

Heizen nach Mass

Simulation Energiesparpotential

Schlussbericht

IMPRESSUM

Auftraggeberin:

Stadt Zürich,
Amt für Hochbauten,
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21
8021 Zürich

Bearbeitung:

Jörg Dietrich
AFC Air Flow Consulting AG,
Weinbergstrasse 72
8006 Zürich
joerg.dietrich@afc.ch

Projektleitung:

Franz Sprecher
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amt für Hochbauten

Projektteam:

Jörg Dietrich (AFC, Zürich)
Rahel Gessler (Stadt Zürich, UGZ)
Toni Püntener (Stadt Zürich, UGZ)
Franz Sprecher (Stadt Zürich, AHB)
Bettina Volland (Stadt Zürich, UGZ)

Download als pdf von
www.stadt-zuerich.ch/egt -> Projekte realisiert

Zürich, April 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
2	Schlussfolgerungen des Auftraggebers	6
3	Projektübersicht.....	7
3.1	Ausgangslage	7
3.2	Simulations-Pflichtenheft	7
4	Detailresultate und Untersuchungen	9
4.1	Übersicht Resultate.....	9
4.2	Temperaturen für Wohnung OG1 3.5 (2) für 16.1. und 25.1	10
4.3	Energiebilanz für Wohnung OG1 3.5 (2) für 16.1 und 25.1	12
4.4	Temperaturen bei Nachtabenkung.....	13
4.5	Vergleich Einfluss Zimmeraufteilung.....	13
4.6	Beeinflussung angrenzende Wohnungen „Wärmeklau“	14
5	Anhang	15
5.1	Modellgebäude.....	15
5.2	Literaturverzeichnis.....	25

1 Zusammenfassung

Der Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) und das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich (AHB) werden regelmässig mit „Heizen nach Mass“-Systemen konfrontiert. Diese Produkte haben das Ziel, dass die Nutzerinnen und Nutzer die Temperatur ihrer Heizkörper ihren Bedürfnissen (An- und Abwesenheit, Zweck des Raumes) anpassen – also „nach Mass“ heizen. Die im Rahmen dieser Studie gemachten Simulationen sollen Daten liefern, um das Energieeinsparpotential solcher Systeme abzuschätzen.

Tabelle 1 zeigt wie viel Energie eingespart werden könnte, wenn bei allen Wohnungen die Raumtemperatur werktags tagsüber bei Abwesenheit auf 18 °C reduziert würde. Bei einem unsanierten Gebäude mit Baujahr vor 1975 ergibt die Simulation eine Reduktion des Heizenergiebedarfs von 4%. Bei einem Gebäude mit besserer Gebäudehülle, welche einem Baustandard eines Gebäudes der 90er Jahr entspricht, ergibt die Simulation eine Einsparung von 3%. Da bei einem besser gedämmten Gebäude die Raumtemperatur langsamer absinkt, ist die Einsparung geringer.

Tabelle 1: Einsparpotenzial durch Absenkung

	Heizenergiebedarf	Einsparung	
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	
Gebäude „vor 1975“ (keine Wohnung senkt ab)	118.6		
Gebäude „vor 1975“ (alle Wohnungen senken ab)	113.9	4.8	4.0%
Gebäude "Mitte 90er Jahre" (keine Wohnung senkt ab)	64.6		
Gebäude "Mitte 90er Jahre" (alle Wohnungen senken ab)	62.6	2.0	3.0%

Für den Fall, dass nur einzelne Wohnungen am Absenkprogramm teilnehmen, ergibt sich die Frage des Wärmediebstahls. Damit ist gemeint, dass die Wohnungen ohne Absenkung mehr heizen müssen, wenn der angrenzende Nachbar die Raumtemperatur absenkt. In Tabelle 2 sind die Resultate für ein Gebäude mit Dämmstandard vor 1975 aufgezeigt, wenn nur drei von dreissig Wohnungen am Absenkprogramm teilnehmen. Die drei Wohnungen sparen zusammen 1'205 kWh/a. Bezogen auf die drei Wohnungen beträgt die Einsparung ca. 10%. Wird aber die Einsparungen des Gesamtgebäudes betrachtet, beträgt die Einsparung nur 400 kWh/a, was 0.2% des Gesamtenergieverbrauchs entspricht. Die tatsächliche Einsparung pro Wohnung von 400 kWh beträgt somit bezogen auf die drei Wohnungen 3.3%. Dies ist pro Wohnung etwas weniger, als wenn alle Wohnungen am Programm teilnehmen würden.

Tabelle 2: Einsparungen wenn nur drei von dreissig Wohnungen absenken (Gebäude vor 1975)

	Heizenergiebedarf		Einsparungen		
	Ohne Absenkung	Mit Absenkung			
	kWh/a	kWh/a	kWh/a		
3 teilnehmende Wohnungen	12'157	10'952	1'205	9.9%	
Gesamtgebäude	237'277	236'877	400	0.2%	bezogen auf Gesamtgebäude
				3.3%	bezogen auf die 3 Wohnungen

Zum Vergleich: wird die Raumtemperatur im Gebäude von 21 °C auf 22 °C erhöht, steigt der Heizenergiebedarf im Winter um ca. 5%. Bei Nachtabsenkung mit Abschalten der Heizung nachts (ohne Temperaturabsenkung tagsüber), reduziert sich der Heizenergiebedarf um 6%.

Wird die Nachtabsenkung für alle Wohnungen mit einer Tagesabsenkung bei 50% der Wohnungen kombiniert, ergab die Simulation für den Gebäudehüllenstandard vor 1975 eine Einsparung von 8%, also 2% mehr als die Nachtabsenkung alleine bringen würde.

Je nach Gebäudetyp und Anzahl mitmachender Haushalte ergibt sich durch "Heizen nach Mass" ein Einsparpotential von 0.2 bis 4 Prozent des gesamten Heizenergiebedarfes. Wenn im ganzen Haus die Temperatur auch am Tag gesenkt werden kann, kann der Wärmediebstahl zwischen den Wohnungen verhindert werden.

In den Simulationen nicht berücksichtigt sind der Eigenverbrauch der Systeme, Fehlfunktionen und das bewusste Erhöhen von Raumtemperaturen, wenn die kalte Wand zur Nachbarwohnung zu einem tieferen Komfort führt.

Heizen nach Mass eignet sich besonders gut in Gebäuden mit einheitlicher Nutzung, da dann kein Wärmediebstahl zwischen den Räumen stattfinden kann. In solchen Gebäuden kann tagsüber analog der Nachtabenkung mit einfachen technischen Mitteln die Heizung weniger hoch eingestellt, resp. ganz abgeschaltet werden.

2 Schlussfolgerungen des Auftraggebers

Die Raumtemperatur hat einen grossen Einfluss auf den Energieverbrauch eines Gebäudes. Insbesondere in schlecht gedämmten Häusern lohnt es sich, in der Nacht und bei Abwesenheit der Nutzer die Energieabgabe der Heizung zu reduzieren oder ganz abzustellen. Die während der Temperatur-Absenkung eingesparte Energie wird - entgegen einer sich hartnäckig haltenden Meinung - während der Aufwärmphase nicht wieder kompensiert. Der Energieverlust eines Gebäudes ist hauptsächlich abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Aussentemperatur.

Je schlechter ein Gebäude gedämmt ist, umso schneller fließt nach dem Abschalten der Heizung die Energie ab und je schneller sinkt die Raumtemperatur. Der Effekt der Raumtemperaturabsenkung ist entsprechend bei thermisch schlechten Gebäuden am grössten.

Die allermeisten Heizungssteuerungen sind in der Lage, über Zeitprogramme eine Nachtabsenkung vorzunehmen. Bei Einfamilienhäusern und Nicht-Wohnbauten sind darüber hinaus Wochenend- und Ferienabsenkungen möglich. Durch eine konsequente Nutzung dieser Möglichkeit wird in den städtischen Gebäuden (insbesondere Nichtwohnbauten) mit Erfolg bereits heute viel Energie gespart. Bei Mehrfamilienhäusern sind diese Energieeffizienzansätze nicht oder nur eingeschränkt möglich.

Der auf den ersten Blick verlockende Gedanke, diese ohne Komfortverlust realisierbaren Energie-Einsparungen durch intelligentere Heizungssteuerungen auch in einzelnen Zimmern zu erreichen, hat sich nicht bestätigt. Stellt ein Nutzer bei Abwesenheit die Heizung seiner Wohnung ganz ab, so fließt die Wärme statt über die Heizkörper einfach über die Wände, Böden und Decken aus den Nachbarwohnungen nach. Die resultierenden Einsparungen über das ganze Gebäude sind um ein Vielfaches kleiner als die Messungen der Heizenergie in den einzelnen Wohnungen glauben machen.

Diese unter optimalem Betrieb kleinen Einsparungen müssen durch eine hohe Technisierung der Gebäude erkaufte werden. Jeder Heizkörper muss über ein motorisiertes Ventil verfügen, es braucht einen zentralen Rechner, Kommunikation zwischen den Komponenten und oft sind weitere Produkte wie Fensterkontakte, Internetanbindung oder Präsenzmelder mit ins System integriert.

Die erwarteten Einsparungen sind aus der Sicht der Stadt Zürich zu klein, um den Mehraufwand der erhöhten Technisierung zu rechtfertigen. Entsprechend wurde in der Studie auch nicht weiter untersucht, wie sich Fehlfunktionen oder der Eigenenergieverbrauch solcher "Heizen-nach-Mass-Systeme" auf die Gesamteffizienz auswirken.

"Heizen nach Mass"-Systeme haben den positiven Aspekt, dass die Raumtemperatur stärker ins Bewusstsein der Nutzenden rückt. Dadurch kann dem regelmässig beobachteten Überheizen der Gebäude entgegen gewirkt werden.

Ebenfalls hilfreich ist die Möglichkeit, mit solchen Systemen ein qualitatives Monitoring des Heizenergieverbrauches zu realisieren. Um dieses Potenzial bei der Nutzung von Bauten nachhaltig ausschöpfen zu können, braucht es eine einfache und wartungsarme Technik. Die Komponenten sollten einen geringen Energieverbrauch aufweisen und idealerweise auf den Einsatz von Batterien verzichten. Ebenso ist der Datenverkehr zwischen den einzelnen Geräten gering zu halten. Wie eine parallele Untersuchung gezeigt hat, erfüllen derzeit die auf dem Markt angebotenen intelligenten Heizungssteuerungen für Wohnungen diese Alltagsanforderungen noch nicht.

