



Einfach Um-Bauen

**Konzepte für das robuste Sanieren
von Wohngebäuden – CO₂-Reduk-
tion ohne Steigerung der Warm-
miete**

Dr.-Ing. Tilmann Jarmer
Dr.-Ing. Anne Niemann
Ana Sammeck
Annalena Veit
Valerie Kronauer
Matthäus Nowak
Prof. Florian Nagler
Prof. Thomas Auer
Prof. Jutta Albus
Prof. Andreas Hild

**Energetische Sanierungen
von Mehrgeschossern aus
der Nachkriegszeit**

**Überraschende Ergebnisse:
Sanierungskombinationen
aus Dämmung und Heizungs-
tausch**

Kurzfassung

Problemstellung und Forschungsrelevanz

Der Gebäudesektor steht vor einer Jahrhundertaufgabe: Bis 2045 soll der gesamte Wohnungsbestand in Deutschland klimaneutral werden. Aktuell verursachen Gebäude rund 30 % der nationalen CO₂-Emissionen – ein erheblicher Anteil entfällt auf die Wärmeversorgung. Zwar hat die Bundesregierung im Klimaschutzgesetz ambitionierte Ziele festgelegt, doch die Umsetzung hinkt hinterher. Die Sanierungsquote liegt seit Jahren unter 1 %, deutlich unter der notwendigen Zielmarke von 1,9 % (Abb. 1).

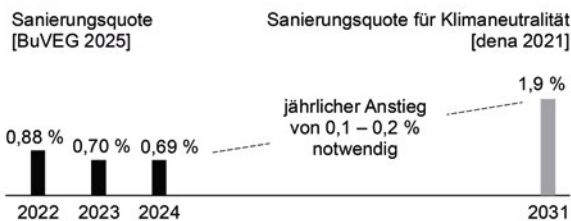


Abb. 1: Notwendige Entwicklung der Sanierungsquote bis 2031;
Quelle: BuVEG 2025, dena 2021

Zudem erreichen viele energetische Sanierungsmaßnahmen ihr theoretisches Einsparpotenzial in der Praxis nicht. Dieses als „Performance Gap“ bekannte Phänomen wird in herkömmlichen Bewertungsmethoden oft nicht berücksichtigt.

Performance Gap

Als „Performance Gap“ wird die Differenz zwischen dem rechnerisch ermittelten Energiebedarf eines Gebäudes und dessen tatsächlichem Verbrauch bezeichnet. Genau genommen handelt es sich um ein „Performance Prediction Gap“ – ein Vorhersagefehler. Die derzeit gesetzlich vorgeschriebenen Berechnungsverfahren (z. B. nach GEG) bilden die realen energetischen Bedingungen oft nur unzureichend ab. Ursachen sind unter anderem Nutzerverhalten, Bauausführung und statische Annahmen im Berechnungsmodell.

Forschungslücke und wissenschaftlicher Ansatz

Bisherige Studien, etwa die des Bundesumweltamts (Mahler et al. 2019), analysierten vorwiegend umfassende Dämmmaßnahmen nach gesetzlichen Mindeststandards oder Passivhausniveau. Einzelmaßnahmen oder nutzungsabhängige Einflüsse wurden hingegen kaum untersucht.

Hier setzt das Forschungsprojekt „Einfach Um-Bauen“ an. Es analysiert erstmals systematisch den Lebenszyklus typischer Nachkriegsgebäude – unter Berücksichtigung von

- 1) grauen Emissionen der Sanierung,
- 2) dem Performance Gap und
- 3) standortspezifischen Energieversorgungsoptionen.

Graue Emissionen

Graue Emissionen bezeichnen die Treibhausgasemissionen, die bei Herstellung, Transport, Einbau, Wartung und Entsorgung von Baustoffen entstehen. Sie fallen somit vor oder nach der Nutzungsphase eines Gebäudes oder bei Instandhaltungsvorgängen an und sind im Energiebedarfsausweis nicht enthalten. Besonders bei energieintensiven Materialien wie Dämmstoffen oder Beton sind sie für die Klimabilanz entscheidend.

Hypothese und methodischer Rahmen

Die zentrale These des Projekts lautet: Eine systemische Betrachtung ermöglicht kosteneffiziente Sanierungslösungen, die bei vergleichbarer Treibhausgas-Einsparung weniger Material und Energie benötigen als EH55-Standards. Priorität haben dabei robuste Kombinationen aus Wärmeerzeugungswechsel und gezielten Einzelmaßnahmen. Die Ergebnisse münden in einem praxisorientierten Leitfaden für Planende und Bauherren.

Das Forschungsdesign basiert auf der systematischen Analyse von vier repräsentativen Wohngebäuden aus dem Bestand der Münchner Wohnen (Baujahre 1950–1984), die jeweils eine Baualtersklasse vertreten. Für diese Gebäude wurden 404 Sanierungsvarianten entwickelt und mittels thermisch-dynamischer Simulation untersucht, wobei sowohl einzelne als auch kombinierte bauliche Maßnahmen an der Gebäudehülle mit verschiedenen Wärmeerzeugungssystemen (Gas, Fernwärme, Wärmepumpe, Pellets) verknüpft wurden. Die Bewertung erfolgte ganzheitlich über einen Lebenszyklus von 25 Jahren unter Berücksichtigung von Investitionskosten, grauen Emissionen, energetischen Einsparungen und dem Performance Gap zwischen berechnetem Bedarf und tatsächlichem Verbrauch.

Auswahl der Repräsentanten

Aus dem Gebäudebestand der Münchner Wohnen (vormals GEWOFA) mit insgesamt 1.096 Objekten wurden 403 Gebäude aus den Baujahren 1950–1984 gefiltert. Unter Anwendung energetisch relevanter Kriterien – wie ungedämmte Fassaden, Fenster mit U-Werten $> 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, unsanierte Kellerdecken, unzureichende Dachdämmung sowie Ausschluss denkmalgeschützter Objekte – wurde die Auswahl auf 151 Gebäude eingegrenzt.

