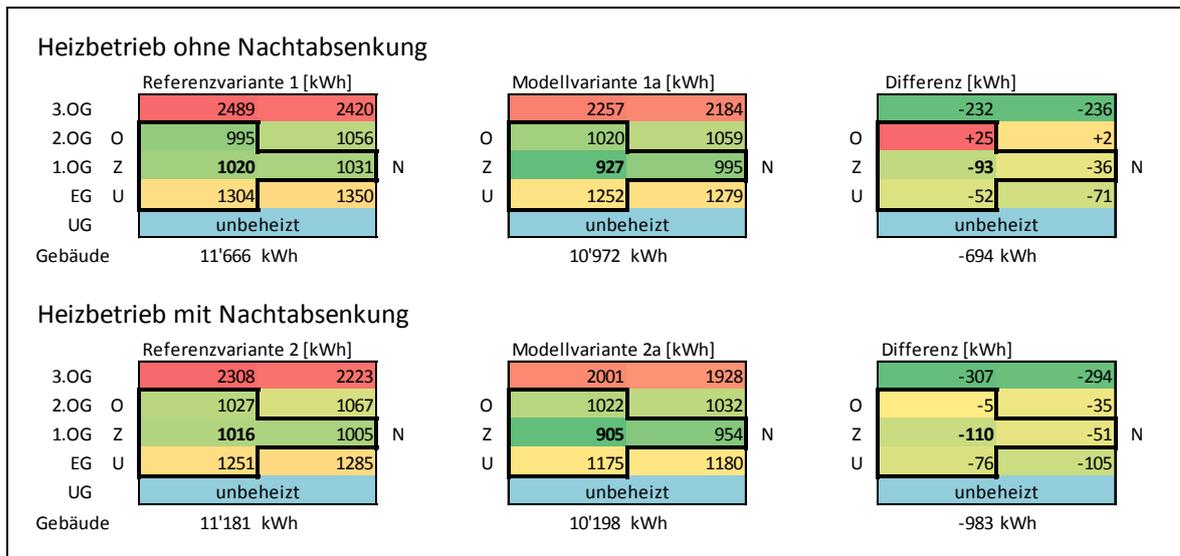


Abbildung 19. Jährlicher absoluter Heizenergiebedarf und Einsparpotenzial pro Wohnung und für das Gebäude. Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung.

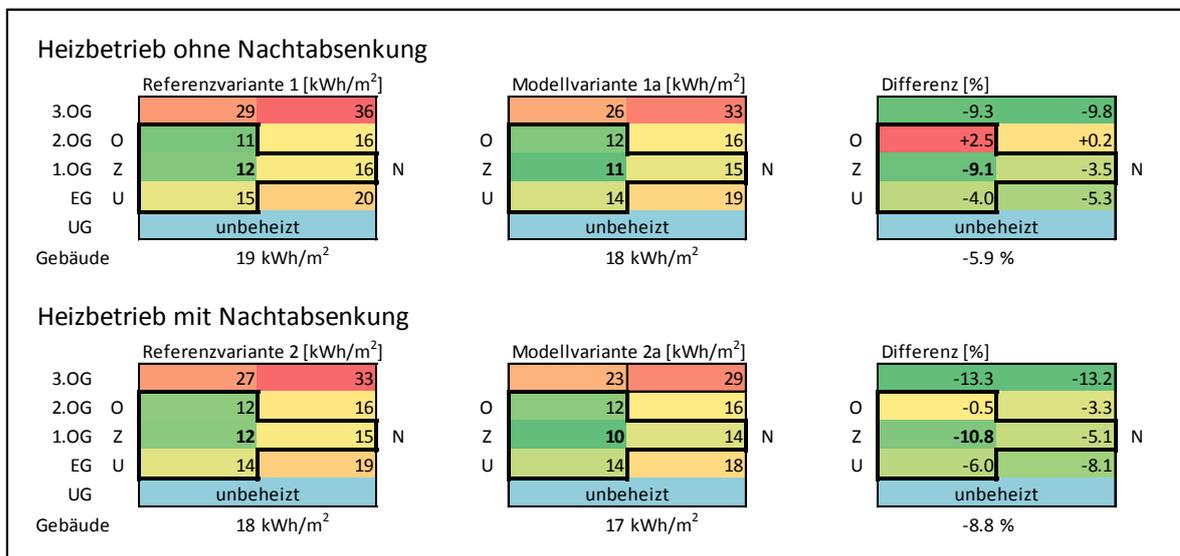
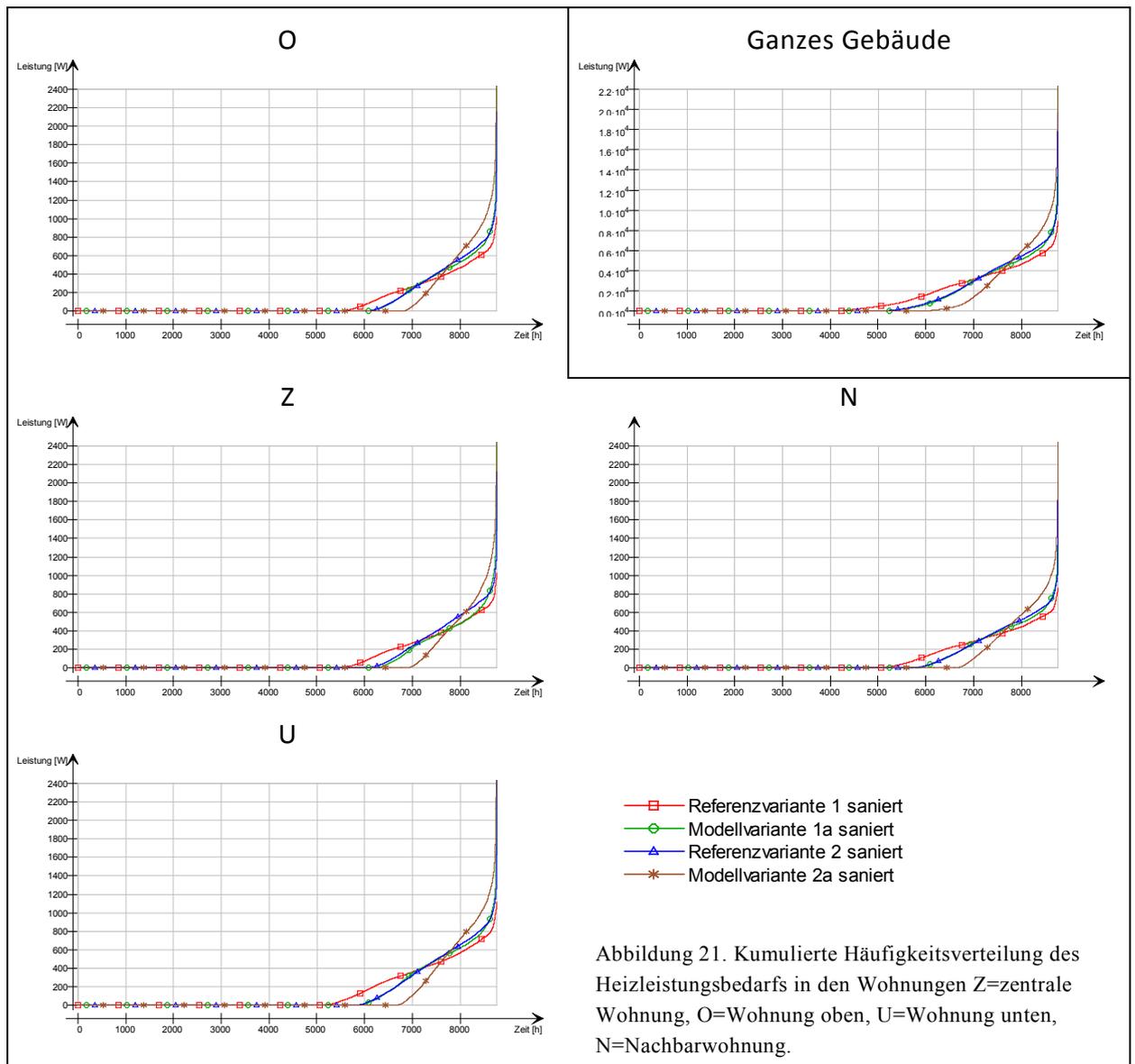


