Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Vienna University of Technology

DIPLOMARBEIT
Master Thesis

AUSWIRKUNG DES NUTZERVERHALTENS AUF DIE ENERGIEEINSPARUNG DURCH THERMISCHE SANIERUNG BEI WOHNGEBÄUDEN

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs (Dipl-Ing.)

unter der Leitung von
Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar
und
Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Azra Korjenic

E 206
Institut für Hochbau und Technologie
Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz

Eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen
von

Erik Horváth
Matrikelnummer: 0201516
Breitenfurter Straße 23/5
1120 Wien

Wien, am 11. Oktober 2015

Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich bei meinem Betreuer Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar und meiner Betreuerin Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Azra Korjenic für die umsichtige Begleitung beim Verfassen der vorliegenden Diplomarbeit.

Weiters bei allen Mitarbeitern des Forschungsbereiches für Bauphysik und Schallschutz sowie bei Technischen Universität Wien für die Übernahme der Kosten, welche im Rahmen der Übermittlung der Fragebögen aufkamen.

Mein Dank gilt auch der Gemeinnützigen Bau- und Wohnungsgenossenschaft "Wien-Süd" eGenmbH, der Sozialbau AG und dem Wiener Wohnfonds, Fonds für Wohnbau und Stadterneuerung, für die Zurverfügungstellung der Daten.

Dankeschön auch den Befragten, welche den doch umfangreichen Fragebogen ausgefüllt haben.

Mein großer Dank gilt meinen Eltern und meiner Freundin Belinda, sie haben mich beim Studium und Studienabschluss unermüdlich unterstützt.

Kurzfassung

Auswirkung des Nutzerverhaltens auf die Energieeinsparung durch thermische Sanierung bei Wohngebäuden

Die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes wird unter anderem durch den Heizwärmebedarf bestimmt. Diese Energiekennzahl wird im Energieausweis berechnet.

In der Praxis zeigt sich bei thermisch sanierten Gebäuden oft eine Abweichung zwischen der errechneten und der tatsächlichen Energieeinsparung. In der vorliegenden Arbeit wurde diese Diskrepanz durch die Gegenüberstellung der Heizwärme dargestellt. Die errechneten Energieeinsparungen mit 61 % fielen höher aus, als die tatsächlichen mit 37 %.

Ziel dieser Arbeit war es, die Abweichungen darzustellen und als mögliche Ursache dafür das Nutzerverhalten zu untersuchen. Hierbei wurden Gebäude vor, sowie nach der thermischen Sanierung betrachtet. Weiters wurden sowohl Gebäude mit Gastherme, als auch mit Fernwärme herangezogen.

Die benutzerspezifischen Einflussgrößen, wie Lüftungsverhalten, Raumtemperatur und Warmwasserverbrauch, wurden mittels Fragebogen erhoben. Die Gegenüberstellung dieser Parameter hat gezeigt, dass geringfügige Unterschiede je nach Qualität der thermischen Gebäudehülle und Art der Energieversorgung existieren. Zwar lässt sich durch diese erhobenen Einflussgrößen der berechnete an den gemessenen Heizenergieverbrauch gut annähern, die Auswirkung des Nutzerverhaltens auf die relative Energieeinsparung ist dennoch gering. Relevant ist jedoch, ob für die Beurteilung der thermischen Verbesserung des Gebäudes, die Energieeinsparung bezogen auf Heizwärmebedarf (61 %) oder auf Heizenergiebedarf (48 %) herangezogen wird.

Abstract

Effect of user behavior on energy saving through thermal insulation in residential buildings.

The energy performance of a building is, among other things, determined by the heating demand. These energy figure is calculated in the energy performance certificate.

In practice, it often shows in thermally renovated buildings, a deviation between the calculated and the actual energy savings. In the comparison of heating this was confirmed. The calculated energy savings of 60% were higher than the actual 37%.

The aim of this study was to present these discrepancies and to investigate user behaviour as a possible cause for them. For the study buildings before thermal rehabilitation and after were selected. Further Buildings with gas boiler and district heating were used for the study.

The user-specific factors were collected by questionnaire. The juxtaposition of these parameters has shown that minor behavioural differences exist depending on the quality of the thermal envelope and type of heating system. While through those collected factors the measured heating energy is approached well, the impact of user behaviour on the relative energy saving is still low. Relevant is whether the energy savings relating to heating (61%) or the energy savings relating to heating energy (48%) is used to assess the energy savings.

.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1
1.1 Motivation und Ziel der Arbeit ... 1
2 Stand der Technik ... 2
3 Methoden ... 3
3.1 Empirische Datenerfassung - Fragebogen ... 3
3.1.1 Merkmale der Befragung ... 3
4 Begriffsdefinitionen ... 4
5 Berechnungsgrundlage ... 8
5.1 Gesamtenergieeffizienzberechnung ... 8
5.2 Lüftung - Luftwechselzahl ... 8
5.2.1 Luftvolumenstrom Fenster – Öffnen/Kippen ... 8
5.2.2 Luftvolumenstrom Fenster – Fugen ... 9
5.3 Wärmeeintrag durch Personen und Geräte ... 10
5.3.1 Spezifische Wärmemenge infolge Personenwärmeleistung ... 11
5.3.2 Spezifische Wärmemenge infolge Gerätewärmeleistung ... 11
5.1 Warmwasserwärmeverbrauch ... 12
6 Quantitative Datenerfassung und Datenvergleich ... 13
6.1 Ausgewählte Objekte ... 13
6.2 Vergleich der Energiekennzahlen der Objekte vor und nach der Sanierung ... 14
6.2.1 Vergleich des Heizwärmebedarfes ... 16
6.2.2 Vergleich des Heizwärmeverbrauches ... 17
6.2.3 Vergleich des Heizwärmebedarfes mit dem Heizwärmeverbrauch ... 18
7 Empirische Datenerfassung durch Befragung ... 20
7.1 Der Fragebogen ... 20
7.1.1 Durchführung der Befragung ... 21
7.2 Ausgewählte Objekte ... 22
7.3 Statistische Daten der Datenerhebung ... 22
7.4 Auswertung des Fragebogens ... 22
7.4.1 Allgemeine Wohnungs- und Bewohnerdaten ... 22
7.4.2 Anwesenheit in der Wohnung ... 24
7.4.3 Raumtemperatur ... 26
7.4.4 Lüftungsverhalten ... 30
7.4.5 Innere Wärmegewinne ... 33
7.4.6 Warmwasserverbrauch ... 34
8 Nutzerprofil aus Fragebogen ... 37
9 Heizenergieverbrauchsberechnung mit Nutzerprofil aus Fragebogen ... 38
9.1 Vereinfachende Annahmen ... 39
9.2 Heizenergieverbrauch ... 41
9.2.1 Heizenergieverbrauch – Gebäude mit Gastherme ... 41
9.2.2 Heizenergieverbrauch – Gebäude mit Fernwärme ... 43
10 Schlussfolgerung ... 45
11 Zusammenfassung ... 47

12 Literaturverzeichnis 48
Anhang A - Energieverbrauchsdaten Objekt 1-21 51
Anhang B - Fragebogen sanierte Gebäude 52
B.1 Wohnzufriedenheit 52
B.2 Energieeinsparung 52
B.3 Raumklima und Raumtemperatur 53
B.4 Fensterlüftung 55
B.5 Zur Wohnung 57
B.6 Zur Person 58
B.7 Warmwasserbedarf 59
B.8 Wohnkomfort 60
Anhang C - Technische Daten - Objekt 1 61
Anhang D - Technische Daten - Objekt 17 62

1 Einleitung

1.1 Motivation und Ziel der Arbeit

Heutezutage ist der Energieverbrauch im Immobiliensektor ein essentieller wirtschaftlicher Faktor, sowohl bei Neubauten, als auch bei Bestandsgebäuden. Im Jahr 2013 wurden in der Stadt Wien 200 Millionen Euro investiert, um Gebäude auf den Stand der Technik zu bringen. [PUT13]

In der Praxis zeigt sich oft bei thermisch sanierten Gebäuden eine Abweichung zwischen der errechneten und der tatsächlichen Energieeinsparung bezogen auf den Heizwärmebedarf. Mögliche Ursachen für diese Abweichungen können die Messungenauigkeit bei der Verbrauchsermittlung, Ungenauigkeiten im Rechenverfahren, die Unsicherheiten der Eingangsgrößen für die Rechenverfahren, wie die Gebäudegeometrie (fehlende Plangrundlage), Bautechnik (unbekannte Bauteilkenngrößen) und die Haustechnik sowie das Nutzungsprofil, sein.

Beim Nutzungsprofil stellen sich folgenden Fragen. Gibt es Unterschiede bei den benutzerspezifischen Kenngrößen (Temperatur, Lüftungsverhalten, Warmwasserverbrauch) in Abhängigkeit der thermischen Gebäudehülle und der Heiztechnik? Welche Auswirkungen haben diese eventuellen Unterschiede der Kenngrößen auf den Energieverbrauch und in weiterer Folge auf die Energieeinsparung?

Bevor diese Fragen beantwortet werden, stellt sich noch die Frage, wie groß die Abweichungen zwischen gemessener und gerechneter Energieeinsparung sind und ob der Heizwärmebedarf für eine Beurteilung der Energieeinsparung geeignet ist.

2 Stand der Technik

Die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes wird heutzutage unter anderem durch den Heizwärmebedarf bestimmt und wird für die energetische Qualitätsbewertung des Gebäudes herangezogen. Die rechnerische Ermittlung des Heizwärmebedarfs erfolgt nach dem sogenannten Monatsbilanzverfahren, welches empirisch entwickelt wurde. [SOF09]. Die Berechnungsmethode ist in Österreich in der ÖNORM B 8110-6 [ÖNO07] geregelt und wurde aus der EN ISO 13790 [ENI08] übernommen. Die für diese Berechnung notwendigen Nutzungsprofile sind in der ÖNORM B 8110-5 beschrieben. Dieses Profil definiert wichtige Parameter, wie unter anderem die Temperatur, die Luftwechselzahl, die inneren Wärmegewinne und den Warmwasserbedarf. Sie basieren auf standardisiertem Nutzerverhalten und sind tendenziell statisch.

Diese Kenngrößen wurden bereits in anderen Studien untersucht.

Eine dieser Studien wurde an der Technischen Universität Dresden durchgeführt. Hierbei wurde anhand von Messungen und Simulationen festgestellt, dass die Raumlufttemperaturen und der Außenluftwechsel von der thermischen Gebäudequalität abhängen. Als Resultat sind höhere Raumtemperaturen und höhere Außenluftwechsel bei Gebäuden mit hoher energetischer Qualität zu nennen. Weiters, dass im Allgemeinen der Energieverbrauch für Trinkwassererwärmung höher ist als in der Norm. [CLE13] In einer anderen Studie wurde der Luftwechsel durch Fensterlüftung [MAA95] untersucht und die Ergebnisse dieser wurden zum Teil in die neue Fassung der DIN V 18599-2 (2011) implementiert. Hierbei wurde eine außenluftbedingte Luftwechselrate eingeführt. Dieser reduziert den Energiebedarf bei Neubauten bis zu 5 %. [MAA13]

Messungen deutscher Wissenschaftler [OST15] haben gezeigt, dass der Warmwasserverbrauch geringer ist als in der DIN V 18599-10.

In der Diplomarbeit von Dörn [DÖR11] wurde gezeigt, dass bei thermisch sanierten Einfamilienhäusern der Einfluss des Nutzers immer mehr an Bedeutung gewinnt.

3 Methoden

3.1 Empirische Datenerfassung - Fragebogen

Im zweiten Teil der Arbeit im Kapitel 7 wurde zur Datenerfassung von individuellen, benutzerabhängigen Parametern die empirische Methode des Fragebogens verwendet. Bei dieser Methode können sehr große Mengen von Menschen befragt und deren Aussagen statistisch ausgewertet werden.

3.1.1 Merkmale der Befragung

Für die Erstellung eines Fragebogens ist es wichtig zu wissen, was man herausfinden möchte und dafür die richtigen Fragen zu stellen. Fragen sollten kurz, neutral, für jedermann verständlich, eindeutig und klar formuliert sein. Die Reihung der Fragen ist auch von großer Bedeutung. Die Anfangsfragen sollten den Befragten motivieren weiterzumachen und Fragen zur Person sollten erst später gestellt werden. Eine Gliederung in Themenbereiche kann sich als nützlich erweisen. Die Länge des Fragebogens ist zu beachten. Bei zu langen Fragebögen besteht die Gefahr, dass die Personen diese nicht ausfüllen wollen.
Nach Fertigstellung des Fragebogens sollte ein Probelauf mit Kollegen durchgeführt werden, damit der Fragebogen im Anschluss diskutiert werden kann. Ein Pilotlauf im Feldversuch sollte auch durchgeführt werden, um die Schwächen des Fragebogens besser zu eruieren.
Bei parallelisierten Stichproben ist es ein guter Richtwert mindestens 30 Personen jeder Gruppe zu untersuchen [ASC01]. Die Befragung kann persönlich oder anonymisiert durchgeführt werden.

Als Vorlage für die Erstellung des Fragebogens diente „das Arbeitsbehelf 5 - der Fragebogen für die Evaluierung“ aus der Reihe „Arbeitsbehelfe für die Modernisierung mit Passivhauskomponenten von dem Projekt „Zukunftsfähige Wohngebäudesanierung „ZUWOG“) [ZUW09]. In diesem Fragebogen wurden ebenfalls benutzerspezifische Verhalten der Bewohner erfragt.

4 Begriffsdefinitionen

- BGF - Brutto-Grundfläche [m²]

  Die BGF bezieht sich auf die gesamte Wohnhausanlage, das kann auch mehrere Objekte beinhalten.
- HWBsk - Heizwärmebedarf (Standort) [kWh /m²]

  Der Heizwärmebedarf beschreibt jene Wärmemenge, welche den Räumen rechnerisch zur Beheizung, basierend auf dem Normnutzungsprofil und den Standortklima-Werten, zugeführt werden muss. [OIB111]
- HEB od. HEB_Norm – Heizenergiebedarf [kWh /m²]

  Beim Heizenergiebedarf werden zusätzlich zum Nutzenergiebedarf (HWBsk) die Verluste der Haustechnik im Gebäude berücksichtigt. Dazu zählen beispielsweise die Verluste des Heizkessels und der Energiebedarf von Umwälzpumpen. [OIB111]
- HWVsk - Heizwärmeverbrauch (Standort) [kWh /m²] [ÖNO112]

  Dies ist der aus dem Heizenergieverbrauch, über die Energieaufwandszahl, ermittelte reine Wärmeverbrauch für die Konditionierung des Raumklimas.
- HEV od. HEV_gemessen - Heizenergieverbrauch [kWh /m² oder MWh]

  Diese sind die tatsächlich gemessenen Verbrauchswerte von Wien Energie. In jenen Anlagen, die mit Fernwärme oder Gas über eine Zentrale versorgt werden, stellt der Verbrauch den reinen Energieverbrauch für die Heizung dar. In den Anlagen, die mit Gas versorgt werden, handelt es sich um Einzelanschlüsse mit Gasthermen. Hier ist der Verbrauch inklusive Warmwasserverbrauch und Heiztechnikverluste angeführt.
- HEV_FB – Heizenergieverbrauch Fragebogen[kWh /m² oder MWh]

  Heizenergieverbrauch ermittelt mittels ÖNORM H 5056. Abweichend von der Norm wurde hier das Nutzungsprofil aus dem Fragebogen angesetzt.
- lc- Wert – charakteristische Länge

  Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes, errechnet sich durch Gebäudehüllfläche/Volumen [ÖNO07]

- Energieaufwandszahl f_{EAZ} ($e_{AWZ,ET}$)

  Verhältniszahl, die den Mehraufwand an Energie zum Betrieb notwendiger haustechnischer Systeme gegenüber den theoretischen Bedarfswerten angibt
- Energieträger

  Bei Gas sind dies Einzelanschlüsse mit Gasthermen in den Wohnungen. Bei Fernwärme ist es die zentrale Fernwärmeversorgung und bei Gas (Zentral) ist es die zentrale Heizungsanlage im Gebäude.
- HEV_ Mittelwert_FB - [kWh /m²]

  Jener Heizenergiebedarf, der durch das Ansetzen, des aus dem Fragebogen resultierenden Nutzungsprofils errechnet wird.
- WNF – netto Wohnnutzfläche [m²]

  Die Nutzfläche dient der Nutzung des Bauwerkes aufgrund seiner Zweckbestimmung. [ÖNO02]
- wwwb – Warmwasserbedarf [Wh/m²d]

  Täglicher Warmwasser-Wärmebedarf, bezogen auf die Bezugsfläche BF gemäß ÖNORM 8110-6
- BF – Bezugsfläche [m²]

  Diese ist für den Bereich der Wohngebäude generell 0,8xBGF bzw. für den Bereich Nicht-Wohngebäude entweder 0,8xBGF oder die konditionierte Nettogrundfläche [ÖNO07]

  In dieser Arbeit wurde für die BF näherungsweise die (Wohn)nutzfläche herangezogen, da diese für die einzelnen Wohnungen bekannt ist.
- NGF – Netto - Grundfläche [m²]

  Die Netto-Grundfläche ist die Summe der zwischen den aufgehenden Bauteilen befindlichen Bodenfläche (Fußbodenfläche) aller Grundrissebenen eines Bauwerkes. [ÖNO02] Im Falle von Wohngebäuden entspricht es der netto Wohnnutzfläche.
- operative Raumtemperatur (Empfindungstemperatur)

  Ist der arithmetische Mittelwert der Raumlufttemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur. In der Literatur wird diese auch vereinfachend als Raumtemperatur genannt. [LUT02]

- n_Mittel

  Mittlerer Luftwechsel der befragten Wohnungen

- Boxplot [WIK15]

Der Boxplot (auch Box-Whisker-Plot oder deutsch Kastengrafik) ist ein Diagramm, das zur grafischen Darstellung der Verteilung kardinalskalierter Daten verwendet wird. Es fasst dabei verschiedene robuste Streuungs- und Lagemaße in einer Darstellung zusammen. Ein Boxplot soll schnell einen Eindruck darüber vermitteln, in welchem Bereich die Daten liegen und wie sie sich über diesen Bereich verteilen. Deshalb werden alle Werte der sogenannten Fünf-Punkte-Zusammenfassung, also der Median, die zwei Quartile und die beiden Extremwerte, dargestellt.

