

Datenerhebung und Analyse der Heizenergieeffizienz mit Smart Home Technologien

Tobias Rehm¹, Thorsten Schneiders², Frank Scholzen³

¹ Technische Hochschule Köln, Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln, Deutschland, +49 221 8275 2417, tobias.rehm@th-koeln.de, www.th-koeln.de

² Technische Hochschule Köln, Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln, Deutschland, +49 221 8275 2335, thorsten.schneiders@th-koeln.de, www.th-koeln.de

³ Universität Luxemburg, 6, rue Richard Coudenhove-Kalergi, L-1359 Luxemburg, Luxemburg, +352 46 66 44 5636, frank.scholzen@uni.lu, www.uni.lu

Kurzfassung: In der Heizperiode 2023/2024 wurden im Rahmen eines empirischen Anwendungstests 14 Mietwohnungen in einem Mehrfamilienhaus mit Smart Home Thermostaten ausgestattet. Die vorliegende Arbeit analysiert anhand der von den smarten Thermostaten erfassten Messdaten zu Temperatur-Niveau, Soll-Ist-Vergleiche der Raumtemperaturen und die Heizleistung (Ventilöffnung) am Heizkörper. Durch statistische Auswertungen konnten Kennzahlen abgeleitet und das Heizverhalten der Haushalte bewertet werden. Neben den Daten der intelligenten Thermostate wurden auch die monatlichen Heizenergieverbräuche der einzelnen Wohnungen analysiert und kategorisiert, was ein Benchmarking der Verbräuche innerhalb des Gebäudes ermöglichte. Zukünftige Arbeiten werden die Korrelation weiterer Parameter des Heizverhaltens und -verbrauchs sowie die Untersuchung von Langzeiteffekten beinhalten. Übergeordnetes Ziel ist es, die Heizenergieeffizienz zu steigern, indem den Mietenden durch die Auswertung digitaler Daten ein Feedback zu ihrem Heizverhalten und -verbrauch gegeben wird.

Keywords: Heizenergieeffizienz, Smart Home Thermostate, Anwendungstest, Mietwohnungen, Heizenergieverbrauch, Feedback

1 Einleitung

In Zeiten des Klimawandels und steigender Energiepreise ist es wichtig, den eigenen Energieverbrauch zu kennen und zu wissen, wie dieser effizient und nachhaltig genutzt werden kann. Diese Aspekte sind in der aktuellen Gesetzgebung, der europäischen Energieeffizienzrichtlinie (EED) [1] und in der nationalen Umsetzung in Deutschland der Heizkostenverordnung (HKVO) [2] bereits teilweise gesetzlich geregelt. Dabei soll durch die Erfassung von Verbrauchsdaten und unterjährige Verbrauchsabrechnungen eine transparente Informationsbereitstellung realisiert verbessert werden. Diese Verordnung verpflichtet u. a. die Dienstleister der Immobilienwirtschaft, den Mietenden in Deutschland ab dem 01.01.2022 eine monatliche Rückmeldung über den Energieverbrauch (Heizung und Warmwasser) zu geben. Dies wird auch als unterjährige Verbrauchsinformation (kurz UVI) bezeichnet. Bisher erhalten die Mietenden nur eine Jahresabrechnung, die keine direkten Rückschlüsse auf das Heizverhalten zulässt.

In diesem Zusammenhang wird die Sensibilisierung der Nutzenden für den Energieverbrauch immer wichtiger. Gerade der Wärmebereich im Haushaltssektor spielt bei der Energiewende

eine große Rolle. Die meisten Emissionen in Deutschland werden durch Raumwärme und Warmwasser verursacht. Der Sektor private Haushalte hat einen Anteil von ca. 26% am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland, davon entfallen allein ca. 70% auf die Raumwärme [3].

Mit der zunehmenden Digitalisierung des Energiesektors gibt es mehr technische Möglichkeiten, den Energieverbrauch der Nutzenden zu messen und zu beeinflussen. So können beispielsweise Smart Home Thermostate eingesetzt werden, um die Raumtemperatur intelligent zu steuern und Heizenergie einzusparen. Diverse Studien [4–6] haben gezeigt, dass durch den sachgerechten Einsatz von smarten Thermostaten Einsparpotenziale bis zu 16% und über 30% erreichbar sind. Dies gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die Thermostate auch entsprechend den Vorgaben bewusst zur Energieeinsparung eingesetzt werden.

Das Forschungsprojekt „*Smart User Interfaces*“ untersucht erstmalig im Rahmen eines empirischen Anwendungstest den Nutzen von Smart Home Thermostaten in Verbindung mit Feedback zum Heizenergieverbrauch. Dabei werden reale Mietswohnungen mit diverser Mess- und Steuerungstechnik ausgestattet.

Diese Studie befasst sich mit der Messdatenerfassung von smarten Thermostaten und der Entwicklung von Auswertelogiken zur Bewertung des Heizverhaltens. Ziel ist die Klassifizierung von Haushalten in verschiedene Heiztypen, um Hinweise auf Einsparpotentiale beim Heizenergieverbrauch zu erhalten und Optimierungsmöglichkeiten, insbesondere bei Fehlverhalten, abzuleiten. Perspektivisch ist geplant, den Mietenden ein indirektes Feedback zur Verbesserung ihres Heizenergieverbrauchs zu geben. Damit wird ein Beitrag zur Steigerung der Heizenergieeffizienz in Mietswohnungen geleistet.

