



Mehrfamilienhaus der GWG Reutlingen vor (links) und nach der Fassadensanierung. Foto: HBG

Analyse der Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen bei Mehrfamilienhäusern

Energy Performance Gap

Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle erfordern hohe Investitionen. Gerade für kommunale Wohnungsunternehmen, die sozial verträgliche Mieten gewährleisten, ist es wichtig, dass in der Folge der Raumwärmeverbrauch zurückgeht. Ein Fallbeispiel zeigt, inwiefern das in der Praxis gelingt und wie sich gebäudeindividuelle Unterschiede bei sehr ähnlichen Gebäuden auf die Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahmen auswirken.

Im Dezember 2023 haben sich die Beteiligten der Trilog-Verhandlungen (EU-Kommission, -Parlament und Mitgliedsstaaten) darauf geeinigt, dass der Primärenergieverbrauch von Wohngebäuden bis 2030 um mindestens 16 % beziehungsweise bis 2035 um 20 bis 22 % sinken soll, wobei 55 % der Einsparungen durch die Sanierung der energetisch schlechtesten Gebäude erreicht werden sollen [1]. In den vergangenen zehn Jahren blieb der Raumwärmeverbrauch im deutschen Gebäudesektor witterungsbereinigt auf einem konstanten Niveau, bei einem Anstieg der Wohnfläche um rund 8 %. Mehrfamilienhäuser (MFH) nehmen am deutschen Wohngebäudebestand einen Anteil von etwa 40 %, bezogen auf die Wohnfläche, ein [2]. Mit rund 6,1 Millionen Wohnungen sind rund 27 % der Wohnungen in MFH im Eigentum von Wohnungsunternehmen oder -gesellschaften [2; 3]. Die energetischen Sanierungsmaßnahmen zur Senkung des Raumwärmeverbrauchs an diesen vermieteten MFH werden häufig an mehreren ähnlichen Gebäuden in gleicher Art und Weise durchgeführt. Somit sind Erkenntnisse über die Umsetzungseffizienz wertvoll, da sie in die Planung zukünftiger Sanierungsmaßnahmen miteinbezogen werden können.

Ziel der vorgestellten Analyse ist es, die Umsetzungseffizienz einer Sanierungsmaßnahme (Fassadensanierung) in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit für vier baugleiche MFH zu untersuchen. Die Umsetzungseffizienz kann durch die Bewertung der gebäudeindividuellen Energy Performance Gap, die die Differenz zwischen Prognose und Wirklichkeit bezüglich des im Voraus bestimmten Energiebedarfs und des realen Energieverbrauchs beschreibt [4; 5], untersucht werden. Bei baugleichen Gebäuden ist sie stark vom Nutzendenverhalten geprägt.

Anwendungsfall und Problemstellung

Die GWG – Wohnungsgesellschaft Reutlingen mbH ist Teil des Stadtkonzerns Reutlingen, der Gegenstand des „Real-labors Klima-RT-Lab“ ist. In diesem Projekt wird in fünf Handlungsfeldern der Weg des Stadtkonzerns zur Klimaneutralität begleitet und erforscht. Im Handlungsfeld „Gebäude“ kooperieren die GWG Reutlingen und das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart.

Die GWG Reutlingen betreibt über eine Tochtergesellschaft in einem Stadtteil ein eigenes Fernwärmenetz mit dem sie nahezu alle der dortigen Gebäude selbst mit Fernwärme versorgt. Ein verbreiteter Gebäudetyp in diesem Gebäudebestand sind MFH mit sechs Wohnungen, die zwischen 1960 und 1970 erbaut wurden (**Bild 1**).