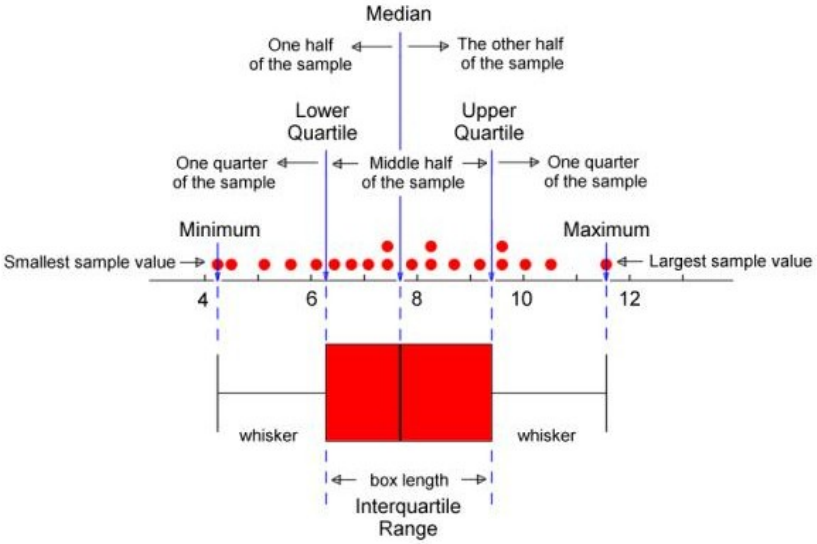


Abbildung 1: Grafische Darstellung des Boxplots mit Erklärung [STI15]

Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Sie wird also durch das obere und das untere Quartil begrenzt, und die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand (englisch interquartile range, IQR). Dieser ist ein Maß der Streuung der Daten, welches durch die Differenz des oberen und unteren Quartils bestimmt wird. Des Weiteren wird der Median als durchgehender Strich in der Box eingezeichnet. Dieser Strich teilt das gesamte Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50 % der Daten liegen. Durch seine Lage innerhalb der Box

bekommt man also einen Eindruck von der Schiefe der den Daten zugrunde liegenden Verteilung vermittelt. Ist der Median im linken Teil der Box, so ist die Verteilung rechtsschief, und umgekehrt.

Antenne (Whisker)

Durch die Antennen werden die außerhalb der Box liegenden Werte dargestellt. Im Gegensatz zur Definition der Box ist die Definition der Antennen nicht einheitlich.

Eine mögliche Definition, die von John W. Tukey stammt, besteht darin, die Länge der Whisker auf maximal das 1,5-Fache des Interquartilsabstands (1,5×IQR) zu beschränken. Dabei endet der Whisker jedoch nicht genau nach dieser Länge, sondern bei dem Wert aus den Daten, der noch innerhalb dieser Grenze liegt. Die Länge der Whisker wird also durch die Datenwerte und nicht allein durch den Interquartilsabstand bestimmt. Dies ist auch der Grund, warum die Whisker nicht auf beiden Seiten gleich lang sein müssen. Gibt es keine Werte außerhalb der Grenze von 1,5×IQR, wird die Länge des Whiskers durch den maximalen und minimalen Wert festgelegt. Andernfalls werden die Werte außerhalb der Whisker separat in das Diagramm eingetragen. Diese Werte können dann als ausreißerverdächtig behandelt werden oder werden direkt als Ausreißer bezeichnet.

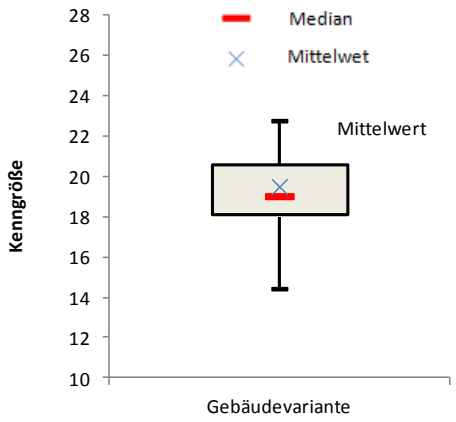


Abbildung 2: In dieser Arbeit verwendeter Boxplot mit Legende

5 Berechnungsgrundlage

5.1 Gesamtenergieeffizienzberechnung

Die Berechnung des Heizwärmebedarfes (HWB) erfolgt nach Monatsbilanzverfahren welcher in der ÖNORM 8110-6 [ÖNO07] festgelegt ist. Jene des Heizenergiebedarfs (HEB) nach der ÖNORM H 5056 [ÖNO112]

Aufgrund der großen Anzahl von Formeln wird davon abgesehen, diese hier darzustellen.

5.2 Lüftung - Luftwechselzahl

Die Luftwechselrate wird wie folgt berechnet [RIC10]:

$$n = \frac{\dot{V}}{V_V} \tag{1}$$

$$V_V = 0{,}8 * 2{,}6m * BGF \tag{2}$$

n	Luftwechselzahl in 1/h
$\dot{V}$	Luftvolumenstrom durch die Lüftungsöffnung in m³/h
V_V	fiktives Lüftungsvolumen in m³
BGF	Brutto-Grundfläche in m²

5.2.1 Luftvolumenstrom Fenster – Öffnen/Kippen

Der Luftvolumenstrom über Fenster wird mit folgender Formel ermittelt. [RIC10]

$$\dot{V} = 0{,}7 * C_{ref} * A * \sqrt{H} * \sqrt{\Delta T} \tag{3}$$

$\dot{V}$	Luftvolumenstrom durch die Lüftungsöffnung in m³/h
C_{ref}	$= 100\ m^{0,5}/h * K^{0,5}$, Dichte der Luft mal Wärmekapazität der Luft
A	Fläche der Lüftungsöffnung gemäß Abbildung 3 in m²
H	Höhe der Lüftungsöffnung gemäß Abbildung 3 in m
ΔT	Lufttemperatur zwischen Außenluft und Innenluft in K

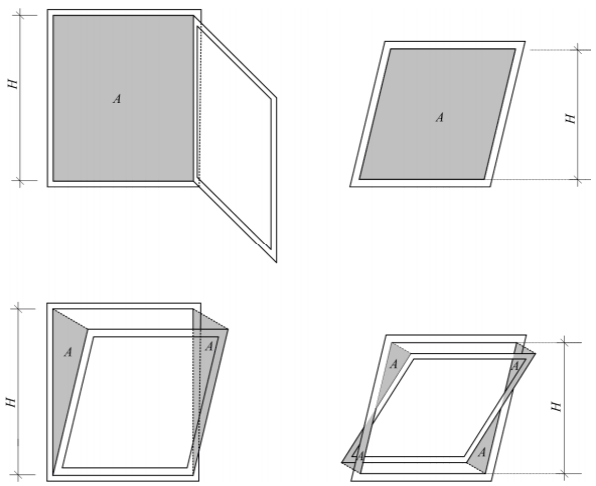


Abbildung 3: Definition von A und H für verschieden geöffnete und gekippte Fenster [ÖNO12]

Die oben genannte Formel wurde modifiziert, um Dauer und Anzahl der Fenster zu berücksichtigen.

$$\dot{V} = 0{,}7 * C_{ref} * A * \sqrt{H} * \sqrt{\Delta \mathrm{T}} * Anz_{Fenster} * \frac{n_{tag}}{24} * \frac{d}{60} \qquad (4)$$

$Anz_{Fenster}$	Anzahl der geöffneten/gekippten Fenster beim einmaligen Öffnen/Kippen
n_{tag}	Häufigkeit des Öffnens/Kippens am Tag [mal/Tag]
d	Dauer des Öffnens/Kippens beim einmaligen Öffnen/Kippen [min/mal]

5.2.2 Luftvolumenstrom Fenster – Fugen

Die undichten Fugen bewirken einen nicht kontrollierbaren und nicht intendierten Luftwechsel. Dieser hängt im Wesentlichen von der Fensterqualität und vom Druckunterschied, zwischen innen und außen, ab. Er wird mittel Hilfe folgender Formel ermittelt: [KÜN06]

$$\dot{V} = a * l * \Delta p^{2/3} \qquad (5)$$

$\dot{V}$	Volumenstrom durch die Fugen eines geschlossenen Fensters in m³/h
a	Fugendurchlasskoeffizient m³/(h*m*daPa^(2/3)) [KÜN06]
l	Fugenlänge eines Fensters in m
Δp	Druckdifferenz zirka 0,4 daPa in der kalten Jahreszeit bei $v \approx 2m/s$ [KÜN06]

Der Wert für den Fugendurchlasskoeffizient liegt bei [KÜN06]

- neue Fenster $a \leq 0{,}5\ \mathrm{m}^3/(\mathrm{h} * \mathrm{m} * \mathrm{daPa}\hat{}(2/3))$
- alte Fenster $a = 2 - 4\ \mathrm{m}^3/(\mathrm{h} * \mathrm{m} * \mathrm{daPa}\hat{}(2/3))$

Annahme für die Umrechnung der Qualität in einen a-Wert:
Ob ein Fenster als „dicht“ oder „undicht“ qualifiziert wird, hängt auch vom subjektiven Empfinden des Bewohners ab. Da die Fenster der untersuchten Gebäude zwar nicht Stand der Technik, dennoch neue Fenster sind, wird von einem a-Wert zwischen 0,3 und 2 ausgegangen. Somit wird folgende Bewertungstabelle erstellt:

Tabelle 1: Bewertungstabelle für die Fensterqualität der ausgewählten Objekte

Klassifizierung	a-Wert
dicht	0,3
eher dicht	0,5
eher undicht	1
undicht	1,5

5.3 Wärmeeintrag durch Personen und Geräte

Der Wärmestrom lässt sich wie folgt charakterisieren [RIC10]

$$\dot{Q} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \tag{6}$$

$\dot{Q}$	Wärmestrom/Leistung in W
ΔQ	Wärmemenge in Ws
Δt	Zeit in s

Durch das Umformen der Gleichung 7 ergibt sich die spezifische Wärmmenge wie folgt

$$q = \frac{\dot{Q} * \Delta t}{BF} \tag{7}$$

5.3.1 Spezifische Wärmemenge infolge Personenwärmeleistung

$$q_{iL,Personen} = \left[n_{Pers} * P_{Pers} * \frac{(t_{an} + t_{na})}{24h} * \frac{1}{1000} \right] / BF \tag{8}$$

$q_{iL,Personen}$	spezifische Wärmemenge in W/m²
n_{Pers}	Anzahl der Personen
P_{Pers}	Wärmeleistung einer Person bei Aktivitätsgrad 2 (Sehr leichte körperliche Tätigkeit im Stehen oder im Sitzen) und bei 21 C (= 150 W) [NAD05]
t_{an}	Anwesenheitsdauer am Tag in h/d
t_{na}	Anwesenheitsdauer in der Nacht in h/d
t_{Monat}	Kalendertage im Monat d/M
BF	Bezugsfläche in m²

5.3.2 Spezifische Wärmemenge infolge Gerätewärmeleistung

$$q_{iL,Geräte} = [SV_{Geräte} * f_{wärme}] / BF \tag{9}$$

$q_{iL,Geräte}$	spezifische Wärmemenge der Geräte in W/m²
$SV_{Geräte}$	Stromverbrauch der Geräte in kWh/a
$f_{wärme}$	Wärmeanteilsfaktor (0,8) (Annahme)
t_{Monat}	Kalendertage im Monat d/M
BF	Bezugsfläche

Der gesamte innere Wärmegewinn ergibt sich aus dieser Formel:

$$q_i = q_{iL,Person} + q_{iL,Geräte} \tag{10}$$

5.1 Warmwasserwärmeverbrauch

Die Wärmemenge des Warmwasserverbrauches errechnet sich wie folgt [RIC10]

$$wwwv = \left[\frac{m * c * \Delta T}{BF}\right] * \frac{1}{3600} \qquad (11)$$

$wwwv$	täglicher Warmwasserwärmeverbrauch in Wh/m² pro Haushalt
m	Warmwassermenge in l/d pro Haushalt
c	spezifische Wärmekapazität des Wassers bei 20 °C 4182 J/kgK
ΔT	Temperaturdifferenz 50K Kaltwassertemperatur 10 °C Warmwassertemperatur 60 °C
BF	Bezugs-Grundfläche, entspricht im Falle von den einzelnen Wohnungen der Netto-Grundfläche

$$m = m_{einzel} * n_{Nutz} * Anz_{Pers} \qquad (12)$$

m	Verbrauch in l/Haushalt
m_{einzel}	Einzelnutzungsverbrauch gemäß Tabelle 2
n_{nutz}	Nutzungshäufigkeit
Anz_{Pers}	Personenanzahl im Haushalt

Tabelle 2: Zusammenfassung der spezifischen Verbrauchsmengen und der Nutzungshäufigkeit pro Person und Tag [NEU12]

Mittelwerte	WC	Dusche	Badewanne	Waschmaschine	Wasserhahn	Geschirrspüler	Außenbereich
l/Einzelnutzung Winter	5,6	37	72	43	1,8	16,2	0
l/Einzelnutzung Sommer	6,1	36	80	45	1,6	16,4	85
l/Einzelnutzung Jahresdurchschnitt	**5,9**	**36**	**76**	**44**	**1,7**	**16,3**	**85**
Nutzungshäufigkeit Winter	6,1	0,6	0,04	0,3	19	0,25	0,0
Nutzungshäufigkeit Sommer	6,0	0,7	0,03	0,4	22	0,25	1,5
Nutzungshäufigkeit Jahresdurchschnitt	**6,1**	**0,7**	**0,03**	**0,4**	**21**	**0,25**	**0,8**

6 Quantitative Datenerfassung und Datenvergleich

6.1 Ausgewählte Objekte

Mit Unterstützung des Wiener Wohnfonds wurde Kontakt zu Bau- und Wohngenossenschaften aufgenommen. Die Gemeinnützige Bau- und Wohnungsgenossenschaft "Wien-Süd" eGenmbH hat Daten von bereits sanierten Gebäuden zur Verfügung gestellt.

Wien Süd hat insgesamt 21 Objekte, aus dem Südwesten von Wien, mit Gebäudedaten in Form einer Tabelle bereitgestellt (siehe Anhang A).

Alle herangezogenen Gebäude wurden in den 60er- beziehungsweise 70er-Jahren in mittelschwerer Bauweise, nämlich Ziegelmauerwerk und Mantelstein, errichtet.

Im Zuge der Sanierung wurde eine Wärmedämmung am Dach und an der Decke gegen den Dachraum, an der Außenfassade und an der Kellerdecke angebracht. Ein Fenstertausch wurde bei einigen Objekten durchgeführt. Bei anderen erfolgte dieser entweder bereits früher oder die Fenster wurden nicht getauscht. Eine Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung wurde nicht verbaut.

In den folgenden Punkten werden die rechnerisch ermittelten Bedarfswerte mit dem tatsächlich gemessenen Verbrauchswerten verglichen. Diese Begriffe lassen sich wie folgt definieren:

- Der Heizwärmebedarf beschreibt jene Wärmemenge, welche den Räumen rechnerisch zur Beheizung, basierend auf dem Normnutzungsprofil und den Standortklima-Werten, zugeführt werden muss.
- Der Heizwärmeverbrauch ist jene Wärmemenge, die durch die tatsächliche Nutzung für die Beheizung des Gebäudes aufgewendet wurde.

6.2 Vergleich der Energiekennzahlen der Objekte vor und nach der Sanierung

Die von Wiener Wohnfonds zusammengefasste Tabelle beinhaltet die Heizenergieverbräuche und die Brutto-Grundflächen, vor und nach der Sanierung. Des Weiteren ist die Energieversorgungsart eingetragen. Diese Gebäudedaten sind in den meisten Fällen die Summe mehrere Objekte einer Wohnsiedlung.

Aus den einzelnen Energieausweisen, die für diese Projekte erstellt wurden, konnte der Heizwärmebedarf (Standort) jeweils vor und nach der Sanierung heraus gelesen werden. Die HWBs sind nach dem „OIB Leitfaden für die Berechnung von Energiekennzahlen, März 1999“ berechnet. Diese Berechnung beruht auf einer statischen Bedarfsermittlung mit vorgegebenen Heiztagen. Die Klimadaten und Heizgradtage stammen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). In den damaligen Energieausweisen wurde die Haustechnik nicht berücksichtigt und somit wurden keine Heizenergiebedarfswerte gerechnet.

Um doch einen Vergleich von Bedarf und Verbrauch darstellen zu können, wird der Heizenergieverbrauch in Heizwärmeverbrauch umgerechnet. Der Heizenergieverbrauch (HEV) in kWh wurde im ersten Schritt auf die Brutto-Grundfläche berechnet und dann mittels Energieaufwandszahlen in Heizwärmeverbrauch umgerechnet (gemäß Gleichung 8).