3 Projektübersicht

3.1 Ausgangslage

Berufstätige Personen sind tagsüber meist ausser Haus. Deshalb werden viele Wohnungen zwischen 9-17 Uhr kaum benutzt – und trotzdem durchgehend beheizt. Eine leichte Reduktion der Heiztemperatur während der achtstündigen Abwesenheiten würde dazu beitragen, den Heizenergieverbrauch zu senken.

Eine Simulationsrechnung soll das theoretisch mögliche Energie-Einsparpotenzial einschätzen. Wie viel davon dann schliesslich in der Praxis ausgeschöpft werden kann, müsste in einer Pilotanlage aufgezeigt werden. Dies ist im Wesentlichen abhängig von der Teilnahmereitschaft, der Einfachheit der technischen Lösung, der Offenheit und „Durchhaltefähigkeit“ der Nutzerinnen.

3.2 Simulations-Pflichtenheft

- „Heizen nach Mass“ – Systeme machen vor allem in thermisch schlechten Gebäuden Sinn, welche bis jetzt noch nicht gedämmt wurden > Energiebedarf 70-130 kWh/m²a.
- Das Heizverteilsystem muss schnell reagieren können > Heizkörper.
- Absenkung der Raumtemperatur an Werktagen (Mo - Fr) während 8 Stunden (8-16 Uhr). Ausgangstemperatur ist 21 °C, Temperatur darf nicht unter 18 °C fallen.
- Belegung: 2 1/2 Zimmerwohnung: 1 Person / 3 1/2 Zimmerwohnung: 2 Personen / 4 1/2 Zimmerwohnung: 3 Personen
- Keine Betrachtung Warmwasserverbrauch
- Korrekt dimensionierte und eingestellte, funktionierende Heizungsanlage
- Standort Zürich
- Interne Lasten für Wohnungsnutzung
- Normale Möblierung
- 1 Nasszelle pro Wohnung, gleiche Temperatur wie übrige Wohnung
- Variante: Mit Nachtabenkung zwischen 22 – 06 Uhr.
- Die Heizung wird jeweils zwei Stunden, bevor die Raumtemperatur wieder 21 °C betragen muss, hochgefahren.

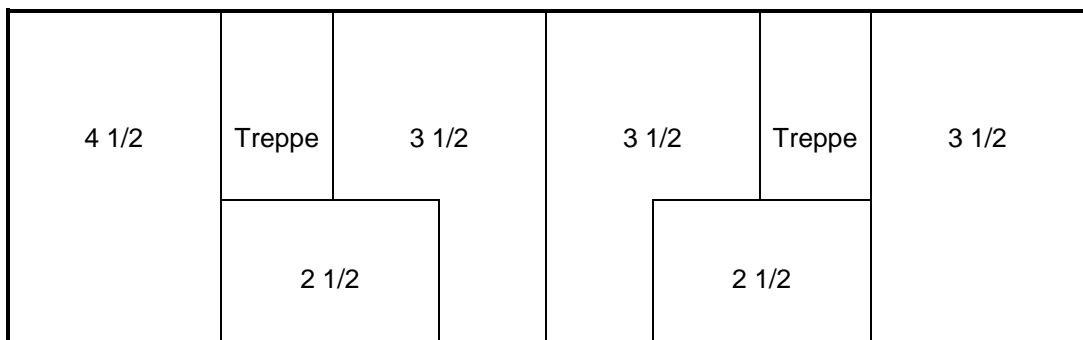
Tabelle 3: Vorgaben der zu untersuchenden Varianten

Teilnahme 1)	Gebäude „vor 1975“ 130 kWh/m ^{2,2)}	Gebäude „Mitte 80er-Jahre“ 100 kWh/m ²	Gebäude „Mitte 90er-Jahre“ 70 kWh/m ²	Gebäude vor 1975 Raumtemperatur 22°C	Gebäude vor 1975 mit Nachtabsenkung Raumtemp. 21°C
100%	x	x	x		
70%	x				
50%	x	x	x	x	x
30%	x				
10%	x				

Vorgabe für ein synthetisches Gebäude

- Mehrfamilienhäuser mit 5 identischen Stockwerken und Kellergeschoss
- Giebeldach mit Estrichzone über allen Wohnungen, für Altbauten üblichen Fensteranteil, keine Balkone, keine Beschattung, kleine bis normale Zimmergrößen (Altbau)
- Pro Stockwerk 6 Wohnungen: 2 x 2 1/2 Zi - 3 x 3 1/2 Zi - 1 x 4 1/2 Zi
- 1 Nasszelle pro Wohnung

Figur 1: Beispielgrundriss



¹ Teilnahme der Haushalte pro Gebäude in %
² ohne Warmwasser

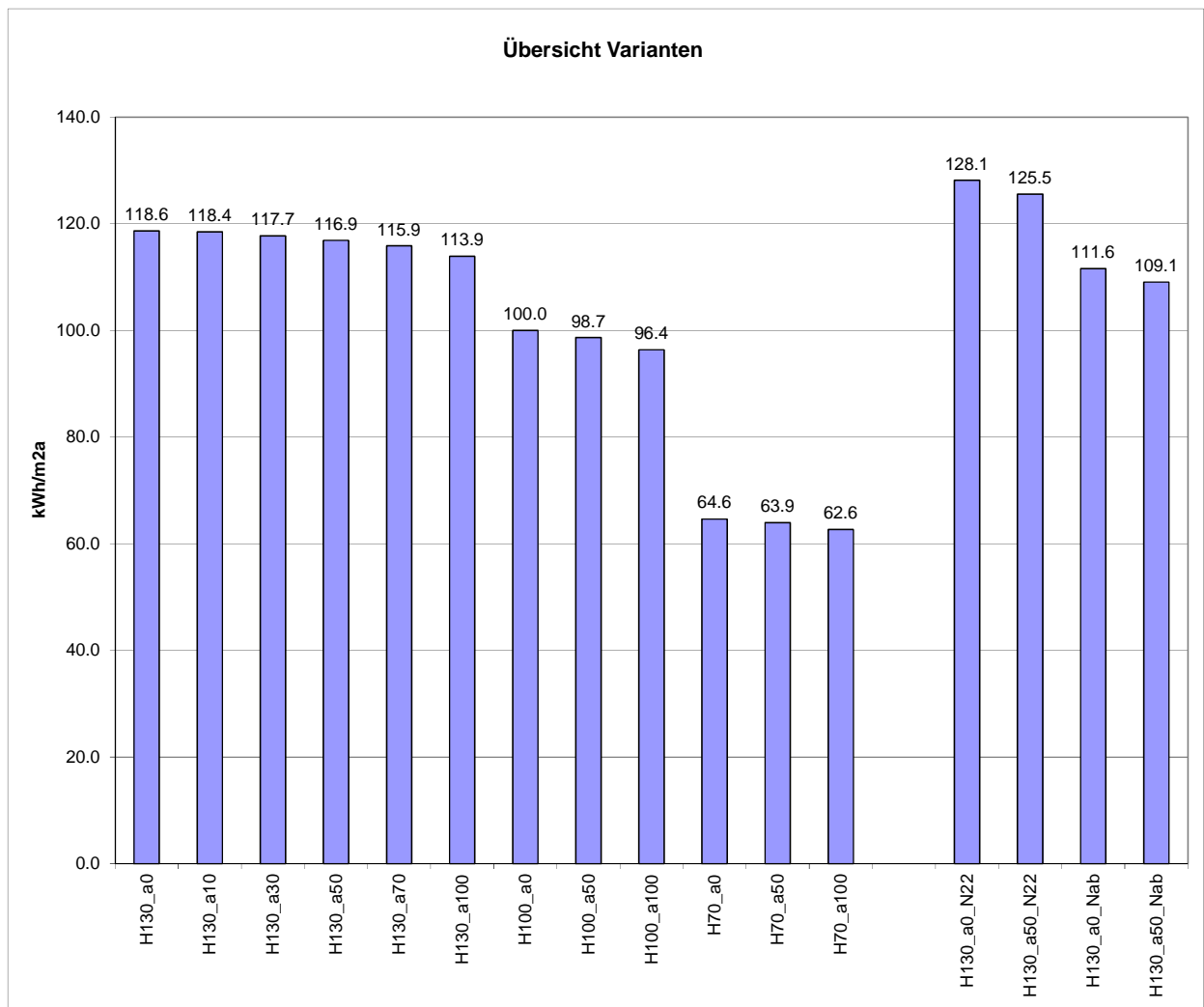
4 Detailresultate und Untersuchungen

4.1 Übersicht Resultate

Tabelle 4: Übersicht der Resultate

Gebäudehüllen- qualität kWh/m2a	Anteil Whg mit Teilnahme an Absenkprogramm		Code	Heizenergie kWh/a	Heizenergie kWh/m2a	Einsparung in %	Einsparung absolut kWh/a	Einsparung absolut kWh/m2a	Relativ zu:
130	0%		H130_a0_PI	237'277	118.6				
130	10%		H130_a10_PI	236'877	118.4	0.2%	400	0.2	H130_a0
130	30%		H130_a30_PI	235'473	117.7	0.8%	1'804	0.9	H130_a0
130	50%		H130_a50_PI	233'724	116.9	1.5%	3'553	1.8	H130_a0
130	70%		H130_a70_PI	231'701	115.9	2.3%	5'576	2.8	H130_a0
130	100%		H130_a100_PI	227'759	113.9	4.0%	9'518	4.8	H130_a0
100	0%		H100_a0_PI	199'966	100.0		0		
100	50%		H100_a50_PI	197'307	98.7	1.2%	2'659	1.3	H100_a0
100	100%		H100_a100_PI	192'754	96.4	3.6%	7'212	3.6	H100_a0
70	0%		H70_a0_PI	129'220	64.6		0		
70	50%		H70_a50_PI	127'822	63.9	0.7%	1'398	0.7	H70_a0
70	100%		H70_a100_PI	125'282	62.6	3.0%	3'938	2.0	H70_a0
							0		
130	0%	Raumtemp 22°	H130_a0_N22_PI	256'297	128.1	-8.0%	-19'020	-9.5	H130_a0
130	50%	Raumtemp 22°	H130_a50_N22_PI	251'070	125.5	-5.8%	-13'793	-6.9	H130_a0
130	0%	Nachtabsenkung, Raum 21°	H130_a0_Nab_PI	223'204	111.6	5.9%	14'073	7.0	H130_a0
130	50%	Nachtabsenkung, Raum 21°	H130_a50_Nab_PI	218'126	109.1	8.1%	19'151	9.6	H130_a0

Figur 2: Übersicht der Resultate



Auffällig ist der hohe Mehrverbrauch von 8% bei einer Raumtemperaturerhöhung von 21°C auf 22°C. Statisch gerechnet sollte sich ein Mehrverbrauch von ca. 5 - 6 % ergeben.