Abbildung 20. Jährlicher spezifischer Heizenergiebedarf und prozentmässiges Einsparpotenzial pro Wohnung und für das ganze Gebäude. Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung.

3.2.2.2. Heizleistung

Abbildung 21 zeigt den berechneten Heizleistungsbedarf der zentralen und der angrenzenden Wohnungen, sowie des ganzen Gebäudes.

Bei allen Wohnungen ergibt sich eine spürbare Erhöhung der erforderlichen maximalen Heizleistung (vgl. jeweils Referenz- und Modellvariante).



3.2.2.3. Raumlufthtemperaturen

Abbildung 22 zeigt die berechneten Raumlufthtemperaturen in der zentralen und den angrenzenden Wohnungen während der kältesten Woche des Jahres.

Die Solltemperatur von 21°C wird mit der Heizung im Betrieb in allen Wohnungen und bei allen Simulationsvarianten deutlich erreicht bzw. um ca. 0.5-1°C übertroffen. Im Nachtabsenkbetrieb (22-04 Uhr) sinkt die Raumlufthtemperatur bis auf einen Minimalwert von ca. 19°C (Solltemperatur 16°C). Im Absenkbetrieb während des Tages (07-16 Uhr) liegt die minimale Raumlufthtemperatur in allen Wohnungen bei ca. 18.5-19°C (Solltemperatur 18°C).

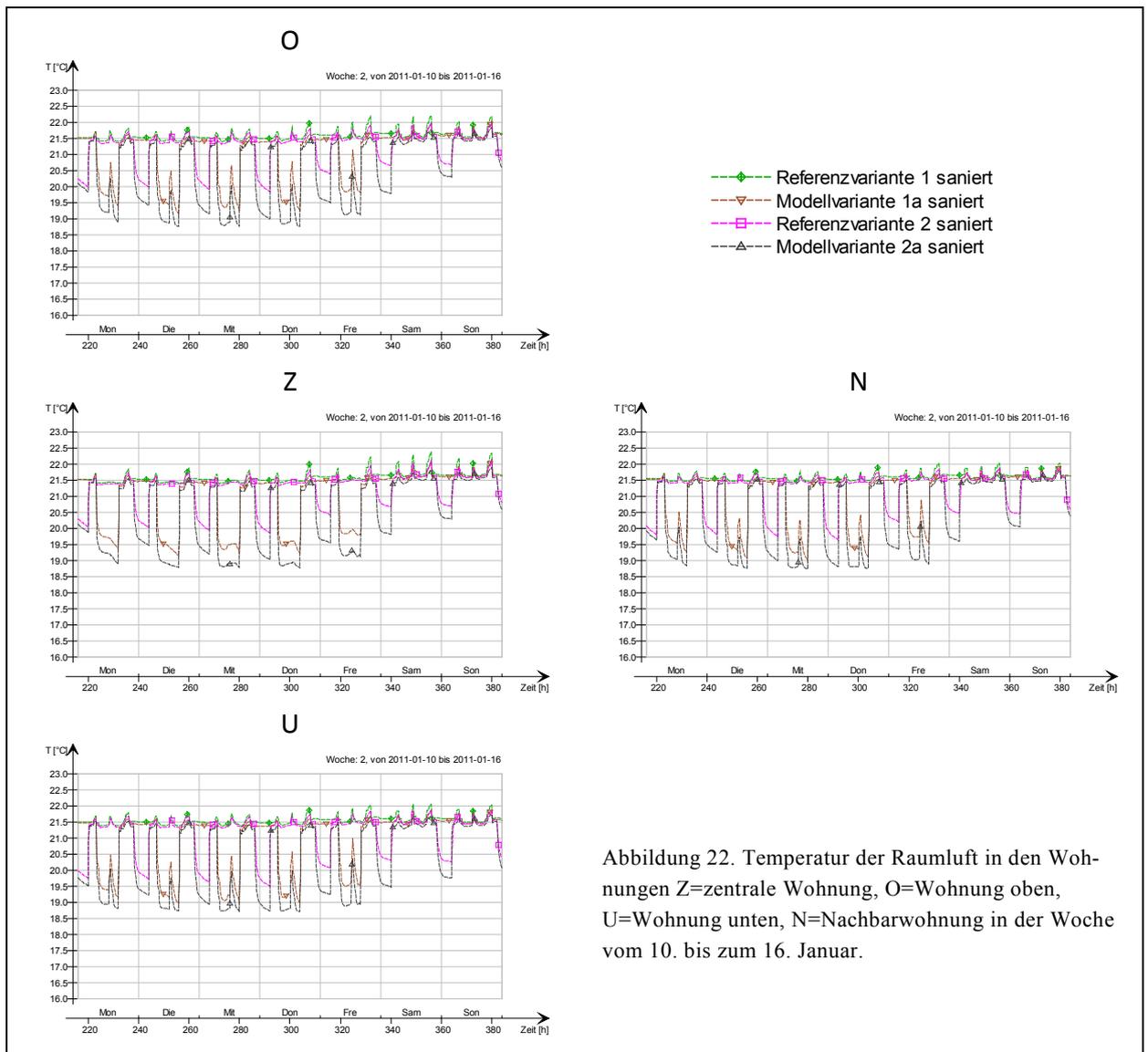


Abbildung 22. Temperatur der Raumluft in den Wohnungen Z=zentrale Wohnung, O=Wohnung oben, U=Wohnung unten, N=Nachbarwohnung in der Woche vom 10. bis zum 16. Januar.