Der Heizenergiebedarf kann wie folgt abgeschätzt werden. [PÖH12] Die Zahl 13 in der Formel bezieht sich auf den Default-Warmwasserbedarf (13kWh/m²a). Dieser Wert wird nur bei den Gebäuden mit Gastherme in Rechnung gestellt. Bei den Gebäuden mit Fernwärme nicht, da bei die vorhandenen Heizenergieverbräuche den reinen Energieverbrauch für die Heizung darstellen.

$$HEB_{Schätz} = \left(HWB_{Schätz,sk} + 13\right) * e_{AWZ,ET} \qquad (13)$$

Diese Formel wurde für die Abschätzung des HWV, mit dem vorhandenen HEV und der jeweiligen Energieaufwandszahlen herangezogen:

$$HWV_{Schätz,SK} = \frac{HEV_{Schätz}}{e_{AWZ,ET}} - 13 \qquad (14)$$

Für die Abschätzung der Energieaufwandszahl wurde für unsanierte Gebäude die HWB-Linie 61 (mangelhafter Wärmeschutz) und für sanierte Gebäude die HWB-Linie 33 (deutlich verbesserter Wärmeschutz) herangezogen. Diese HWB-Linien entsprechen in etwa den HWBs der untersuchten Gebäude. Zwischen den einzelnen lc-Werten wurde linear interpoliert.

l_c [m]	82 [-]	61 [-]	41 [-]	33 [-]
0,92	2,52	1,88	1,55	1,60
1,33	2,52	1,84	1,54	1,61
1,60	2,85	1,80	1,54	1,59
2,18	2,90	1,81	1,54	1,62
2,53	3,16	1,78	1,54	1,63
3,20	3,23	1,80	1,57	1,67
3,56	3,27	1,80	1,58	1,69
4,17	3,39	1,81	1,60	1,71
4,47	3,49	1,82	1,59	1,71

Abbildung 4: Energieaufwandszahlen für den Energieträger Gas [PÖH12]

l_c [m]	82 [-]	61 [-]	41 [-]	33 [-]
0,92	2,52	1,88	1,55	1,60
1,33	2,52	1,84	1,54	1,61
1,60	2,85	1,80	1,54	1,59
2,18	2,90	1,81	1,54	1,62
2,53	3,16	1,78	1,54	1,63
3,20	3,23	1,80	1,57	1,67
3,56	3,27	1,80	1,58	1,69
4,17	3,39	1,81	1,60	1,71
4,47	3,49	1,82	1,59	1,71

Abbildung 5: Energieaufwandszahlen für den Energieträger Fernwärme [PÖH12]

6.2.1 Vergleich des Heizwärmebedarfes

Die in Abbildung 7 dargestellten Werte stammen aus den Energieausweisen der einzelnen Objekte.

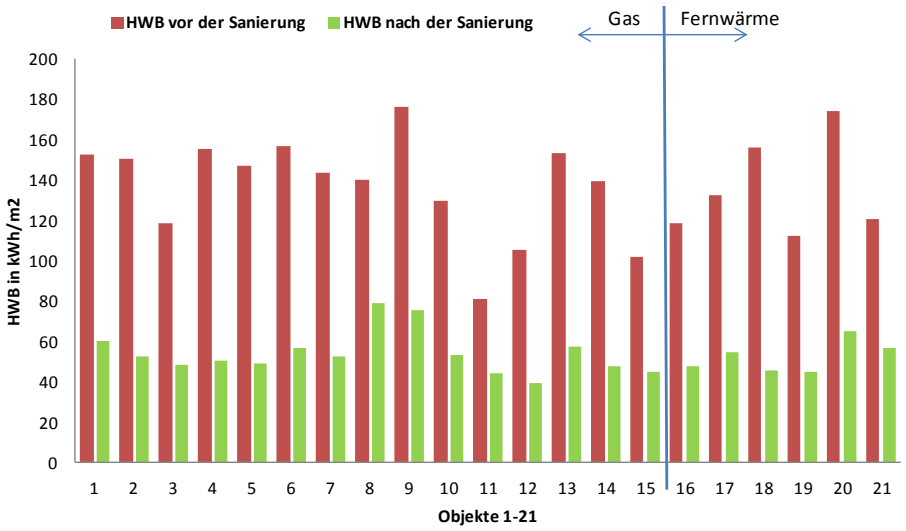


Abbildung 6: Gegenüberstellung des Heizwärmbedarfes vor und nach der Sanierung für Gebäude mit Gas (1-15) und mit Fernwärme (16-21)

Aus der Abbildung 8 ist ersichtlich, dass eine rechnerische HWB-Reduzierung von bis zu 60 % erzielt wird. Das bedeutet, dass der HWB mit den geplanten Maßnahmen um mehr als die Hälfte reduziert wird, bezogen auf zuvor.

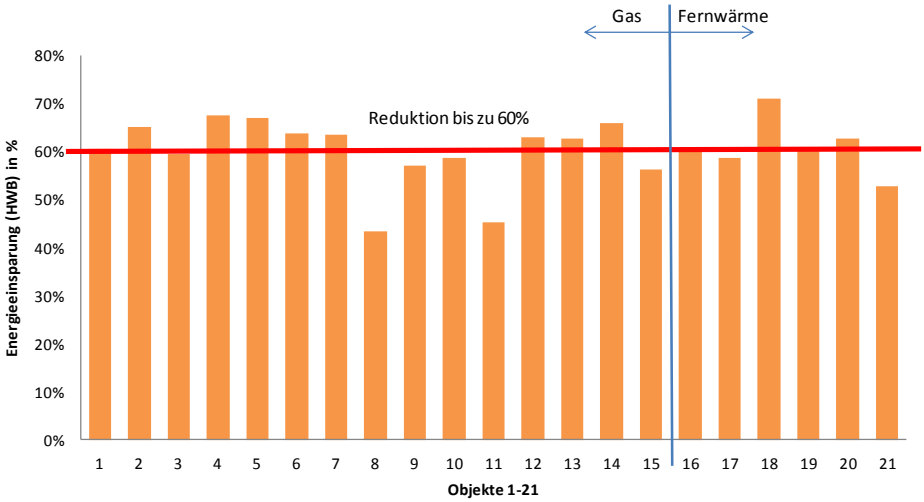


Abbildung 7: Theoretische (rechnerische) Reduktion des Heizwärmebedarfes in Prozent vor und nach der Sanierung für Gebäude mit Gas (1-15) und mit Fernwärme (16-21)

6.2.2 Vergleich des Heizwärmeverbrauches

In Abbildung 9 werden die aus der Heizenergie umgerechneten Heizwärmeverbräuche vor und nach der Sanierung dargestellt.

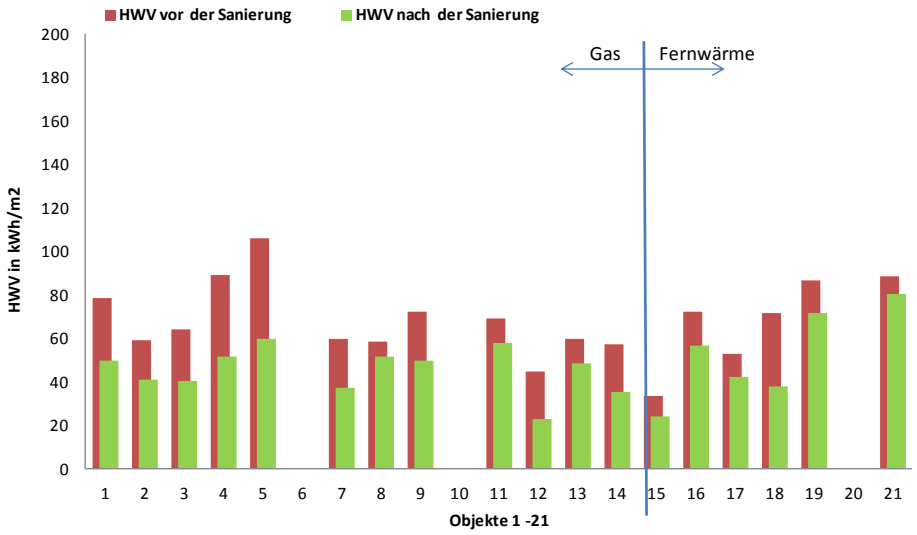


Abbildung 8: Gegenüberstellung des Heizwärmeverbrauches vor und nach der Sanierung für Gebäude mit Gas (1-16) und für Gebäude mit Fernwärme (17-21)

Für die Objekte 6, 10 und 20 konnte aufgrund fehlender lc-Werte keine Energieaufwandszahl bzw. kein Heizwärmeverbrauch errechnet werden. Deswegen werden in Abbildung 9 für diese keine Balken angezeigt.

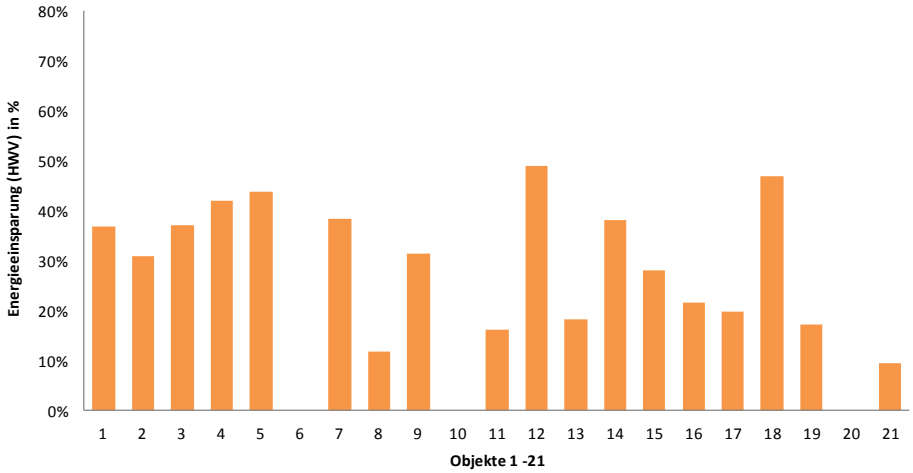


Abbildung 9: Geschätzte tatsächliche Reduktion des Heizwärmeverbrauches in Prozent vor und nach der Sanierung für Gebäude mit Gas (1-15) und mit Fernwärme (16-21)

Die tatsächliche relative Reduzierung des Wärmeverbrauches nach der Sanierung ist nun in einem breiteren Spektrum und übertrifft bei keinem der Objekte die 50 % Marke.

6.2.3 Vergleich des Heizwärmebedarfes mit dem Heizwärmeverbrauch

In der Abbildung 10 lässt sich erkennen, dass vor der Sanierung die errechneten HWB-Werte höher sind, als die tatsächlichen Verbrauchswerte.

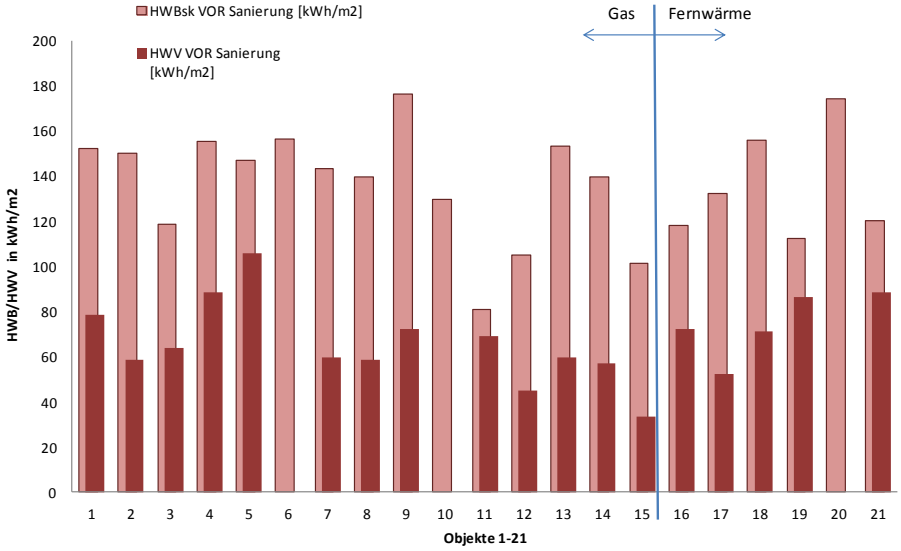


Abbildung 10: Gegenüberstellung des Heizwärmebedarfes und des Heizwärmeverbrauches vor der Sanierung für Gebäude mit Gas (1-16) und für Gebäude mit Fernwärme (17-21)

Bei einigen Objekten ist der errechnete Bedarf doppelt so hoch wie der Verbrauch. Auf ähnliche große Unterschiede ist man auch bei m Feldversuch in Dena gekommen.

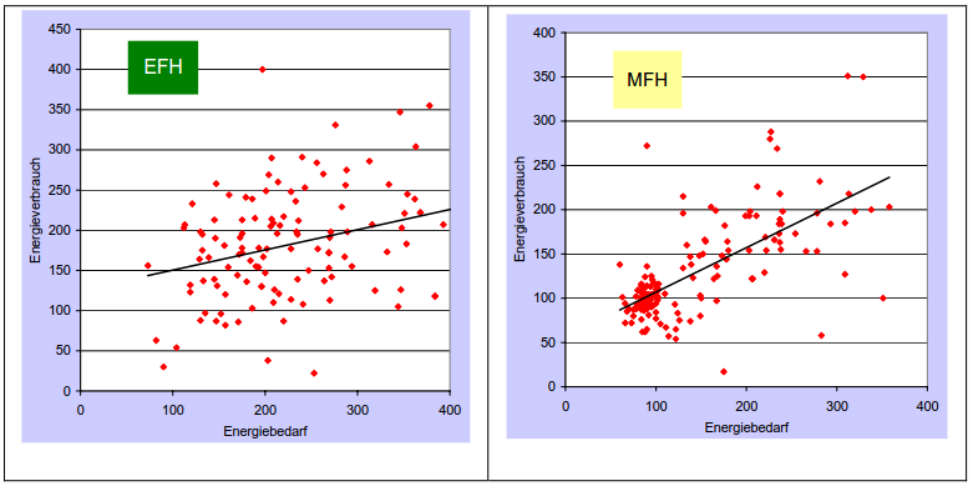


Abbildung 11: Gegenüberstellung der Energiebedarfs- und Verbrauchswerte für die Objekte im Dena-Feldversuch [EHO06]

Beim Vergleich nach der Sanierung, sind die Heizwärmeverbräuche bei der Mehrheit der Objekte, wie auch vor der Sanierung, unter den berechneten Bedarfswerten. Es gibt auch Objekte, bei denen der Verbrauch mit dem Bedarf überwiegend übereinstimmt oder unter dem Bedarf ist.

Der Unterschied zwischen HWB und HWV fällt bei den unsanierten Objekten deutlich höher aus, als bei den Sanierten.

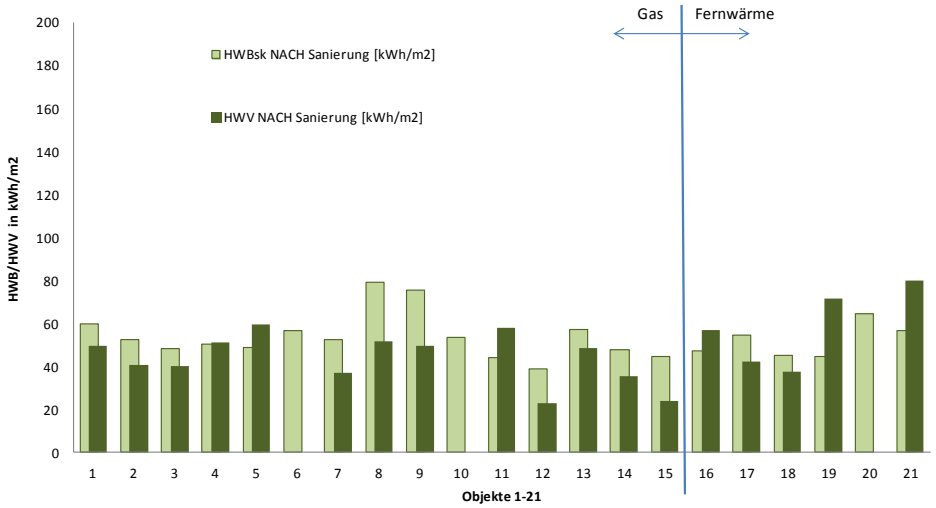


Abbildung 12: Gegenüberstellung des Heizwärmebedarfes und des Heizwärmeverbrauches nach der Sanierung für Gebäude mit Gas (1-16) und für Gebäude mit Fernwärme (17-21)

Zur Veranschaulichung der Unterschiede von Verbrauch und Bedarf wurden auch die Energieeinsparungen gegenübergestellt.

In der Abbildung ist ersichtlich, dass mit den errechneten Werten eine höhere Reduktion erwartet wird, als die tatsächliche relative Reduktion.