Baualtersklassen (BAK) und Typologisierung

Die Gebäude wurden vier Baualtersklassen zugeordnet, basierend auf relevanten Bauvorschriften und energetischen Standards:

- **BAK 1 (1950–1956):** Erstes Wohnungsbaugesetz, DIN 4108
- **BAK 2 (1957–1968):** Zweites Wohnungsbaugesetz, DIN 4109
- **BAK 3 (1969–1977):** Energieeinsparungsgesetz, Erweiterung DIN 4108
- **BAK 4 (1978–1984):** 1. und 2. Wärmeschutzverordnung

Durch digitale Kartierung und visuelle Prüfung wurden bereits (teil)sanierte Gebäude ausgeschlossen. Zusätzlich flossen typologische Merkmale wie Geschosshöhe, Dachform und Fassadengliederung in die Auswahl ein.

Finale Auswahl

In Abstimmung mit der Münchner Wohnen wurden vier Repräsentanten ausgewählt. Diese decken die Vielfalt der Baualtersklassen ab (Abb. 2 bis 5).



Abb. 2: BAK 1, Claudius-Keller-Straße 44–62 (1950) – Viergeschossige Zeilenbebauung mit Lochfassade und Erkern; Foto: Michael Heinrich



Abb. 3: BAK 2, Isareckstraße 49–55 (1966) – Fünfgeschossiger Zeilenbau mit Loggien und Messing-Glas-Portalen; Foto: Michael Heinrich



Abb. 4: BAK 3, Lindenring 4 (1971) – 13-geschossiges Punkthochhaus mit Waschbetonfassade und integrierten Balkonen; Foto: Michael Heinrich



Abb. 5: BAK 4, Josephsburgstraße 12–16a (1982) – Hofanlage mit Terrassen und Tiefgarage; Foto: Michael Heinrich

Die vier Gebäude dienten als Basis für die Untersuchung. Ihre typologische Ähnlichkeit mit dem westdeutschen Wohnungsbau nach IWU-Gebäudetypologie ermöglicht eine breite Übertragbarkeit der Ergebnisse. Die Analyse bildet die Grundlage für ein übertragbares Maßnahmenkonzept zur energetischen Optimierung des Bestands.

Kernaussagen und Praxisrelevanz

Das Projekt „Einfach Um-Bauen“ bietet einen fundierten, praxisnahen Ansatz für zukunftsfähige Sanierungsstrategien. Die gewonnenen Erkenntnisse unterstützen Kommunen, Wohnungsunternehmen und Planende bei

der ressourcenschonenden Umsetzung klimawirksamer Sanierungen – einfach, robust und wirtschaftlich.

Für die Baupraxis bedeutet dies eine klare Priorisierung: Statt auf teure Komplettsanierungen sollte der Fokus auf systemische Lösungen (Wärmeerzeugung + gezielte Einzelmaßnahmen) gelegt werden.

Das Projekt „Einfach Um-Bauen“ liefert einen wissenschaftlich fundierten, praxistauglichen Ansatz für eine neue Generation von Sanierungsstrategien. Die Erkenntnisse ermöglichen es Kommunen, Wohnungsunternehmen und Planenden, ressourcenschonende Sanierungen zielgerichtet umzusetzen – einfach, robust und klimawirksam.

Ergebnisse

Zielfokussiertes Datenmanagement

Die Untersuchung zeigt: Auch mit reduzierten Daten lassen sich belastbare Sanierungskonzepte entwickeln – sofern Datenlücken gezielt durch plausible Annahmen und Herleitungen geschlossen werden. Für die Praxis bedeutet dies: Entscheidend ist nicht die Vollständigkeit der Daten, sondern ihre systematische Aufbereitung. Großprojekte profitieren von digitalen Zwillingen; für typische Nachkriegsbauten reichen oft vereinfachte, aber strukturierte Erfassungsmethoden aus.

Baukonstruktion der Repräsentanten

Die bauliche Analyse zeigt typische Merkmale der jeweiligen Baualtersklasse

- BAK 1: Massivbau mit Vollziegeln (38/25 cm), Stahlbetondecken
- BAK 2: Hochlochziegelkonstruktion, ungedämmte Balkonanschlüsse
- BAK 3: Beton-Großtafelbau, gedämmte vorgefertigte Fassadenelemente
- BAK 4: Hochlochziegelbau, thermisch getrennte Loggien

Die U-Werte basieren auf baukonstruktiven Annahmen gemäß (BANz 2020). Abb. 6 verdeutlicht die Entwicklung von Dämmstandard und Gebäudeform. Ältere Gebäude weisen größere Wärmeverluste auf; neuere haben zwar bessere Dämmwerte, aber geringere Kompaktheit aufgrund gestalterischer Vor- und Rücksprünge.

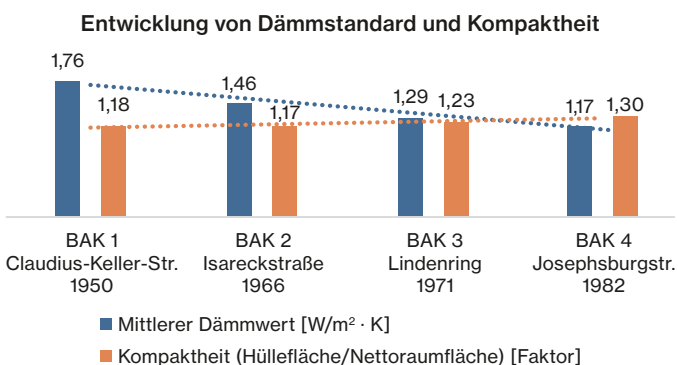


Abb. 6: Entwicklung von Dämmstandards und Kompaktheit der untersuchten Repräsentanten; Quelle: Tilmann Jarmer, TU München

Lebenszyklusbetrachtung

Die Lebenszyklusanalyse umfasst einen Betrachtungszeitraum von 2025 bis 2050, also 25 Jahre. So kann verglichen werden, welche Maßnahme oder Kombination aus Maßnahmen noch vor 2050 am wirksamsten sind.