Wie die folgende Tabelle zeigt, beträgt der Mehrverbrauch in den Wintermonaten ca. 5%. In den Sommer- und Übergangsmonaten ist der simulierte Mehrverbrauch prozentual höher. In den Monaten ausserhalb der Heizperiode wird aber effektiv kein Mehrverbrauch resultieren.

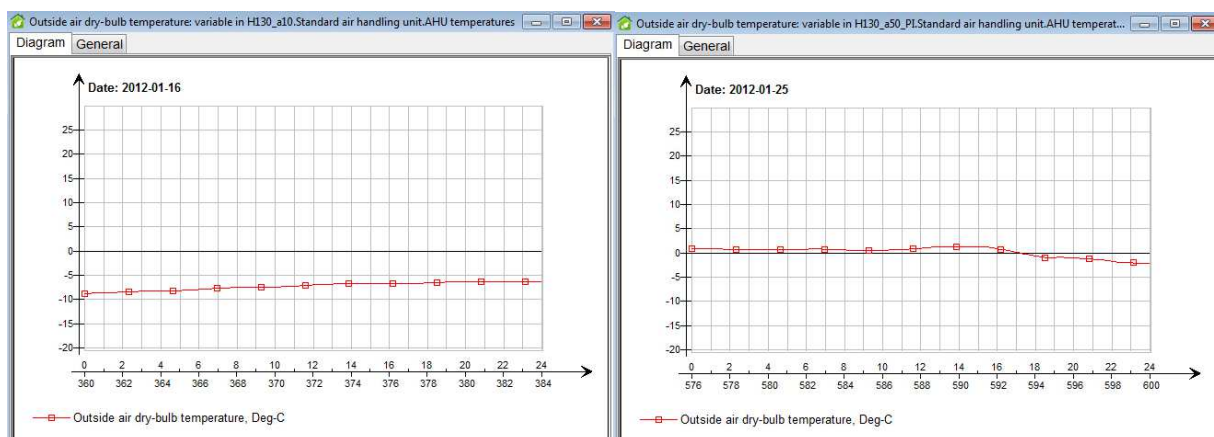
Tabelle 5: Heizenergiebedarf

	H130_a0_PI	H130_a0_N22_PI			Durchschnitt
	21 °C	22 °C	Mehrverbrauch		temp. Monat
	kWh/a	kWh/a	kWh/a		
Jan	40'565	42'533	1'968	4.9%	-4.3
Feb	38'872	40'655	1'783	4.6%	-4.8
Mrz	28'915	30'785	1'870	6.5%	0.9
Apr	18'472	20'164	1'692	9.2%	6.1
Mai	10'604	12'388	1'784	16.8%	10
Jun	4'915	6'175	1'260	25.6%	14.3
Jul	2'114	2'961	847	40.1%	16
Aug	787	1'579	792	100.6%	16.4
Sep	9'045	10'690	1'645	18.2%	10.9
Okt	19'371	21'109	1'738	9.0%	6.2
Nov	29'664	31'473	1'809	6.1%	0.9
Dez	33'953	35'785	1'832	5.4%	-0.5
Total	237'277	256297	19019.8	8.02%	
Nov -März (Heizperiode)	171'969	181'231	14'476	5.39%	

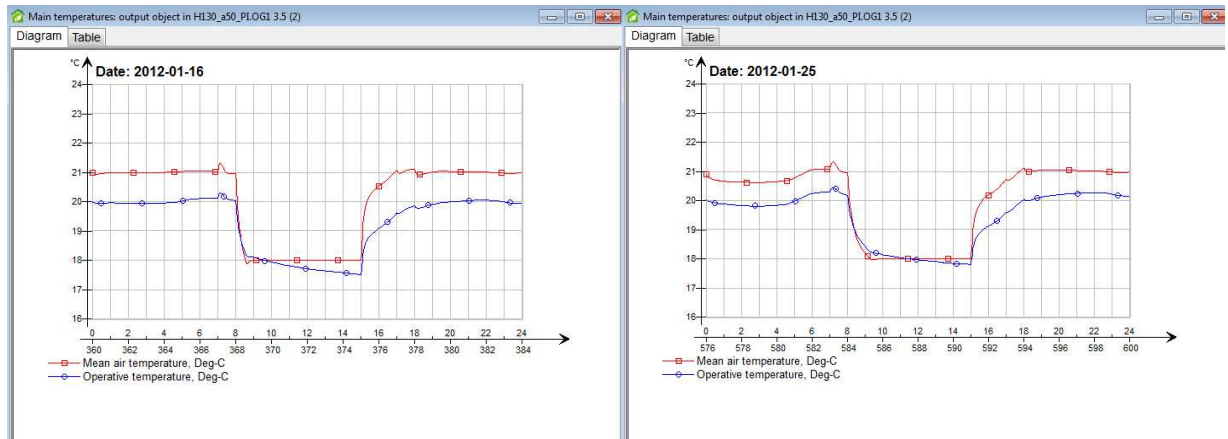
4.2 Temperaturen für Wohnung OG1 3.5 (2) für 16.1. und 25.1

Für zwei Wintertage, den 16.1. (Aussentemperatur ca. -6° bis -10°C) und den 25.1. (Aussentemperatur ca. 0°C) wurden die Lufttemperaturen und die sich ergebenden empfundenen Temperaturen (Mittelwert von Lufttemperatur und Oberflächentemperatur) für eine 3.5 Zimmer Wohnung im OG1 ausgewertet.

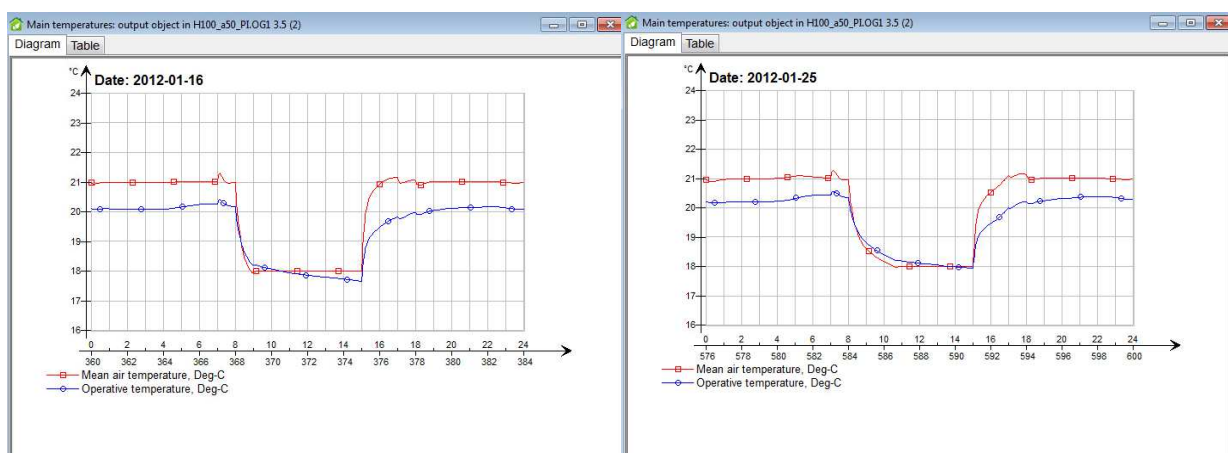
Figur 3: Aussenlufttemperatur am 16.1. (-9 bis -6 °C) und am 25.1. ca. 0°C



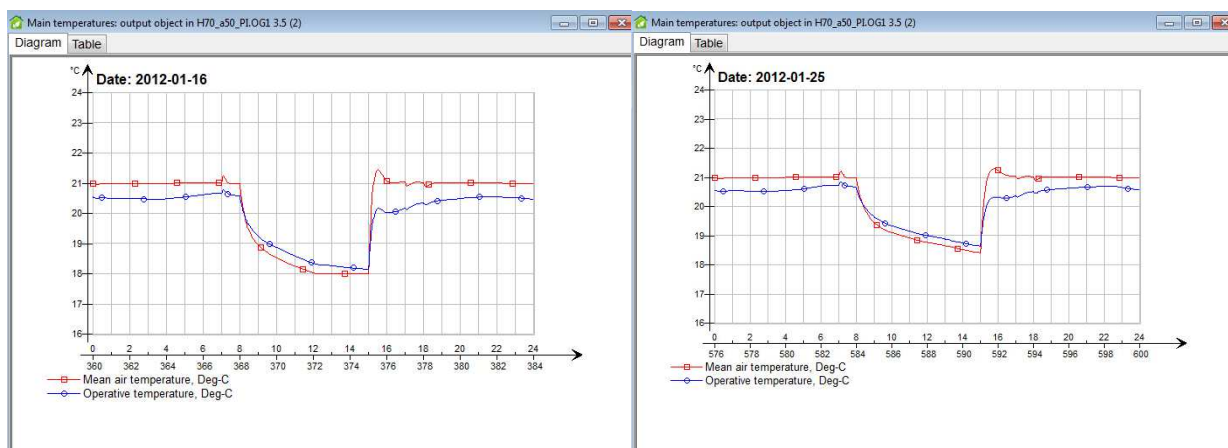
Figur 4: Luft- und empfundene Temperaturen bei Gebäude „vor 1975“ (130 kWh/m²a), 16./25.1.



Figur 5: Luft- und empfundene Temperaturen bei Gebäude „Mitte 80er-Jahre“ (100 kWh/m²a), 16./25.1.