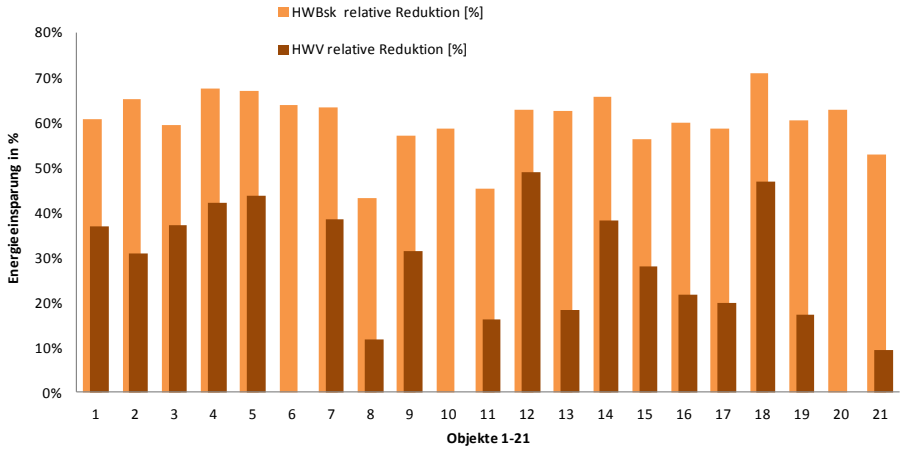


Abbildung 13: Gegenüberstellung der relativen Reduktion des Heizwärmebedarfes und Heizwärmeverbrauches in Prozent für Gebäude mit Gas (1-15) und mit Fernwärme (16-21)

7 Empirische Datenerfassung durch Befragung

7.1 Der Fragebogen

Zur empirischen Datenerfassung wird ein Fragebogen herangezogen, um das Nutzerverhalten zu erfassen. Bei der Befragung wurden hauptsächlich nutzerspezifische Kenngrößen abgefragt, die für den Energiebedarf von Relevanz sein können. Schwerpunkte dieser Befragung waren somit die operative Raumtemperatur oder auch empfundene Raumtemperatur bei Ab- und Anwesenheit und in der Nacht, das Lüftungsverhalten und der Warmwasserverbrauch. Gleichzeitig wurde die Zufriedenheit der Bewohner erfragt.

Es wurde jeweils für sanierte und unsanierte Gebäude eine Fragebogenvariante erstellt. Dies war notwendig, da Fragen betreffend die Zufriedenheit auf den jeweiligen Gebäudezustand abgestimmt wurden.

Der Fragebogen in voller Länge für sanierte Gebäude ist im Anhang A angefügt.

Für eine bessere Übersichtlichkeit wurde der Fragebogen in acht Themengebiete gegliedert.

- Wohnzufriedenheit
- Energieeinsparung
- Raumklima und Raumtemperatur
- Fensterlüftung
- Zur Wohnung
- Zur Person
- Warmwasserbedarf
- Wohnkomfort

Die Ausarbeitung der Fragen der Themenbereiche, Wohnzufriedenheit, Energieeinsparung und Wohnkomfort hätten den Umfang dieser Arbeit gesprengt und könnten in einer separaten Arbeit untersucht werden.

7.1.1 Durchführung der Befragung

In einem ersten Schritt wurde ein Pilotlauf für die Datenerhebung mittels Fragebogen gestartet. Diese Probeausteilung erfolgte in zwei Objekten des Wiener Wohnfonds. Als Tag wurde der Freitag ausgewählt, um die Wahrscheinlichkeit der Retournierung der ausgefüllten Fragebögen zu erhöhen. Es wurde angenommen, dass sich die Bewohner für die Befragung am Wochenende eher Zeit nehmen würden.

Die Fragebögen wurden persönlich und mit Hilfe von Freunden in die Postfächer ausgeteilt. Die Personen, die den Fragebogen ausgefüllt haben, hatten die Möglichkeit, diese auf dem Postweg zurückzusenden oder in die aufgestellten „Fragebogenboxen“ (FB-Box) zulegen. Diese wurde eine Woche nach der Aussendung eingesammelt. Die Kosten für die Rücksendung wurden von der Technischen Universität Wien übernommen.
Etwa die Hälfte der ausgefüllten Fragebögen wurde in die FB-Box gelegt per Post ist nur ein Fragebogen zurück gesendet worden. So wurden auch bei der „tatsächlichen“ Befragung die FB-Boxen aufgestellt. Die Möglichkeit per Post zurückzuschicken war weiterhin gegeben.

Abbildung 14: Fragebogenbox

Im Rahmen des Probelaufs wurden anhand der getätigten Antworten auch die Fragen evaluiert und geringfügig angepasst.

7.2 Ausgewählte Objekte

Aus dem Datenpool der zur Verfügung gestellten Gebäude wurden folgende Varianten ausgewählt und einer Befragung unterzogen:

- Vier sanierte Wohnhäuser mit dezentraler Gasversorgung (saniert Gas) (Objekt 1, 5, 8 und 13)
- Ein unsaniertes Wohnhaus mit dezentraler Gasversorgung (unsaniert Gas) (Objekt 22)
- Drei sanierte Wohnhäuser mit Fernwärme (saniert FW) (Objekt 16,17 und 18)

Unsanierte Gebäude mit Fernwärme konnten, aufgrund von fehlenden Daten, nicht untersucht werden.

7.3 Statistische Daten der Datenerhebung

Insgesamt wurden in 8 Objekten 319 Stück Fragebogen ausgeteilt.

Die Rücklaufquote der gültigen Fragebogen war bei etwa 30 %, was in Anbetracht der Länge des Fragebogens als gut zu bewerten ist.

Tabelle 3: Statistik Datenerhebung

Objekt Variante	FB-Box [Stk]	FB [Stk]	retour per Box [Stk]	retour per Post [Stk]	Gesamt retour [Stk]	Gültige [Stk]	Gültige [%]
Gas unsaniert	6	114	32	3	35	34	30%
Gas saniert	8	79	22	7	29	28	35%
FW saniert	11	126	24	9	33	32	25%
Gesamt	25	319	78	19	97	94	29%

7.4 Auswertung des Fragebogens

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Fragebögen, mit dem für den Verbrauch relevantesten Kennwerten für die einzelnen Gebäudevarianten, gegenübergestellt.

7.4.1 Allgemeine Wohnungs- und Bewohnerdaten

Um das Verhalten der Bewohner in den untersuchten Gebäudevarianten zu vergleichen, ist die demografische Zusammensetzung der Antwortgebenden von Bedeutung.

Bitte geben Sie das Alter, Beruf und höchste abgeschlossene Ausbildung der Bewohner an.

	Alter	Geschlecht „m“ oder „w“	Beruf	Höchste abgeschlossene Ausbildung
Person 1 (Sie)	_____	_____	_____	_____
Person n	_____	_____	_____	_____

a) unsaniert Gas / saniert Gas / saniert FW

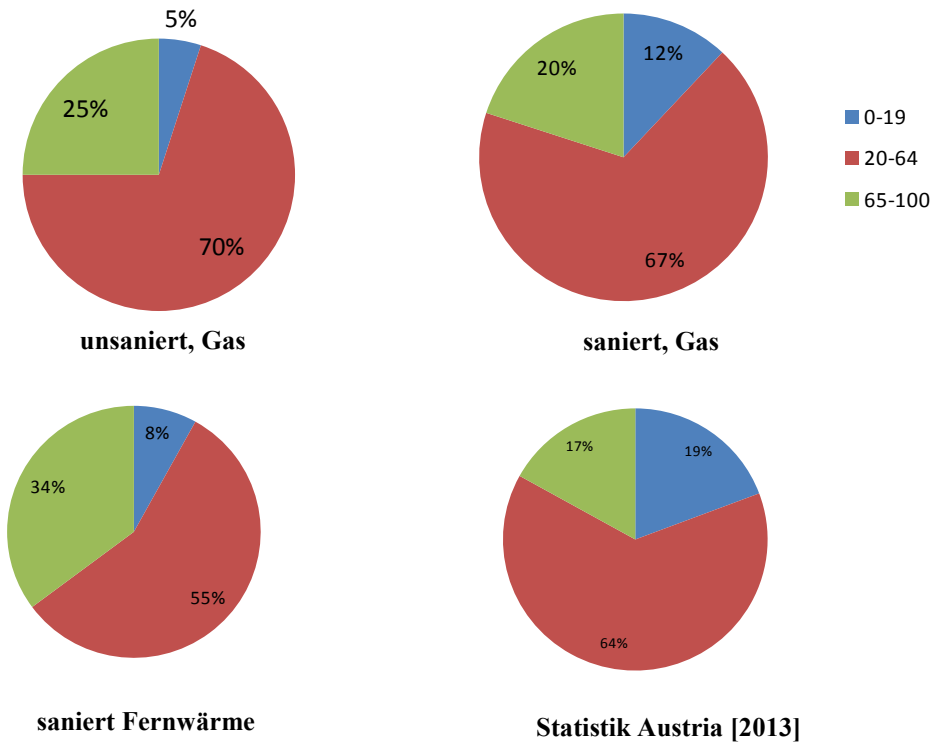


Abbildung 15: Alter der befragten Personen der Gebäudevarianten und die Altersverteilung der Wiener Bevölkerung gemäß Statistik Austria für das Jahr 2013 [STA13]

Die Gegenüberstellung der Altersverteilung der Befragten der Gebäudevarianten zeigt einen hohen Anteil von 55 % bis 70 % der 20-64 Jährigen. Diese prozentuelle Verteilung entspricht in etwa der Wiener Bevölkerung [STA13]. Ein Rückschluss bei der Auswertung auf die Population in Wien ist somit bedingt möglich.

Bei der Auswertung bestimmter Einflussfaktoren wie Luftwechsel und innere Wärmegewinne sind die Wohnungs- und Haushaltsgröße von Bedeutung. Deswegen wurden diese auch ermittelt.

Größe Ihrer Wohnung?

_____m²

a) unsaniert Gas / saniert Gas / saniert FW

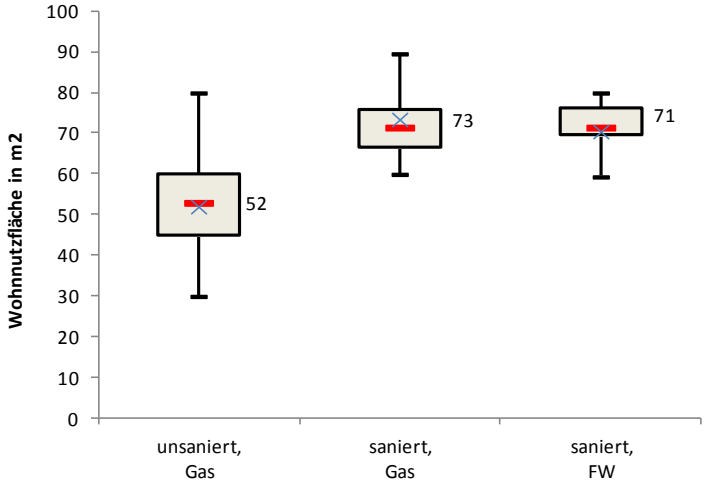


Abbildung 16: Verteilung der Netto-Grundfläche der Gebäudevarianten

Die hier ermittelte Wohnungsgröße entspricht der Netto-Grundfläche bzw. (Wohn)nutzfläche einer Wohnung. Dieser Wert wird für die Berechnung der Luftwechselrate, der inneren Wärmegewinne und den Warmwasserbedarf einzelner Wohnungen herangezogen. Dabei wird angenommen, dass für Wohnungen die Netto-Grundfläche näherungsweise der Bezugsfläche entspricht.

7.4.2 Anwesenheit in der Wohnung

Die Anwesenheit in der Wohnung ist indirekt durch die Raumtemperatur die Lüftung und den Wärmeeintrag durch Geräte und Personen für den Energieverbrauch relevant. Bei der Befragung wurde zwischen Montag bis Freitag (Mo-Fr) und Samstag bis Sonntag (Sa-So) differenziert.

Wieviele Stunden sind Sie, im Durchschnitt an einem gewöhnlichen Tag, in der Wohnung?

	Montag. bis Freitag	Samstag und Sonntag
Person 1 (Sie)	_____ Stunden von 24h	_____ Stunden von 24h

a) unsaniert Gas / saniert Gas / Saniert FW

Die befragten Personen gaben die durchschnittliche Anwesenheitsdauer an. Aus der, im Fragebogen angegebenen Zeit, wurden sieben Stunden [ORF08] für den nächtlichen Schlaf abgezogen und so die Abwesenheitsdauer ermittelt. Die Anwesenheit wurde separat für Wochentage und Wochenende abgefragt. Die so ermittelte Zeit wurde dann gewichtet in fünf Wochentage und zwei Wochenendtage, addiert und so ergeben sich die An- und Abwesenheitszeiten für die einzelnen Gebäudevarianten.

Zwar ist die Streuung der Dauer für die einzelnen Varianten unterschiedlich, die Mittelwerte liegen aber sehr nahe beieinander. Vollständigkeitshalber wird erwähnt, dass eine eindeutige Aussage, ob sich die Personen am Wochenende oder unter der Woche mehr zuhause aufhalten, aus den vorliegenden Daten nicht getroffen werden kann.

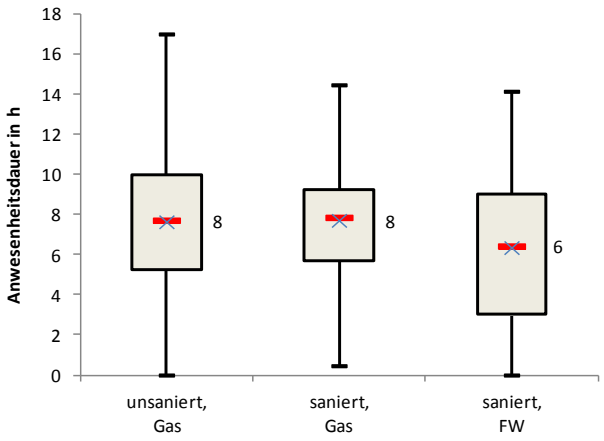


Abbildung 17: Gewichtete Verteilung der Anwesenheitsdauer von Montag bis Sonntag der Gebäudevarianten

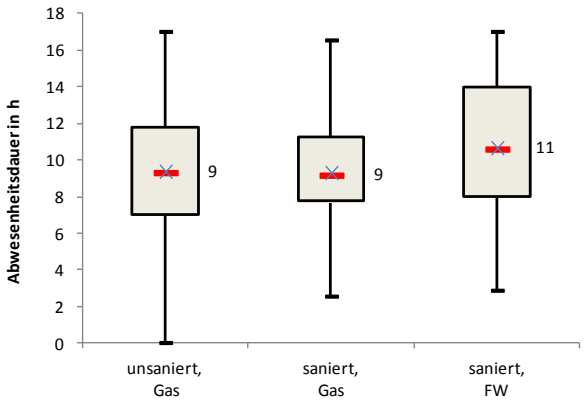


Abbildung 18: Gewichtete Verteilung der Abwesenheitsdauer von Montag bis Sonntag der Gebäudevarianten

7.4.3 Raumtemperatur

Die Raumtemperatur ist eine der wichtigsten Faktoren beim Energieverbrauch. Diese kann vom Bewohner individuell, je nach Wohlbefinden, in der Wohnung eingestellt werden. Die Temperaturregulierung kann, in Abhängigkeit vom Heizsystem, auf verschiedene Art und Weise erfolgen.

Bei dieser Frage wurde durch den Fragebogen eruiert, wie hoch die Raumtemperatur ist, je nachdem ob der Nutzer tagsüber anwesend, nachts anwesend oder abwesend ist.

Wieviel Grad hat es bei Ihnen in der Wohnung, im Winter, wenn jemand zuhause ist?

Tagsüber: geschätzt _____°C gemessen _____°C

Nachts: geschätzt _____°C gemessen _____°C

Reduzieren Sie die Temperatur in der Wohnung, wenn Sie in die Arbeit fahren oder tagsüber nicht zuhause sind?