Bewertet wurden Investitionskosten (brutto, ohne Fördermittel), graue Emissionen sowie Energieverbräuche – Letztere auf Basis dynamischer Simulationen.

Thermisch-dynamische Simulation

Mit thermisch-dynamischen Simulationen lassen sich zeitabhängige Wärmeflüsse und Temperaturverläufe in Gebäuden realitätsnah abbilden. Sie berücksichtigen Wetterdaten, Gebäudeeigenschaften und Nutzungsprofile, um den tatsächlichen Heizenergiebedarf zu berechnen. Im Gegensatz zu statischen Verfahren ermöglichen sie eine präzisere Einschätzung der energetischen Wirkung von Sanierungsmaßnahmen.

Methodik

Die Investitionen umfassen bauliche Sanierungskosten inklusive Mehrwertsteuer, aber ohne Baunebenkosten. Eingerechnet wurden auch systembedingte Zusatzmaßnahmen (z.B. Dachentwässerung). Die grauen Emissionen wurden nach QNG-Bilanzregeln ermittelt. Bei Bauteilen mit kürzerer Lebensdauer wurden auch Austausch- und Entsorgungsvorgänge bilanziert.

Die Energiekosten wurden mit +3 % per annum, die CO_2 -Emissionen für Strom mit –4 % per annum prognostiziert. Emissionsfaktoren für Fernwärme und Gas blieben konstant.

Ergebnisdarstellung

Vier Gebäude, 1.140 Varianten: Für jede Kombination aus Dämmmaßnahmen und Wärmeerzeugung wurden Kosten und Emissionen berechnet. Die Heizenergieeinsparung wurde durch thermisch-dynamische Simulationen

bestimmt, das Performance Gap über empirische Korrekturkurven (Walberg/Gniechwitz 2021) abgebildet.

Abb. 7 zeigt die Ergebnisse nach Baualtersklasse: Die Achsen markieren Treibhausgasminderung (x) und Kosten (y) pro m² Wohnfläche. Daraus ergeben sich drei zentrale Erkenntnisse:

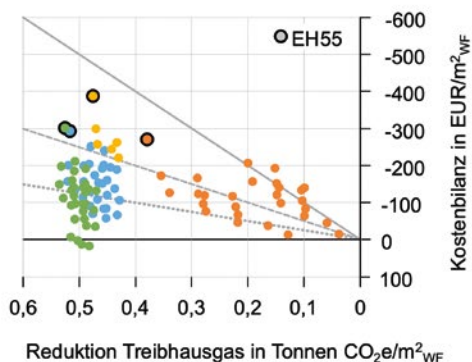
- Der Verbleib beim Energieträger Gas erzielt die geringste CO₂-Minderung
- Der Wechsel auf Fernwärme, Wärmepumpe oder Pelletheizung steigert die Umweltwirkung deutlich. So halbiert der Wechsel von Gas auf Wärmepumpe zum Beispiel den CO₂-Ausstoß.
- Gebäude der BAK 1 und 2 zeigen bessere CO₂-Kosten-Effizienz als BAK 3 und 4 – bedingt durch geringere Ausgangsstandards bei der Wärmedämmung und höhere Kompaktheit.

- Die EH55-Vollsanierung ist – mit Ausnahme der Gas-Varianten – stets am teuersten je vermiedener Tonne CO₂. Das spricht für eine differenzierte, maßnahmenbezogene Förderung.

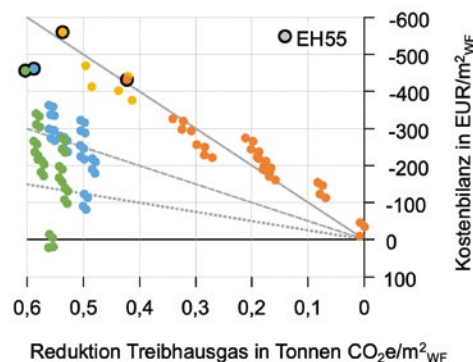
Fazit

Die Ergebnisse belegen: Die klimapolitisch effektivsten Maßnahmen liegen im Wechsel des Wärmeerzeugers. Dämmmaßnahmen lohnen sich insbesondere bei älteren und kompakten Gebäuden. Eine Sanierung nach EH55 ist in vielen Fällen ökonomisch nicht darstellbar. Für die Praxis bedeutet dies: Maßgeschneiderte, robuste Lösungen bieten das beste Verhältnis von Kosten und Klimaschutzwirkung.

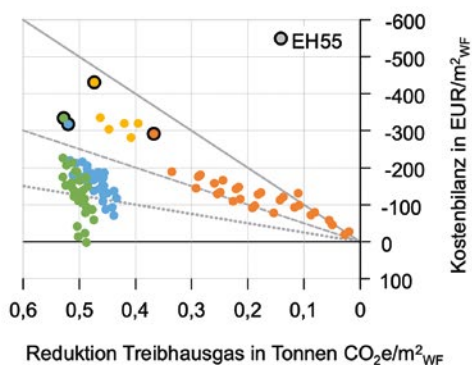
BAK 1, 1950–56, Bilanz nach 25 Jahren, n=101



BAK 3, 1969–77, Bilanz nach 25 Jahren, n=101



BAK 2, 1957–68, Bilanz nach 25 Jahren, n=101



BAK 4, 1978–84, Bilanz nach 25 Jahren, n=101

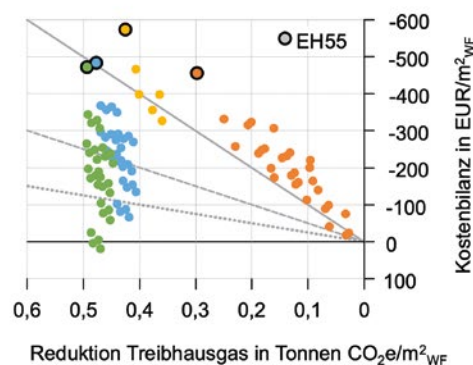


Abb. 7: Übersicht der Ergebnisse der Lebenszyklusbetrachtung;
Quelle: Tilmann Jarmer, TU München