Bei diesen Gebäuden wurden bereits einige Sanierungsmaßnahmen durchgeführt, wie zuletzt eine Fassadensanierung (Aufbringen zusätzlicher Dämmung) im Jahr 2020. Nach der Fassadensanierung konnte festgestellt werden, dass der Fernwärmeverbrauch nicht in dem Maße wie erwartet sank und sich die Veränderungen des Fernwärmeverbrauchs bei mehreren baugleichen Gebäuden merklich unterscheiden. Da das wesentliche Unterscheidungsmerkmal die in den Gebäuden lebenden Personen sind, die sich sowohl in ihrer Anzahl als auch ihren soziodemografischen Eigenschaften unterscheiden, ergibt sich die Fragestellung, welche Rolle das Nutzendenverhalten bei der Umsetzungseffizienz der Fassadensanierung spielt. Dabei ist das Nutzendenverhalten zwar ein wesentlicher, aber nicht der einzige Faktor, der die Umsetzungseffizienz einer Sanierungsmaßnahme beeinflusst, was im Folgenden erläutert wird.

Energy Performance Gap – Ursachen

Die Ursachen der Energy Performance Gap sind vielfältig. In einer Literaturanalyse wurden 33 Gründe für die Phasen Planung/Simulation, Bau und Inbetriebnahme sowie Betrieb identifiziert [4]. Darunter fallen beispielsweise falsche Annahmen, Überdimensionierung und ungeeignete Parameter bei Planung/Simulation; mangelnde Erfahrung/fehlendes Wissen, qualitativ schlechte Bauausführung und Materialfehler bei Bau und Inbetriebnahme sowie Nutzendenverhalten und Fehler in der Anlagensteuerung im Betrieb. Aufgrund ihrer Vielschichtigkeit kann die Energy Performance Gap nur schwer vollumfänglich bestimmt werden. Für die folgenden Betrachtungen bei den vier MFH der GWG Reutlingen wird nur die Phase Betrieb betrachtet.

Methodik und Datengrundlage

Berechnung der eingesparten Raumwärmeenergie

Für jedes Gebäude liegen der Fernwärme- und Trinkwarmwasserverbrauch für die Jahre 2019 (vor der Sanierung), 2020 (während der Sanierung) und 2021 (nach der Sanierung) als Endenergiedaten vor. Aus der Differenz zwischen Fernwärme- und Trinkwarmwasserverbrauch ergibt sich der Raumwärmeverbrauch, woraus sich durch Berücksichtigung einer Witterungsberreinigung [6] und Nutzungsgraden für Fernwärmeübergabe und Wärmeverteilung die Zielgröße Raumwärme-Nutzenergie ergibt. Die jährliche Einsparung der Raumwärme-Nutzenergie ergibt sich aus der Differenz dieser Größe bezüglich 2019 und 2021.

Wirtschaftliche Bewertung

Ausgangspunkt für die wirtschaftliche Bewertung ist die jährliche Einsparung der Raumwärme-Nutzenergie in Verbindung mit dem Arbeitspreis der Fernwärme sowie die Investitionsausgaben für die Sanierung. Unter Anwendung der Kapitalwertmethode kann durch die Verrechnung der initialen Investitionsausgaben

Annahmen	
Kalkulationszinssatz [%]	3 ¹⁾
Betrachtungszeitraum [a]	40 ²⁾
Annuitätenfaktor	0,0433 ³⁾
Spezifische Investitionsausgaben (energiebedingte Mehrkosten, 16 cm Dämmung) [€/m ² _{Fassadenfläche}]	75,56 ⁴⁾
Preisänderungsrate Fernwärme [% p.a.]	
2020, 2021	0 ⁵⁾
2023	200 ⁶⁾
ab 2024	2 ⁷⁾
Rahmendaten	
Wohnfläche [m ²]	384
Fernwärmepreis (netto) – Arbeit und CO ₂ 2022 [Ct/kWh]	5,459 ⁶⁾

¹⁾ [7]; ²⁾ [8]; ³⁾ errechnet; ⁴⁾ [9]; ⁵⁾ Preis 2022 gegeben; ⁶⁾ Aussage GWG RT; ⁷⁾ Annahme
Tabelle 1 Annahmen und Rahmendaten für die wirtschaftliche Bewertung der Fassadensanierung.