☐ nein ☐ ja , auf _____°C ☐ ja , auf Stufe _____

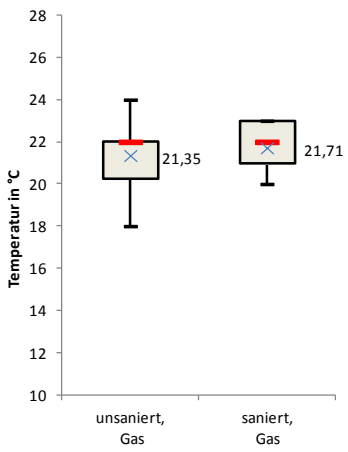
Die in der Auswertung vorkommenden Innentemperaturen stellen eine Näherung für die operative Raumtemperatur (empfundene Temperatur) dar. Bei dem Fragebogen wurden drei Temperaturen, die als ausschlagegebend

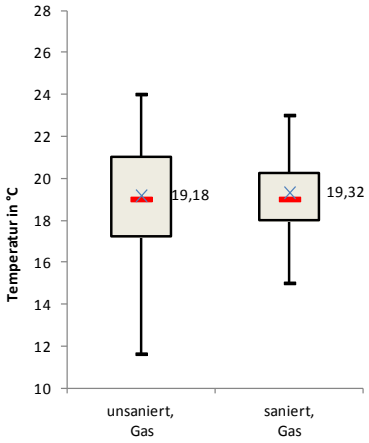
für die Ermittlung des Energiebedarfes empfunden wurden, erfragt. Diese sind wie folgt:

$T_{i,an}$	Innentemperatur bei Anwesenheit am Tag in °C
$T_{i,ab}$	Innentemperatur bei Abwesenheit in °C
$T_{i,na}$	Innentemperatur bei Anwesenheit in der Nacht in °C

Die Raumtemperaturen wurden für die Wohnung und nicht raumweise erfragt. Mindestens 75 % der Befragten haben angegeben, einen Raumtemperatur-Thermometer zu besitzen. Somit kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die Temperaturangaben der Nutzer nahe der Realität sind. Personen, welche die Temperatur nicht messen konnten, haben bei der Beantwortung des Fragebogens eine geschätzte Temperatur angegeben.
Die Abfragung der Raumtemperatur für jeden Raum wäre durchaus wünschenswert gewesen, würde den Befragten die Beantwortung allerdings erschweren. Denn selbst wenn die Nutzer einen Thermometer haben, wäre es ein unzumutbarer Aufwand für die Bewohner, in jedem Zimmer die Temperatur zu messen.

a) unsaniert Gas / saniert Gas





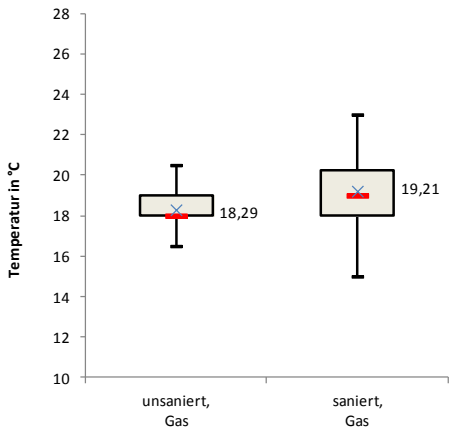
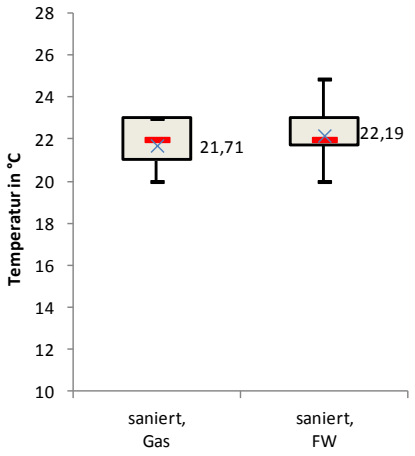
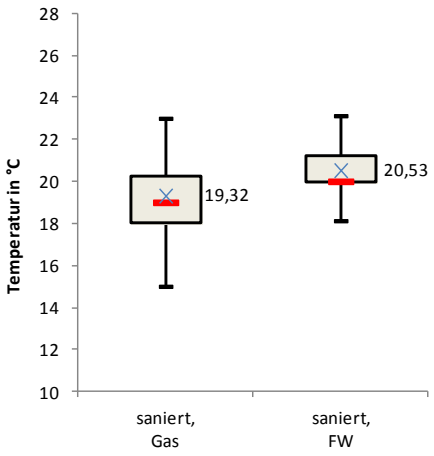


Abbildung 19: Gegenüberstellung der Temperaturverteilung bei Anwesenheit (links oben), Abwesenheit (links unten) und in der Nacht (rechts oben) für sanierte und unsanierte Gebäudevarianten mit Gasheizung

Die mittleren Raumtemperaturen für die einzelnen Szenarien unterscheiden sich bei dieser Gegenüberstellung kaum. Lediglich in der Streuung der Temperaturen ist ein Unterschied zu erkennen. In unsanierten Gebäuden schwankt die eingestellte Temperatur in der Nacht um 1K bis 2K bei den einzelnen Wohnungen. Im Gegensatz dazu schwankt die Temperatur bei Abwesenheit bei sanierten Gebäuden um 1K bis 2K in den befragten Wohnungen.

b) Saniert Gas / Saniert FW





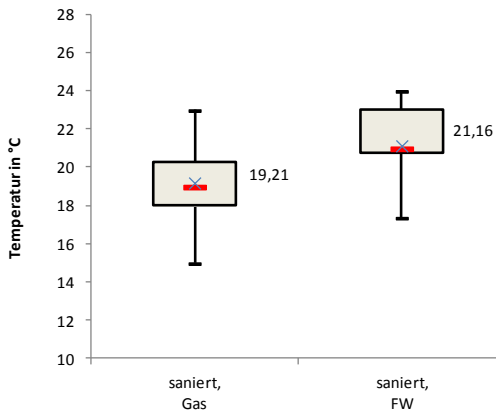


Abbildung 20: Gegenüberstellung der Temperaturverteilung bei Anwesenheit (links oben), Abwesenheit (links unten) und in der Nacht (rechts oben) für Gebäudevarianten mit Gasheizung und Fernwärme

Beim Vergleich zwischen sanierten Gas- und sanierten Fernwärme-Gebäuden sind leichte Raumtemperaturunterschiede von 1K bis 2K in der Nacht und bei Abwesenheit zu erkennen.

In folgender Abbildung wird die mit der Anwesenheit gewichtete Temperatur der einzelnen Varianten dargestellt:

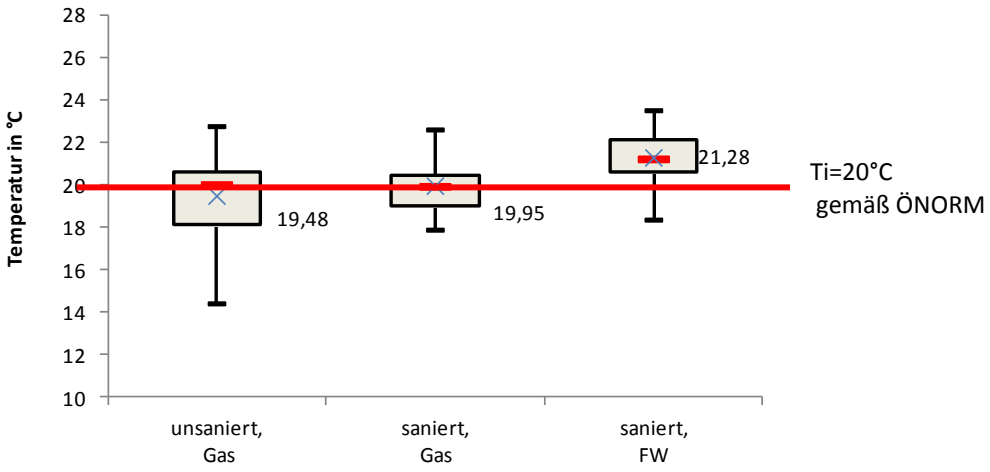


Abbildung 21: Gegenüberstellung der, mit der Anwesenheit gewichteten, Temperaturverteilung bei Anwesenheit, Abwesenheit und in der Nacht für sanierte Gebäudevarianten mit Gasheizung und Fernwärme und für die unsanierte Gebäudevariante mit Gasheizung

Hier ist zu erkennen, dass die mittlere Temperatur bei Gas-Gebäuden sehr nahe mit 0,5K beieinander liegt. Die Temperatur bei Fernwärme-Gebäuden ist etwa um 1-1,5K höher als bei den anderen Varianten.

7.4.4 **Lüftungsverhalten**

Das Lüften ist ein unerlässlicher Faktor, sowohl aus gesundheitlicher Perspektive, als auch energieverbrauchtechnisch. Der Mensch ist aus biologischen Gründen auf frische Luft. angewiesen Durch feuchte Luft, resultierend aus menschlichem Feuchteeintrag wie Kochen und Wäsche trocknen, erhöht sich das Risiko für Schimmelpilzbildung, diese kann gesundheitsgefährdend sein. Im Winter geht durch das notwendige Lüften auch Wärmeenergie verloren.

Wie Lüften Sie im Durchschnitt an einem gewöhnlichen Tag, wenn Sie tagsüber zuhause sind?

Im Winter	Kippen	_____ mal	_____ Stk./mal	_____ Minuten/mal
	vollständig öffnen	_____ mal	_____ Stk./mal	_____ Minuten/mal
Im Sommer	Kippen	_____ mal	_____ Stk./mal	_____ Stunden/mal
	vollständig öffnen	_____ mal	_____ Stk./mal	_____ Stunden/mal

Wieviele Fenster lassen Sie für einen angenehmen Schlaf in der ganzen Nacht gekippt?

Im Winter	_____ Stk
Im Sommer	_____ Stk

Wie ist der Fensterzustand?

☐ Dicht ☐ Eher dicht ☐ Eher undicht ☐ undicht

Durch das angegebene Lüftungsverhalten der Benutzer wurde eine Luftwechselrate errechnet. Für die Ermittlung dieser Kennzahl wurde das Normklima für die Region, wo sich die Gebäude befinden, herangezogen. Vereinfachend wurden für das Fenster eine Größe von 1,4m Breite und 1m Höhe gewählt. Für die Kippweite wurde 10cm angenommen. Die Lüftung, wie auch im Fragebogen zu erkennen, wurde auf folgende Szenarien aufgeteilt:

- Lüften tagsüber mit gekipptem Fenster
- Lüften tagsüber mit vollständig geöffnetem Fenster
- Lüften nachts mit gekipptem Fenster
- Natürliche Fugenlüftung

Für jede befragte Wohnung und für jede dieser Lüftungsarten wurde eine Luftwechselzahl ermittelt.
Die folgende Abbildung gibt Auskunft über die Verteilung der einzelnen Lüftungsarten. Die größten Luftwechselraten werden bei allen drei Varianten durch geöffnete Fenster erzeugt. Es ist zu erkennen, dass in unsanierten Gebäuden am meisten durch vollständig geöffnete Fenster gelüftet wird und dadurch die Luftwechselrate höher ist, als bei den anderen zwei Varianten.

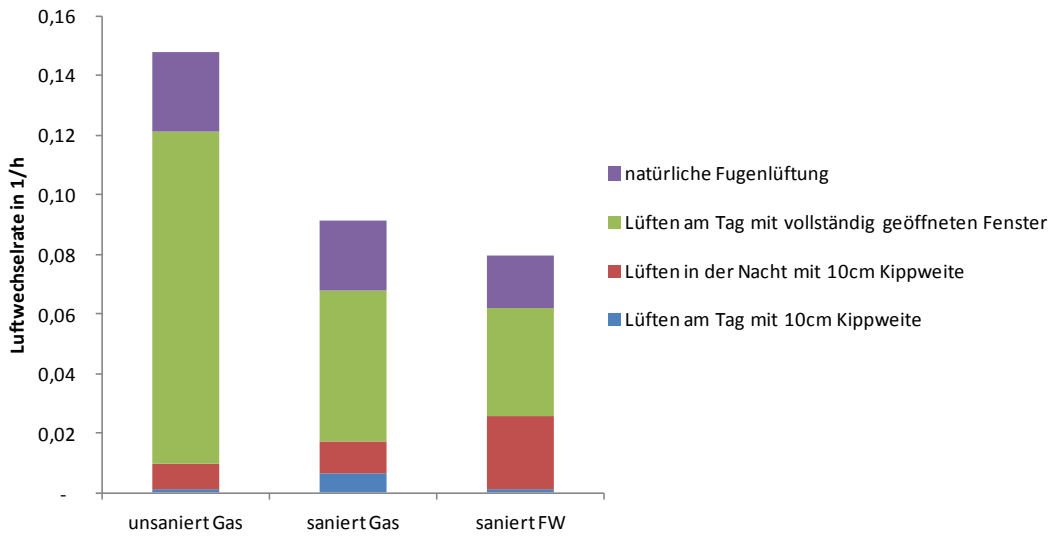


Abbildung 22: Mittlere Luftwechselraten der Lüftungsarten für die Gebäudevarianten

Die mittlere Luftwechselrate über alle befragten Wohnungen pro Gebäudevariante wird in der nächsten Abbildung dargestellt.

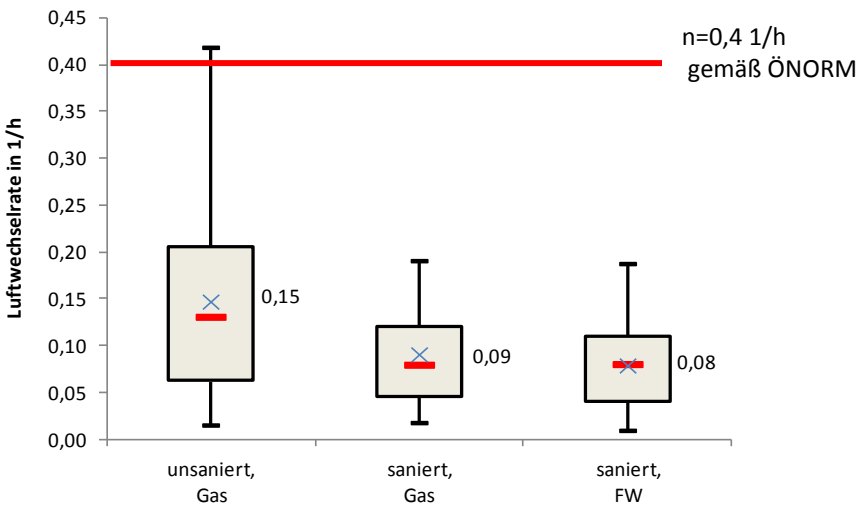


Abbildung 23: Gegenüberstellung der Verteilung der mittleren Luftwechselzahl für sanierte Gebäudevarianten mit Gasheizung und Fernwärme und für die unsanierte Gebäudevariante mit Gasheizung

Wie aus der Abbildung ersichtlich ist, liegt n_Mittel bei unsanierten Gebäuden bei 0,12 1/h und bei sanierten Gebäuden etwas tiefer bei 0,08 1/h. Das zeigt, dass der Luftwechsel in sanierten Gebäuden höher ausfällt, als in unsanierten Gebäuden. Weiters ist zu erkennen, dass das Lüftungsverhalten bei unsanierten Gebäuden mehr streut, als bei den Sanierten. In diesen Gebäuden gibt es auch vereinzelt Personen, die weitaus mehr lüften, als der Durchschnitt. Die für diesen Vergleich errechneten Luftwechselzahlen sollen lediglich zum Vergleich der einzelnen Varianten dienen, da vereinfachende Annahmen bezüglich der Fenstergröße und der Fensterqualität getroffen wurden. Für eine quantitative Beurteilung sind genaue Erhebungen der Fenstergrößen und der Kippweiten notwendig. Die Erhebung dieser Parameter war mittels Fragbogen für die Befragten nicht zumutbar.

7.4.5 Innere Wärmegewinne

Für die Feststellung der Wärmemenge, welche durch Geräte und Personen entsteht, wurden die Anzahl der Personen und ihre Anwesenheitsdauer abgefragt.

Wieviele Stunden sind Sie, im Durchschnitt an einem gewöhnlichen Tag, in der Wohnung?

	Mo. bis Fr.		Sa und So	
Person 1	_____	Stunden von 24h	_____	Stunden von 24h
Person n	_____	Stunden von 24h	_____	Stunden von 24h

Die durch Geräte entstehende Wärmemenge wurde über den Stromverbrauch annähernd bestimmt. Da der Stromverbrauch nicht durch den Fragebogen ermittelt wurde, wurden auf die Daten der Statistik Austria zurückgegriffen. In folgender Tabelle ist der Stromverbrauch, in Abhängigkeit der Personenanzahl pro Haushalt, dargestellt:

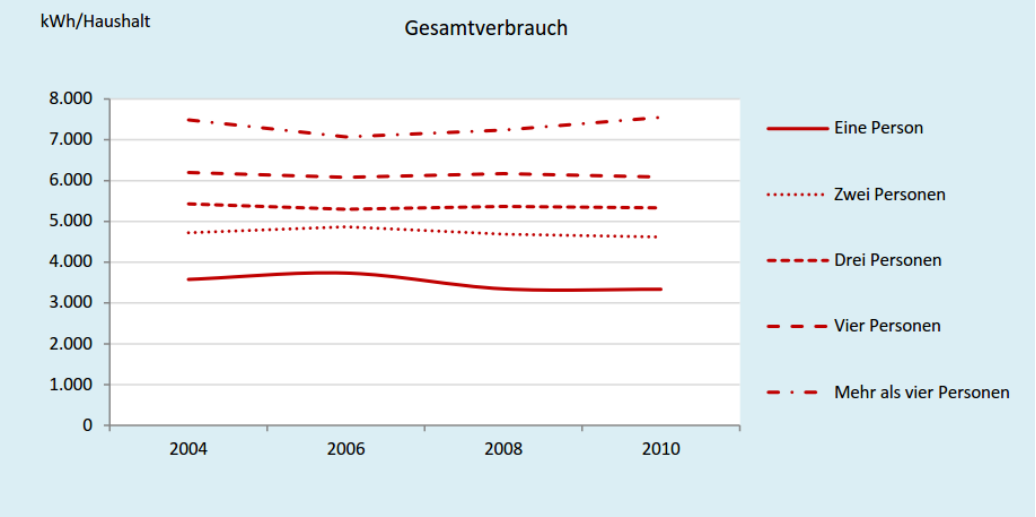


Abbildung 24: der jährliche Stromverbrauch [kWh/a] in Abhängigkeit der Personenanzahl in einem Haushalt [STA11]

Die Umrechnung dieser Faktoren auf ein qi [W/m²] erfolgte mit den Formeln aus den Berechnungsgrundlagen unter Punkt 5.3.

a) unsaniert Gas / saniert Gas/Saniert FW

Dieser Vergleich zeigt, dass die inneren Wärmegewinne im Wesentlichen vom Gebäudestatus und von der Energieversorgung unabhängig sind.

Die Unterschiede resultieren aus der Tatsache, dass die einzelnen Haushalte unterschiedlich groß sind, sowohl hinsichtlich der Personenanzahl, als auch hinsichtlich der Wohnnutzflächengröße.