Nutzen für die Praxis

Zielgerichtete Sanierung statt Standardlösungen

Das Projekt Einfach Um-Bauen zeigt auf, dass energetische Sanierung im Geschosswohnungsbau der Nachkriegszeit weder teuer noch kompliziert sein muss. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung robuster, kosteneffizienter und materialsparender Maßnahmen, die auf reale Gebäudedaten und typisches Nutzerverhalten abgestimmt sind. Statt einer pauschalen Sanierung nach Effizienzhausstandard EH55 empfiehlt das Projekt differenzierte Maßnahmenkombinationen – mit dem Ziel, gleichwertige CO₂-Einsparungen bei geringeren Investitionskosten zu erreichen.

Für Planende und Wohnungsunternehmen bedeutet das: Es sind keine radikalen Eingriffe erforderlich, um energetisch wirksame Verbesserungen zu erzielen. Vielmehr lassen sich mit gezielten Einzelmaßnahmen, wie dem Austausch von Fenstern oder der Nachrüstung von Däm-

mung in Dach- oder Kellerdecke, oft bereits große Effekte erzielen – insbesondere bei älteren Baualtersklassen.

Sanierungsmodule als Werkzeuge für die Planungspraxis

Auf Basis der Analyse von 1.140 Sanierungsvarianten wurden typische Maßnahmen zur energetischen Sanierung systematisch kombiniert (Abb. 8). Diese Ergebnisse bieten eine konkrete Entscheidungsgrundlage bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen.

Der modulare Ansatz unterstützt dabei nicht nur die Planungssicherheit, sondern auch die Skalierbarkeit: Wohnungsunternehmen können einzelne Maßnahmen vorziehen und im Lebenszyklus staffeln. Dies erleichtert die Integration von Sanierungsmaßnahmen in Instandhaltungszyklen und senkt gleichzeitig die Einstiegshürden.

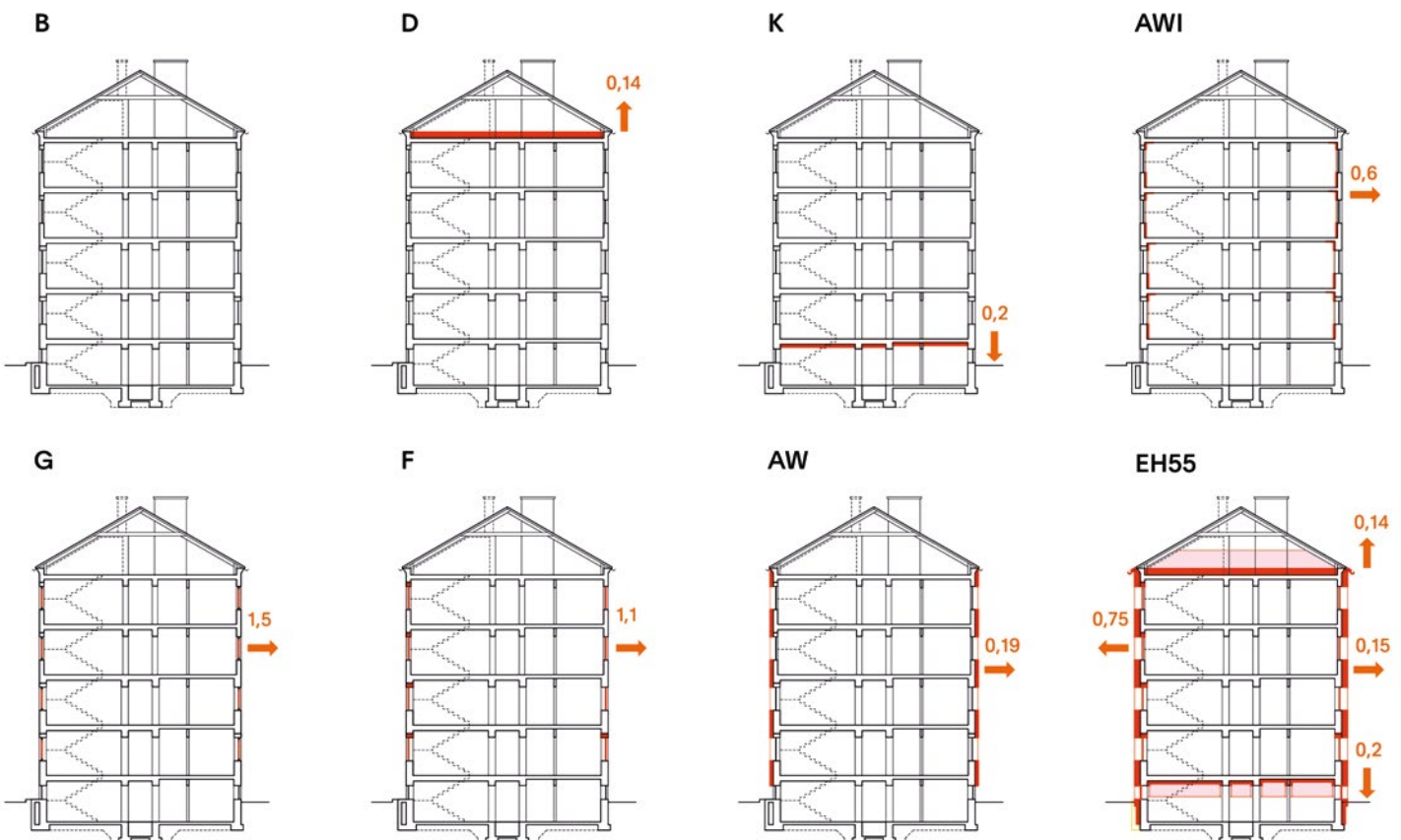


Abb. 8: Sanierungsvarianten BAK 01 o. M. mit durch die Sanierungsmaßnahmen erreichten U-Werten (W/m²K).