mit den barwertigen jährlichen Kosteneinsparungen durch den sanierungsbedingten Rückgang der Raumwärme-Nutzenergie der Kapitalwert der Sanierungsmaßnahme berechnet werden. Weiterhin lässt sich die dynamische Amortisationsdauer berechnen. Neben diesen beiden absoluten und fallspezifischen Größen werden zudem die Gestehungskosten der eingesparten Raumwärmeenergie als Verhältnis von Kapitalwert und den barwertigen Einsparungen an Raumwärme-Nutzenergie über den Betrachtungszeitraum ermittelt. **Tabelle 1** zeigt die verwendeten Annahmen und die bekannten Rahmendaten.

Bei den Investitionsausgaben für die Fassadensanierung kann zwischen Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten unterschieden werden. Die Differenz entspricht den sogenannten Sowieso-Kosten, denen die Kostenbestandteile für die ohnehin erforderliche Instandsetzung der Fassade zugeordnet werden [10]. Für die wirtschaftliche Bewertung der Fassadensanierung werden als Investitionsausgaben nur die energiebedingten Mehrkosten herangezogen, da nur aus diesen die Energieeinsparung bei der Raumwärme-Nutzenergie resultiert.

Ergebnisse

Der Fokus der Ergebnisauswertung soll weniger auf der absoluten Energy Performance Gap liegen, sondern vielmehr auf den relativen Unterschieden zwischen den vier MFH. Daher wird die tatsächlich eingesparte Raumwärme-Nutzenergie betrachtet.

Um den Einfluss des Nutzendenverhaltens auf den Raumwärmeverbrauch nach einer Fassadendämmung zu untersuchen, wird neben dem spezifischen Raumwärmeverbrauch auch die Anzahl der Bewohnerinnen und Bewohner betrachtet (**Bild 2**).

Aus Bild 2 geht hervor, dass die Raumwärme-Nutzenergie-Einsparung umso größer ist, je höher der spezifische Raumwärmeverbrauch vor der Fassadensanierung war. Dies ist eine erwartbare Entwicklung, die auch unabhängig von der Bewohnerzahl gilt. Das unterschiedliche Nutzendenverhalten zeigt sich in zweierlei Hinsicht: Zum einen erfüllt MFH 2 die eben beschriebene Korrelation nicht. Die Umsetzungseffizienz der Sanie-

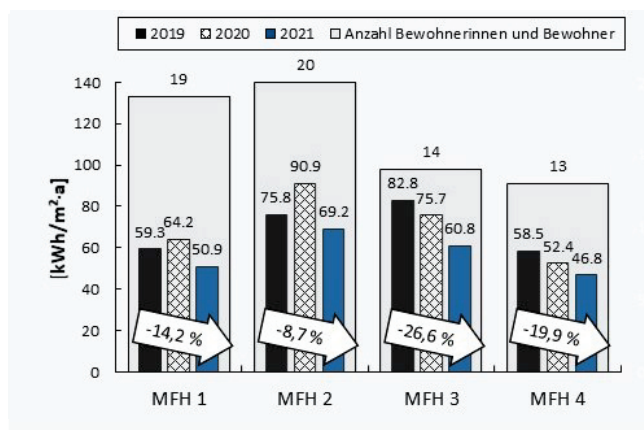


Bild 2 Spezifischer Nutzenergieverbrauch Raumwärme (witterungs-bereinigt) je Mehrfamilienhaus (MFH) vor, während und nach der Sanierung (eigene Darstellung).

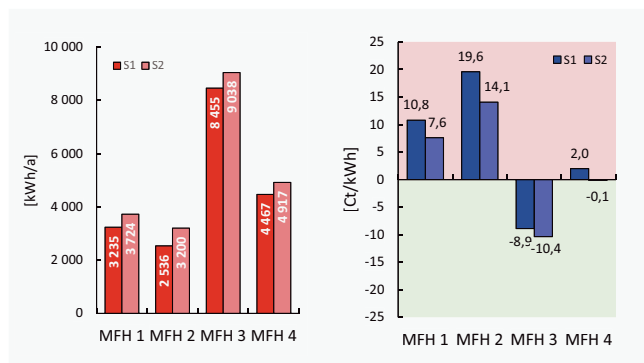


Bild 3 Mittlere jährliche Einsparung der Raumwärme-Nutzenergie (links) sowie Gesteungskosten der eingesparten Raumwärmeenergie der Fassadensanierung für zwei Szenarien (S1 und S2; siehe Tabelle 2; eigene Darstellung).