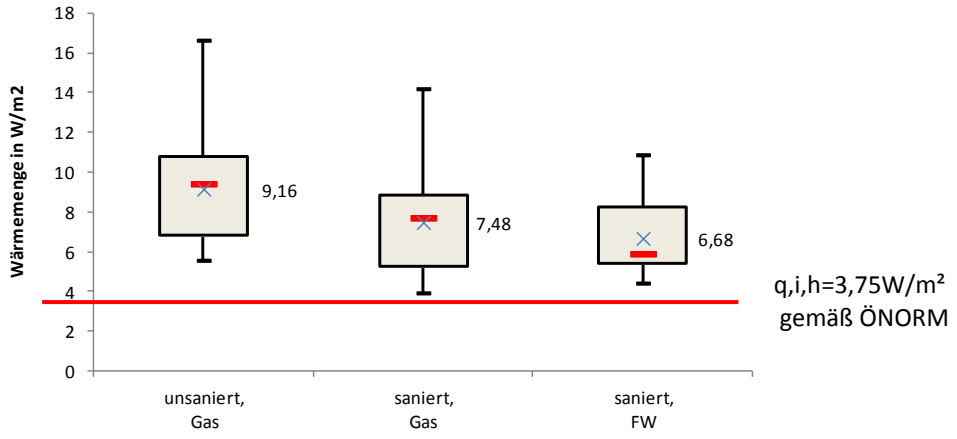


Abbildung 25: Gegenüberstellung Verteilung der inneren Wärmeeinträge aus Personen und Geräte für sanierte Gasvariante mit Gasheizung und Fernwärme und für die unsanierte Gasheizung

7.4.6 Warmwasserverbrauch

Für die quantitative Ermittlung des Heizenergiebedarfes ist der Warmwasserverbrauch erforderlich.

Dieser setzt sich aus mehreren Teilverbräuchen zusammen. Abgefragt wurden die Körperpflege, Waschen des Geschirrs und Waschen der Wäsche mit der Hand. Der Wasserverbrauch durch Haushaltsreinigung konnte aufgrund der geringen Antworten nicht ausgewertet werden.

Wie oft nehmen Sie eine Dusche oder ein Bad zuhause pro Woche?
Bitte kreuzen Sie eine Antwort pro Person an. (Mehrfachnennungen möglich)

Person 1

☐ Dusche Häufigkeit: _____ pro Woche Zeit _____Minuten/Dusche

☐ Bad Häufigkeit: _____ pro Woche ☐ voll ☐ halbvoll

Person n

☐ Dusche Häufigkeit: _____ pro Woche Zeit _____Minuten/Dusche

☐ Bad Häufigkeit: _____ pro Woche ☐ voll ☐ halbvoll

Das Hauptkörperpflegeverhalten mit Warmwasser wurde pro Person und pro Woche abgefragt. Eine Umrechnung der Duschdauer erwies sich

aufgrund der hohen Streuung des Duschkopfdurchflusses (7-12 l/min) als eher ungenau. Da aber bereits auf diesem Gebiet Wasserverbrauchsmessungen erfolgt sind, wurden diese Verbrauchswerte für Baden und Duschen herangezogen (siehe Tabelle 3. [NEU12]).
Die jahresdurchschnittlichen Einzelnutzungsverbräuche wurden mit den aus dem Fragebogen ermittelten Nutzungshäufigkeiten und der Personenanzahl multipliziert (Formel 12) und dann mittels Formel 11 in Wh/m²d umgerechnet.

a) unsaniert Gas / saniert Gas/ Saniert FW

Die Warmwasserverbräuche auf eine Person bezogen liegen, für alle drei Gebäudevarianten, im Mittel etwa bei 33 Liter pro Tag und pro Person.

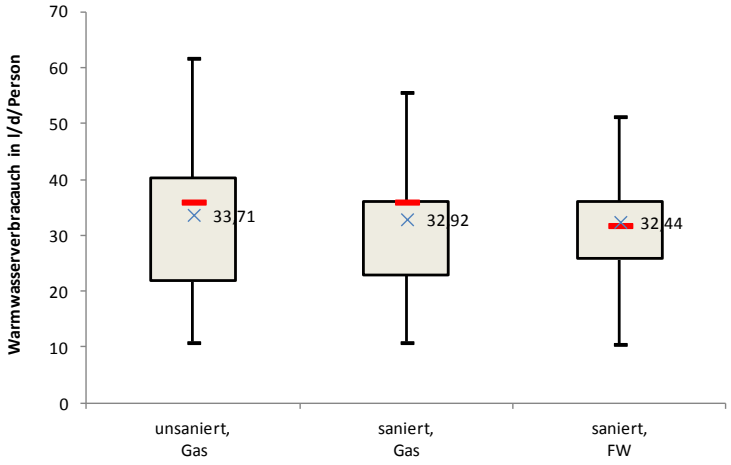


Abbildung 26: Gegenüberstellung der Verteilung des Warmwasserverbrauches (in Liter pro Tag pro Person) für sanierte Gebäude mit Gasheizung und Fernwärme und für die unsanierte Gebäudevariante mit Gasheizung

Die Warmwasserverbräuche auf die Haushalte bezogen ergaben, dass diese zwischen 40l/Tag/Haushalt und 80l/Tag/Haushalt schwanken. Der Mittelwert liegt bei etwa 60l/Tag/Haushalt.

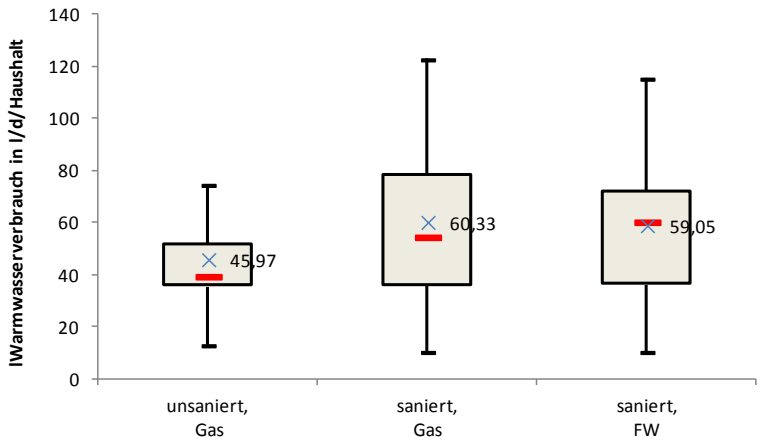


Abbildung 27: Gegenüberstellung der Verteilung des Warmwasserverbrauches (in Liter pro Tag pro Haushalt) für sanierte Gebäude mit Gasheizung und Fernwärme und für die unsanierte Gebäudevariante mit Gasheizung

Die aufgewendete Wärmeenergie für Warmwasser beträgt im Durchschnitt etwa 50 Wh/m²/Haushalt. Dieser Wert ist um 15Wh/m²d größer als beim Normnutzungsprofil (35 Wh/m²d).

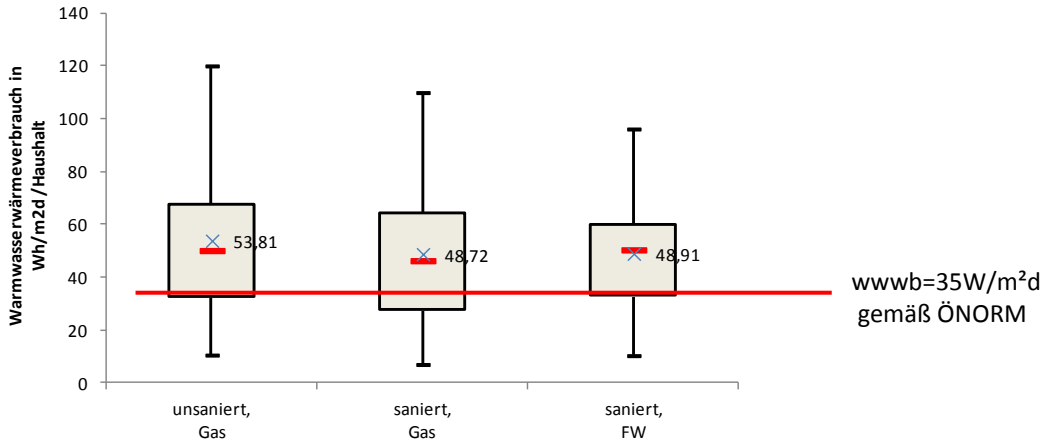


Abbildung 28: Gegenüberstellung der Verteilung des Warmwasserverbrauches (in Wh/m² pro Tag pro Haushalt) für sanierte Gebäude mit Gasheizung und Fernwärme und für die unsanierte Gebäudevariante mit Gasheizung

Der aus dem Fragebogen errechneter Warmwasserbedarf liegt deutlich über dem Wert, der in einer anderen Studie [OST15] gemessen wurde.

Tabelle 4: Gegenüberstellung des Warmwasserwärmebedarfes/verbrauches nach ÖNORM-Nutzungsprofiles, Fragebogen und Messwerte einer Studie [OST15]

	Wärmemenge in Wh/m²d	Wärmemenge in kWh/m²a
Norm	35,00	12,78
Fragebogen	48,91 - 53,81	17,89 - 19,71
Studie - Messung		10 - 14

8 Nutzerprofil aus Fragebogen

Ein Nutzerprofil wurde mit den gewonnenen Daten aus dem Fragenbogen erstellt. Dabei wurden die Daten für die einzelne Wohnung gemittelt und tabellarisch für die drei Gebäudevarianten dargestellt.

Tabelle 5: Gegenüberstellung der Mittelwerte und Standardabweichung der einzelnen Wohnungen für Temperatur, Luftwechselzahl, innere Wärmemenge und Warmwasserverbrauch für sanierte Gebäude mit Gasheizung und Fernwärme und für die unsanierte Gebäudevariante mit Gasheizung und des Nutzungsprofils für Mehrfamilienhäuser gemäß ÖNORM 8110-5 [ÖNO111]

		Ti_gewichtet [°C]	n_Mittel [1/h]	qi [W/m2]	wwwv [Wh/m2d]
Gas unsaniert	Mittelwert	19,48	0,15	9,16	53,81
	Standardabweichung	2,03	0,09	2,73	28,21
	Standardabw. in %	10%	62%	30%	52%
Gas saniert	Mittelwert	19,95	0,08	7,84	48,72
	Standardabweichung	1,27	0,05	2,40	27,62
	Standardabw. in %	6%	63%	31%	57%
FW saniert	Mittelwert	21,28	0,08	6,68	48,91
	Standardabweichung	1,53	0,05	1,83	21,19
	Standardabw. in %	7%	58%	27%	43%
Norm		20,00	0,40	3,75	35,00

In der zusammenfassenden Tabelle ist ersichtlich, dass die Streuung der einzelnen Parameter relativ groß ist. Beim Luftwechsel n_Mittel sogar bis zu 60%.

Simuliert man hingegen zum Beispiel 50 fiktive Gebäude mit jeweils 24 Wohneinheiten (ist die durchschnittliche Anzahl der Wohneinheiten der untersuchten Objekte), erhält man eine wesentlich geringere Streuung um den Mittelwert. Beim Lüftungsverhalten n_Mittel „nur“ mehr 12%.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Mittelwerte und der Standardabweichung 50 fiktive Gebäude mit jeweils 24 Wohneinheiten für Temperatur, Luftwechselzahl, innere Wärmemenge und Warmwasserverbrauch für die für sanierte Gebäude mit Gasheizung und Fernwärme und für die unsanierte Gebäudevariante und des Nutzungsprofils für Mehrfamilienhäuser gemäß ÖNORM 8110-5 [ÖNO111]

		Ti_gewichtet [°C]	n_Mittel [1/h]	qi [W/m2]	wwwv [Wh/m2d]
Gas unsaniert	Mittelwert	19,45	0,14	9,14	53,11
	Standardabweichung	0,37	0,02	0,50	4,45
	Standardabw. in %	2%	12%	6%	8%
Gas saniert	Mittelwert	19,96	0,09	7,39	49,70
	Standardabweichung	0,27	0,01	0,50	5,05
	Standardabw. in %	1%	12%	7%	10%
FW saniert	Mittelwert	21,30	0,08	6,74	49,57
	Standardabweichung	0,33	0,01	0,42	4,33
	Standardabw. in %	2%	12%	6%	9%
Norm		20,00	0,40	3,75	35,00

Vergleicht man die Werte aus dem Fragebogen mit der Norm, so lassen sich Abweichungen feststellen. Die Luftwechselrate ist rund ein Zehntel der hygienischen Luftwechselzahl, was in der Norm angesetzt wird. Die inneren Wärmegewinne sind doppelt so groß wie im Normnutzungsprofil. Der Warmwasserbedarf weicht, um etwa 10 bis 15Wh/m²d, von dem in der Norm festgelegten Wert ab.

9 Heizenergieverbrauchsberechnung mit Nutzerprofil aus Fragebogen

In diesem Kapitel wird das, aus dem Fragebogen resultierende Nutzungsprofil für die Ermittlung des Heizwärmeverbrauches angesetzt um in weiterer Folge den Heizenergieverbrauch zu berechnen und mit den gemessenen Heizenergieverbrauchswerten zu vergleichen.

Für einen besseren Überblick wird nochmals aufgelistet, welche Daten aus dem Fragebogen für die Energieberechnung verwendet werden:

- Die gewichtete Raumtemperatur –Ti_gewichtet
- Luftwechselzahl - n_Mittel
- Innere Wärmegewinne durch Personen und Geräte - qi
- Warmwasserwärmeverbrauch bei der Körperpflege - wwwv

Die benutzerspezifischen Kenngrößen aus dem Fragebogen beziehen sich auf eine Wohnung. Um vergleichbare Werte für eine Gegenüberstellung mit den gemessenen Heizenergieverbräuchen zu liefern, werden diese Nutzungsprofile pro Wohnung zu fiktiven Gebäuden mit unterschiedlicher Wohnungsanzahl zusammengewürfelt.
Folgende vier fiktive Gebäude wurden simuliert.

- Variante 1: 50 Gebäude mit je 10 Wohneinheiten
- Variante 2: 50 Gebäude mit je 12 Wohneinheiten
- Variante 3: 50 Gebäude mit je 24 Wohneinheiten
- Variante 4: 50 Gebäude mit je 36 Wohneinheiten

Der Heizenergieverbrauch wurde für einzelne Gebäude (HEV_FB) einer Variante berechnet und anschließend der Mittelwert der 50 Gebäude gebildet. Der so errechnete Heizenergieverbrauch wird im Weiteren mit HEV_Mittelwert_FB abgekürzt.
Die Anzahl der Wohneinheiten der Varianten variiert, damit der Einfluss dieser auf den Energieverbrauch näher untersucht werden kann.
Als Basis für diese vier Varianten wurden „echte" Gebäude aus Kapitel 6 als Basis und Vergleich herangezogen. Jeweils ein Gebäude mit Gas (Objekt 1) und mit Fernwärme (Objekt 17).

9.1 Vereinfachende Annahmen

Daten, die für Energieverbrauchsermittlung relevant sind aber nicht im Fragebogen erfasst werden konnten, wurden wie folgt vereinfachend angenommen:

- Die mittlere monatliche Außentemperatur und die globale Solarstrahlung gemäß ÖNORM B 8110-5 [ÖNO111].
- Die Brutto-Grundfläche, die Aufteilung der verglasten Flächen nach Himmelsrichtungen und der Transmissionsleitwert wurden aus vorhandenen Energieausweisen für Objekt 1 (Gas) und für Objekt 17 (Fernwärme) entnommen.

- Der Fensterflächenanteil konnte nicht aus dem Energieausweis entnommen werden, so wurde er mit 15 % der Fassadenfläche geschätzt. Diese Abschätzung erfolgte in Anlehnung an die Wiener Bauordnung [BAU13], bei der eine Mindestglasfläche von 10 % der Bodenfläche eines Aufenthaltsraumes betragen muss.
- Für die Haustechnik sind die Default-Werte nach dem vereinfachten Verfahren gemäß OIB 6 Leitfaden angesetzt worden. [OIB11]

Diese vereinfachenden Annahmen haben eine nicht einschätzbare Auswirkung auf die quantitativen Ergebnisse der Berechnung. Für die Bewertung der relativen energetischen Verbesserung sind sie höchstwahrscheinlich ausreichend genau.

Für die Berechnung des Energieverbrauches wurde die Berechnungsmethode laut OIB 6 2011 [OIB111] bzw. ÖNORM 8110-5 und ÖNORM H 5056 [ÖNO112] herangezogen. Mit diesem Berechnungsverfahren werden die Energiekennzahlen der Energieausweise heutzutage errechnet. Mit diesen aktuellen Berechnungsverfahren kann zusätzlich zum Heizwärmebedarf auch der Heizenergiebedarf ermittelt werden.
Mit dem „Excel-Tool WG“ vom Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) wurde der Heizenergieverbrauch berechnet.

Im Kapitel 6 wurden der Heizwärmeverbrauch (HWV) und der Heizwärmebedarf (HWB) verglichen. In den folgenden Punkten erfolgt die Gegenüberstellung des gemessenen Heizenergieverbrauchs (HEV) mit dem errechneten Heizenergieverbrauch (HEV_Mittelwert_FB) und mit dem Heizenergiebedarf mit Normnutzungsprofil (HEB_Norm). Einerseits können dadurch auch der Warmwasserwärmeverbrauch und die haustechnischen Anlagen berücksichtigt werden, andererseits wird die aus der Abschätzung des HWV resultierende Unsicherheit eliminiert.

9.2 Heizenergieverbrauch

Für die folgenden Gegenüberstellungen sei erwähnt, dass durch die vereinfachenden Annahmen ein quantitativer Vergleich zwischen dem errechneten Verbrauch/Bedarf und dem gemessenen Verbrauch, nur bedingt möglich ist. Die relative Betrachtung des errechneten Heizenergieverbrauches und des Heizenergiebedarfes ist grundsätzlich möglich.