2 Methodik

2.1 Untersuchungsdesign für den Anwendungstest

Bei dem Untersuchungsdesign für das Projekt „*Smart User Interfaces*“ handelt es sich um eine experimentelle Studie, die in einer nicht kontrollierten Umgebung (Mietswohnungen) stattfindet. In der folgenden Abbildung 1 ist das Untersuchungsdesign für den Anwendungstest als Blockdiagramm dargestellt.

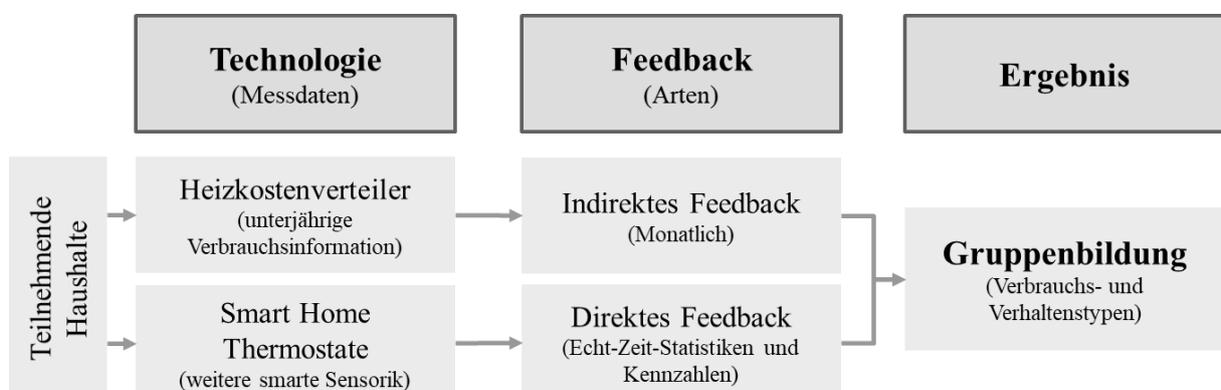


Abbildung 1: Schematische Darstellung Untersuchungsdesign

Dabei sind unter den eingesetzten Technologien die unterjährige Verbrauchsinformation (UVI), welche die monatlichen Verbrauchsdaten als indirektes Feedback zur Verfügung stellt. Daraus können die Verbrauchsdaten der jeweiligen Wohnungen kategorisiert werden. Weitere Technologien wie Smart Home Thermostate und CO₂-Sensoren erfassen Daten zum Heizverhalten, darunter z. B. eingestellte oder gemessene Raumtemperaturen sowie Ventilstellungen. Auf Grundlage dieser Messdaten werden Kennzahlen zum Heizverhalten erstellt, die den teilnehmenden Haushalten als Feedback durch unterschiedliche Medien zur Verfügung gestellt werden. Diese Feedbacks sollen eine positive Änderung des Energieverbrauchs erzielen. Die Auswertung beinhaltet die Korrelation des Heizverhaltens mit dem raumspezifischen Verbrauch der Wohnung. Das Ziel ist es, die Mietenden durch die entwickelten Kennzahlen und Auswertungen in spezifische Kategorien zum Verbrauchs- und Heizverhalten einzuteilen (siehe Abbildung 1 Gruppenbildung).

Der Beitrag dieser Arbeit ist die Heizenergieeffizienz in Mietswohnungen durch den Einsatz von Smart Home Thermostaten und weiterer Sensorik zu steigern. Folgende Forschungsfrage soll dabei beantwortet werden: *Wie können Daten von Smart Home Thermostaten und der Heizenergieverbrauch sinnvoll ausgewertet werden, um fundierte Erkenntnisse für ein Nutzerfeedback zur Steigerung der Heizenergieeffizienz zu erhalten?*

2.2 Vorstellung des Anwendungstests

In diesem Abschnitt werden die spezifischen Rahmenbedingungen und Datengrundlagen zum Gebäude und der eingesetzten Technik für den Anwendungstest erläutert. Tabelle 1 zeigt die allgemeinen und energetischen Kenndaten, wie z. B. die Heizenergieverbräuche zum Mehrfamilienhaus.

Tabelle 1: Allgemeine und Energetische Kenndaten zum Mehrfamilienhaus

Allgemeine Informationen	
Gebäudetyp:	Mehrfamilienhochhaus
Standort:	Nordrhein-Westphalen (NRW)
Baujahr:	1966 (mit sanierter Gebäudehülle)
Anzahl Wohneinheiten:	28 (davon 50% mit Smart Home Thermostaten ausgestattet)
Ø Fläche pro Wohneinheit:	69,32 m ²
Heizung:	Erdgas Zentralheizung + Warmwasser (Baujahr 2006)
Heizenergieverbrauch:	93,55 kWh/m ² a (2021) 80,36 kWh/m ² a (2022)

Die historischen Heizenergieverbräuche liegen zwischen den Effizienzklassen C und D gemäß Gebäudeenergiegesetz [7]. Diesen Effizienzklassen kann der prozentual größte Anteil an Mehrfamilienhäusern (MFH) zuordnen werden [8]. Das ausgewählte Gebäude repräsentiert somit einen Großteil der MFH im Gebäudebestand in Deutschland.