B = Bestand, D = Dämmung Decke gegen Dachraum, K = Dämmung Decke gegen Keller, AWI: Dämmung Außenwand innenseitig; G = Glastausch in bestehenden Fenstern, F = Fenstertausch; AW = Dämmung der Außenwand, EH55 = geförderter Standard mit erhöhten Dämmstärken und überdämmen aller Kältebrücken; Quelle: Ana Sammeck, TU München

Fernwärme, Wärmepumpe, Pellet: Technische Robustheit mit Variantenwahl

Für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung hat das Projekt konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet. Besonders hervorzuheben ist die Bewertung bestehender Systeme hinsichtlich ihrer Transformationsfähigkeit. Für städtische Wohnungsbestände mit zentraler Versorgung empfiehlt sich vorrangig der Anschluss an das Fernwärmenetz – insbesondere in Städten wie München mit ambitionierten Dekarbonisierungszielen bis 2040. Die vorhandenen Heizkörperanlagen lassen sich dabei weiternutzen.

Wo kein Fernwärmeanschluss möglich ist, kann eine zentrale Wärmepumpe wirtschaftlich sinnvoll sein – sofern die Niedertemperaturfähigkeit des Heizsystems gegeben ist. Die Simulationen zeigen, dass diese Anforderung bei jüngeren Baualternsklassen häufig schon nach geringfügigen Eingriffen erfüllt ist. Ältere Bestände benötigen meist ein Mindestpaket an Dämm- und Heizkörpermaßnahmen. Alternativ können hybride Lösungen, bei denen Wärmepumpen durch bestehende Gaskessel für Spitzenlasten ergänzt werden, als Übergangsstrategie dienen.

Umrüstung dezentraler Heizsysteme – klare Empfehlungen

In zahlreichen Beständen bestehen dezentrale Heizsysteme – etwa Gasetagenheizungen oder Nachtspeicheröfen. Das Projekt zeigt praxisnah auf, wie diese durch zentrale Systeme ersetzt werden können, ohne die Wohnqualität zu beeinträchtigen. Die Nutzung stillgelegter Kamine oder eine Aufputzinstallation im Treppenhaus

ermöglichen eine technisch einfache und kosteneffiziente Umsetzung. Der zusätzliche Wohnraumgewinn durch den Wegfall der Heizgeräte innerhalb der Wohnung stellt einen weiteren Vorteil dar.

Die Empfehlung zum Einsatz von Wohnungsübergabestationen bietet zusätzlichen Nutzen: Sie ermöglichen eine individuelle Abrechnung, eine elektrische Nachheizung und vermeiden zirkulationsbedingte Wärmeverluste. Damit tragen sie zur Energieeffizienz bei und erhöhen gleichzeitig die Akzeptanz auf Nutzerseite.

Lüftungskonzept mit minimalem Technikbedarf

Gerade im Bestand erweisen sich komplexe Lüftungssysteme als wartungsintensiv und anfällig. Das Projekt schlägt daher ein einfaches, robustes Lüftungskonzept vor: In Kombination aus Fensterfalzlüftern und bedarfsgeregelter Abluft in den Sanitarräumen lässt sich ein hygienisch ausreichender Luftwechsel sicherstellen – auch nach der Sanierung. Dieses Konzept wurde im Projekt als effektive Maßnahme zum Schutz vor Feuchteschäden verifiziert und ist insbesondere für Eigentümer mit begrenztem Investitionsspielraum interessant.

Praxisgerechte Simulation – realitätsnahe Planungsgrundlage

Ein wesentliches Ergebnis des Projekts ist die Entwicklung eines realitätsnahen Simulationsmodells. Dabei wurden nicht nur bauliche Daten, sondern auch Nutzungsprofile, Witterungsdaten und das sogenannte „Performance Gap“ berücksichtigt – also die Differenz zwi-

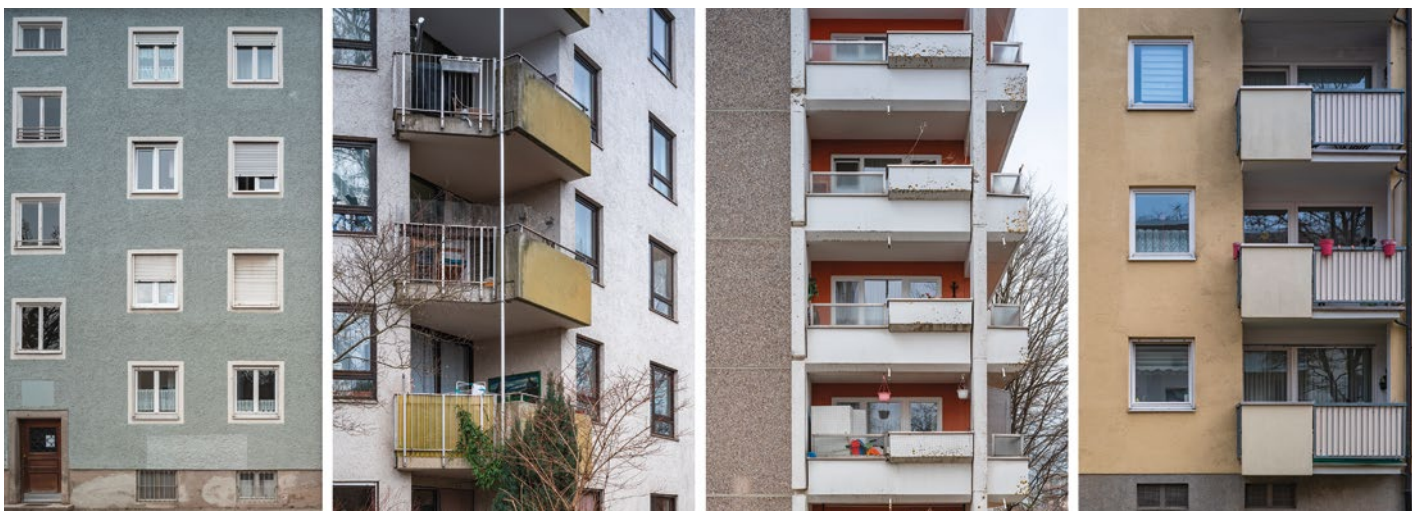


Abb. 9: Studien der vier Repräsentanzgebäude; Foto: Michael Heinrich

schen geplantem und tatsächlichem Energieverbrauch. Die Simulationsergebnisse stimmen in weiten Teilen mit den Verbrauchsdaten der untersuchten Gebäude überein und ermöglichen eine zuverlässige Prognose des Sanierungserfolgs.