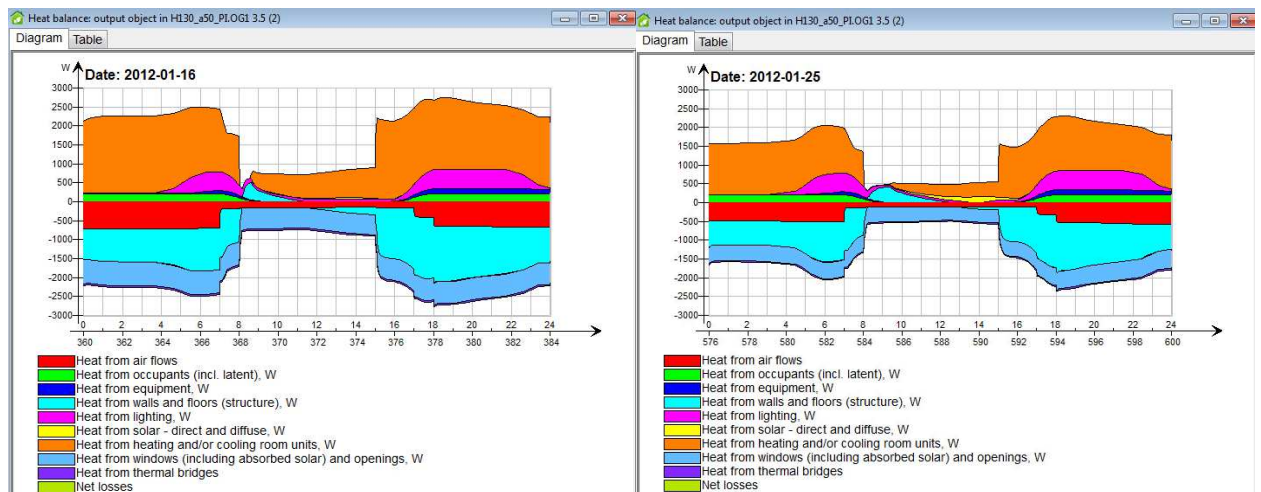
Figur 6: Luft- und empfundene Temperaturen bei Gebäude „Mitte 90er-Jahre“ (70 kWh/m²a), 16./25.1.



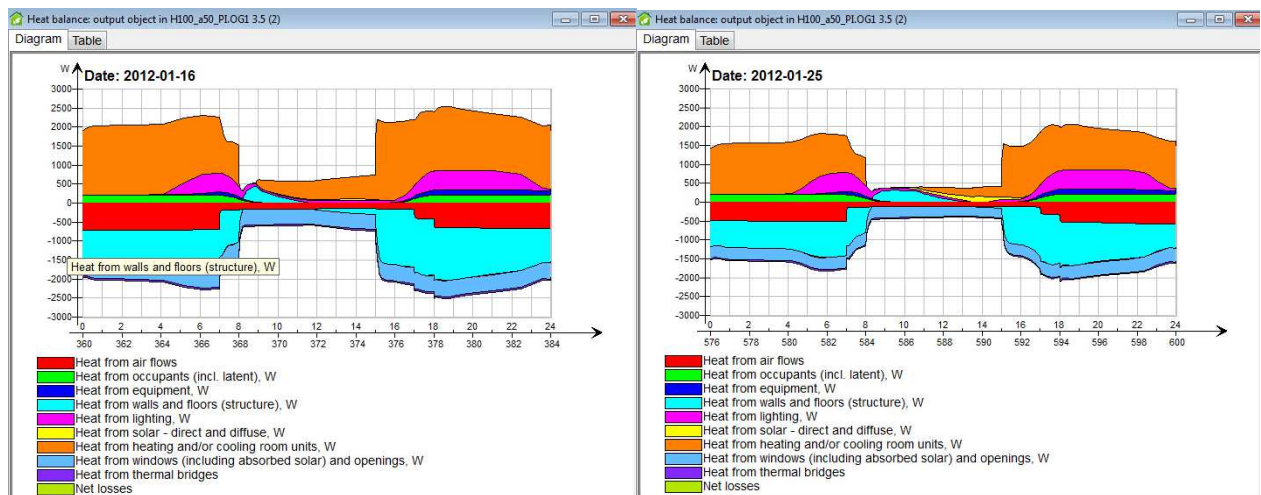
In den obigen Abbildungen ist ersichtlich, dass die Differenz zwischen Lufttemperatur und empfundener Temperatur kleiner wird, je besser die Gebäudehülle ist. Die tieferen Oberflächentemperaturen der nicht gedämmten Aussenwände und alten Fenster reduzieren die empfundene Temperatur.

4.3 Energiebilanz für Wohnung OG1 3.5 (2) für 16.1 und 25.1

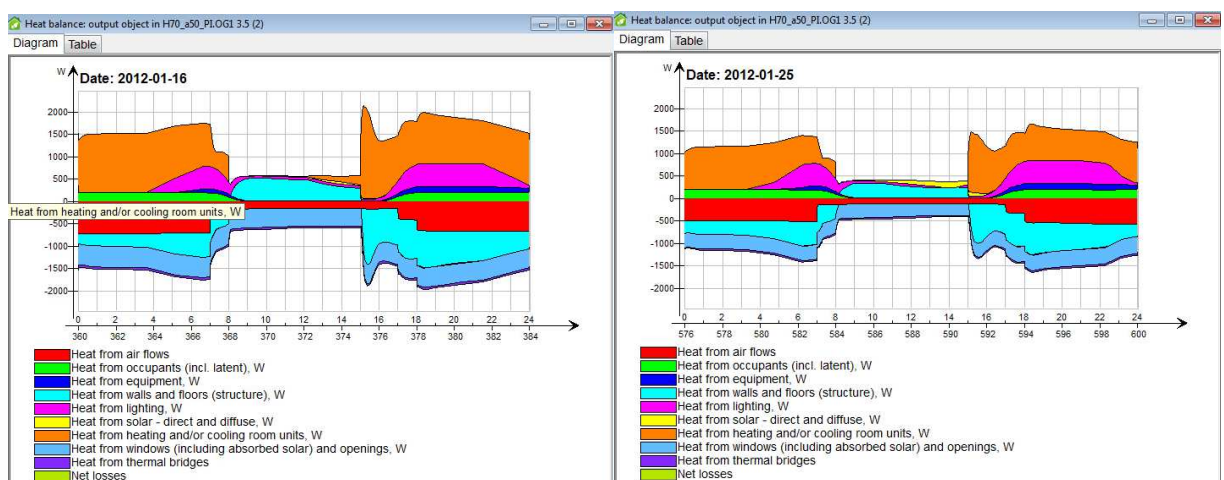
Figur 7: Energiebilanz bei Gebäude „vor 1975“ (130 kWh/m²a), 16./25.1.



Figur 8: Energiebilanz bei Gebäude „Mitte 80er-Jahre“ (100 kWh/m²a), 16./25.1.

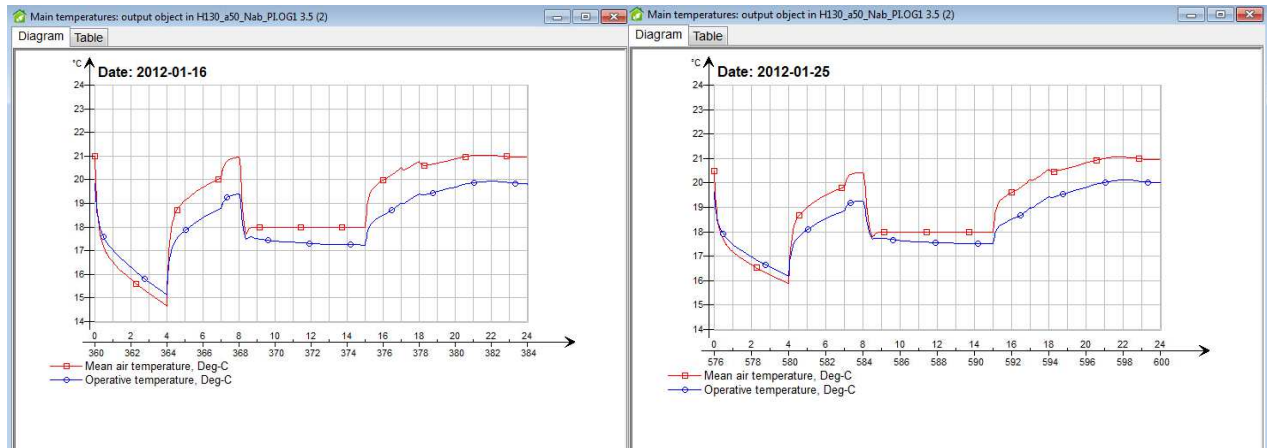


Figur 9: Energiebilanz für Gebäude „Mitte 90er-Jahre“ (70 kWh/m²a), 16./25.1.



4.4 Temperaturen bei Nachtabsenkung

Figur 10: Temperaturen für Gebäude vor 1975 (130 kWh/m²a) mit Nachtabsenkung (Heizung zwischen 0.00 und 04:00 Uhr abgestellt)



Da Thermostatventile berücksichtigt wurden, kann eine Nachtabsenkung nur effektiv umgesetzt werden, wenn die Zentralheizung abgestellt wird. Dies erfolgt in diesem Fall zwischen 0:00 und 4:00 Uhr. Wie die Abbildung zeigt, sinkt die Temperatur in dieser Wohnung bei einer Aussentemperatur von -8°C auf 15°C ab; bei einer Aussentemperatur von ca. 0°C auf 16°C. Dies auf Grund der schlechten Dämmung der Gebäudehülle und des gewählten Luftwechsels.

4.5 Vergleich Einfluss Zimmerteilung

Um den Modellierungsaufwand zu begrenzen, wurden die Wohnungen als ein Raum betrachtet. Für die Wohnung OG1 3.5 (2) wurde untersucht, wie gross der Unterschied zur Modellierung der der Wohnung mit 3 Zonen (Zimmern) ist.