4. Schlussfolgerungen

Die Resultate der thermischen Simulationen zeigen, dass – im Fall der untersuchten Gebäudetypologie und Heizstrategien – folgende Einsparungen des Heizenergiebedarfs (Stufe Nutzenergie) erzielbar sind:

Altbau

Eine Wohnung mit anwesenheitsabhängiger Heizungsregelung

- ca. **20-24%** Energieeinsparung für die Wohnung mit anwesenheitsabhängigem Heizbetrieb. Dies aber vor allem auf Kosten der benachbarten Zonen, welche in Einzelfällen eine Erhöhung des Heizenergiebedarfs bis ca. 5% tragen müssen.
- ca. **0.6-0.8%** Gesamtenergieeinsparung für das ganze Gebäude

Alle Wohnungen mit anwesenheitsabhängiger Heizungsregelung

- ca. **4-9%** Energieeinsparung für die einzelnen Wohnungen
- ca. **6-8%** Gesamtenergieeinsparung für das ganze Gebäude

Altbau saniert

Eine Wohnung mit anwesenheitsabhängiger Heizungsregelung

- ca. **30-40%** Energieeinsparung für die Wohnung mit anwesenheitsabhängigem Heizbetrieb. Dies aber vor allem auf Kosten der benachbarten Zonen, welche in Einzelfällen eine Erhöhung des Heizenergiebedarfs bis ca. 10% tragen müssen.
- ca. **0.6-1.0%** Gesamtenergieeinsparung für das ganze Gebäude

Alle Wohnungen mit anwesenheitsabhängiger Heizungsregelung

- ca. **3-13%** Energieeinsparung für die einzelnen Wohnungen
- ca. **6-9%** Gesamtenergieeinsparung für das ganze Gebäude

5. Empfehlungen

Die Investitionskosten für ein System zur anwesenheitsabhängigen Regelung der Heizung sollten innerhalb von max. 20 Jahren⁴ amortisierbar sein.

Bei jährlichen Heizkosten von z.B. 500 CHF⁵ und einer Energieeinsparung von 9%⁶ ergibt sich eine theoretische Reduktion der jährlichen Heizkosten von 45 CHF (Annahme: keine Veränderungen beim Energiepreis). In so einem Fall dürften die Investitionskosten höchstens 900 CHF betragen, um innerhalb von 20 Jahren amortisiert werden zu können (Pay-Back-Rechnung). Die Minimalpreise für ein einfaches System belaufen sich zurzeit auf ca. 2000 CHF⁷ pro Wohneinheit (fünf Heizkörper, inkl. Montage). Aus rein wirtschaftlichen Gründen lässt sich die Beschaffung eines solchen Systems heutzutage (noch) nicht rechtfertigen. Aus energetischer Sicht macht die Investition in eine anwesenheitsabhängige Heizungsregelung jedoch durchaus Sinn, insbesondere wenn alle Wohnungen mit dem System ausgerüstet werden. Tabelle 2 zeigt eine Gegenüberstellung der möglichen Chancen und Risiken beim Einsatz einer anwesenheitsabhängigen Heizungsregelung.

Chancen	Risiken
Heizenergieeinsparung	Einbussen beim thermischen Komfort
Erhöhte Kosteneinsparungen bei steigenden Energiepreisen	Installationsaufwand und damit verbundene Umstände (insbesondere bei bestehenden Bauten)
„Umweltfreundlicheres Image“ und Vorbildeffekt, Nachahmungseffekt	Funktionsstörungen, Produktdefekte, kurze Lebensdauer der Komponenten (--> Wartungs- und Unterhaltsaufwand)
Steigerung der Nachfrage nach Systemen zur anwesenheitsabhängigen Regelung der Heizung, Stimulierung des Marktes für Produkthanbieter, Verbesserung des Angebots	Bei Integration in Gebäudeautomationssysteme mit Fernsteuerung (z.B. über das Internet): Erhöhung der Vulnerabilität des Heizsystems gegenüber Angriffen von aussen

Tabelle 2. Chancen und Risiken beim Einsatz einer anwesenheitsabhängigen Heizungsregelung.

Als nächster Schritt – bevor konkrete Massnahmen für die Umsetzung der Erkenntnisse dieser Studie formuliert werden – wäre auf jeden Fall eine messtechnische Überprüfung der ermittelten theoretischen Energieeinsparpotenziale zu empfehlen. Diese könnte z.B. anhand von in-situ-Messungen in einzelnen repräsentativen Gebäuden erfolgen, welche dafür mit einer anwesenheitsabhängigen Heizungsregelung und der nötigen Messeinrichtung ausgerüstet werden.

⁴ Geschätzter Durchschnittswert für die Lebensdauer der benötigten Komponenten, basierend auf die Norm SIA 480:2016 (Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau) und die Dokumentation SIA D 0199.

⁵ Geschätzter Durchschnittswert für 3- bis 4-Zimmer-Wohnung in einem Altbau.

⁶ Best-Case-Szenario bei Altbau mit allen Wohnungen mit anwesenheitsabhängiger Heizungsregelung.

⁷ Aeschlimann M., Frei V., Iseli L., Reust P., Schöbi P., Vogelsang M. Projekt BFE EnergieSchweiz: Anwesenheitssensorheizung. Hochschule Luzern - Technik & Architektur, 2015.

6. Anhang: Simulationsgrundlagen

6.1. Simulationsperiode

01. Januar - 31. Dezember.

6.2. Standort

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

6.3. Klimadaten

Für das Aussenklima werden DRY (Design Reference Year) Klimadaten nach SIA Merkblatt 2028 für den Standort Zürich-MeteoSchweiz eingesetzt (Abbildung 23).

