

David Bewersdorff

HYGGiency – Raumhygiene und Behaglichkeit durch energetische Sanierung im Quartier

HYGGiency – Room hygiene
and comfort through energetic
refurbishment in district

Mechanik, Werkstoffe und Konstruktion im Bauwesen

Band 61

Reihe herausgegeben von

Ulrich Knaack, Darmstadt, Deutschland

Jens Schneider, Darmstadt, Deutschland

Johann-Dietrich Wörner, Darmstadt, Deutschland

Stefan Kolling, Gießen, Deutschland

Institutsreihe zu Fortschritten bei Mechanik, Werkstoffen, Konstruktionen, Gebäudehüllen und Tragwerken. Das Institut für Statik und Konstruktion der TU Darmstadt sowie das Institut für Mechanik und Materialforschung der TH Mittelhessen in Gießen bündeln die Forschungs- und Lehraktivitäten in den Bereichen Mechanik, Werkstoffe im Bauwesen, Statik und Dynamik, Glasbau und Fassadentechnik, um einheitliche Grundlagen für werkstoffgerechtes Entwerfen und Konstruieren zu erreichen. Die Institute sind national und international sehr gut vernetzt und kooperieren bei grundlegenden theoretischen Arbeiten und angewandten Forschungsprojekten mit Partnern aus Wissenschaft, Industrie und Verwaltung. Die Forschungsaktivitäten finden sich im gesamten Ingenieurbereich wieder. Sie umfassen die Modellierung von Tragstrukturen zur Erfassung des statischen und dynamischen Verhaltens, die mechanische Modellierung und Computersimulation des Deformations-, Schädigungs- und Versagensverhaltens von Werkstoffen, Bauteilen und Tragstrukturen, die Entwicklung neuer Materialien, Produktionsverfahren und Gebäudetechnologien sowie deren Anwendung im Bauwesen unter Berücksichtigung sicherheitstheoretischer Überlegungen und der Energieeffizienz, konstruktive Aspekte des Umweltschutzes sowie numerische Simulationen von komplexen Stoßvorgängen und Kontaktproblemen in Statik und Dynamik.

Weitere Bände in der Reihe <https://link.springer.com/bookseries/13824>

David Bewersdorff

HYGGiency – Raumhygiene und Behaglichkeit durch energetische Sanierung im Quartier

HYGGiency – Room hygiene and comfort
through energetic refurbishment in
district

David Bewersdorff
Darmstadt, Deutschland

Vom Fachbereich 13 – Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universität Darmstadt zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation von Master of Science David Bewersdorff
Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Jens Schneider
Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Knaack
Darmstadt 2021
Tag der Einreichung: 10. Mai 2021
Tag der mündlichen Prüfung: 12. Juli 2021
D17

ISSN 2512-3238 ISSN 2512-3246 (electronic)
Mechanik, Werkstoffe und Konstruktion im Bauwesen
ISBN 978-3-658-36602-5 ISBN 978-3-658-36603-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-36603-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Ralf Harms

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Danksagung

Ein ganz herzliches Dankeschön widme ich allen Personen, die zur Erstellung der Dissertation durch Rat, Tat und Zeit beigetragen haben.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Jens Schneider danke ich für die mutige Entscheidung eine Energiegruppe zu gründen und so im Bereich der Bauphysik eine Promotion am Lehrstuhl zu ermöglichen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Ulrich Knaack bin ich sehr verbunden für die Übernahme des Korreferats, die äußerst interessanten und motivierenden Diskussionen sowie das Vertrauen bei Ideen und in der Lehre. In diesem Zusammenhang gilt meine Dankbarkeit auch den interessierten und engagierten Studierenden, die meine Forschung durch Studienarbeiten unterstützt haben.

Der fachliche Austausch und auch die mentale Unterstützung aller Kollegen am Institut hat mich bei der Ausarbeitung sehr motiviert. Hier möchte ich insbesondere Carina da Silva, die mich bereits 10 Jahre begleitet und eine starke Stütze sowie mein Benchmark ist, aber auch Miriam Schuster und Dennis de Witte für ihre Stärkungen danken.

Danke auch an meine Freunde, bei denen eine große Schnittmenge zur vorherigen Gruppe entstanden ist, für die Ablenkung und Motivation in allen Zeiten.

Meiner Familie danke ich für die Unterstützung, Geduld und das Vertrauen sowie die Grundsteinlegung meines Arbeitsweges und meines moralischen Kompasses insbesondere auch durch meinen Großvater.