Szenario 1 (S1)	Szenario 2 (S2)
Konstanter Raumwärmeverbrauch über 40 Jahre, ausgehend vom ermittelten Wert für 2021	2021: ermittelter Raumwärmeverbrauch 2021
	2022: Raumwärmeverbrauch 2021, verringert um 5 % (Annahme für den Effekt an erhöhten Einsparbemühungen vor dem Hintergrund des Ukrainekriegs)
	Ab 2023: Mittelwert der Jahre 2021 und 2022, also um 2,5 % verringerter Raumwärmeverbrauch bezogen auf den Wert 2021

Tabelle 2 Charakterisierung der Szenarien für die Entwicklung der jährlichen Einsparung an Raumwärme-Nutzenergie nach Umsetzung der Fassadensanierung.

ring ist hier im Vergleich zu den anderen drei MFH deutlich schlechter und die Energy Performance Gap besonders groß. Zum anderen unterscheiden sich die absoluten Zahlen des spezifischen Raumwärmeverbrauchs, der sich bei baugleichen Gebäuden und gleichem Nutzendenverhalten nicht merklich unterscheiden dürfte. Da sich die einzelnen Bewohnerinnen und Bewohner nicht gleich verhalten, können aus der Wohnendenzahl keine korrelativen Rückschlüsse gezogen werden.

Betrachtet man den Einfluss des Nutzendenverhaltens auf die Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahme zur Fassadendämmung, ist die absolute Einsparung der Raumwärme-Nutzenergie entscheidend. Für diese und deren zukünftige Entwicklung über den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren werden zwei Szenarien betrachtet, die der Unsicherheit der Entwicklung des Jahres-Raumwärmeverbrauchs Rechnung tragen sollen und in **Tabelle 2** charakterisiert werden.

Die gemessenen Veränderungen des Raumwärmeverbrauchs bei den vier MFH zwischen 2019 und 2021 (vor und nach dem Jahr der Sanierung) unterscheiden sich deutlich.

Bild 3 (links) zeigt für Szenario 1 (S1) und Szenario 2 (S2) die mittlere, jährliche Einsparung der Raumwärme-Nutzenergie.

Die Unterschiede zwischen den MFH sind hier noch größer, da gilt: Je höher der spezifische Raumwärmeverbrauch vor der Sanierung, desto höher die prozentuale Raumwärmeeinsparung (Bild 2). Somit führt 1 % Raumwärmeeinsparung zu umso mehr absoluter Raumwärmeeinsparung, je höher der spezifische Raumwärmeverbrauch vor der Sanierung war. Vergleicht man MFH 2 und MFH 3, liegt ein Faktor 3,3 (S1) beziehungsweise 2,8 (S2) zwischen der absoluten jährlichen Einsparung an Raumwärme-Nutzenergie. Dies führt dazu, dass sich die Wirtschaftlichkeit bei den vier MFH erheblich unterscheidet (Bild 3, rechts). Die Wirtschaftlichkeit wird anhand der Gesteungskosten der eingesparten Raumwärmeenergie charakterisiert, die sich für eine Maßnahme zur Energieeinsparung nach Gleichung 1 in Anlehnung an [11] ergeben.