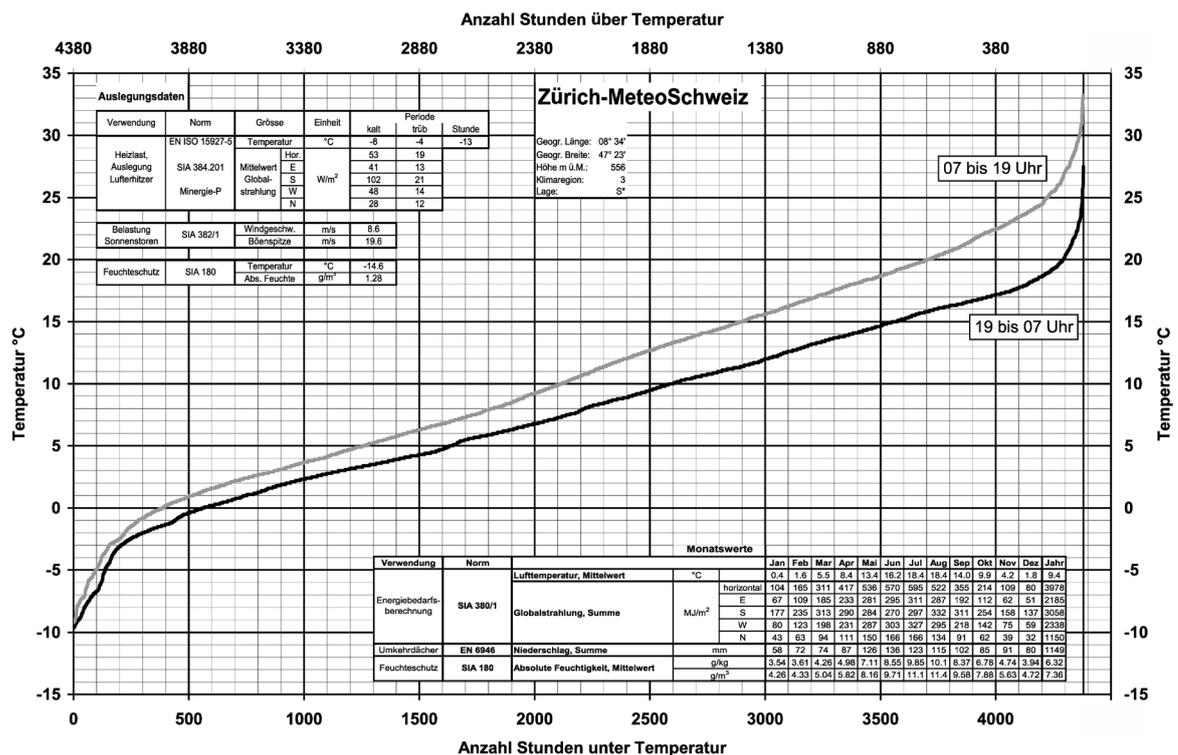


Abbildung 23: Klimadaten für den Standort Zürich-MeteoSchweiz, SIA Merkblatt 2028.

6.4. Geometrie

6.4.1. Gebäude und Zonen

Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen das zu simulierende Gebäude und die Lage der zentralen Zone.

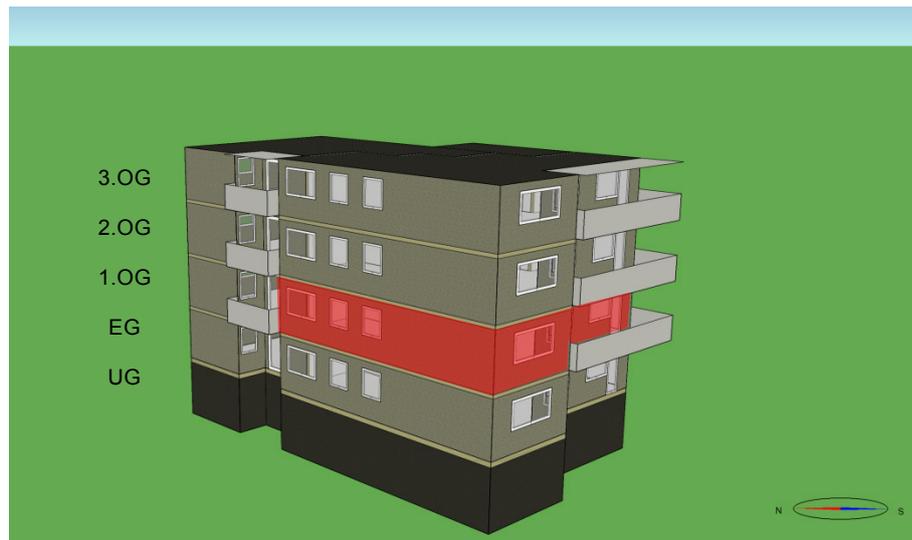


Abbildung 24: Westansicht des Gebäudes und Lage der zentralen Wohnung (rot markiert).

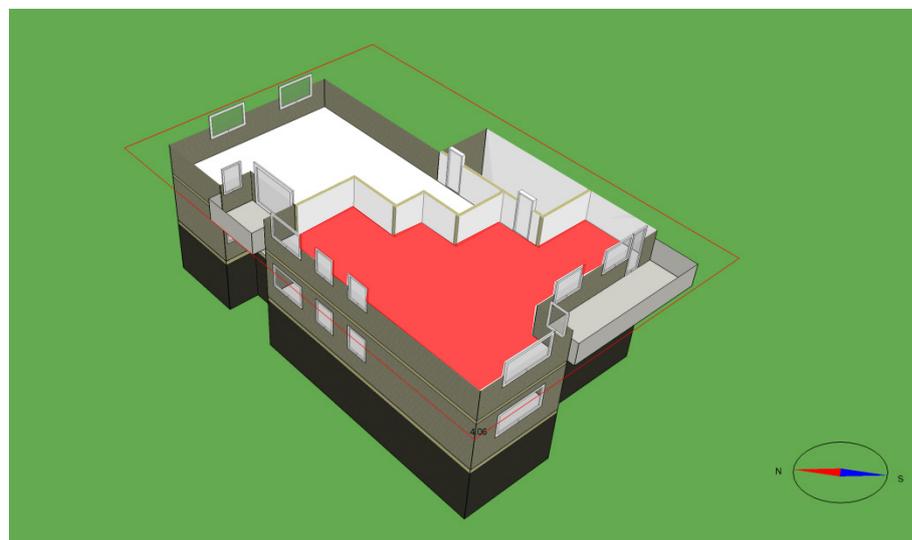


Abbildung 25. Horizontalschnitt des Gebäudes und Lage der zentralen Wohnung (rot markiert).

6.5. Gebäudehülle

6.5.1. Wand gegen aussen

Altbau				
Konstruktionsaufbau (von innen nach aussen)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Innenputz	0.010	0.700	1400	1000
Backstein	0.060	0.440	1100	1000
Luftspalt 20 mm	0.020	0.110	1.2	1006
Backstein	0.180	0.440	1100	1000
Aussenputz	0.150	0.860	1800	1000

Tabelle 3. Altbau: Baustoffkennwerte der Wand gegen aussen. Der U-Wert beträgt 1.08 W/(m² K).

Altbau saniert				
Konstruktionsaufbau (von innen nach aussen)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Innenputz	0.010	0.700	1400	1000
Backstein	0.060	0.440	1100	1000
Luftspalt 20 mm	0.020	0.110	1.2	1006
Backstein	0.180	0.440	1100	1000
Wärmedämmung EPS	0.140	0.031	15	1450
Aussenputz	0.150	0.860	1800	1000

Tabelle 4. Altbau saniert: Baustoffkennwerte der Wand gegen aussen. Der U-Wert beträgt 0.18 W/(m² K).