Kurzfassung

Die momentane Normenlage ist stark Dämmstärken getrieben und verkennt und verhindert so die deutlichen Potenziale der Sanierung von Bestandsgebäuden. Diese Ausarbeitung zeigt, dass zu hohe Anforderung und ein fehlendes Einbeziehen vorhandener und dadurch zukünftig einzusparender grauer Energie sowie eine Nutzer-, also Behaglichkeitsausrichtung hemmend für Sanierungsraten, breite Komfort-, Raumhygiene-, und Bedarfsverbesserung ist. Eine Rückbesinnung auf den Nutzer und eine ganzheitliche Betrachtung birgt Potenziale, die durch alleinigen Abriss und Neubau im Kontext der Energiewende bis 2045 nicht zu stemmen sind. Sanierende Gebäude als Brücke für dieses Ziel zu ertüchtigen und so auch für Umweltenergien zugänglich zu machen hat automatisch den Benefit einer Behaglichkeit für die Allgemeinheit bei gleichzeitiger Bewahrung gebauter Strukturen und sozialer Umfeldler, wodurch ein Quartiersgedanke sehr naheliegend ist. Dieser hilft unternormativ gedämmte Bestandsgebäude ($U_{AW} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ statt $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$) zu argumentieren und relativieren sowie sinnvolle Versorgungsstrukturen zu schaffen.

Für die dazu notwendigen Forschungs- und Planungsschritte sind fundierte Kenntnisse über die Struktur und Aufbauten von Bestandsgebäuden und deren durchschnittlicher Bedarf notwendig. Abgeleitet davon konnten Potentialermittlungen auf Gebäudeebene durch statische und dynamische Berechnungen durchgeführt werden, um Sensitivitäten und vorteilhafte Konfigurationen herauszuarbeiten. Gepaart mit ökologischen Berechnungen und ökonomischen Ermittlungen konnten so niedrigere Dämmstärken als vorteilhaft ermittelt werden, die beispielsweise im Sommer ein besseres Auskühlverhalten der Gebäude und vielfältig vorteilhafte Konstruktionsflexibilitäten erlauben.

Außerdem konnte die Wichtigkeit von Planungswerkzeugen, wie der Wärmebrücken-ermittlung und deren Aussagekraft für eine hygienische, behagliche und bedarfsreduzierende Sanierung bestätigt werden. Durch Optimierungen der Eingabetiefe konnten Ergebnisse in Early-Stage Betrachtungen eines beispielhaften Siedlungsaufbaus erzeugt werden, die den vorher ermittelten Einzelmaßnahmen entsprechen. Durch beispielhafte innovative Energiekonzepte ließ sich so ein nachweisfähiges Niveau erreichen. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass eine Sanierung auf behagliche Dämmstärken starke Potenziale für eine Behaglichkeitssteigerung im Stadtraum hat und diese dadurch weitere positive Einflussfaktoren bietet, die mit in den Nachweis- und Planungsprozess einbezogen werden können und müssen. Insbesondere die Annahmen und Auswirkungen von Vereinfachungen auf den Early-Stage Simulationsprozess weisen große Potenziale für ganzheitliche Betrachtungen bei kürzeren Rechenzeiten auf.

Abstract

The current standards are strongly driven by insulation thickness and thus fail to recognise and prevent exploiting the significant potential for the renovation of existing buildings. This elaboration reveals that exaggerated requirements and a lack of consideration of existing, and thus future grey energy savings as well as a user, ergo comfort orientation, inhibit refurbishment rates, broad improvements in comfort, room hygiene and energy demand. Refocussing on the user and a holistic approach holds potential that cannot be realised through demolition and new construction alone by 2045 in the context of the energy transition.

Making refurbished buildings a stepping stone on the way to this goal and automatically also making them accessible for environmental energies, has the benefit of comfort (UHI, Noise reduction) for the immediate environment while at the same time preserving built structures and social boundaries, which makes the idea of a district-based consideration very obvious. This helps to justify and relativise sub-standard insulation on existing buildings ($U_{AW} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ instead of $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$), and create sensible supply structures.