9.2.1 Heizenergieverbrauch – Gebäude mit Gastherme

Für die Objekte mit Gas wurde die Heizenergie für Raumheizung und Warmwassererzeugung getrennt berechnet und anschließend summiert.
Im Zuge der Berechnung wurde festgestellt, dass die Auswirkung der Anzahl der Wohneinheiten (Bewohner) keinen wesentlichen Einfluss auf den Heizenergieverbrauch hat. Für die weitere Betrachtung wurde somit nur die Variante 3 (50 Gebäude mit je 24 Wohneinheiten) herangezogen. Diese Variante entspricht dem Objekt 1 aus dem Kapitel 6.

a) unsaniert Gas

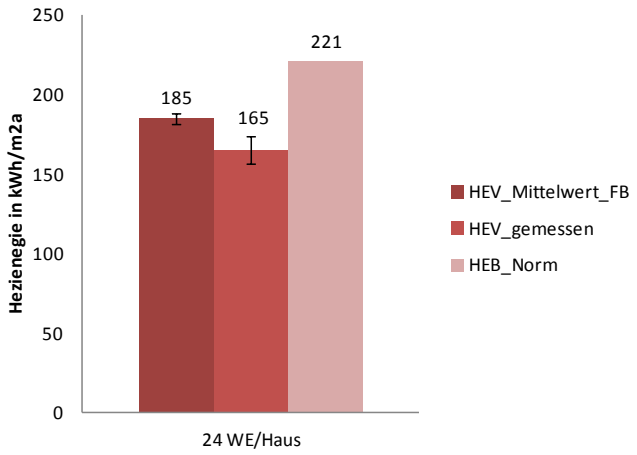


Abbildung 29: Gegenüberstellung des Heizenergiebedarfes und des Heizenergieverbrauches für unsanierte Gebäude mit Gastherme und mit 24 Wohneinheit (Objekt 1)

Es ist zu erkennen, dass der berechneter HEV und der berechneter HEB vom gemessenen HEV (Objekt 1) abweicht. Der Unterschied zwischen gemessenem Heizenergieverbrauch mit 165 kWh/m² zum Heizenergiebedarf, der mittels Normnutzungsprofil (HEB_Norm) mit 221 kWh/m² errechnet wurde, beträgt etwa 56 kWh/m². Der Heizenergieverbrauch, der mittels Fragebogen-Nutzungsprofil mit

185kWh/m² errechnet wurde liegt näher beim gemessenen Wert. Der Unterschied beträgt nur mehr 20 kWh/m², also nur mehr ca. die Hälfte von der Abweichung vom HEB_Norm. Wird für den gemessenen Wert eine Obergrenze der Messungenauigkeit von +5 % angesetzt und die Untergrenze der Streuung der Nutzerkenngrößen von -2 % berücksichtigt, so ergibt sich eine Abweichung von nur mehr 8 kWh/m².

a) saniert Gas

Beim sanierten Fall ist die Übereinstimmung des gerechneten HEV_Mittelwert_FB mit dem HEV_gemessen (Objekt 1) recht hoch. In Zahlen ausgedrückt ergibt sich ein HEV_Mittelwert_FB von 95 kWh/m² und ein HEV_gemessen von 100kWh/m², dass ergibt einen Unterschied von 5 kWh/m². Im Gegensatz dazu weicht der HEB_Norm (121 kWh/m²) vom gemessenen HEV mit 21 kWh/m² ab.

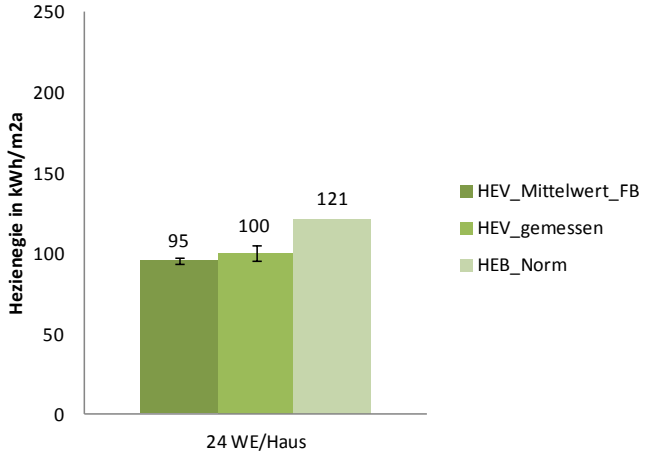


Abbildung 30: Gegenüberstellung des Heizenergiebedarfes und des Heizenergieverbrauches für sanierte Gebäude mit Gastherme und mit 24 Wohneinheiten (Objekt 1)

Bei der Betrachtung der prozentuellen Verbesserung der Heizenergie, lässt sich erkennen, dass diese beim HEV_Mittelwert_FB im Mittel 48 % ist und somit größer, als beim tatsächlichen HEV_gemessen (Objekt 1) mit 40 %. Auch im Falle des HEB_Norm ist die Einsparung mit 45 % größer, als bei HEV_gemessen.

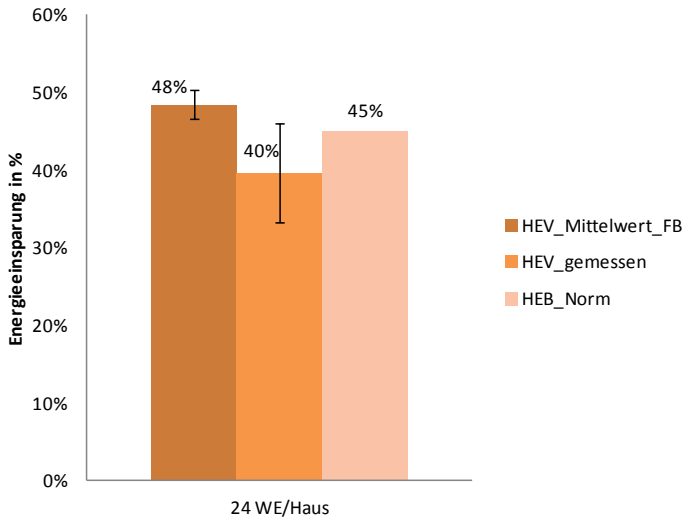


Abbildung 31: Prozentuelle Verbesserung des Heizenergieverbrauches und -bedarfes nach Sanierung eines Gebäudes mit 24 Wohneinheiten (Objekt 1)

In diesem Kapitel wurde gezeigt, dass durch das Ansetzen eines angepassten Benutzerprofils für den Heizenergieverbrauch, die tatsächliche Einsparung nicht erreicht wird. Sie ist um 8 % höher. Die gerechnete Einsparung ist sogar höher als beim Ansetzen des Normnutzungsprofils.

9.2.2 Heizenergieverbrauch – Gebäude mit Fernwärme

Der Heizenergieverbrauch wird beim ausgewählten Gebäude (Objekt 17) exklusive des Warmwasserverbrauches gerechnet, da dieser auch bei den tatsächlichen Verbrauchswerten ohne dieses gemessen wurde.

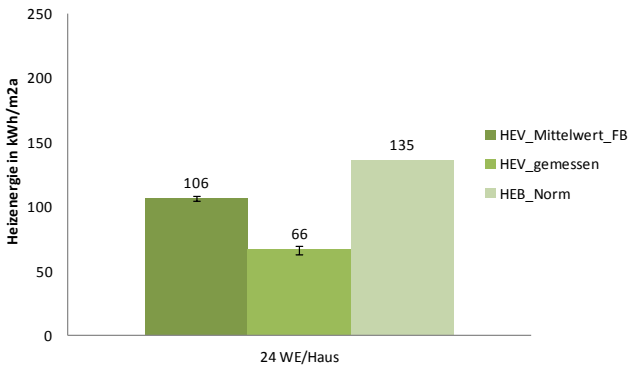


Abbildung 32: Gegenüberstellung des Heizenergiebedarfes und des Heizenergieverbrauches für sanierte Gebäude mit Fernwärme und mit 24 Wohneinheiten pro Haus

Der mit dem angepassten Nutzungsprofil errechneter HEV_Mittelwert_FB mit 106 kWh/m² ist höher als der tatsächlich gemessene Wert (Objekt 17) mit 66 kWh/m², aber niedriger als der mit dem Normnutzungsprofil berechneter Heizenergiebedarf von 135 kWh/m². Die Auswirkung der Streuung des Nutzungsverhaltens auf den Heizenergieverbrauch ist bei diesem Objekt ca. 2 %.

10 Schlussfolgerung

Die Auswertung der Befragung hat gezeigt, dass der thermische Gebäudezustand einen Einfluss auf das Lüftungsverhalten der Bewohner hat. In unsanierten Gebäuden wird im Mittel etwa doppelt so viel gelüftet wie in Sanierten. Auch konnte beobachtet werden, dass die Raumtemperatur von der Art der Energieversorgung abhängt. Die Bewohner der Gebäude mit Fernwärme haben im Mittel um ca. 1,5 K höhere Innenraumtemperaturen, im Vergleich zu jenen in den Gebäuden mit Gastherme. Der aus dem Fragebogen abgeleitete Warmwasserverbrauch weist gebäudeunabhängig einen um 15 Wh/m²d höheren Wert, als in der Norm (35 Wh/m²d) vorgeschrieben ist, auf. Um beim Nutzerverhalten aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten, ist eine größere Stichprobe empfehlenswert.

Das Heranziehen des erhobenen Nutzungsprofils für die Verbrauchsermittlung hat gezeigt, dass bei Gebäuden mit Gastherme der berechnete Heizenergieverbrauch dem Gemessenen angenähert werden kann. Der Unterschied beträgt im Mittel bei der unsanierten Variante 20 kWh/m² und bei der Sanierten 5 kWh/m². Im Vergleich dazu ergeben sich beim Heizenergiebedarf mit Normnutzungsprofil Abweichungen im unsanierten Fall von 56 kWh/m² und im sanierten Fall von 21 kWh/m². Beim sanierten Objekt mit Fernwärme beträgt die Abweichung des rechnerischen vom tatsächlichen Verbrauch 40 kWh/m².

Die Gegenüberstellung der Energieeinsparungen beim untersuchten Objekt mit Gastherme zeigt, dass diese, trotz der unterschiedlichen absoluten Verbrauchs- und Bedarfswerte der Heizenergie, nur geringfügig voneinander abweichen. Die Energieeinsparung mit dem angepassten Nutzungsprofil liegt bei 48 %, mit dem Normnutzungsprofil bei 45 % und die tatsächliche Energieeinsparung bei 40 %. Im Vergleich dazu hat Gegenüberstellung des Heizwärmeverbrauches und Heizwärmebedarfes in Kapitel 6 gezeigt, dass die Energieeinsparung stark voneinander abweicht. Die berechnete beträgt 61 % und die tatsächliche Einsparung 37 %. Das

zeigt, dass die Heizenergie eine bessere Abschätzung für die Energieeinsparung liefert, als die Heizwärme.

Schlussendlich kann gefolgert werden, dass das Nutzerverhalten von der thermischen Gebäudequalität und der Heiztechnik abhängig ist. Es hat somit eine Auswirkung auf den errechneten Verbrauch. Allerdings hat das Nutzerverhalten keinen großen Einfluss auf die Energieeinsparung. Relevant ist jedoch, ob die Heizwärme oder die Heizenergie zur Beurteilung der Energieeinsparung herangezogen wird.

11 Zusammenfassung

Bei thermisch sanierten Gebäuden zeigt sich in der Praxis oft eine Abweichung hinsichtlich des Heizwärmebedarfes zwischen der errechneten und der tatsächlichen Energieeinsparung. Dieser Diskrepanz können viele Ursachen zugrunde liegen. Eine davon ist das Nutzungsprofil. In der vorliegenden Arbeit war das Ziel, zu beantworten: Gibt es Unterschiede bei den benutzerspezifischen Kenngrößen in Abhängigkeit der thermischen Gebäudehülle und der Heiztechnik? Welche Auswirkungen haben diese möglichen Unterschiede auf den Energieverbrauch und daraus resultierend auf die Energieeinsparung?
Es wurden Studien und Normen zu diesem Themenkomplex angeführt und berücksichtigt. [MAA95] [OST15] [EHO06] [SOF09]

Für die Erfassung des Nutzerverhaltens wurden Bewohner von Wohnhausanlagen in Wien mittels Fragebögen befragt. Hierbei wurden Gebäude vor, sowie nach der thermischen Sanierung einbezogen. Weiters wurden sowohl Gebäude mit Gastherme, als auch mit Fernwärme herangezogen.

Die Auswertung der gesammelten Daten hat ergeben, dass in unsanierten Gebäuden durchschnittlich etwa doppelt so viel gelüftet wird, wie in Sanierten. Auch konnte festgestellt werden, dass die Raumtemperatur in Gebäuden mit Fernwärme um ca. 1,5 K höher ist, im Vergleich zu jenen mit Gastherme. Die Ergebnisse der Felsmannstudie [CLE13] bezüglich der höheren Raumtemperaturen bei Gebäuden mit hoher energetischer Qualität konnten teilweise bestätigt werden.

Die erhobenen benutzerspezifischen Parameter wurden für die Berechnung der Heizenergie herangezogen. Der so ermittelte Heizenergieverbrauch konnte, sowohl bei der sanierten, als auch bei der unsanierten Variante dem Gemessenen angenähert werden. Es konnte festgestellt werden, dass das Nutzerverhalten nur geringe Auswirkung auf die Energieeinsparung hat. Relevant ist jedoch, ob zur Beurteilung der thermischen Qualität des Gebäudes die Energieeinsparung bezogen auf Heizwärmebedarf (61 %) oder auf Heizenergiebedarf (48 %) herangezogen wird.

12 Literaturverzeichnis

[ENE99] "Energieausweis", Sachverständigenbeirat. 1999. Leitfaden für die Berechnung von Energiekennzahlen. Wien : s.n., März 1999. Nummer OIB-382-010/99.

[ASC01] Aschemann-Plishofer Birgit. 2001. Wie erstelle ich einen Fragebogen? *Ein Leitfaden für die Praxis.* Graz : s.n., 2001.

[DÖR11] Dörn Markus. 2011. Vergleich von Verbrauchsdaten mit Bedarfsberechnung für den Energieeinsatz bei Einfamilienhäusern. Wien : s.n., 2011.

[EHO06] Ehorn Hans. 2006. *Zur Genauigkeit der Bewertungsmethoden von Energieausweisen für bestehende Wohngebäude.* s.l. : Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2006.

[ENI08] EN ISO 13790. 2008. Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung. 2008. 2009-10-01.

[CLE13] Felsmann Clemens, Schmidt Juliane. Januar2013. Auswirkungen der verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität. Dresden : s.n., Januar2013.

[KÜN06] Künzel Helmut. 2006. Fensterlüftung und Raumklima. *Grundlagen, Ausführungshinweise, Rechtsfragen.* Stuttgart : Fraunhofer IRB, 2006.

[LUT02] Lutz, Jenisch, Klopfer, Freymuth, Krampf, Petzold. 2002. *Lehrbuch der Bauphysik - Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand und Klima.* Stuttgart : Teubner, 2002.

[MAA95] Maas Anton. 1995. *Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels.* Kassel : s.n., 1995.

[MAA13] Maas Anton, Höttges Kirsten. 2013. Nutzenergiebedarfe für Heizen und Kühlen nach neuer DIN V 18599. *Bauphysik.* 2013, Bauphysik 35 (2013), Heft 3.

[NAD05] Nadler, Norbert. 2005. Zur Personenwärme bei der Kühllastberechnung nach VDI 2078. Oranienburg : s.n., 2005.

[NEU12] Neunteufel Roman. 2012. Wasserverbrauch und Wasserbedarf. *Auswertung empirischer Daten zum Wasserverbrauch.* Wien : s.n., 2012.

[ÖNO02] ÖNORM B 1800. 2002. Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken. 2002. 2002-01-01.

[ÖNO12] ÖNORM B 8110-3. 2012. Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung . 2012. 2012-03-15.

[ÖNO111] ÖNORM B 8110-5. 2011. Wärmeschutz im Hochbau. *Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile.* 2011. 2011-03-01.

[ÖNO07] ÖNORM B 8110-6. 2007-07-01. Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6 Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. 2007-07-01. 2007-08-01.

[ÖNO112] ÖNORM H 5056. 2011. Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. *Heiztechnik-Energiebedarf.* 2011. 2011-03-01.

[ORF08] 2008. orf.at. [Online] 16. 10 2008. http://oesv1.orf.at/stories/315157.

[OST15] Osterhage Tanja, Calì Davide, Streblow Rita, Mülle Dirk. 2015. Ergebnisse einer energetischen Sanierung: Abweichung zwischen Energiebedarf und Verbrauch – ist nur der Nutzer Schuld? *Bauphysik.* 2015, Bauphysik 37 (2015), Heft 2.

[OIB11] Österreichisches Institut für Bautechnik. 2011. Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. Wien : s.n., 2011. 2011 Dezember.

[OIB111] —. 2011. OIB - Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz. 2011. Oktober 2011.

[PÖH12] Pöhn Christian, Pech Anton, Bednar Thomas, Streicher Wolfgang. 2012. *Bauphysik - Erweiterung 1, Energieeinsparung und Wärmeschutz Energieausweis - Gesamtenergieeffizienz.* Wien : Springer, 2012.

[PUT13] Putschögl Martin. 2013. *http://derstandard.at.* [Online] 20. 2 2013. [Zitat vom: 23. 02 2014.] http://derstandard.at/1361240582729/Stadt-Wien-baut-Sanierungsfoerderung-um.

[RIC10] Riccabona Christof, Bednar Thomas. 2010. *Baukonstruktionslehre 4.* Wien : Manz, 2010.

[SOF09] Sofic Mario. 2009. Erhöhung der Anwendbarkeit vereinfchter Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden. Wien : s.n., 2009.

[STA13] Statistik Austria. 2013. Bevölkerungsstand. Wien : s.n., 2013.

[STA11] —. 2011. Modellierung des Stromverbrauches in den Privaten Haushalten Österreichs nach unterschiedlichen Verwendungszwecken. Wien : s.n., 2011.