6.5.2. Dach

Altbau				
Konstruktionsaufbau (von oben nach unten)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Innenputz	0.010	0.700	1400	1000
Beton armiert mit 2% Stahl	0.140	2.500	2400	1000
Kork	0.040	0.055	125	1560
Bitumen	0.005	0.170	1050	1000
Kies	0.040	1.210	1700	920

Tabelle 5. Altbau: Baustoffkennwerte des Daches. Der U-Wert beträgt 0.97 W/(m² K).

Altbau saniert				
Konstruktionsaufbau (von oben nach unten)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Innenputz	0.010	0.700	1400	1000
Beton armiert mit 2% Stahl	0.140	2.500	2400	1000
Dampfbremse	0.004	0.230	1100	1000
Wärmedämmung EPS	0.140	0.029	25	1450
Abdichtung	0.010	0.230	1100	1000
Kies	0.040	1.210	1700	920

Tabelle 6. Altbau saniert: Baustoffkennwerte des Daches. Der U-Wert beträgt 0.19 W/(m²·K).

6.5.3. Boden gegen unbeheizt

Altbau				
Konstruktionsaufbau (von oben nach unten)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Parkett	0.010	0.170	780	1700
Beton armiert mit 2% Stahl	0.200	2.500	2400	1000
Innenputz	0.010	0.700	1400	1000

Tabelle 7. Altbau: Baustoffkennwerte des Bodens gegen unbeheizt. Der U-Wert beträgt 2.99 W/(m²·K).

Altbau saniert				
Konstruktionsaufbau (von oben nach unten)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Parkett	0.010	0.170	780	1700
Beton armiert mit 2% Stahl	0.200	2.500	2400	1000
Wärmedämmung EPS	0.120	0.029	25	1450

Tabelle 8. Altbau saniert: Baustoffkennwerte des Bodens gegen unbeheizt. Der U-Wert beträgt 0.23 W/(m²·K).

6.5.4. Zwischenboden

Konstruktionsaufbau (von oben nach unten)	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Parkett	0.010	0.170	780	1700
Beton armiert mit 2% Stahl	0.140	2.500	2400	1000
Innenputz	0.010	0.700	1400	1000

Tabelle 9. Baustoffkennwerte des Zwischenbodens. Der U-Wert beträgt 3.34 W/(m²·K).

6.5.5. Innenwand

Konstruktionsaufbau	Dicke m	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Dichte kg/m ³	Wärmekapazität J/(kg·K)
Innenputz	0.010	0.700	1400	1000
Kalksandstein	0.150	1.500	1800	1000
Innenputz	0.010	0.700	1400	1000

Tabelle 10. Baustoffkennwerte Innenwand. Der U-Wert beträgt 2.87 W/(m²·K).

6.5.6. Fenster

Altbau			
Kennwert		Fenster	Fenstertüre
Verglasung	U _g -Wert Glas	1.30 W/(m ² ·K)*	1.30 W/(m ² ·K)*
	g-Wert	0.64*	0.64*
	solarer Transmissionsgrad τ _e	0.53*	0.53*
	Lichttransmissionsgrad τ _v	0.76*	0.76*
U _f -Wert Rahmen		2.20 W/(m ² ·K)**	2.20 W/(m ² ·K)**
Rahmenanteil		0.25	0.25
U _w -Wert Fenster		1.53 W/(m ² ·K)	1.53 W/(m ² ·K)
* Typische Werte für Zweifach-Wärmeschutzglas gemäss SIA 382/1:2007 Anhang C Tabelle 32			
** Annahme Kunststoffrahmen			

Tabelle 11. Altbau: Fenster-Kennwerte.

Altbau saniert			
Kennwert		Fenster	Fenstertüre
Verglasung	U _g -Wert Glas	0.70 W/(m ² ·K)*	0.70 W/(m ² ·K)*
	g-Wert	0.51*	0.51*
	solarer Transmissionsgrad τ _e	0.42*	0.42*
	Lichttransmissionsgrad τ _v	0.71*	0.71*
U _f -Wert Rahmen		1.40 W/(m ² ·K)**	1.40 W/(m ² ·K)**
Rahmenanteil		0.20	0.20
U _w -Wert Fenster		0.84 W/(m ² ·K)	0.84 W/(m ² ·K)
* SIA Dreifach-Wärmeschutzglas gemäss SIA 382/1:2007 Anhang C Tabelle 32			
** Annahme Holz-Metall Rahmen			

Tabelle 12. Altbau **saniert**: Fenster-Kennwerte.

6.5.7. Türen

Bei den Innentüren wird ein U-Wert von 1.60 W/(m²·K) angenommen (Grenzwert nach SIA 380/1 für Türen gegen unbeheizte Räume).

6.5.8. Wärmebrücken

Bei den Fensterleibungen wird ein linearer Wärmeverlust (Ψ -Wert) von $0.1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ berücksichtigt.

6.5.9. Beschattung

Die Fassadenfenster besitzen einen aussenliegenden Sonnenschutz. Der Sonnenschutz schliesst wenn die Sonnenstrahlung an der Aussenoberfläche der Fassade grösser als $200 \text{ W}/\text{m}^2$ (Norm SIA 180:2014) und die Windgeschwindigkeit tiefer als $40 \text{ km}/\text{h}$ ist. Tabelle 13 zeigt die angenommenen Abminderungsfaktoren.

Parameter	Abminderungsfaktor Sonnenschutz
g-Wert	0.19
τ_e (direkter solarer Transmissionsgrad)	0.1
τ_v (Lichttransmissionsgrad)	0.1

Tabelle 13. Abminderungsfaktoren des Sonnenschutzes.

6.6. Räume / Zonen

6.6.1. Zentrale Wohnung

Raumtemperatur

Sollwert Heizen: 21 °C

Geometrie

Bodenfläche (Netto): 86.88 m²

Fensterfläche: 13.98 m²

Personen

Belegung: 3 Personen (30 m²/P)

Aktivität: 1.2 met (Sitzende Tätigkeit, ruhig stehend)

Bekleidung: 0.75 ± 0.25 clo (wird innerhalb der Grenzen den Temperaturen angepasst)

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.1

Geräte

Leistung: 695.0 W (8 W/m²)

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.2

Beleuchtung

Leistung: 234.6 W (2.7 W/m²)

Lichtausbeute: 33 lm/W

Konvektiver Anteil: 30%

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.3

Heizung

System: Heizkörper
(in der Simulation als „ideales Heizelement“ mit P-Regler abgebildet)

Leistung: Der Heizkörper wird die nötige Leistung zu Verfügung stellen, um die minimale Solltemperatur (siehe oben) zu erreichen

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.4

Kühlung

Keine

Mechanische Lüftung

Keine

Infiltration

Es wird gemäss SIA 2024:2015 ein Aussenluft-Volumenstrom durch Infiltration pro Nettogeschossfläche von 0.15 m³/(m²·h) $\hat{=}$ 0.04167 L/(m²·s) angenommen.