The necessary research and planning steps, require profound knowledge about the structure and construction of existing buildings and their average demand. On this basis, it was possible to determine the potential at building level by means of static and dynamic calculations in order to work out sensitivities and advantageous configurations. Coupled with ecological calculations and economic assessments, lower insulation thicknesses could be determined as advantageous. It allows better cooling behaviour of the existing buildings in summer. Also, the importance of planning tools, such as the determination of thermal bridges and their significance for a hygienic, comfortable and demand-reducing insulation could be confirmed. After optimisation of the input depth, the original projection values could be reproduced in early-stage observations of an exemplary settlement structure. Through different innovative energy concepts, a normatively verifiable level could be achieved. In addition, it could be shown that a renovation to comfortable insulation levels has strong potentials for an increase in comfort in the urban space and thus offers further positive influencing factors can and must be included in the verification and planning process. In particular, the assumptions and effects of simplifications on the early-stage simulation process show great potential for holistic considerations with shorter calculation times.

Résumé

Les normes actuelles sont fortement axées sur l'épaisseur de l'isolation et ne reconnaissent et ne préviennent pas le potentiel évident de la rénovation des bâtiments existants. Cette élaboration montre que des exigences trop élevées et un manque de prise en compte des économies d'énergie grise existantes et futures, ainsi qu'un manque d'orientation vers l'utilisateur, empêchent les taux de rénovation et les améliorations générales du confort, de l'hygiène des locaux et des besoins énergétiques. Un retour à l'utilisateur et une approche holistique recèlent un potentiel qui ne pourra pas être réalisé jusqu'en 2045 par la seule démolition et la nouvelle construction dans le contexte de la transition énergétique.

Considérer des bâtiments rénovés comme une passerelle vers cet objectif et les rendre accessibles aux énergies environnementales préserve les structures bâties et les environnements sociaux, le confort pour le public et rend l'idée de quartier très évidente. Cela permet d'argumenter et de relativiser les bâtiments existants isolés en dessous des normes ($U_{AW} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ au lieu de $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) et de créer des structures d'approvisionnement judicieuses.

Pour les étapes de recherche et de planification nécessaires, il faut disposer de connaissances solides sur la structure et les constructions des bâtiments existants et sur leur demande moyenne. Sur cette base, il a été possible de déterminer le potentiel au niveau du bâtiment par des calculs statiques et dynamiques (énergie, confort, écologie) afin d'élaborer des sensibilités et des configurations avantageuses. Associées à des calculs écologiques et à des évaluations économiques, des épaisseurs d'isolation plus faibles peuvent être considérées comme avantageuses, ce qui permet un meilleur refroidissement des bâtiments en été. D'autre part, l'importance des outils de planification, tels que la détermination des ponts thermiques et leur signification pour une rénovation hygiénique, confortable et réduisant la demande, a pu être confirmée.

À partir des résultats de ces mesures individuelles, les effets sont devenus visibles dans un quartier exemplaire, ce qui confirme les mesures individuelles identifiées précédemment.

Grâce à des concepts énergétiques innovants exemplaires, un niveau vérifiable normatif pourrait être atteint. En outre, il a pu être démontré qu'une rénovation visant à atteindre des niveaux d'isolation confortables présente un fort potentiel d'augmentation du confort dans l'espace urbain et offre donc d'autres facteurs d'influence positifs qui peuvent et doivent être inclus dans le processus de planification et de réalisation. En particulier, les hypothèses et les effets des simplifications sur le processus de simulation à un stade précoce peu avancé montrent un grand potentiel pour des considérations holistiques avec des temps de calcul plus courts.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	V
Kurzfassung	VI
Abstract	VII
Résumé	VIII
Inhaltsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	2
1.2 Aufbau der Arbeit	4
2 Energetische Historie und Maßgaben für zu sanierende Gebäude	7
2.1 Sanierungen im gesellschaftlichen und demografischen Wandel	7
2.2 Bauphysikalische Einflüsse	13
2.3 Technische und normative Einflüsse auf Raumhygiene und Behaglichkeit	23
2.4 Nutzerperspektive	42
3 Einflüsse und Grundlagen energetischer Gebäudesanierungen	57
3.1 Ökologische Schutz- und Handlungsziele	59
3.2 Soziokulturelle Schutz- und Handlungsziele	63
3.3 Technische Schutz- und Handlungsziele	63
3.4 Prozessuale Schutz- und Handlungsziele	64
3.5 Fördermöglichkeiten	64
3.6 Beispielhafte, ganzheitliche Bewertungssysteme	65
4 Diskussion und Bewertung von Sanierungskonzepten	67
4.1 Sanierungsmaßnahmen	67
4.2 Sinnvolle Reihenfolge verschiedener Maßnahmen aus bauphysikalischer Perspektive	89
4.3 Komfort und Raumhygiene verschiedener Maßnahmen	93