Diese realitätsnahe Modellierung ist für Wohnungsunternehmen und Planungsbüros von großem Wert, da sie eine fundierte Entscheidungsgrundlage für Investitionen bietet. Gleichzeitig macht sie die Wirkung einzelner Maßnahmen transparent und nachvollziehbar.

Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung im Blick

Die ganzheitliche Bewertung der Maßnahmen unter Einbezug von Lebenszykluskosten und grauen Emissionen liefert eine solide Grundlage für strategische Entscheidungen. Besonders hervorzuheben ist der Nachweis, dass viele Maßnahmenkombinationen gleiche oder sogar bessere CO₂-Einsparungen erzielen als eine EH55-Sanierung – bei deutlich geringeren Kosten. Diese Erkenntnis ist insbesondere für kommunale und genossenschaftliche Wohnungsunternehmen relevant, die mit begrenzten Budgets große Bestände modernisieren müssen.

Die hohe Kostentransparenz und die robusten ökobilanziellen Ergebnisse ermöglichen zudem die Ableitung förderpolitischer Empfehlungen: Statt pauschaler Standards sollten verstärkt individuelle Maßnahmenpakete unterstützt werden, die eine nachweisbare ökologische Wirkung entfalten.

Übertragbarkeit und Skalierbarkeit

Das Projekt fokussiert auf typische Vertreter des Münchner Geschosswohnungsbaus aus der Nachkriegszeit – ein Gebäudetyp, der bundesweit verbreitet ist. Die Erkenntnisse sind daher auf eine Vielzahl von Beständen übertragbar. Durch die systematische Typologisierung lassen sich Maßnahmen auch auf ähnliche Objekte in anderen Städten anwenden.

Die Skalierbarkeit betrifft auch die Umsetzungsstrategie: Wohnungsunternehmen können mit niedrigschwelligen Maßnahmen beginnen und Schritt für Schritt weitergehen – jeweils angepasst an finanzielle, technische und organisatorische Möglichkeiten. Die entwickelte Bewertungsmethode und ihre Ergebnisse stellen eine belastbare Leitlinie für eine langfristige und resiliente Dekarbonisierungsstrategie im Wohnungsbestand dar.



Abb. 10: Vogelperspektive Josephsburgstraße; Foto: Michael Heinrich

Methodik und Projektverlauf

Methodik der Lebenszyklusbetrachtung

Die Lebenszyklusbetrachtung bildet das methodische Rückgrat des Forschungsprojekts „Einfach Um-Bauen“. Ziel war es, Sanierungsmaßnahmen nicht nur hinsichtlich ihrer kurzfristigen Effekte, sondern im Hinblick auf ihre langfristigen ökologischen und ökonomischen Wirkungen zu bewerten – über einen Zeitraum von 25 Jahren (2025–2050). Grundlage war die Kombination technischer Gebäudedaten mit dynamischer Verbrauchssimulation, standardisierten Bewertungsmaßstäben und aktuellen Forschungsdaten zu grauen Emissionen.

Bewertungsrahmen und Systemgrenzen

Die Methodik orientiert sich am Lebenszyklusansatz gemäß DIN EN 15978 („Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden“) und am Bewertungsschema des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG). Die Bewertung umfasst folgende Komponenten:

- **Bauliche Investitionskosten** (brutto, ohne Fördermittel oder Baunebenkosten)
- **Graue Emissionen** aus Herstellung, Austausch und Entsorgung von Baustoffen
- **Betriebsbedingte Energieverbräuche** auf Basis thermisch-dynamischer Gebäudesimulationen
- **Entwicklung von Energiekosten und Treibhausgasemissionen** über den Betrachtungszeitraum

Die Systemgrenze wurde als „Gebäudegrenze“ definiert – umfasst sind Maßnahmen an der Gebäudehülle, der Wärmeversorgung sowie standardbedingte Bauteilersatzzyklen.

Ermittlung der Investitionskosten

Die baulichen Investitionskosten wurden auf Grundlage typischer Baupreise (2023) ermittelt und um die geltende Mehrwertsteuer ergänzt. Regionale Preisaufschläge (Lokalfaktoren) wurden nicht berücksichtigt, um die Ergebnisse bundesweit vergleichbar zu halten. Die Kostenschätzungen orientierten sich an den Erfahrungswerten aus dem Bestand der Münchner Wohnen sowie an den

Kostendaten aus öffentlich zugänglichen Quellen (z. B. BKI 2023).

Einbezogen wurden auch systemisch bedingte Zusatzmaßnahmen berücksichtigt, wie Umbauten an Giebel, Traufe und Regenfallrohren bei einer Fassadendämmung.

Fördermittel wurden bewusst ausgeklammert, da sie je nach Region, Eigentümerstruktur und Zeitfenster variieren.

Bilanzierung grauer Emissionen

Die grauen Emissionen – also jene CO₂-Äquivalente, die bei der Herstellung, dem Transport, Einbau und gegebenenfalls Entsorgung der Baustoffe entstehen – wurden auf Basis der QNG-Bilanzregeln des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR 2023) berechnet. Dabei kamen standardisierte Ökobilanzdaten zur Anwendung.