6.6.2. Nachbarwohnung

Raumtemperatur

Sollwert Heizen: 21 °C

Geometrie

Bodenfläche (Netto): 66.41 m²

Fensterfläche: 11.05 m²

Personen (gemäss SIA 2024:2015 Wohnen MFH)

Belegung: 2 Personen (30 m²/P)

Aktivität: 1.2 met (Sitzende Tätigkeit, ruhig stehend)

Bekleidung: 0.75 ± 0.25 clo (wird innerhalb der Grenzen den Temperaturen angepasst)

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.1

Geräte (gemäss SIA 2024:2015 Wohnen MFH)

Leistung: 531.3 W (8 W/m²)

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.2

Beleuchtung (gemäss SIA 2024:2015 Wohnen MFH)

Leistung: 179.3 W (2.7 W/m²)

Lichtausbeute: 33 lm/W

Konvektiver Anteil: 30%

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.3

Heizung

System: Heizkörper

(in der Simulation als „ideales Heizelement“ mit P-Regler abgebildet)

Leistung: Der Heizkörper wird die nötige Leistung zu Verfügung stellen, um die minimale Solltemperatur (siehe oben) zu erreichen

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.4

Kühlung

Keine

Mechanische Lüftung

Keine

Infiltration

Es wird gemäss SIA 2024:2015 ein Aussenluft-Volumenstrom durch Infiltration pro Nettogeschossfläche von 0.15 m³/(m²·h) ≙ 0.04167 L/(m²·s) angenommen.

6.6.3. Wohnung oben

Raumtemperatur

Sollwert Heizen: 21 °C

Geometrie

Bodenfläche (Netto): 86.88 m²

Fensterfläche: 13.98 m²

Personen (gemäss SIA 2024:2015 Wohnen MFH)

Belegung: 3 Personen (30 m²/P)

Aktivität: 1.2 met (Sitzende Tätigkeit, ruhig stehend)

Bekleidung: 0.75 ± 0.25 clo (wird innerhalb der Grenzen den Temperaturen angepasst)

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.1

Geräte (gemäss SIA 2024:2015 Wohnen MFH)

Leistung: 695.0 W (8 W/m²)

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.2

Beleuchtung (gemäss SIA 2024:2015 Wohnen MFH)

Leistung: 234.6 W (2.7 W/m²)

Lichtausbeute: 33 lm/W

Konvektiver Anteil: 30%

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.3

Heizung

System: Heizkörper

(in der Simulation als „ideales Heizelement“ mit P-Regler abgebildet)

Leistung: Der Heizkörper wird die nötige Leistung zu Verfügung stellen, um die minimale Solltemperatur (siehe oben) zu erreichen

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.4

Kühlung

Keine

Mechanische Lüftung

Keine

Infiltration

Es wird gemäss SIA 2024:2015 ein Aussenluft-Volumenstrom durch Infiltration pro Nettogeschossfläche von 0.15 m³/(m²·h) ≅ 0.04167 L/(m²·s) angenommen.

6.6.4. Wohnung unten

Raumtemperatur

Sollwert Heizen: 21 °C

Geometrie

Bodenfläche (Netto): 86.88 m²

Fensterfläche: 13.98 m²

Personen (gemäss SIA 2024:2015 Wohnen MFH)

Belegung: 3 Personen (30 m²/P)

Aktivität: 1.2 met (Sitzende Tätigkeit, ruhig stehend)

Bekleidung: 0.75 ± 0.25 clo (wird innerhalb der Grenzen den Temperaturen angepasst)

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.1

Geräte (gemäss SIA 2024:2015 Wohnen MFH)

Leistung: 695.0 W (8 W/m²)

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.2

Beleuchtung (gemäss SIA 2024:2015 Wohnen MFH)

Leistung: 234.6 W (2.7 W/m²)

Lichtausbeute: 33 lm/W

Konvektiver Anteil: 30%

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.3

Heizung

System: Heizkörper

(in der Simulation als „ideales Heizelement“ mit P-Regler abgebildet)

Leistung: Der Heizkörper wird die nötige Leistung zu Verfügung stellen, um die minimale Solltemperatur (siehe oben) zu erreichen

Fahrplan: Siehe Abschnitt 6.7.4

Kühlung

Keine

Mechanische Lüftung

Keine

Infiltration

Es wird gemäss SIA 2024:2015 ein Aussenluft-Volumenstrom durch Infiltration pro Nettogeschossfläche von 0.15 m³/(m²·h) $\hat{=}$ 0.04167 L/(m²·s) angenommen.

6.7. Fahrpläne

6.7.1. Personen

6.7.1.1. Zentrale Wohnung

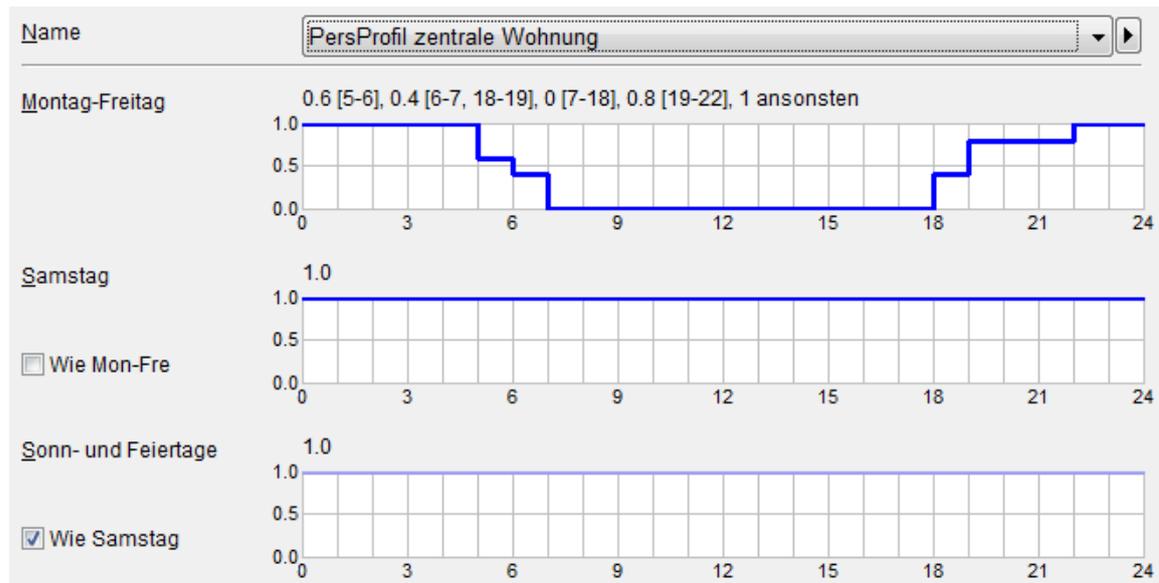


Abbildung 26. Fahrpläne für die Personenbelegung.