Bei dem Gebäudetyp des Mehrfamilienhauses handelt es sich um ein Hochhaus. Abbildung 2 zeigt schematisch den Aufbau des Gebäudes, dabei sind alle sieben Geschosse gleich

aufgebaut und verteilt. Davon haben die äußeren Wohnungen eine Wohnfläche von 75,52 m² (Drei-Zimmer-Wohnung) und die inneren Wohnungen eine Wohnfläche von 63,12 m² (Zwei-Zimmer-Wohnung). Dadurch ergibt sich eine gute Vergleichbarkeit in der Ausstattung der Wohnungen und Einflüsse wie z. B. die Außentemperatur oder technische Störungen verhalten sich jeweils für äußere und innere Wohnungen gleich.

Lage der ausgestatteten Wohnungen im Gebäude

Etage	Links (75,52 m ²)	Links-Mitte (63,12 m ²)	Rechts-Mitte (63,12 m ²)	Rechts (75,52 m ²)
7	5 SHT			
6	5 SHT			
5	4 SHT	4 SHT		5 SHT
4	5 SHT			5 SHT
3	5 SHT	4 SHT		4 SHT
2	4 SHT	4 SHT		5 SHT
1	4 SHT			

Ausgestattet Nicht ausgestattet

Abbildung 2: Schematische Darstellung des ausgestatteten Mehrfamilienhauses mit Angabe der Lage, Fläche und Anzahl der Smart Home Thermostate (SHT) pro Wohnung

Im Gebäude konnten 14 von 28 Wohnungen mit smarten Thermostaten¹ und teilweise mit weiteren Multisensoren² ausgestattet werden. Mögliche Gründe für die Nichtteilnahme an der Studie sind Sprachbarrieren sowie mangelndes Interesse an der Thematik. Die Haushalte, die sich zur Teilnahme an der Studie bereit erklärt haben, konnten nahezu vollständig mit Smart Home Thermostaten an Heizkörpern ausgestattet werden. Nur vereinzelt konnten Thermostate aufgrund baulicher Einschränkungen (z. B. durch Möbel) nicht installiert werden. Insgesamt wurden 63 Smarte Thermostate installiert, die alle 20 Minuten Informationen über den Status der Heizkörper senden (siehe Tabelle 2).

Die Installation und das Onboarding wurde gemeinsam vom Forschungsteam und dem Hersteller der smarten Thermostate durchgeführt. In den ausgestatteten Haushalten konnten auch sozio-demographische Haushaltsparemeter erhoben werden. Nachfolgend ist der schematische Aufbau des Gebäudes dargestellt. Die Lage der ausgestatteten Wohnungen mit Angabe der Etage sowie die Anzahl der Smart Home Thermostate (SHT) sind darin aufgezeigt (siehe Abbildung 2).

¹ In der Liegenschaft wurden den Mietenden Smart Home Thermostate inkl. App der Firma *tado° GmbH* zur Verfügung gestellt

² LoRaWAN: CO₂-, Temperatur-, Feuchte-, Licht- und Bewegungssensor (PIR)

2.3 Datenerhebung durch Smart Home Technologien

Seit der Installation im Oktober 2023 werden kontinuierlich Daten aus den Wohnungen übertragen. In der folgenden Tabelle 2 sind die erfassten Messwerte der Smart Home Thermostate sowie die unterjährigen Verbrauchsinformationen aufgelistet. Über eine REST-API³ ist es möglich, die erfassten Daten der Smart Home Thermostate zu sammeln und in weiterer Folge auszuwerten. Die API ermöglicht einen Datenabruf alle 20 Minuten.

Tabelle 2: Aufgezeichnete Mess-Zeitreihen durch Smart Home Thermostate (SHT) und unterjähriger Verbrauchsinformation (UVI)

Parameter	Einheit
Gemessene Temperatur am Heizkörper (SHT) (Ist-Temperatur)	[°C]
Eingestellte Temperatur am Heizkörper (SHT) (Soll- /Ziel-Temperatur)	[°C]
Ventilstellung (SHT) (Öffnungsgrad des Heizkörperventils für den Durchfluss von Warmwasser)	[%]
Relative Luftfeuchtigkeit (SHT) (Schimmelerkennung)	[%]
Heizenergieverbrauch (UVI) (monatlicher Verbrauch Heizung und Warmwasser)	[kWh/Monat]

3 Ergebnisse

Im Zentrum der dieser Arbeit steht die Auswertung und Analyse der Messdaten, die aus Verbrauchsdaten der unterjährigen Verbrauchsinformation, der Smart Home Thermostate und weitere Sensorik zusammengetragen werden. Die Analyse dieser Messdaten ermöglicht es erstmals Rückschlüsse auf das Heizverhalten anhand realer Verbräuche zu ziehen. Weiterhin soll das Heiz- und Verbrauchsverhalten anhand spezifischer Indikatoren kategorisiert werden. Datengrundlage sind die Daten des Erhebungsmonats Dezember 2023.

3.1 Bewertung der Temperatur-Niveaus (Soll- und Ist)

In diesem Abschnitt werden die Temperaturniveaus der Soll- und Ist-Temperaturen, die von Smart Home Thermostaten erfasst werden, näher betrachtet. Die Soll-Temperaturen sind die vom Nutzenden am Thermostat oder in der App eingestellten Raumtemperaturen, während die Ist-Temperaturen den vom Thermostat am Heizkörper gemessenen Raumtemperaturen entsprechen. Die Analyse dieser beiden Datenpunkte über die Zeit ermöglicht die Untersuchung des Heizverhaltens.