Für Bauteile mit begrenzter Lebensdauer – wie Wärmedämmverbundsysteme (WDVS), Fenster oder Haustechnik – wurden Austauschzyklen entsprechend den Vorgaben der DIN 18960 und DIN EN 15643 berücksichtigt. Entsorgungsvorgänge wurden bilanziert, sofern belastbare Daten vorlagen. Wiederverwendungs- oder Recyclingpotenziale wurden konservativ nicht in Abzug gebracht.

Thermisch-dynamische Simulation des Heizbedarfs

Die energetischen Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen wurden mithilfe der Simulationssoftware TRNSYS/TRNBuild modelliert. Dabei kam ein zonenbasiertes Simulationsmodell zum Einsatz, das auf realen Geometrien und bauteilspezifischen U-Werten beruhte. Die Simulation nutzte Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (TRY2015 für München), wobei auch realitätsnahe Nutzungsrandbedingungen gemäß DIN V 4108-6 berücksichtigt wurden:

- Luftwechselrate: 0,7 h⁻¹ (Bestand), 0,6 h⁻¹ (EH55)
- Innentemperatur: 19 °C im Mittel
- Nachtabsenkung: 7 h/4 K
- Wärmebrückenzuschläge: 0,1 W/m²K (Bestand), 0,02 W/m²K (EH55)

Zur Validierung wurde der simulierte Heizenergiebedarf mit Verbrauchsdaten aus Energieausweisen abgeglichen. Abweichungen wurden iterativ durch Anpassung von Nutzerparametern (z. B. Interne Lasten, Lüftungsverhalten) korrigiert.

Abbildung des Performance Gaps

Ein zentrales methodisches Element ist die Berücksichtigung des „Performance Gaps“ – also der typischen Differenz zwischen berechnetem und tatsächlichem Energieverbrauch. Zur realitätsnahen Abbildung dieses Effekts wurde auf eine empirisch validierte Korrekturfunktion zurückgegriffen, die auf der Studie von (Walberg/Gniech-witz 2021) basiert. Diese Studie analysierte den Energieverbrauch von 927 Mehrfamilienhäusern und leitete daraus systematische Abweichungskurven ab (Abb. 11).

Durch diese Korrektur konnten die Ergebnisse aus der Simulation plausibilisiert und besser auf die Praxis übertragen werden – ein wesentlicher Mehrwert gegenüber herkömmlichen Bilanzverfahren, die Nutzerverhalten oder Bauausführung nur unzureichend abbilden.

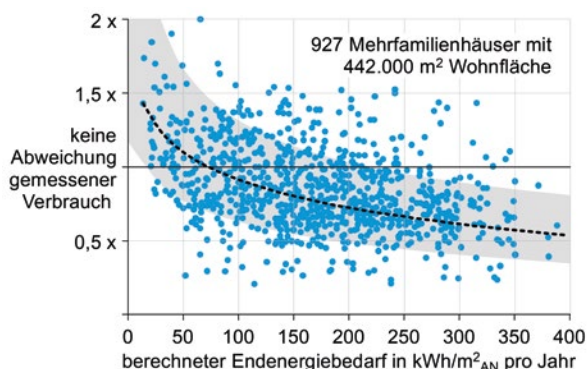


Abb. 11: Mittlere Abweichung des gemessenen Energieverbrauchs vom berechneten Endenergiebedarf nach Norm DIN V 4108-6; Quelle: eigene Darstellung nach (Walberg/Gniech-witz 2021)

Energiepreis- und Emissionsentwicklung

Die Bewertung der laufenden Betriebskosten sowie der betrieblichen Emissionen erfolgte auf Basis von Trend-szenarien:

- Energiepreissteigerung: +3 % jährlich (konservatives Szenario)
- CO₂-Minderung Strom: –4 % jährlich (gemäß BMWK-Ziel bis 2035)
- Konstante Emissionsfaktoren für Erdgas und Fernwärme

Die angenommenen Entwicklungen stützen sich auf Prognosen des Umweltbundesamts, des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWK 2022) sowie aktueller Literatur (z. B. ifeu 2021). Der Ansatz vermeidet spekulative Annahmen und sorgt für nachvollziehbare Ergebnisverläufe.

Variantenbildung und Parametrisierung

Für jedes untersuchte Gebäude wurden systematisch Varianten gebildet – jeweils bestehend aus:

- Einzelmaßnahmen (z. B. Kellerdeckendämmung, Fenstertausch)
- Maßnahmenpaketen (z. B. Außenwand + Dach + Fenster)
- Wechsel des Wärmeerzeugers (Gas, Fernwärme, Wärmepumpe, Pellet)
- Vergleichsvariante: Komplettsanierung nach EH55

Die Kombinationen wurden parametrisch simuliert, so dass Einsparwirkung, Investitionskosten und CO₂-Fußabdruck miteinander in Beziehung gesetzt werden konnten. Dies erlaubt eine differenzierte Bewertung der Effizienz einzelner Maßnahmenkombinationen.

Projektverlauf

Das Forschungsprojekt „Einfach Um-Bauen“ wurde in drei aufeinander aufbauenden Phasen durchgeführt: Bestandsanalyse, Bewertung der Sanierungsmaßnahmen und Ableitung praxisorientierter Handlungsempfehlungen.

Phase 1: Vorbereitung und Auswahl (Monate 1–6)

Zu Beginn wurden die Datenbasis analysiert, Repräsentanzgebäude identifiziert und eine Methodensystematik erarbeitet. In enger Zusammenarbeit mit der Münchner Wohnen erfolgte die Auswahl von vier typischen Wohngebäuden aus unterschiedlichen Baualtersklassen. Parallel wurden Bewertungsparameter, Datenanforderungen und Simulationen definiert.

Phase 2: Datenaufbereitung und Analyse (Monate 7–18)

Diese Projektphase umfasste die Vor-Ort-Erhebung, CAD-basierte Geometriermittlung, typologische Einschätzungen sowie die Entwicklung von Varianten zur energetischen Ertüchtigung. Anschließend wurden Simu-

lationen durchgeführt, Kostenschätzungen erstellt und CO₂-Bilanzen nach QNG-Regeln durchgeführt. Auch das Performance Gap wurde erstmals systematisch auf Gebäudeebene quantifiziert.