Gesteungskosten der eingesparten Raumwärmeenergie =

$$= \frac{\text{Kapitalwert}}{\text{barwertige Raumwärmeeinsparung}} = \frac{\text{Kapitalwert} \cdot \text{Annuitätenfaktor}}{-\text{jährliche Raumwärmeeinsparung}} \quad (1)$$

Unter Verwendung der in Tabelle 1 beschriebenen Daten ist die Fassadensanierung für beide Szenarien lediglich bei MFH 3 wirtschaftlich (Gesteungskosten der eingesparten Raumwärmeenergie <0). Die Wirtschaftlichkeitsschwelle liegt bei einer mittleren, jährlichen Raumwärmeeinsparung von etwa 4890 kWh (S1). Bei MFH 4 macht die Wahl des Szenarios einen Unterschied: In S2 mit der höheren mittleren, jährlichen Einsparung an Raumwärme-Nutzenergie wird die Wirtschaftlichkeitsschwelle gerade überschritten. Bei MFH 1 und MFH 2 sind die Sanierungsmaßnahmen eindeutig unwirtschaftlich, da die notwendige Einsparung an Raumwärme-Nutzenergie nicht erreicht wird.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass das unterschiedliche Nutzendenverhalten und mögliche weitere Einflussfaktoren auf die Energy Performance Gap die Wirtschaftlichkeit einer Fassadensanierung stark beeinflussen. Ist die erzielte Raumwärmeeinsparung zu gering, ergeben sich statt Kosteneinsparungen Mehrkosten, die sich bezogen auf die Kilowattstunde als positive Gesteungskosten der eingesparten Raumwärmeenergie ausdrücken. Somit ist zur Bewertung der Rolle des Nutzendenverhaltens bei mehreren vergleichbaren Gebäuden der relative Unterschied der Energy Performance Gap aussagekräftig. Für eine genauere Bestimmung der quantitativen Auswirkungen des Nutzendenverhaltens auf den Raumwärmeverbrauch müssten die einzelnen Wohneinheiten in

den MFH betrachtet werden. Dazu wäre eine Messung der Temperaturen in den Räumen und die Erfassung des Lüftungsverhaltens (zum Beispiel durch Ermittlung der Luftwechselrate) nötig.

Beim Fernwärmepreis müssen Annahmen oder Prognosen miteinbezogen werden, wobei die Berücksichtigung außergewöhnlicher Preisänderungsraten wie sie vor allem 2023 auftreten einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben. Die vier betrachteten MFH sind trotz der Unterschiede in einem ähnlichen energetischen Zustand. Eine bestimmte absolute jährliche Energieeinsparung an Raumwärme ließe sich bei Gebäuden in einem schlechteren energetischen Zustand deutlich leichter erreichen, da ein geringerer prozentualer Rückgang des Raumwärmeverbrauchs erforderlich wäre.

Zur Vermeidung unwirtschaftlicher Sanierungen ist es aus Sicht von Wohnungsunternehmen von Vorteil, den Raumwärmeverbrauch der MFH systematisch zu erfassen. Weiterhin kann eine Sanierungsmaßnahme zunächst für wenige typische Gebäude als Pilotprojekt umgesetzt und umfänglich in einer ähnlich der hier vorgestellten Art und Weise analysiert werden, um abzuschätzen, unterhalb welches spezifischen Raumwärmeverbrauchs eine bestimmte Sanierungsmaßnahme voraussichtlich unwirtschaftlich sein wird. Die Kombination einer Sanierungsmaßnahme der Gebäudehülle mit dem Einsatz kontrollierter Lüftung kann die Wirtschaftlichkeit des Maßnahmenbündels verbessern, da neben der Verringerung der Transmissionswärmeverluste auch die Lüftungswärmeverluste vermindert werden. Gleichwohl sollte auch für Gebäude, bei denen für eine einzelne Sanierungsmaßnahme eine Unwirtschaftlichkeit ermittelt wurde, eine Umsetzung in Erwägung gezogen werden, da damit positive Effekte in Bezug auf andere Modernisierungsmaßnahmen erreicht werden können. So wird beispielsweise die Heizlast gesenkt, was häufig die Voraussetzung für den Einsatz von Wärmepumpen ist. ■

H I N W E I S

Der Beitrag ist als Teil des Projekts „Klima-RT-Lab“, gefördert vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK) des Landes Baden-Württemberg, entstanden.