Die folgende Abbildung 3 zeigt die Soll- und Ist-Temperaturen für den Monat Dezember 2023 in Clustern nach ihrer Häufigkeit. Die meisten gemessenen und eingestellten Temperaturen

³ Im Kontext Smart Home kann eine REST-API (Representational State Transfer Application Programming Inter-face) verwendet werden, um die Interaktion zwischen der Smart Home-Plattform und anderen Anwendungen oder Diensten zu ermöglichen und Daten auszutauschen.

liegen zwischen 18-20°C. Außerdem ist zu erkennen, dass mehr als die Hälfte der Soll-Temperaturen unter 14°C eingestellt sind, was darauf hinweist, dass diese Räume nicht beheizt werden.

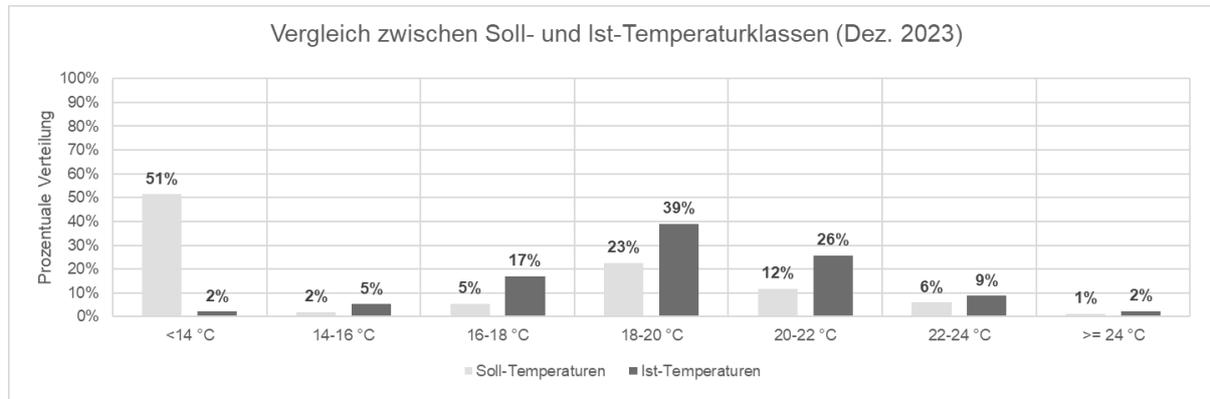


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Soll- und Ist-Temperatur Niveaus

Auf der anderen Seite zeigt Abbildung 3, dass die gemessenen Ist-Temperaturen zum größten Teil zwischen 18-20°C liegen. Dies wird auch ersichtlich aus der Tabelle 3. Dort erfolgt die Einstufung der Temperatur-Niveaus über das arithmetische Mittel der Soll- und Ist-Temperaturen der jeweiligen Wohnungen. Es wurden drei Bereiche definiert (*hoch*, *mittel* und *niedrig*). Die Temperaturgrenzen basieren auf einem Vergleich verschiedener Quellen für empfohlene Raumtemperaturen [9–11]. Die Grenzwerte sowie die prozentualen Anteile der ausgestatteten Wohnungen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Bewertung der durchschnittlichen Temperatur-Niveaus (Dez.2023) der ausgestatteten Wohnungen (n=14)

Heizverhalten (Einordnung)	Grenzwerte		Ist-Temperatur (Anzahl Wohnungen)	Soll-Temperatur (Anzahl Wohnungen)
	von	bis		
Hoch	>20,5°C	-	3	3
Mittel	>=18°C	<=20,5°C	7	6
Niedrig	<18°C	-	7	5

Als weiterer Kennwert wurde die Schwankungsbreite der Temperaturen mit Hilfe der Standardabweichung für jede Wohnung ermittelt. Die Analyse der Standardabweichung erlaubt Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit und Gleichmäßigkeit des Heizverhaltens. In der folgenden Tabelle 4 sind die Grenzwerte für die Einstufung des Heizverhaltens angegeben. Eine niedrige Standardabweichung entspricht einer geringen Varianz der Daten und damit geringen Temperaturschwankungen. Eine hohe Standardabweichung, d. h. eine hohe Abweichung vom Mittelwert, steht hingegen für eine hohe Varianz und Streuung der Temperaturen.

Tabelle 4: Bewertung der Temperatur-Schwankungen mittels Standardabweichung

Heizverhalten (Einordnung)	Standardabweichung		Ist-Temperatur (Anzahl Wohnungen)	Soll-Temperatur (Anzahl Wohnungen)
	von	bis		
Schwankend	>2	-	2	4
Moderat	>=0,8	<=2	11	7
Konstant	<0,8	-	1	3

Die Einstufung der Wohnungen nach Standardabweichung in Tabelle 4 zeigt, dass der Anteil der Ist-Temperaturen überwiegend als *moderat* bis *konstant* eingestuft wird, was für ein gleichmäßiges Temperaturniveau spricht. Lediglich zwei der Wohnungen weisen eine *schwankende* Ist-Temperatur auf, was wiederum ein Indikator für sprunghafte Temperaturveränderungen und z. B. häufiges Lüften sein könnte.