Figur 11: Wohnung OG1 3.5 (2) in 3 Zimmer aufgeteilt:

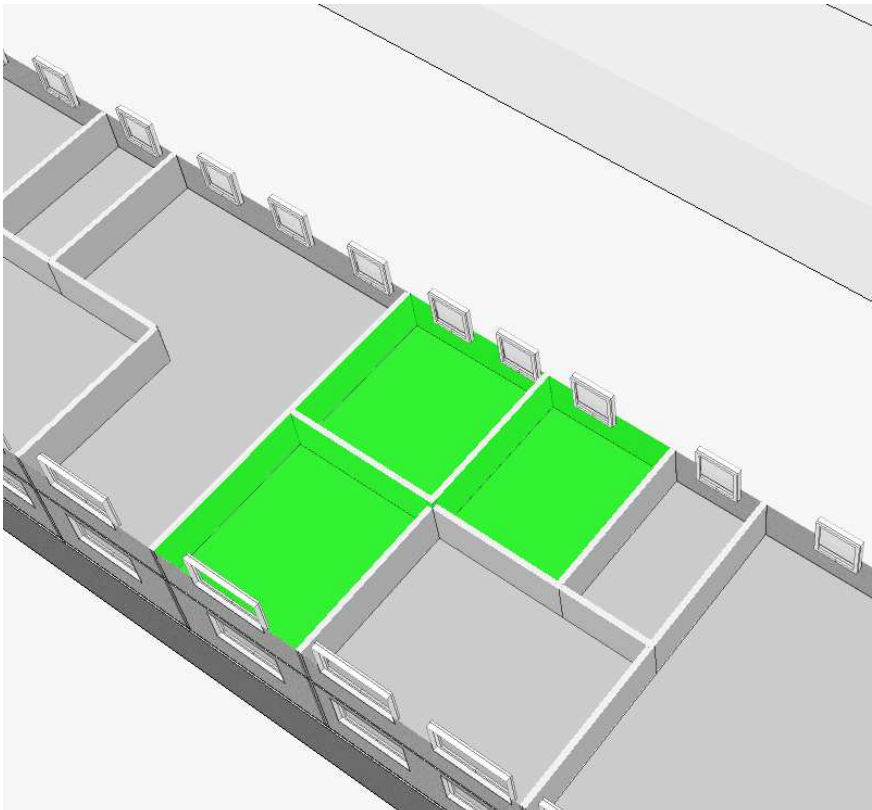


Tabelle 6: Heizenergiebedarf 1 Zone vs. 3 Zonen

	Zonierung	ohne Absenkung	mit Absenkung	Einsparungen
		kWh/a	kWh/a	kWh/a
Gesamtgebäude	1 Zone	237'277	236'877	400
Gesamtgebäude	3 Zonen	237'414	236'953	461

Wie die obige Tabelle zeigt, erhöhen sich im Fall der Zonierung der Wohnung in mehrere Zonen der Gesamtenergiebedarf und auch die Einsparung. Mit der gewählten Vereinfachung werden die Einsparungen unterbewertet.

4.6 Beeinflussung angrenzende Wohnungen „Wärmeklau“

Um den Einfluss einer Wohnung mit Absenkung auf die angrenzenden Wohnungen, d.h. den Wärmeklau zu untersuchen, wurde der Fall detaillierter untersucht bei dem drei Wohnungen d.h. 10% der Wohnungen am Absenkprogramm teilnehmen (Gebäudehülle vor 1975, Fall:H130_10a_PI).

Figur 12: Übersicht Wohnungen, gelb die Wohnungen welche absenken

	4.5	2.5 (1)	3.5 (3)	3.5 (2)	2.5 (2)	3.5 (1)
OG 4						
OG 3						
OG 2						
OG 1						
EG						

Wie die untenstehende Tabelle zeigt, werden in den Wohnungen, welche die Temperatur absenken, 10% der Heizenergie (insgesamt 1205 kWh/a) eingespart. Die Einsparung für das Gesamtgebäude beträgt aber nur 400 kWh/a. Die Differenz von 800 kWh ist der „Wärmeklau“ von den Nachbarwohnungen. Die tatsächlich eingesparten 400 kWh/a entsprechen 3.3% des Heizenergiebedarfs der drei Wohnungen. Würde im ganzen Gebäude abgesenkt, beträgt die Einsparung 4%. D.h. auch wenn nur ein Teil der Wohnungen die Temperatur absenkt, wird noch Energie eingespart, aber prozentual weniger als wenn alle Wohnungen absenken.

Figur 13: Heizenergiebedarf Einzelwohnungen

	Heizenergiebedarf		Einsparungen	
	ohne Absenkung	mit Absenkung	kWh/a	%
	kWh/a	kWh/a	kWh/a	%
OG1 3.5 (2)	5'700	5'138	562	9.9%
OG3 2.5 (1)	3'220	2'900	321	10.0%
OG3 2.5 (2)	3'236	2'915	322	9.9%
3 Whg welche absenken	12'157	10'952	1'205	9.9%
Gesamtgebäude	237'277	236'877	400	0.2%
				bezogen auf Gesamtgebäude
				bezogen auf die 3 Wohnungen

5 Anhang

5.1 Modellgebäude

Basierend auf den Vorgaben wurde folgendes Modellgebäude erstellt:

Gebäudehöhe (ohne Estrich): 14 m (5 Etage à 2.8 m)

Breite: 10 m

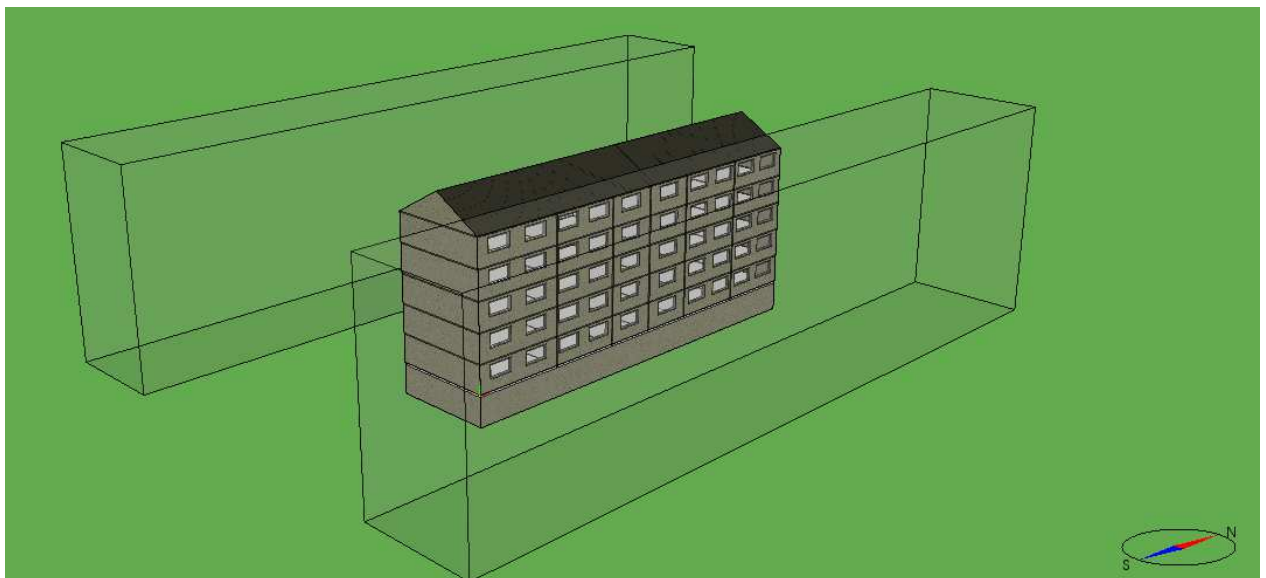
Länge: 40 m

Grundfläche: 400 m²

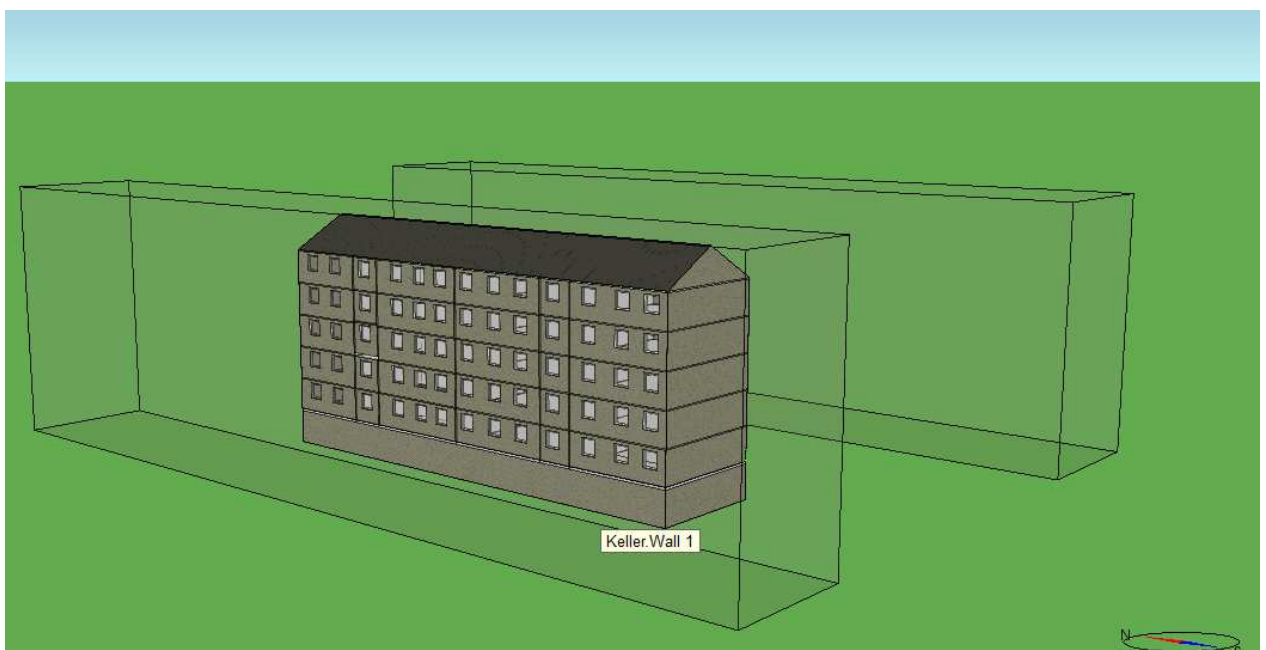
Fensteranteil Ost: 113 m² (20%)

Fensteranteil West: 94 m² (17%)