[STI01] Stielfdorf Karin, Haider Rober, Unzeitig Ulla. 2001. Analyse des NutzerInnenverhaltens in Gebäuden mit Pilot und Demonstrationscharakter. Wien : s.n., 2001.

[STI15] Stipak Brian. 2015. http://web.pdx.edu/~stipakb. [Online] 2015. [Zitat vom: 25. 09 2015.] http://web.pdx.edu/~stipakb/download/PA551/boxplot.html.

[ENE08] trust, Energy saving. 2008. Measurement of Domestic Hot Water Consumption in Dwellings. UK : s.n., 2008.

[BAU13] Wiener Landtag. 2013. Bauordnung für Wien. Wien : s.n., 2013.

[WIK15] Wikipedia. 2015. https://de.wikipedia.org/. [Online] 09. 06 2015. [Zitat vom: 25. 09 2015.] https://de.wikipedia.org/wiki/Boxplot.

[ZAM12] Zentralanstalt für Meterologie und Geodynamik. 2012. *http://zamg.ac.at/.* [Online] 2012. [Zitat vom: 12. 06 2015.] http://zamg.ac.at/histalp/dataset/station/csv.php.

[ZUW09] ZUWOG. 2009. Arbeitsbehelfe für die Modernisierung für Passivhauskomponenten. *Arbeitsbehelf 5 - Fragebogen für die Evaluierung.* 2009.

Anhang A - Energieverbrauchsdaten Objekt 1-21

Objekt Nummer	durchgehende Heizsaison VOR Sanierung	Energieverbrauch VOR Sanierung [MWh]	Energieträger	durchgehende Heizsaison NACH Sanierung	Energieverbrauch NACH Sanierung [MWh]	BGF [m2]	Energieverbrauch VOR Sanierung [kWh/m2]	Energieverbrauch NACH Sanierung [kWh/m2]
1	2006	252,99	Gas	2008	152,89	1533	165,03	99,73
2	2006	308,40	Gas	2008	205,80	2377,35	129,72	86,57
3	2005	283,93	Gas	2007	176,33	2045,18	138,83	86,22
4	2006	171,25	Gas	2008	95,91	934,54	183,25	102,63
5	2006	149,74	Gas	2008	80,74	699,26	214,14	115,46
6	2004	892,77	Gas	2006	525,95	6061,464	147,29	86,77
7	2005	165,77	Gas	2007	100,95	1259,39	131,63	80,16
8	2003	1.066,54	Gas	2005	864,81	8258,976	129,14	104,71
9	2006	215,41	Gas	2008	139,23	1397,69	154,12	99,61
10	2003	205,38	Gas	2005	142,15	1390,56	147,70	102,23
11	2006	200,77	Gas	2008	157,10	1363,43	147,25	115,22
12	2005	188,11	Gas	2007	107,15	1824,84	103,08	58,72
13	2006	419,08	Gas	2008	316,82	3199,79	130,97	99,01
14	2004	205,97	Gas	2006	126,91	1619,964	127,14	78,34
15	2006	1.434,85	Gas	2009	1.043,08	17293,55	82,97	60,32
16	2005	1.544,94	Fernwärme	2007	1.058,19	11890,86	129,93	88,99
17	2003	349,91	Fernwärme	2005	246,23	3716,4	94,15	66,25
18	2005	184,37	Fernwärme	2007	83,50	1430,844	128,85	58,36
19	2004	480,30	Fernwärme	2006	357,26	3087,252	155,58	115,72
20	2003	478,43	Fernwärme	2005	369,80	4610,196	103,78	80,21
21	2005	239,00	Gas (Zentrale)	2007	181,97	1500,744	159,25	121,25

Abbildung 33: Energieverbrauchsdaten von Objekt 1-21

Anhang B - Fragebogen sanierte Gebäude

B.1 Wohnzufriedenheit

1.1 Wenn Sie Ihre Wohnsituation mit Schulnoten (1 sehr gut bis 5 nicht genügend) beurteilen, wie zufrieden sind Sie? (entsprechende Schulnote ankreuzen)

	1	2	3	4	5
mit Ihrer Wohnung allgemein	☐	☐	☐	☐	☐
mit dem Wohnhaus/der Wohnanlage	☐	☐	☐	☐	☐
mit der Wohnumgebung	☐	☐	☐	☐	☐
mit der Hausverwaltung	☐	☐	☐	☐	☐
mit der Bearbeitung von Beschwerden und Problemen	☐	☐	☐	☐	☐
mit Wartung und Reinigung	☐	☐	☐	☐	☐

1.2 Gibt es etwas, womit Sie besonders zufrieden oder unzufrieden sind?

unzufrieden: _____

_____

zufrieden: _____

_____

B.2 Energieeinsparung

2.1 Wenn Sie die Heizkostenabrechnung vor der Sanierung, mit der nach der Sanierung vergleichen, wie hoch ist etwa die Einsparung?
Bitte nur ankreuzen, wenn Sie vor der Sanierung in dem Wohnhaus gewohnt haben

- ☐ enorm hoch, mehr als 60 - 80% geringere Kosten
- ☐ sehr gut, zwischen 40 – 60% geringere Kosten
- ☐ eher moderat, etwa 20 – 40% geringere Kosten
- ☐ kaum eine Einsparung ±10 – 20%
- ☐ Heizkostenabrechung ist höher als vor der Sanierung
- ☐ Ich weiß nicht

2.2 Wie wichtig sind für Sie geringe Energiekosten?

☐ sehr wichtig ☐ wichtig ☐ nicht so wichtig ☐ unbedeutend

B.3 Raumklima und Raumtemperatur

3.1 Haben Sie einen Raumtemperatur-Thermometer in der Wohnung?

☐ ja ☐ nein

3.2 Wieviel Grad hat es bei Ihnen in der Wohnung, im Winter, wenn jemand zuhause ist?

Tagsüber: geschätzt _____°C gemessen _____°C

Nachts: geschätzt _____°C gemessen _____°C

3.3 Welches Heizsystem ist in Ihrer Wohnung vorhanden?

☐ Gas (Zentral) ☐ Gastherme ☐ Fernwärme ☐ Heizölofen ☐ Elektroheizung

3.4 Wenn Sie eine Gastherme (Gasetagenheizung) besitzen, geben Sie bitte das Baujahr an.

Baujahr Gastherme: _____

3.5 Wie regeln Sie die Raumtemperatur über die Heizanlage im Winter und welche Temperatur oder Stufe ist im Durchschnitt im Winter bei Anwesenheit der Bewohner eingestellt?

☐ Zentraler Raumthermostat _____°C

☐ Zentraler Raumthermostat mit digitaler Temperaturanzeige _____°C

☐ Außentemperatur-Fühler mit Gastherme gekoppelt _____°C

☐ Elektronischer Thermostatventil am Heizkörper _____°C

☐ Mechanischer Thermostatventil am Heizkörper — Stufe _____ von _____

☐ Regler am Heizkörper und Temperatursteurung über zentrales Panel — _____°C

☐ Temperatur lässt sich nicht regeln

3.6 Reduzieren Sie die Temperatur, in der Nacht für einen angenehmen Schlaf?

☐ nein ☐ ja , auf _____°C ☐ ja , auf Stufe _____

3.7 Ist Ihr Temperaturregler (z.B.: Thermostat oder Thermostatventil) programmierbar?

☐ ja ☐ nein ☐ weiß ich nicht

3.8 Wenn Ihr Temperaturregler programmierbar ist, benutzen Sie diese Funktion?

☐ ja ☐ nein

3.9 Reduzieren Sie die Temperatur in der Wohnung, wenn Sie in die Arbeit fahren oder tagsüber nicht zuhause sind?

☐ nein ☐ ja , auf _____°C ☐ ja , auf Stufe _____

3.10 Liegen die Leitungen der Heizkörper frei?

☐ ja ☐ nein

3.11 Wieviel Grad hat es bei Ihnen in der Wohnung im Sommer?

Tagsüber: geschätzt _____°C gemessen _____°C

Nachts: geschätzt _____°C gemessen _____°C

3 Finden Sie die Temperatur angenehm in der Wohnung?

im Sommer:	☐ ja	☐ nein
im Winter:	☐ ja	☐ nein

Wenn nein, warum nicht? _____

_____

B.4 Fensterlüftung

4.1 Wie viele Fenster hat Ihre Wohnung?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 oder mehr

4.2 Wie Lüften Sie im Durchschnitt an einem gewöhnlichen Tag, wenn Sie tagsüber zuhause sind?

Im Winter	Kippen	_____mal/Tag	_____ Stk./mal	_____ Minuten/mal
	vollständig öffnen	_____mal/Tag	_____ Stk./mal	_____ Minuten/mal
Im Sommer	Kippen	_____mal/Tag	_____ Stk./mal	_____ Stunen/mal
	vollständig öffnen	_____mal/Tag	_____ Stk./mal	_____Stunden/mal

4.3 Wie ist der Fensterzustand?

☐ Dicht ☐ Eher dicht ☐ Eher undicht ☐ undicht ☐ weiß ich nicht

4.4 Kippen Sie die Fenster wenn Sie tagsüber nicht zuhause sind?

Im Winter	☐ Ja, immer	☐ ja, wenn es nicht regnet oder schneit	☐ nein
Im Sommer	☐ Ja, immer	☐ ja, wenn es nicht regnet	☐ nein

4.5 Wieviele Fenster lassen Sie gekippt, wenn Sie die vorige Frage mit „ja“ beantwortet haben?

Im Winter _____ Stk

Im Sommer _____ Stk

4.6 Wieviele Fenster lassen Sie für einen angenehmen Schlaf in der ganzen Nacht gekippt?

Im Winter _____ Stk

Im Sommer _____ Stk

4.7 Wieviele Fenster lassen Sie für einen angenehmen Schlaf in der ganzen Nacht geöffnet?

Im Sommer _____ Stk

4.8 Wird in der Wohnung geraucht?

☐ regelmäßig ☐ manchmal ☐ nein

4.9 Wohnen Sie in einer ruhigen oder in einer lauten Gegend?

☐ Sehr ruhig ☐ ruhig ☐ mittel ☐ laut ☐ Sehr laut

4.10 Haben Sie Schimmel in der Wohnung? Wenn ja, ich welchem Raum?

☐ nein ☐ Ja, im/in _____

B.5 Zur Wohnung

5.1 Größe Ihrer Wohnung?

_____m²

5.2 Bitte Zutreffendes ankreuzen.

☐ MieterIn ☐ EigentümerIn ☐ Wohngenossenschaft ☐ WG

5.3 Sind die Heizkosten in der Miete inkludiert oder zahlen Sie die Heizkostenrechnung extra?

☐ In der Miete inkludiert ☐ Zahle die Heizkosten extra

5.4 Haben Sie vor der Sanierung in dem Wohnhaus gewohnt?

☐ ja ☐ Nein, bin im Jahr _____ eingezogen

5.5 Wieviele Stunden sind Sie, im Durchschnitt an einem gewöhnlichen Tag, in der Wohnung?

	Montag. bis Freitag	Samstag und Sonntag
Person 1 (Sie)	_____ Stunden von 24h	_____ Stunden von 24h
Person 2	_____ Stunden von 24h	_____ Stunden von 24h
Person 3	_____ Stunden von 24h	_____ Stunden von 24h
Person 4	_____ Stunden von 24h	_____ Stunden von 24h

5.6 Wie oft sind Sie auf Reisen im Winter?

	Alle gemeinsam	Person 1 (Sie) alleine	Person 2 alleine	Person 3 alleine	Person 4 alleine	
Winterurlaub (Wochen)	_____	_____	_____	_____	_____	Wochen

Wochenendreise im Winter (Stk)	_____	_____	_____	_____	_____	Stück
Dienstreise im Winter (Tage)	_____	_____	_____	_____	_____	Tage
Sonstiges im Winter (Tage)	_____	_____	_____	_____	_____	Tage

5.7 Wieviele Wochen sind Sie im Jahr in der Wohnung? (1 Jahr=52 Wochen)

_____ Wochen

B.6 Zur Person

6.1 Bitte geben Sie das Alter, Beruf und höchste abgeschlossene Ausbildung der Bewohner an.

	Alter	Geschlecht „m“ oder „w“	Beruf	Höchste abgeschlossene Ausbildung
Person 1 (Sie)	_____	_____	_____	_____
Person 2	_____	_____	_____	_____
Person 3	_____	_____	_____	_____
Person 4	_____	_____	_____	_____

6.2 Wie hoch ist Ihr derzeitiges Haushalts-Netto-Einkommen pro Monat?

- ☐ Unter € 600,-
- ☐ € 600,- bis unter € 1000,-
- ☐ € 1000,- bis unter € 2000,-
- ☐ € 3000,- bis unter € 4000,-
- ☐ € 4000,- bis unter €5000
- ☐ Über €5000,-

B.7 Warmwasserbedarf

7.1 Wie oft nehmen Sie eine Dusche oder ein Bad zuhause pro Woche?
Bitte kreuzen Sie eine Antwort pro Person an. (Mehrfachnennungen möglich)

Person 1 (Sie)

☐ Dusche Häufigkeit: _____ pro Woche Zeit _____ Minuten/Dusche

☐ Bad Häufigkeit: _____ pro Woche ☐ voll ☐ halbvoll

Person 2

☐ Dusche Häufigkeit: _____ pro Woche Zeit _____ Minuten/Dusche

☐ Bad Häufigkeit: _____ pro Woche ☐ voll ☐ halbvoll

Person 3

☐ Dusche Häufigkeit: _____ pro Woche Zeit _____ Minuten/Dusche

☐ Bad Häufigkeit: _____ pro Woche ☐ voll ☐ halbvoll

Person 4

☐ Dusche Häufigkeit: _____ pro Woche Zeit _____ Minuten/Dusche

☐ Bad Häufigkeit: _____ pro Woche ☐ voll ☐ halbvoll

7.2 Wie oft wird das Geschirr mit der Hand mit Warmwasser abgewaschen?

Fließwasser: ☐ 1 mal in der Woche ☐ 2-3 mal in der Woche ☐ Täglich ☐ seltener ☐ Nie

und

Spülbecken: ☐ 1 mal in der Woche ☐ 2-3 mal in der Woche ☐ Täglich ☐ seltener ☐ Nie

7.3 Wie oft waschen Sie die Wäsche mit der Hand mit Warmwasser?

☐ 1 mal in der Woche ☐ 2-3 mal im Monat ☐ seltener ☐ Nie

B.8 Wohnkomfort

8.1 Werden Sie durch Geräusche von Nachbarn in Ihrer Wohnung gestört?

☐ Ja häufig ☐ Gelegentlich ☐ Selten ☐ Nie

8.2 Wie ist die Luftfeuchtigkeit in der Wohnung nach der Sanierung?

☐ Viel besser ☐ Eher besser ☐ Ungefähr gleich gut ☐ Schlechter ☐ Viel schlechter

8.3 Wie ist die Raumtemperatur in der Wohnung nach der Sanierung?

☐ Viel wärmer ☐ Wenig wärmer ☐ Ungefähr gleich warm ☐ Kälter ☐ Viel kälter

8.4 Ist in der Wohnung nach der Sanierung angenehmer als vor der Sanierung?

☐ Viel besser ☐ Eher besser ☐ Ungefähr gleich gut ☐ Schlecht er ☐ Viel schlechter

Wir bedanken uns für die Zusammenarbeit und für Ihre Kooperation!

Bitte legen Sie den Fragebogen in das beigelegte Kuvert und retournieren Sie es bis spätestens **13. September 2013.** Bei Postsendung entstehen Ihnen keine Portokosten, oder legen Sie ihn einfach in die **Fragebogenbox,** diese wird von uns am **13. September 2013** abgeholt. Für Rückfragen stehen wir jederzeit unter folgenden Kontakten zu Verfügung.
TU Wien Betreuer: Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Azra Korjenic. email: azra.korjenic@tuwien.ac.at
Diplomand: Erik Horvath, email ahorvatherik@gmail.com

Anhang C - Technische Daten - Objekt 1

Objekt 1 (Bauteil 1und Bauteil 2+3)

Haustechnik: Gastherme

Ort: Wien

Seehöhe: 210m

	Bauteil 1	Bauteil 2+3	Summe Bauteil1 und Bauteil 2+3	
Brutto-Grundfläche BGF	672	860	1532	m2
Volumen	2078	2676	4754	m3
Gebäudehüllfläche	1166	1534	2700	m2
Transmissionsleitwert VOR Sanierung	1197,42	1597	2794,42	W/K
Transmissionsleitwert NACH Sanierung	460	620	1080	W/K

	Bauteil 1	Bauteil 2+3	Mittelwert Bauteil1 und Bauteil 2+3	
Heizwärmebedarf VOR Sanierung	148,61	155,44	152,03	kWh/m2
Heizwärmebedarf NACH Sanierung	57,89	61,6	59,75	kWh/m2

Orientierung der Fenster	Ost	57%
	West	43%

Anhang D - Technische Daten - Objekt 17

Objekt 17 (Bauteil 1und Bauteil 2+3)

Haustechnik: Gastherme

Ort: Wien

	Bauteil 1	
Brutto-Grundfläche BGF	3421,55	m2
Volumen	10007	m3
Gebäudehüllfläche	4185,68	m2
Transmissionsleitwert VOR Sanierung	5463,99	W/K
Transmissionsleitwert NACH Sanierung	2262,32	W/K

	Bauteil 1	
Heizwärmebedarf VOR Sanierung	132,05	kWh/m2
Heizwärmebedarf NACH Sanierung	54,66	kWh/m2

Orientierung der Fenster	Süd	11%
	Ost	54%
	West	0,213
	Nord	0,133