Die eingestellten Soll-Temperaturen schwanken deutlich stärker, was auf eine häufige Änderung der Raumtemperaturen zurückzuführen ist. Dies kann auf manuelle Bedienung oder auf die Verwendung von Zeitplänen (Planprofil) zurückzuführen sein. Das konstante Heizverhalten der Solltemperatur spricht für ein Durchheizprofil. Hier werden Einsparungen z. B. durch den Einsatz von Zeitplänen vermutet.

3.2 Soll-Ist-Vergleich (Offset)

Zusätzlich wurde die Abweichung zwischen Soll- und Ist-Temperatur analysiert, die Aufschluss über das Regelverhalten der smarten Thermostatventile gibt. Bei dem Vergleich der beiden Datenwerte wurden nur Sollwerte größer oder gleich 16°C berücksichtigt, die einem Heizbetrieb entsprechen. Die Differenz zwischen Soll- und Ist-Temperatur wird im Folgenden als *Offset* bezeichnet. Zur Berechnung werden die mittleren Soll- und Ist-Temperaturen pro Wohnung subtrahiert (siehe Formel 1).

$$T_{\text{Offset}} = T_{\text{avg,Soll}} - T_{\text{avg,Ist}} \quad (1)$$

$T_{\text{avg,Soll}}$: durchschnittliche eingestellte Soll-Temperatur [°C]

$T_{\text{avg,Ist}}$: durchschnittliche gemessene Ist-Temperatur [°C]

Ist der *Offset* negativ, deutet dies auf eine Übersteuerung bzw. Überheizung des Raumes hin. Gründe hierfür können z. B. interne oder externe Wärmequellen sein. Ist der *Offset* hingegen positiv, kann dies bedeuten, dass der Raum nicht ausreichend beheizt wird. Gründe hierfür könnten z. B. Dauerlüften sein. Bis auf eine Ausnahme sind alle Offset-Werte negativ und haben eine geringe Abweichung, was für ein gutes Regelverhalten der Thermostate spricht. In einem Fall konnte ein deutlich zu hoher Kennwert von 2,7 K ermittelt werden, was möglicherweise auf ein dauerhaft geöffnetes Fenster hinweist und die eingestellte Soll-Temperatur nicht erreicht werden kann. Im weiteren Verlauf des Projekts soll dieser Fall noch weiterverfolgt und auf räumlicher Ebene analysiert werden.

3.3 Heizleistungen (Ventilöffnungen)

Die Heizleistung ist die vom Smart Home Thermostat erfasste Ventilstellung bzw. Ventilöffnung am Heizkörper (Messung von 0 bis 100%). Dieser kann als Hilfsmittel herangezogen werden, um festzustellen, in welchem Raum die meiste Heizenergie verbraucht wird. Das Diagramm in Abbildung 4 zeigt die prozentuale Verteilung der Räume, in denen am meisten geheizt wird. Die Daten beziehen sich auf alle ausgestatteten Wohnungen im Testgebäude. Raumtypen wie z. B. Kinderzimmer wurden dem Raumtyp Schlafzimmer zugeordnet. Im Kreisdiagramm ist gut zu erkennen, dass die Räume Wohn- und Schlafzimmer am meisten beheizt werden und Bad und Küche einen geringen Anteil haben. Letzteres ist wahrscheinlich auf die geringen Nutzungszeiten zurückzuschließen. Dieses Heizverhalten wird auch während der Projektlaufzeit weiter beobachtet.

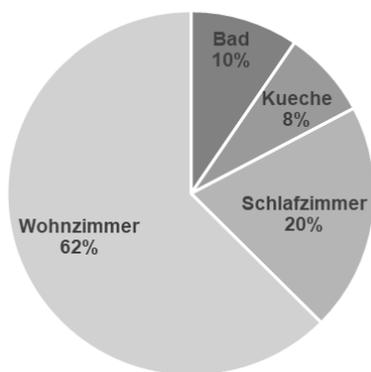


Abbildung 4: Verteilung der SHT-Heizleistungen (Ventilöffnungen) nach Raumtypen aller Wohnungen (n=14)

Die folgende Abbildung 5 zeigt eine Heatmap aller Wohnungen nach Raumtypen. Auch hier ist gut zu erkennen, dass das Wohnzimmer der am meisten beheizte Raum ist. Die Lücken in der Abbildung sind darauf zurückzuführen, dass nicht alle Wohnungen mit der gleichen Anzahl an smarten Thermostaten ausgestattet sind. Die Heatmap basiert auf der Summe aller Heizleistungen (Ventilstellungen) für den Monat Dezember 2023. Zu beachten ist, dass aufgrund des Übertragungsintervall der Smart Home Thermostate (alle 20 Minuten) nur der aktuelle Zustandswert übertragen wird. Ventilbewegungen innerhalb des Zeitraums werden nicht erfasst.