Figur 14: Simulationsmodell Ansicht Ost

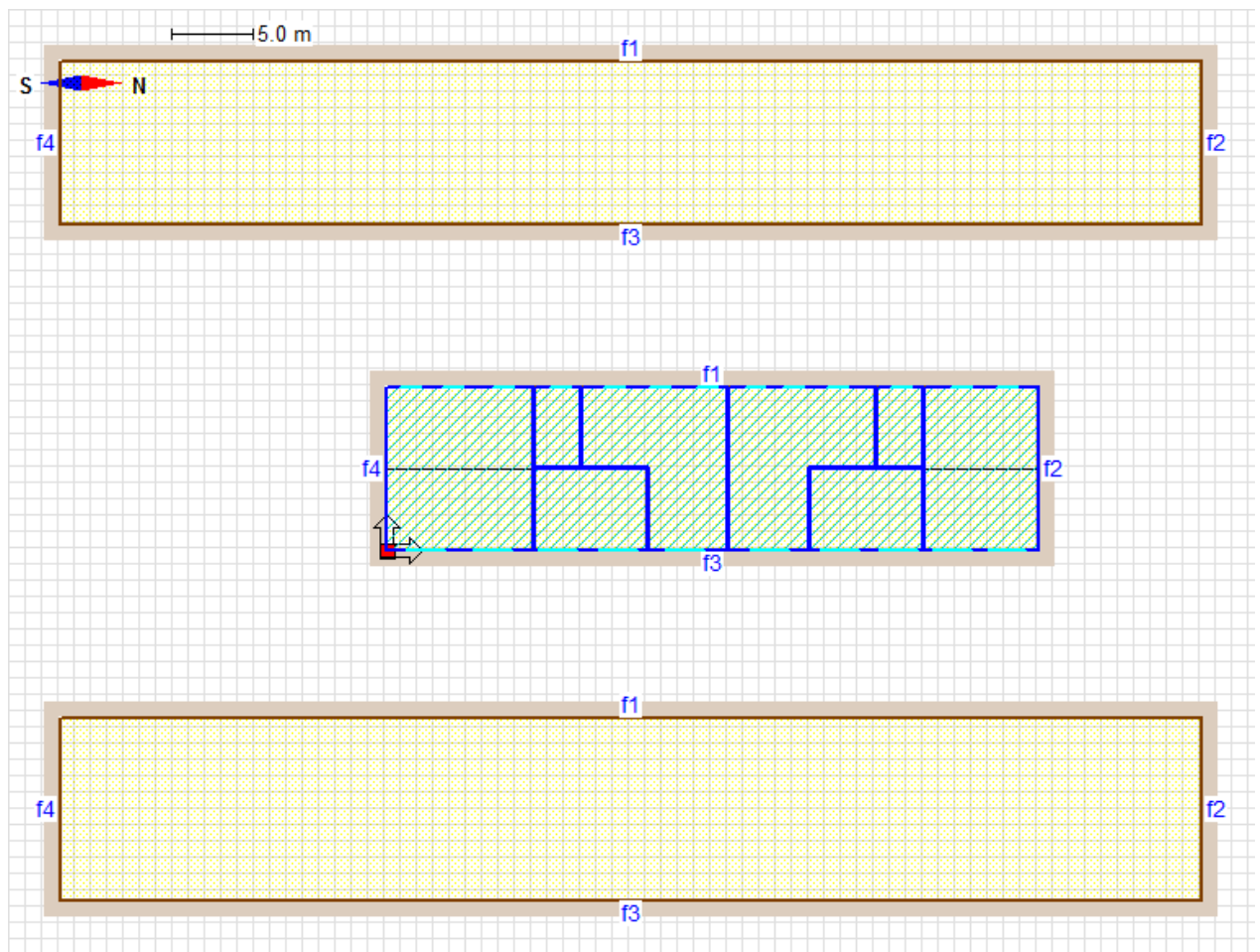


Figur 15: Simulationsmodell Ansicht West



Da im vorgegebenen SIA 380/1 Nachweis ein hoher Verschattungsfaktor von 0.5 angegeben wurde, sind für die Untersuchung zwei Nachbargebäude nahe am Modellgebäude platziert, um den Einfluss der Solarstrahlung zu reduzieren.

Figur 16: Grundriss mit angrenzenden Gebäuden mit Ausrichtung



Figur 17: EG Aufteilung Wohnungen (analog für alle 5 Geschosse)

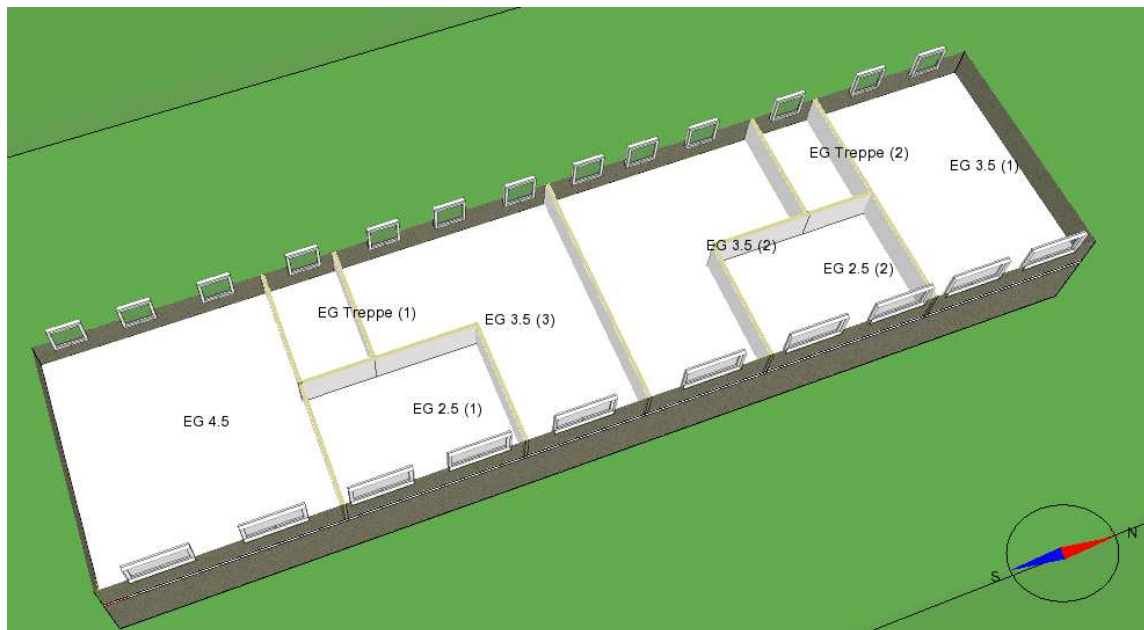


Tabelle 7: Wohnungsgrößen

Anzahl Zimmer	Wohnungsgröße [m ²]
2.5 Zimmer	35
3.5 Zimmer	70
4.5 Zimmer	90

Tabelle 8: Aufteilung der Wohnungen

Teilnahme	Anzahl teilnehmende Wohnungen			
	2.5 Zi Whg	3.5 Zi Whg	4.5 Zi Whg	Summe
10%	2	1	0	3
30%	5	4	0	9
50%	7	7	1	15
70%	9	10	2	21
100%	10	15	5	30

Obige Tabelle zeigt die Auswahl der Wohnungen für die verschiedenen Varianten, d.h. die Anzahl der Wohnungen und der Wohnungstyp, welche am Programm Absenkung teilnehmen. Es wurde angenommen, dass die 4.5 Zimmer Wohnungen (Familien) nicht bei den ersten Wohnungen sein werden, welche teilnehmen, sondern dass eher die kleinen Wohnungen zuerst teilnehmen. In den unteren zwei Tabellen ist farblich ersichtlich, welche Wohnungen bei welcher Variante teilnehmen. Die ersten 10%, d.h. die ersten 3 Wohnungen welche teilnehmen, sind gelb gekennzeichnet. Um 30% Teilnahme zu erreichen nehmen weitere 6 Wohnungen (rot) teil. Um 50% Teilnahme zu erreichen sind weitere 6 Wohnungen notwendig (blau) usw.

Tabelle 9: Sukzessiver Einstieg zur Teilnahme am Absenkprogramm mit Farbcode

			2.5 Zi Whg	3.5 Zi Whg	4.5 Zi Whg	Einstieg
10%			2	1	0	3
30%			3	3	0	6
50%			2	3	1	6
70%			2	3	1	6
100%			1	5	3	9
						30

Tabelle 10: Darstellung der teilnehmenden Wohnungen im Gebäude

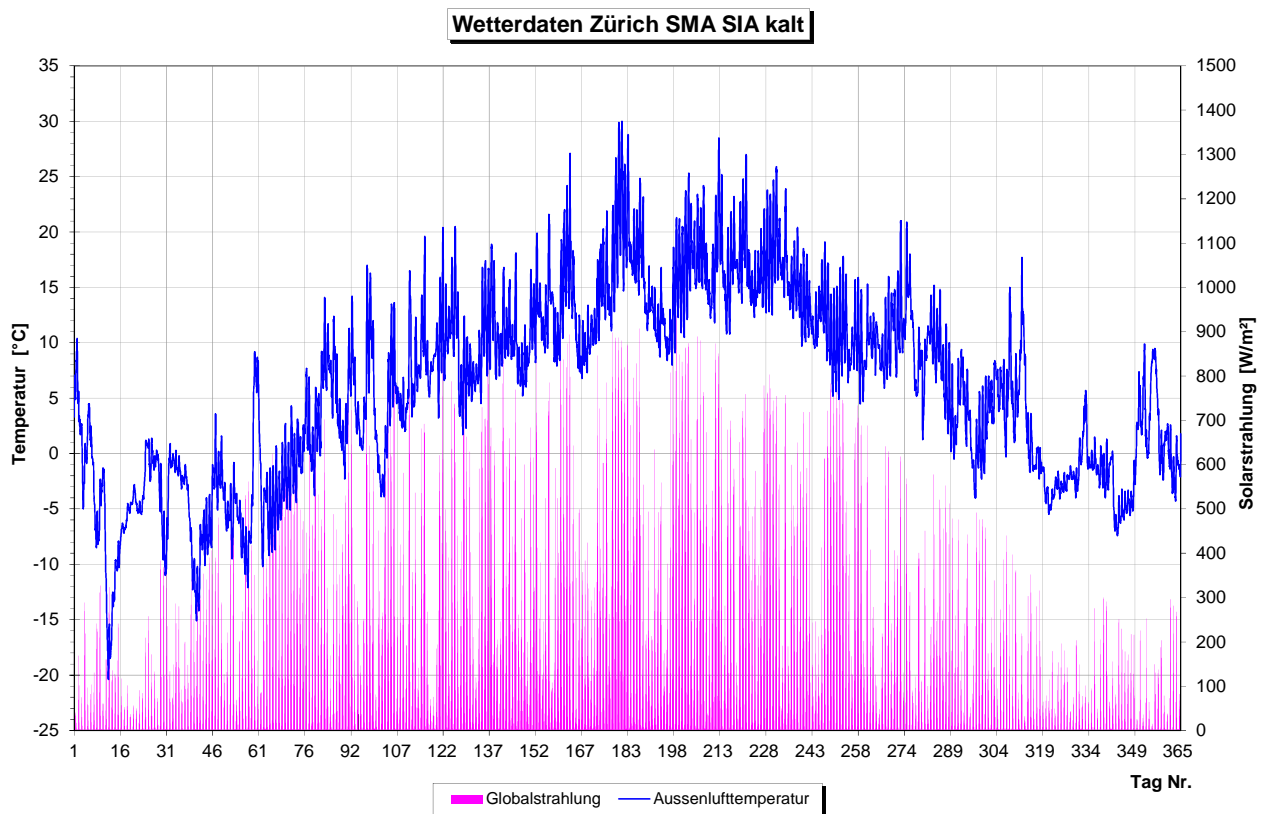
	4.5	2.5 (1)	3.5 (3)	3.5 (2)	2.5 (2)	3.5 (1)
OG 4						
OG 3						
OG 2						
OG 1						
EG						