Phase 3: Auswertung und Transfer (Monate 19–22)

Die Ergebnisse wurden zusammengeführt, aufbereitet und grafisch dargestellt. In der letzten Phase wurden praxisnahe Leitlinien, Szenarien für Wohnungsunternehmen

und Transferformate für kommunale Akteure erarbeitet. Zudem erfolgte ein intensiver fachlicher Austausch mit Fördermittelgebern, Energieagenturen und Hochschulen.

Der kontinuierliche Austausch mit den Praxispartnern sowie ein iterativer Rückkopplungsprozess zwischen Simulation, Baupraxis und Forschung ermöglichten eine hohe Anwendungsnahe. So konnte das Projekt nicht nur wissenschaftliche Erkenntnisse, sondern auch konkrete Handlungsempfehlungen für die Umsetzung liefern.

Literatur

BAnz – Bundesanzeiger, 2020: Typische Bauteilkennwerte für bestehende Wohngebäude gemäß § 20 GEG. Bonn: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2023: QNG-Bilanzierungsregeln für die Ermittlung von Treibhausgasemissionen in der Gebäudeplanung. Bonn.

BKI – Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, 2023: BKI Baukosten Gebäude 2023. Stuttgart.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022: Entwicklung der Energiepreise und Emissionsfaktoren – Projektion bis 2035. Berlin.

BuVEG – Bundesverband energieeffiziente Gebäudehülle, 2025: Sanierungsstudie Deutschland 2025 – Handlungsempfehlungen zur Erreichung der Klimaziele. Berlin.

dena – Deutsche Energie-Agentur, 2021: Gebäudereport 2021 – Energetischer Zustand und Modernisierung im Wohngebäudebestand. Berlin.

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, 2021: Treibhausgasneutralität 2045 – Szenarien zur Transformation des Gebäudesektors. Heidelberg.
<https://doi.org/10.2314/GBV:1269019365>

Mahler, B.; Giebeler, G.; Hegger, M., 2019: Energetische Sanierung von Wohngebäuden – Potenziale und Grenzen. Umweltbundesamt, Texte 102/2019. Dessau-Roßlau.
<https://doi.org/10.2314/GBV:1224281015>

Walberg, D.; Gniechwitz, T., 2021: Performance Gap im Geschosswohnungsbau – Ursachen, Kennwerte und Strategien zur realitätsnahen Verbrauchsprognose. Studie im Auftrag der dena. Berlin.

Projektbeteiligte

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design



Hochschule Bochum
Lehrgebiet Entwerfen und
Konstruieren/Nachhaltiges Bauen



Münchner Wohnen



DJH-Landesverbände Unterweser-Ems,
Westfalen-Lippe und Bayern



B&O Gruppe



Impressum

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-23.26
Projektlaufzeit: 10.23 bis 07.25
Bundesmittel in €: 176.040,78

Zuwendungsempfängende:
Technische Universität München

Über Zukunft Bau

Mit dem Innovationsprogramm Zukunft Bau stärkt das BMWSB gemeinsam mit dem BBSR die Zukunfts- und Innovationsfähigkeit des Bausektors. Die Zukunft Bau Forschungsförderung schafft Vorbilder, die die Machbarkeit von neuen Ideen ausloten und die Baupraxis weiterentwickeln. Gefördert werden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die einen Gebäudebezug als Schwerpunkt haben und einen substantiellen Beitrag zur Bewältigung aktueller und künftiger Herausforderungen im Baubereich erwarten lassen.

zukunftbau.de

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Felix Lauffer
felix.lauffer@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Dr.-Ing. Tilmann Jarmer
Technische Universität München
tilmann.jarmer@tum.de

Dr.-Ing. Anne Niemann
Technische Universität München

Ana Sammeck
Technische Universität München

Annalena Veit
Technische Universität München

Valerie Kronauer
Technische Universität München

Matthäus Nowak
Hochschule Bochum

Prof. Florian Nagler
Technische Universität München

Prof. Thomas Auer
Technische Universität München

Prof. Jutta Albus
Hochschule Bochum

Prof. Andreas Hild
Technische Universität München

Lektorat

Dr.-Ing. Anne Niemann
Technische Universität München

Stand

Juli 2025

Grafisches Konzept
www.sans-serif.de

Satz und Barrierefreiheit
www.deckermmedia.de

Bildnachweis

Titelbild: Michael Heinrich

Vervielfältigung



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons-Lizenz Attribution – Share Alike 4.0 (CC BY-SA 4.0). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers und der Weitergabe unter gleichen Bedingungen die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. Nähere Informationen zu dieser Lizenz finden sich unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de/>.

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Jarmer, T.; Niemann, A.; Sammeck, A.; Veit, A.; Kronauer, V.; Nowak, M.; Nagler, F.; Auer, T.; Albus, J.; Hild, A., 2026: Einfach Um-Bauen: Konzepte für das robuste Sanieren von Wohngebäuden – CO₂-Reduktion ohne Steigerung der Warmmiete. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Zukunft Bau – Forschung KOMPAKT 4/2026. Bonn.
<https://doi.org/10.58007/b1pc-ed44>

Bonn 2026
ISSN 2944-067X

Dieses Werk ging aus folgendem Forschungsbericht hervor:

Jarmer, T.; Niemann, A.; Sammeck, A.; Veit, A.; Kronauer, V.; Nowak, M.; Nagler, F.; Auer, T.; Albus, J.; Hild, A., 2026: Einfach Um-Bauen: Konzepte für das robuste Sanieren von Wohngebäuden – CO₂-Reduktion ohne Steigerung der Warmmiete. München

Hier geht es zum kostenfreien Forschungsbericht:

<https://doi.org/10.14459/2026md1843381>