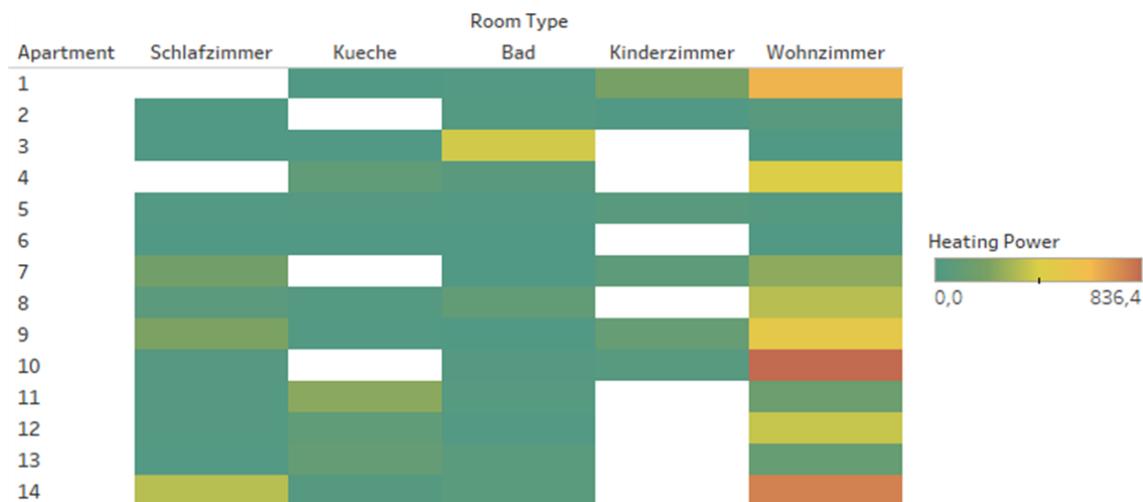


Abbildung 5: Heatmap der summierten Heizleistungen (Ventilöffnungen) mit Wohnungen vertikal nach Raumtypen

3.4 Heizenergieverbrauch (Verbrauchsverhalten)

Das vorliegende Sankey-Diagramm (siehe Abbildung 6) zeigt den Heizenergieverbrauch des siebengeschossigen Gebäudes mit insgesamt 28 Wohnungen für den Monat Dezember 2023. Die grafische Darstellung ermöglicht eine detaillierte Analyse des spezifischen Energieverbrauchs in Kilowattstunden pro Etage sowie für jede einzelne Wohnung.

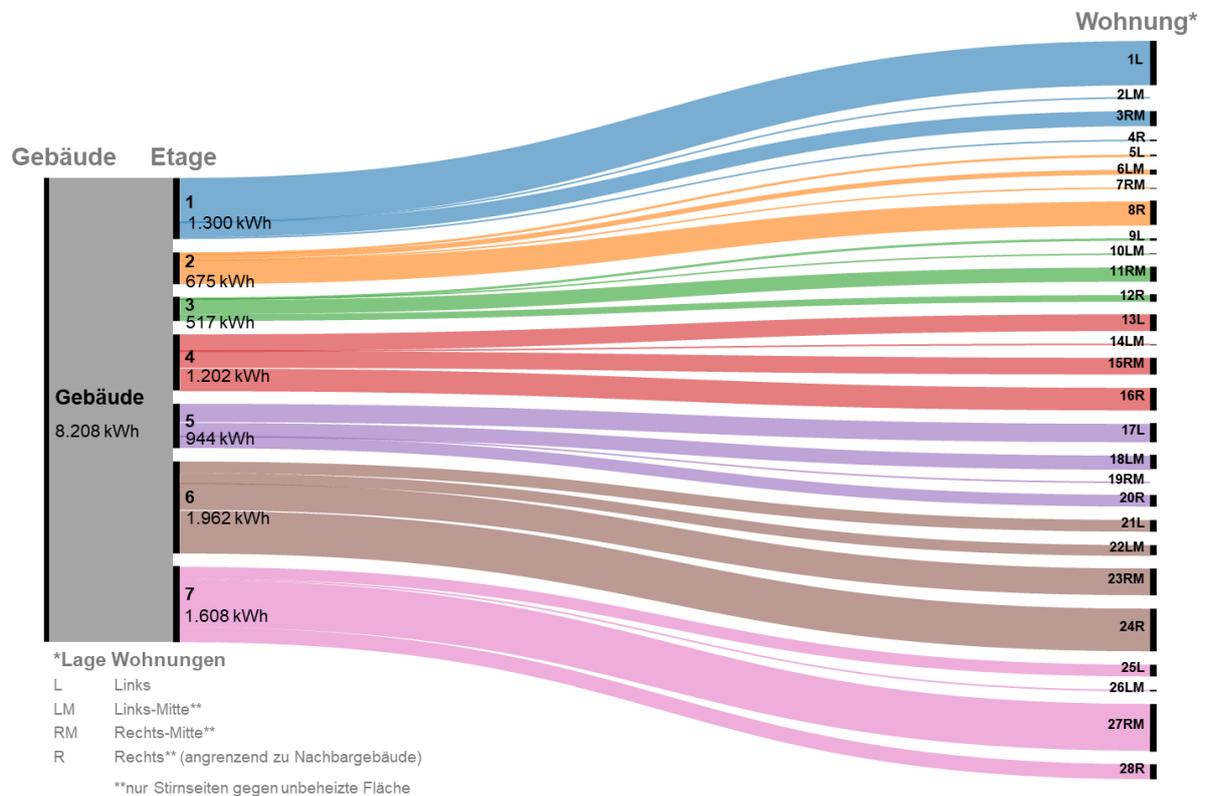


Abbildung 6: Heizenergieverbrauch Dezember 2023 nach Etage und Wohnungen (erstellt mit RAWGraphs [12])

Die vertikale Ausrichtung des Diagramms stellt die Etagen des Gebäudes dar, während die horizontalen Verbindungslinien den Energiefluss zwischen den einzelnen Wohnungen veranschaulichen. Durch die farbliche Differenzierung der Linien werden die einzelnen Wohnungen und ihre jeweiligen Verbrauchsmengen deutlich sichtbar.

Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit, die Energieverbräuche der einzelnen Wohnungen und Etagen miteinander zu vergleichen. Die Lage der Wohnungen ist ebenfalls in die Darstellung integriert, so dass erkennbar ist, welche der Wohnungen überwiegend innen liegen bzw. an unbeheizte Außenflächen grenzen. Es ist zu erkennen, dass die Wohnungen *1 Links*, *27 Rechts-Mitte* und *24 Rechts* den höchsten Heizenergieverbrauch aufweisen. Somit hat die Lage der Wohnung keinen direkten Einfluss auf den Verbrauch und es wird vermutet, dass dieser durch das individuelle Heizverhalten verursacht wird.

Um den Heizenergieverbrauch einer Wohnung weitgehend unabhängig von der Wohnungsgröße zu bewerten, wird der normierte flächenbezogene Verbrauchswert nach *VDI 2077 Blatt 3.5* verwendet [13]. Dieser ist der Quotient aus flächenbezogenem Verbrauchswert v_j und dem Mittelwert der flächenbezogenen Verbrauchswerte aller Wohneinheiten \bar{v} , siehe Formel 2 und 3.

$$\hat{v}_j = \frac{v_j}{\bar{v}} \quad (2)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n v_j \quad (3)$$

\hat{v}_j : normierter Verbrauchswert [-]

v_j : Flächenbezogener Verbrauchswert je Wohneinheit [kWh/m²]

\bar{v} : Mittelwert der flächenbezogenen Verbrauchswerte der Wohneinheiten [kWh/m²]

n: Anzahl der Wohnungen

Diese Normalisierung ermöglicht einen Vergleich des Energieverbrauchs zwischen verschiedenen Wohnungen unabhängig von ihrer Größe. Ein normierter flächenbezogener Verbrauchswert \hat{v}_j von beispielsweise größer 1 gibt an, dass die betreffende Wohneinheit bezogen auf die beheizte Fläche mehr Heizenergie benötigt als der Durchschnitt aller Wohneinheiten im betrachteten Gebäude. Damit ergibt sich eine Kennzahl zur vergleichenden Darstellung einzelner Wohnungen im Gesamtgebäude. Daraus werden fünf Heiztypen anhand unterschiedlicher Grenzwerte des \hat{v}_j gebildet (siehe Tabelle 5 in Anlehnung an [14]).

Tabelle 5: Heiztypen nach normierten Flächenbezogenen Verbrauchswert und Verteilung für Dezember 2023

Heiztypen (nach [14])	Grenzwerte von	\hat{v}_j bis	Verteilung in Testgebäude (Dezember 2023)
Nicht-Heizer	>=0	<0,2	32%
Sparfüchse	>=0,2	<0,5	7%
Normal-Verbraucher	>=0,5	<1,5	39%
Viel-Verbraucher	>=1,5	<2,5	11%
Power-User	>=2,5	-	11%

Auffällig ist, dass in 32% der Wohnungen keine oder nur eine geringfügige Heizung in Betrieb hat, während der größte Anteil, nämlich 39%, einen als normal einzustufenden Energieverbrauch aufweisen. Des Weiteren wurden insgesamt 22% der Fälle mit überdurchschnittlichem Energieverbrauch eingestuft.

Beim Vergleich der Verbräuche zwischen Wohnungen mit und ohne Smart Home Ausstattung konnte ein durchschnittlicher Mehrverbrauch von ca. 10% für den Monat Dezember 2023 ohne Ausstattung festgestellt werden. Dabei sind Leerstände von Wohnungen berücksichtigt worden und flossen nicht in die Berechnung ein. Um diesen Sachverhalt genauer zu untersuchen, sind jedoch weitere Langzeitbeobachtungen notwendig.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden verschiedene Messdaten von Smart Home Thermostaten an Heizkörpern eines realen Gebäudes im Kontext des Heizverhaltens analysiert. In einem Mehrfamilienhaus mit 28 Mietwohnungen konnten 14 Wohnungen nahezu vollständig mit Smart Home Thermostaten ausgestattet werden. Dabei sind erste Auswertungen der Messdaten und Klassifizierungen des Heizverhaltens vorgenommen worden. Folgende Parameter wurden näher untersucht:

- Bewertung der Temperatur-Niveaus
- Soll-Ist-Vergleich (Offset) der Raumtemperaturen
- Heizleistung (Ventilöffnungen am Heizkörper)
- Heizenergieverbrauch (Verhaltensverhalten)

Durch die Analyse der durchschnittlichen Temperaturen pro Wohnung konnte eine Bewertung des Temperatur-Niveaus vorgenommen werden. Ebenso wurden die Schwankungen anhand der Standardabweichung bewertet, was auch Rückschlüsse auf das Heizverhalten (Durchheizprofil oder Planheizprofil) zulässt. Eine weitere Analyse der Temperaturen auf Raumebene wird in Folgearbeiten verfolgt.

Die Ermittlung des Offsets zwischen Soll- und Ist-Temperatur hat gezeigt, dass die Regelung der Thermostate gut funktioniert und im Zweifelsfall auf ein Fehlverhalten (dauerhaft geöffnete Fenster) hinweist. Dies ist im weiteren Verlauf zu plausibilisieren.