6.7.1.2. Übrige Wohnungen

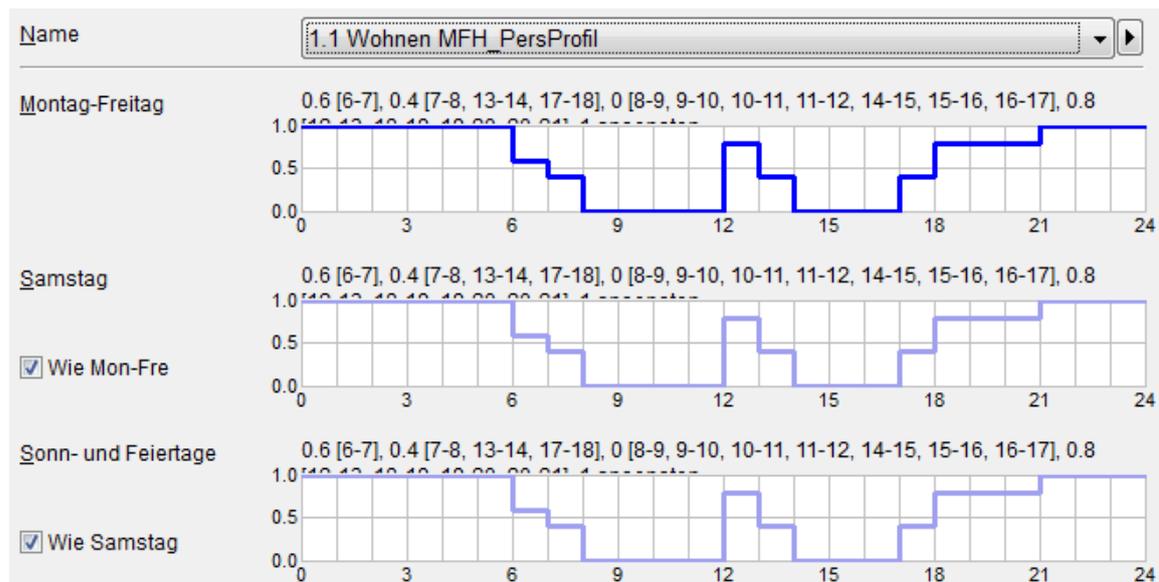


Abbildung 27. Fahrpläne für die Personenbelegung gemäss SIA 2024 Wohnen MFH.

6.7.2. Geräte

6.7.2.1. Zentrale Wohnung

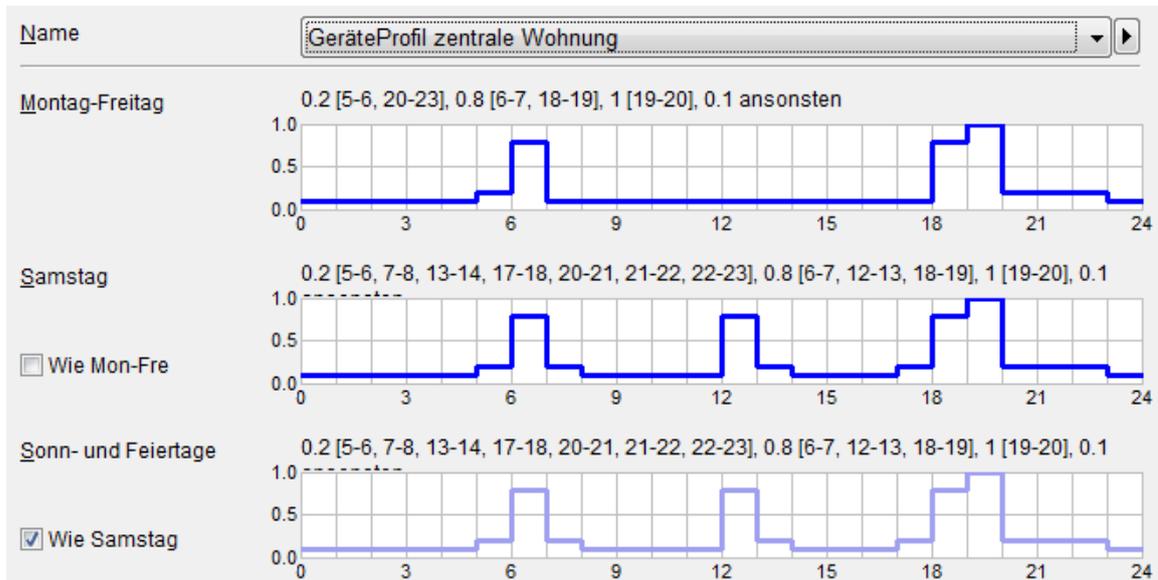


Abbildung 28. Fahrpläne für die Auslastung der Geräte.

6.7.2.2. Übrige Wohnungen

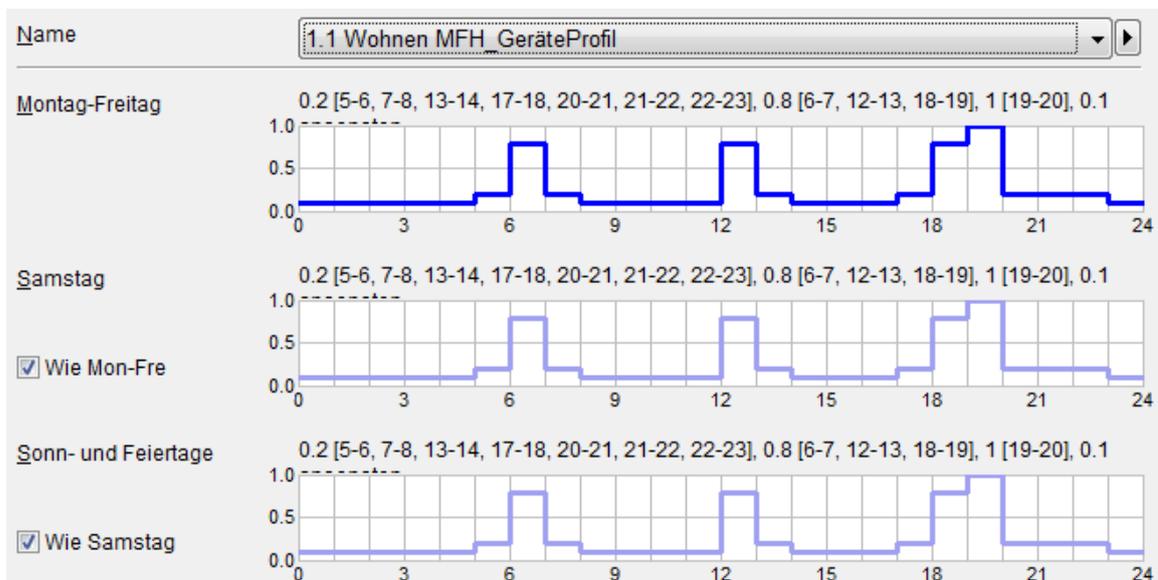


Abbildung 29. Fahrpläne für die Auslastung der Geräte gemäss SIA 2024 Wohnen MFH.