L i t e r a t u r

- [1] EU-Einigung zur Energieeffizienz von Gebäuden. Online-Artikel vom 8.12.2023, <https://www.sciencemediacenter.de/alle-angebote/rapid-reaction/details/news/eu-einigung-zur-energieeffizienz-von-gebauten>, zuletzt abgerufen am 17.1.24.
- [2] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): dena Gebäudereport 2023. Erscheinungsdatum November 2022, <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-gebautereport-2023/>, zuletzt abgerufen am 28.11.23.
- [3] GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e. V.: GdW Jahresstatistik 2020 – Ausgewählte Ergebnisse. Erscheinungsdatum Juli 2021, <https://www.gdw.de/media/2021/07/gdw-kompakt-gdw-jahresstatistik-2020.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.11.23.
- [4] Zou, P. X.; Xu, X.; Sanjayan, J.; Wang, J.: Review of 10 years research on building energy performance gap: Life-cycle and stakeholder perspectives. *Energy and Buildings*, vol. 178 (2018), pp. 165-181, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.040>.
- [5] Cozza, S.; Chambers, J.; Brambilla, A.; Patel, M. K.: In search of optimal consumption: A review of causes and solutions to the Energy Performance Gap in residential buildings. *Energy and Buildings*, vol. 249 (2021), p. 111 253, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111253>.
- [6] Institut Wohnen und Umwelt (IWU): Gradtagszahlen Deutschland. MS-Excel-Anwendung (21.6.2023, 26 MB, Daten bis Dezember 2022), <https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/#c205>, zuletzt abgerufen am 28.11.23.
- [7] Bienert, S.; Groh, A. M.: Klimaneutralität vermieteter Mehrfamilienhäuser – Aber wie? Universität Regensburg, Regensburg, 16. Mai 2022, <https://epub.uni-regensburg.de/52267/>, zuletzt abgerufen am 28.11.23.
- [8] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB): Nutzungsdauern von Bauteilen. Stand vom 22.2.2017, <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen>, zuletzt abgerufen am 28.11.23.
- [9] Koch, T.; Achenbach, S.; Müller, A.: Anpassung der Kostenfunktionen energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten auf das Preisniveau 2020. Werkstattbericht (korrigierte Fassung vom 19.4.2021), IWU, Darmstadt, 2021, https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/werkstattbericht/2021_IWU_KochEtAl_Werkstattbericht-Anpassung-Kostenfunktionen-2020.pdf, zuletzt abgerufen am 28.11.23.
- [10] Hinz, E.: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten – Endbericht. IWU, Darmstadt, 2015, https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/handlungslogiken/2015_IWU_Hinz_Kosten-energierelevanter-Bau-und-Anlagenteile-bei-der-energetischen-Modernisierung-von-Altbauten.pdf, zuletzt abgerufen am 28.11.23.
- [11] Streicher, K. N.; Parra, D.; Buerer, M. C.; Patel, M. K.: Techno-economic potential of large-scale energy retrofit in the Swiss residential building stock. *Energy Procedia*, vol. 122 (2017), pp. 121-126, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.314>, zuletzt abgerufen am 28.11.23.



M.Sc.
Tim Schaffitzel

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart

tim.schaffitzel@ier.uni-stuttgart.de

Foto: IER



Prof. Dr.-Ing.
Markus Blesl

Abteilungsleiter Systemanalytische Methoden und Wärmemarkt am IER der Universität Stuttgart

markus.blesl@ier.uni-stuttgart.de

Foto: IER

M.Sc.
Ulrich Kemmler

Projektleiter Energiemanagement & Dekarbonisierung bei der HBG – Heizwerkbetriebsgesellschaft Reutlingen mbH

Dipl.-Ing (FH)
Uwe Klingler

Betriebsleiter bei der HBG

LL.B
Raphael Grübel

Kaufmännischer Leiter bei der HBG