Durch die Betrachtung der Heizleistung (Ventilöffnungen) der smarten Thermostate konnten Tendenzen für die Verteilung des Wärmeverbrauchs erkannt werden. So können grobe Aussagen darüber getroffen werden, in welchem Raum der Wohnung am meisten geheizt wird. Es ist jedoch anzumerken, dass die Messintervalle alle 20 Minuten für eine genaue Bestimmung der Verteilung nicht ausreichen. Zur Validierung sollen zukünftig weitere Vergleiche mit realen Verbrauchsdaten durchgeführt werden.

Der Heizenergieverbrauch der untersuchten Wohnungen wurde mit Hilfe des normierten flächenbezogenen Verbrauchswertes kategorisiert. Damit ist ein Benchmarking jeder einzelnen Wohnung zum arithmetischen Mittel aller Wohnungen möglich. Im nächsten Schritt sollen die Kennwerte des Heizverhaltens mit dem Verbrauch korreliert werden. Des Weiteren sollen Langzeiteffekte untersucht werden, da sich die Ergebnisse dieser Arbeit auf Messwerte für den Monat Dezember 2023 beziehen. Weitere Aspekte, die berücksichtigt werden sollen, sind auch externe Faktoren wie die Außentemperaturen, die Lage der Wohnung (Anteil an der Außenfläche) sowie auch die aktive Nutzung von Smart Home Automation (Zeitpläne, Ortungsdienste, etc.). Aus möglichen Abhängigkeiten zwischen Verbrauch und Verhalten soll in weiteren Schritten des Forschungsprojektes [Smart User Interfaces](#) das Feedback für die Mietenden abgeleitet und visualisiert werden. Übergeordnetes Ziel ist es, den Mietenden ein besseres Verständnis für ihr Heizverhalten aufzuzeigen und sie bei der Steigerung der Heizenergieeffizienz zu unterstützen.

Danksagung

Wir danken dem Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie (MWIKE) des Landes Nordrhein-Westfalen (DE) für die Förderung dieses Projektes (Förderkennzeichen: EFO/0150B).

5 Referenzen

- [1] European Council. "Rat und Parlament erzielen Einigung über Energieeffizienz-Richtlinie." Zugriff am: 30. Oktober 2023. [Online.] Verfügbar: <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2023/03/10/council-and-parliament-strike-deal-on-energy-efficiency-directive/>
- [2] Bundesamt für Justiz. "HeizkostenV - Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten." Zugriff am: 30. Oktober 2023. [Online.] Verfügbar: <https://www.gesetze-im-internet.de/heizkostenv/BJNR002610981.html>
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Hg., "Energieeffizienz in Zahlen: Entwicklungen und Trends in Deutschland 2019," 2019.
- [4] S. Schlitzberger, "Studie zum Energieeinsparpotenzial durch den Einsatz von elektronischen Thermostaten," 2016.
- [5] V. Grinewitschus, "Temperaturen runter, Gebäudeeffizienz hoch," *Haufe*, 30. September 2021. Zugriff am: 12. Juni 2022. [Online.] Verfügbar: https://www.haufe.de/immobilien/wohnungswirtschaft/baltbest-effizienz-von-heisanlagen_260_552050.html
- [6] T. Schneiders, T. Rehm, C. Strohm und M. Deimel, "Smart Home Field Test – Investigation of Heating Energy Savings in Residential Buildings," in *2018 7th International Energy and Sustainability Conference (IESC): 17-18 May 2018*, Cologne, 2018, S. 1–8, doi: 10.1109/IESC.2018.8439985.
- [7] Bundesministerium der Justiz (BMJ). "Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden* (Gebäudeenergiegesetz - GEG): Anlage 10 (zu § 86) Energieeffizienzklassen von Wohngebäuden." Zugriff am: 5. September 2023.
- [8] K. Lennerts und T. Kropp, "Energieeinsparpotenzial (Bereich Wärme) für Mieter durch den Einsatz Smarter Heizkörperthermostate: Fallstudie," *2194-1629*, 2023. doi: 10.5445/IR/1000157856. [Online]. Verfügbar unter: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000157856>
- [9] Umweltbundesamt. "Richtiges Heizen schützt das Klima und den Geldbeutel." Zugriff am: 30. Oktober 2023. [Online.] Verfügbar: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizen-raumtemperatur#gewusst-wie>
- [10] Verbraucherzentrale NRW e.V. "Heizung optimieren und Heizkosten sparen | Verbraucherzentrale.de." Zugriff am: 30. Oktober 2023. [Online.] Verfügbar: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/heizung-optimieren-und-heizkosten-sparen-30096>
- [11] Verivox GmbH. "Optimale Raumtemperatur – Überall die ideale Temperatur | VERIVOX." Zugriff am: 30. Oktober 2023. [Online.] Verfügbar: <https://www.verivox.de/gas/themen/raumtemperatur/>
- [12] M. Mauri, T. Elli, G. Caviglia, G. Uboldi und M. Azzi, "RAWGraphs," in *Proceedings of the 12th Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter*, Cagliari Italy, F. Paterno, Hg., 2017, S. 1–5, doi: 10.1145/3125571.3125585.
- [13] *VDI 2077 Blatt 3.5: Verbrauchskostenabrechnung für die technische Gebäudeausrüstung*, VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., Mai. 2018.
- [14] V. Grinewitschus, H. Kubitzka, K. Fransen und S. Jurkschat, "BaltBest - Einfluss der Betriebsführung auf die Effizienz von Heizungsanlagen im Bestand: Abschlussbericht," 2022.