Zur Bewertung der Situation werden die SIA 2028 Wetterdaten Zürich SMA ‚kalt‘ genutzt. Die bei der Simulation sich einstellenden Heizenergiekennwerte stimmen so besser mit dem SIA 380/1 Nachweis überein.

Tabelle 11: Charakteristische Daten des gewählten Wetterdatensatzes

Variable	Einheit	Min.	Tag des Min.	Mittelwert	Max.	Tag des Max.
Globalstrahlung	W/m ²	0	1	107.8	941	161
Diffusstrahlung	W/m ²	0	1	65.7	528	184
Lufttemperatur	°C	-20.4	12	6.1	30	181
Windgeschwindigkeit	m/s	0	10	2.3	13.2	352
relative Feuchte	%	25	105	80.0	100	118

Figur 18: Verlauf von Temperatur und Globalstrahlung des gewählten Wetterdatensatzes



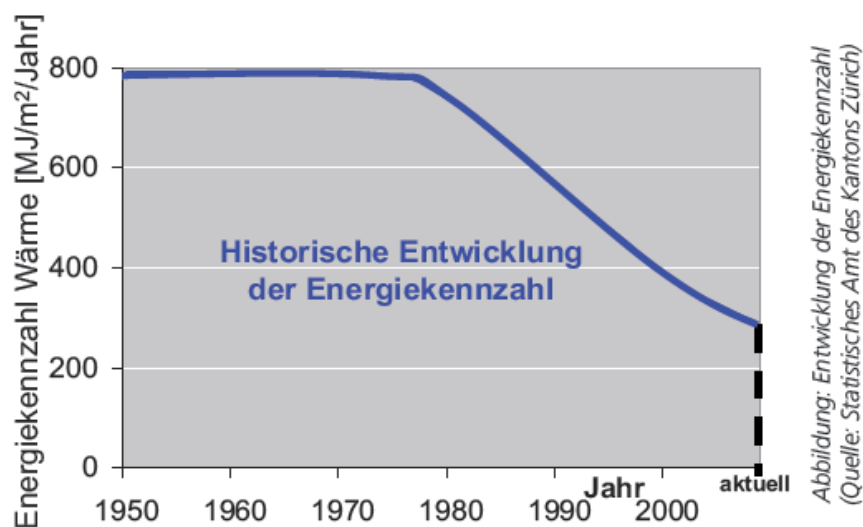
Das Simulationsmodell wurde an die Vorgaben und Resultate der statischen Wärmebedarfsberechnung nach SIA 380/1 angepasst. Wie die folgende Tabelle zeigt, ergeben sich Differenzen beim Heizenergiebedarf zwischen der Berechnung gemäss SIA 380/1 und der Simulation. Diese können auf Grund der unterschiedlichen Berechnungsmethodik nicht ganz vermieden werden.

Tabelle 12: Heizenergiebedarf und Gebäudehüllqualitäten gemäss Vorgabe

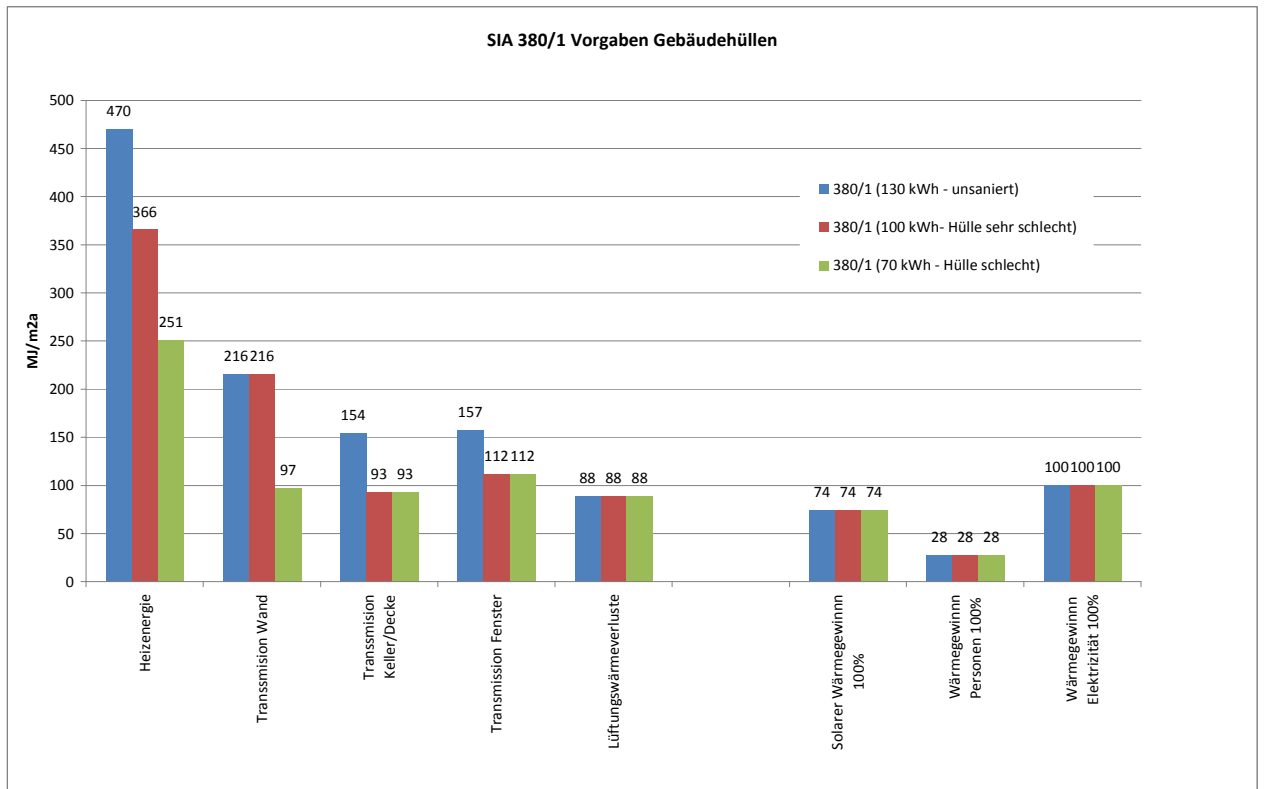
	Heizenergiebedarf			U-Werte			
	SIA 380/1		Simulation	Aussenwand gemittelt	Fenster	Kellerdecke	Estrich
Gebäudehülle	MJ/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
„vor 1975“	470	130	119	0.98	2.8	1.2	0.62
„Mitte 80er-Jahre“	360	100	100	0.98	2.0	0.51	0.62
„Mitte 90er-Jahre“	250	70	65	0.44	2.0	0.51	0.62

Die Gebäudehüllqualität und die Zuordnung zur Periode wurde vorgegeben. Folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Energiekennzahl inklusive Warmwasser über die Zeit. Es ist ersichtlich, dass sich der Energieverbrauch von Gebäude vor 1975 zu Gebäuden Mitte der 90er Jahre ungefähr halbiert hat.

Figur 19: Entwicklung Energiekennzahl inklusive Warmwasser



Figur 20: Übersicht Heizenergie SIA 380/1 Vorgaben Gebäudehülle



Die im Modell verwendeten und für die Temperaturen und Klima wesentlichen Schichtaufbauten sind im Folgenden dokumentiert. Die entsprechenden U-Werte und g-Werte (ca. EN-Werte) sind mit aufgelistet. In der Berechnung werden jedoch nur die physikalischen Eigenschaften berücksichtigt. Der Wärmeübergang wird für jeden Zeitschritt separat bestimmt.

g-Wert Glas: 0.75 (Der g-Wert wurde nicht verändert.)