6.7.3. Beleuchtung

6.7.3.1. Zentrale Wohnung

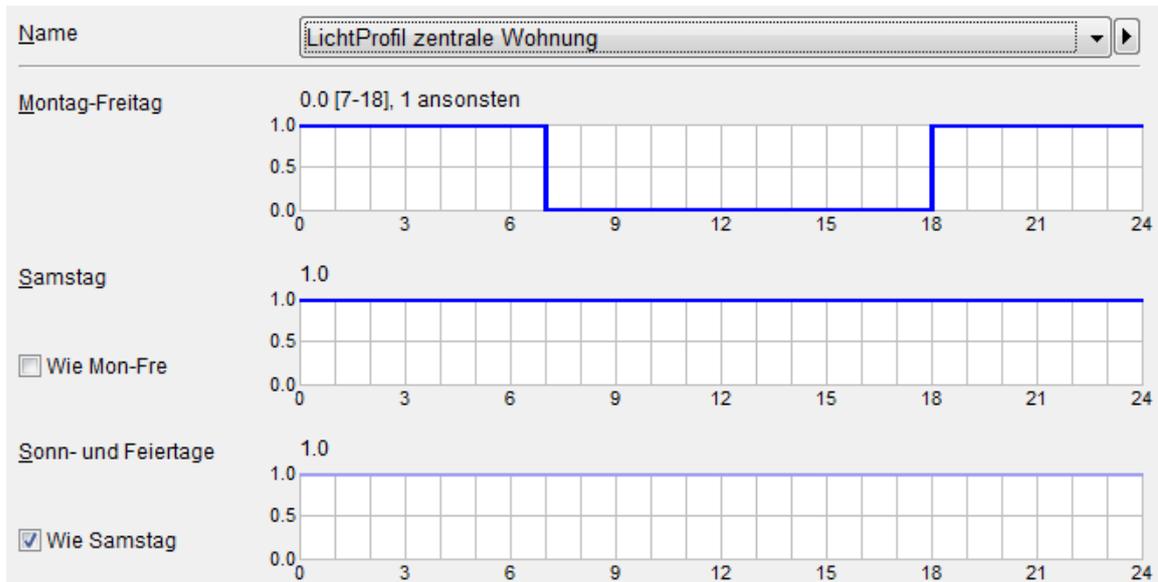


Abbildung 30. Fahrpläne für die Nutzungsstunden der Beleuchtung.

6.7.3.2. Übrige Wohnungen

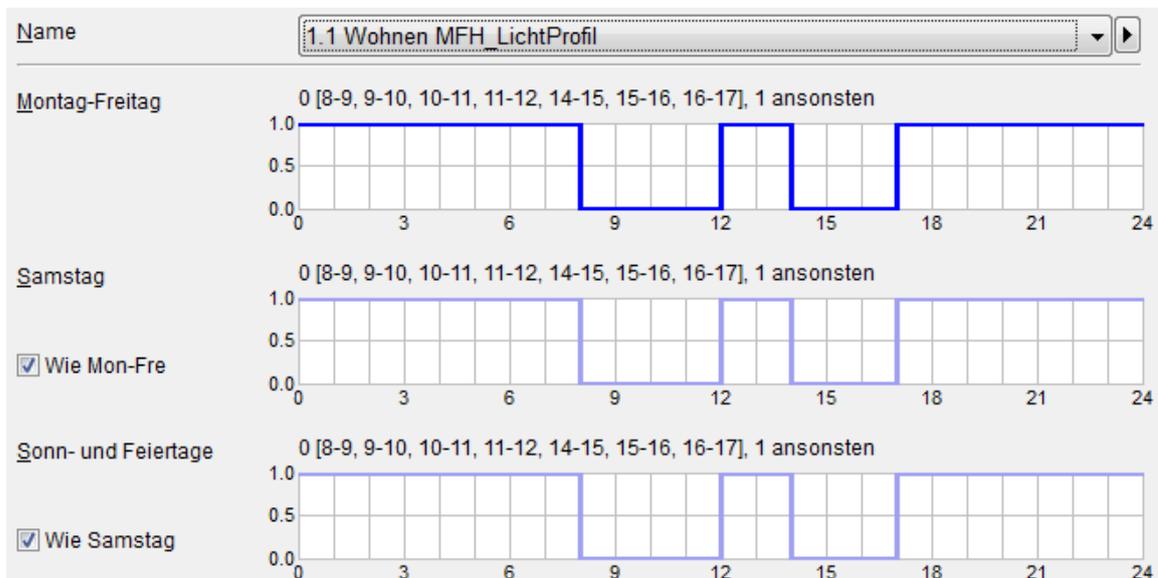


Abbildung 31. Fahrpläne für die Nutzungsstunden der Beleuchtung gemäss SIA 2024 Wohnen MFH.

6.7.4. Heizung

Tabelle 14 und Tabelle 15 geben einen Überblick der Solltemperaturen für den Heizbetrieb bei den verschiedenen Modellvarianten.

Die anwesenheitsabhängige Heizung (zentrale Wohnung, Modellvarianten 1 und 2) wird mit zeitlichen Anwesenheitsfahrplänen geregelt. Dabei wird die Heizung jeweils zwei Stunden, bevor die Raumtemperatur wieder 21°C betragen muss, hochgefahren.

Varianten ohne Nachtabenkung	Solltemperatur Heizung	
	Zentrale Wohnung	Übrige Wohnungen
Referenzvariante 1	21°C ganztags	
Modellvariante 1	21°C bei Personenanwesenheit 18°C übrige Zeit	21°C ganztags
Modellvariante 1a	21°C bei Personenanwesenheit 18°C übrige Zeit	

Tabelle 14. Varianten ohne Nachtabenkung: Überblick der Solltemperaturen für die Heizung.

Varianten mit Nachtabenkung	Solltemperatur Heizung	
	Zentrale Wohnung	Übrige Wohnungen
Referenzvariante 2	21°C zwischen 04-22 16°C zwischen 22-04 (Nachtabenkung)	
Modellvariante 2	21°C bei Personenanwesenheit zwischen 04-22 18°C übrige Zeit zwischen 04-22 16°C zwischen 22-04 (Nachtabenkung)	21°C zwischen 04-22 16°C zwischen 22-04 (Nachtabenkung)
Modellvariante 2a	21°C bei Personenanwesenheit zwischen 04-22 18°C übrige Zeit zwischen 04-22 16°C zwischen 22-04 (Nachtabenkung)	

Tabelle 15. Varianten mit Nachtabenkung: Überblick der Solltemperaturen für die Heizung.