U-Wert Fenster: 2.8 resp. 2.0 W/m²K

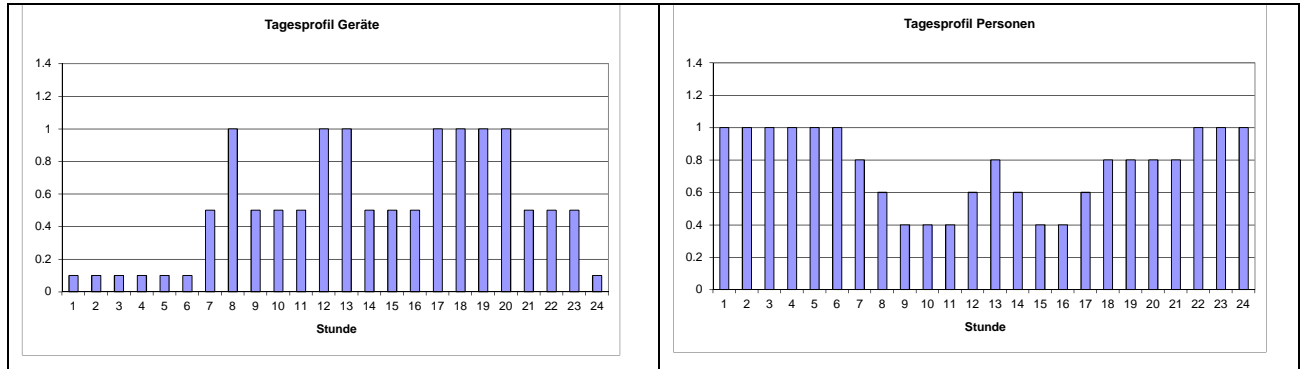
Tabelle 13: Bauteilaufbauten

AW: Backstein ungedämmt U = 0.91 W/m²K				
Material	Dicke [cm]	λ [W/(m*K)]	Dichte [kg/m³]	C [J/(kg*K)]
Innenputz	1.0	0.700	1400	1000
Modulbackstein	39.0	0.450	1200	940
Aussenputz	2.0	0.870	1800	1000
AW: Backstein gedämmt U = 0.31 W/m²K				
Material	Dicke [cm]	λ [W/(m*K)]	Dichte [kg/m³]	C [J/(kg*K)]
Innenputz für normale Berechnung	1.0	0.700	1400	1000
Modulbackstein	39.0	0.450	1200	940
Polystyrol expandiert (EPS)	8.0	0.038	22	1450
Aussenputz	2.0	0.870	1800	1000
Kellerdecke ungedämmt U = 1.2 W/m²K				
Material	Dicke [cm]	λ [W/(m*K)]	Dichte [kg/m³]	C [J/(kg*K)]
Nutzholz 750 kg/m³	1.0	0.210	750	1600
Unterlagsboden	4.0	1.500	2200	1000
Beton armiert mit 1% Stahl	15.0	2.300	2300	1000
Heradesign micro	4.0	0.095	555	1470
Kellerdecke gedämmt U = 0.51 W/m²K				
Material	Dicke [cm]	λ [W/(m*K)]	Dichte [kg/m³]	C [J/(kg*K)]
Nutzholz 750 kg/m³	1.0	0.210	750	1600
Unterlagsboden	4.0	1.500	2200	1000
Beton armiert mit 1% Stahl	15.0	2.300	2300	1000
Polystyrol expandiert (EPS)	6.0	0.038	22	1450
Estrichdecke U = 0.62 W/m²K				
Material	Dicke [cm]	λ [W/(m*K)]	Dichte [kg/m³]	C [J/(kg*K)]
Spanplatte 600 kg/m³	2.5	0.140	600	1700
Nutzholz 500 kg/m³	2.4	0.130	500	1600
Schlacke	3.0	0.060	60	1030
Nutzholz 500 kg/m³	2.4	0.130	500	1600
Innenputz	1.0	0.700	1400	1000
Zwischendecke Leichtbauweise U = 0.78 W/m²K				
Material	Dicke [cm]	λ [W/(m*K)]	Dichte [kg/m³]	C [J/(kg*K)]
Nutzholz 500 kg/m³	2.4	0.130	500	1600
Zellulosedämmplatte (Isocell)	3.0	0.040	55	1600
Nutzholz 500 kg/m³	1.5	0.130	500	1600
Gipskartonplatten	1.5	0.250	900	1000
Innenwand Backstein U = 1.85 W/m²K				
Material	Dicke [cm]	λ [W/(m*K)]	Dichte [kg/m³]	C [J/(kg*K)]
Innenputz	1.0	0.700	1400	1000
Modulbackstein	15.0	0.440	1200	940
Innenputz	1.0	0.700	1400	1000

Tabelle 14: Innere Lasten bei 100%

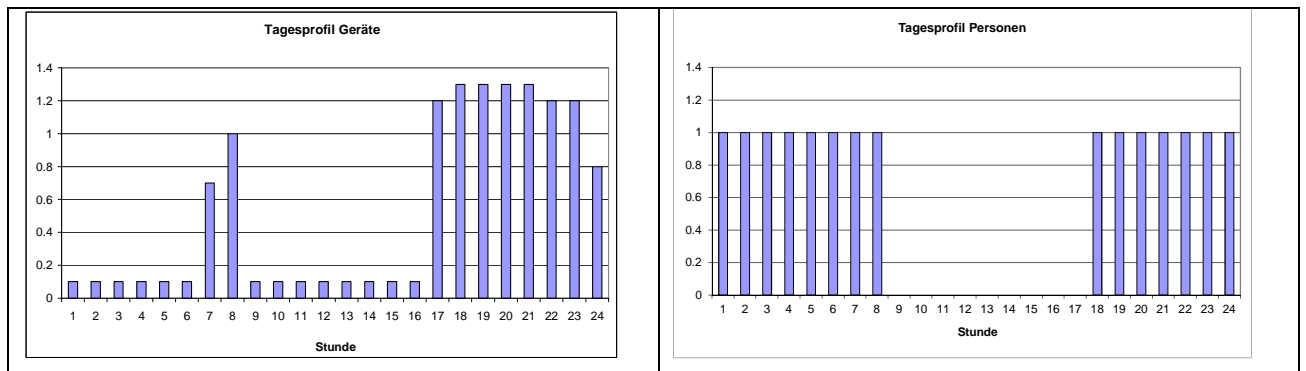
Wohnungsgrösse	Wohnungsgrösse [m ²]	Anzahl Personen (Vorgabe)	Personen Belegung angepasst [W/m ²]	Geräte SIA Standard [W/m ²]	Beleuchtung SIA Standard [W/m ²]
2.5 Zi	35	1	2.0	2	9.4
3.5 Zi	70	2	2.0	2	9.4
4.5 Zi	90	3	2.3	2	9.4

Figur 21: Tagesgang Geräte und Personen für Wohn- und Schlafzimmer gemäss SIA Merkblatt 2024



Da für die Simulation die Abwesenheit der Personen tagsüber angenommen wird, mussten die Tagesprofile angepasst werden. Für das Tagesprofil „Geräte“ wurde die Nutzung in die Abendstunden verlegt. Die Tagessumme bleibt die gleiche. Bei den Personen wurde angenommen, dass diese tagsüber nicht anwesend sind. Die Tagessumme wurde reduziert.

Figur 22: Tagesgang Geräte und Personen angepasst für Simulation (Personen tagsüber abwesend)



Die Beleuchtung wurde eingeschaltet von: 05:00 - 08:00 und 17:00 - 23:00.

Es wurde die durchschnittliche Jahresgleichzeitigkeit der internen Lasten von 0.78 gemäss SIA 2024 berücksichtigt.

Der Raumtemperatursollwert wird werktags von 08:00 bis 15:00 auf 18 °C abgesenkt, und danach auf 21 °C gesetzt, um bis zur Anwesenheit der Personen wieder 21 °C zu erreichen.

Tabelle 15: Auslegung der spezifischen Heizleistungen pro Wohnung

	Auslegung Heizung gemäss Simulation 30% überdimensioniert [W/m²]
EG 2.5 (1)	64
EG 2.5 (2)	64
EG 3.5 (1)	73
EG 3.5 (2)	60
EG 3.5 (3)	59
EG 4.5	68
OG1 2.5 (1)	40
OG1 2.5 (2)	40
OG1 3.5 (1)	51
OG1 3.5 (2)	35
OG1 3.5 (3)	35
OG1 4.5	45
OG2 2.5 (1)	39
OG2 2.5 (2)	39
OG2 3.5 (1)	50
OG2 3.5 (2)	34
OG2 3.5 (3)	34
OG2 4.5	44
OG3 2.5 (1)	40
OG3 2.5 (2)	40
OG3 3.5 (1)	50
OG3 3.5 (2)	34
OG3 3.5 (3)	34
OG3 4.5	44
OG4 2.5 (1)	69
OG4 2.5 (2)	69
OG4 3.5 (1)	79
OG4 3.5 (2)	63
OG4 3.5 (3)	63
OG4 4.5	73

Im Modell wurde die Heizleistung pro Wohnung auf die Werte gemäss Tabelle limitiert. Die hier getroffene Annahme der installierten Heizleistung beeinflusst das Aufheizverhalten der Räume.

Es handelt sich um ein altes Gebäude, welches über Fenster gelüftet wird. Für die Simulation wurde der gemäss SIA 380/1 notwendige Luftvolumenstrom von $0.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ zu Grunde gelegt. Dies ergibt bei 2.7 m Raumhöhe einen Luftwechsel (LW) von ca. 0.26 h^{-1} . Für die Infiltration wird ein 0.1-facher Luftwechsel konstant während 24 h angenommen. Der restliche Luftwechsel wird über die Belegungszeit gleichmässig verteilt. Dies ergibt für die Belegungszeit von 17:00 - 08:00 noch eine Luftmenge von $0.69 \text{ m}^3/\text{hm}^2$.

Tabelle 16: Infiltration und natürliche Lüftung

Tagesstunde	Infiltration		Lüftung während Anwesenheit		Gesamt	
	LW pro h	m^3/hm^2	LW pro h	m^3/hm^2	LW pro h	m^3/hm^2
1	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
2	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
3	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
4	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
5	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
6	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
7	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
8	0.1	0.27	0.00	0	0.10	0.27
9	0.1	0.27	0.00	0	0.10	0.27
10	0.1	0.27	0.00	0	0.10	0.27
11	0.1	0.27	0.00	0	0.10	0.27
12	0.1	0.27	0.00	0	0.10	0.27
13	0.1	0.27	0.00	0	0.10	0.27
14	0.1	0.27	0.00	0	0.10	0.27
15	0.1	0.27	0.00	0	0.10	0.27
16	0.1	0.27	0.00	0	0.10	0.27
17	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
18	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
19	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
20	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
21	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
22	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
23	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
24	0.1	0.27	0.25	0.69	0.35	0.96
Durchschnitt		0.27		0.43		0.7

Für die Berechnungen wurde das Gebäudesimulationsprogramm IDA-ICE verwendet.

5.2 Literaturverzeichnis

- [1] SIA 380/1: Thermische Energie im Hochbau. SIA, Zürich, 2009.
- [2] SIA 2024: Merkblatt Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik. SIA, Zürich, 2006.
- [3] SIA 2028: Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik. SIA, Zürich, 2008.