4.4	Gegenüberstellung klima-energetischer Simulationen mit vorhandenen Bewertungstools	96
4.5	Sanierungshemmnisse	98
4.6	Zwischenfazit	101
5	Berechnungen zu Behaglichkeits- und Raumhygienefaktoren	103
5.1	Vorgehensweise	108
5.2	Statische Grenzbetrauchtungen	109
5.3	Dynamische Grenzbetrauchtungen	110
5.4	Ableitung verschiedener Qualitätsempfehlungen	112
6	Statische Potenzialermittlung exemplarischer Einzelobjekte	113
6.1	Vorgehensweise	113
6.2	Mustergebäude für exemplarische Analysen	115
6.3	Ableitung verschiedener Sanierungsvarianten	116
6.4	Ökologische und energetische Effekte der Sanierungsvarianten	117
6.5	Behaglichkeits- und Raumhygieneauswertung	125
6.6	Zwischenfazit und Ausblick	126
7	Systematische Quartiersbetrauchtung	129
7.1	Vorgehensweise	129
7.2	Mustergebäude/-siedlung für Analysen	130
7.3	Einheitliche Simulationsgrundlagen	136
7.4	Simulative Einzelbetrauchtungen	139
7.5	Zusammenfassung der Einzelbetrauchtungen	185
7.6	Energetische und behaglichkeitsbezogene Berechnung auf Quartiersebene	186
8	Diskussion der Berechnungsergebnisse	199
8.1	Einordnung in die aktuelle Diskussion	199
8.2	Empfehlungen zur sinnvollen Energie- und Treibhausgasreduktion im Gebäudesektor	200
9	Impulse für praktische und politische Maßnahmen	203

9.1	Handlungsempfehlungen	203
9.2	Ausblick	204
	Literaturverzeichnis	205
	10 Anhang	217
A1.	Anhang Kapitel 1	217
A2.	Anhang Kapitel 2	218
A3.	Anhang Kapitel 3	224
A4.	Anhang Kapitel 4	225
A5.	Anhang Kapitel 5	225
A6.	Anhang Kapitel 6	226
A7.	Anhang Kapitel 7	237

Abkürzungen und Formelzeichen

Wichtige Abkürzungen

Äqv.	Äquivalent
A _w	Außenwand
Bbl.	Beiblatt
BHKW	Blockheizkraftwerk
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
d.h.	das heißt
dena	Deutsche Energie-Agentur
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung
e.V.	eingetragener Verein
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz
EFH	Einfamilienhaus
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
GEG	GebäudeEnergieGesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GWP	Treibhauspotential (Global Warming Potential)
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
Kap.	Kapitel

KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCA	Ökobilanz (Life Cycle Assessment)
LCC	Lebenszykluskostenrechnung (Life Cycle Costing)
MFH	Mehrfamilienhaus
P_{Ec}	Primärenergie erneuerbar
P_{Enc}	Primärenergie nicht-erneuerbar
Pers.	Personen
PV	Photovoltaik
R	Wärmedurchgangswiderstand
th	Thermisch
TRY	Testreferenzjahre
TWW	Trinkwarmwasser
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WE	Wohneinheit
Wfl	Wohnfläche
WSchVo	Wärmeschutzverordnung

Formelzeichen und Symbole

A	Thermische Übertragungsfläche
A_f	Rahmenfläche
A_g	Glasfläche
A_i	Fläche des jeweiligen Bauteils
$A_{N,WE,m}$	mittlere Nutzfläche der Wohneinheiten des Gebäudes
B	Wärmeeindringkoeffizient
b_i	Wärmeeindringkoeffizient Stoff i
c	Spezifische Wärmekapazität
χ	Wärmedurchgangskoeffizient

ΔU_{WB}	Wärmebrückenzuschlag
d	Wanddicke
d_j	Dicke der Baustoffschicht im Bauteil
e	Volumenstromkoeffizient
f_{ATD}	Einfluss von Außenwandluftdurchlässen
$f_{HS/Hi}$	Umrechnungsfaktor für die Endenergie von Brennwert zu Heizwert
f_p	Primärenergiefaktor
f_{Rsi}	Temperaturfaktor an der Innenoberfläche
F_{Xi}	Temperaturkorrekturfaktor nach Bauteilart und Umgebungstemp.
H'_T	spezifischer Transmissionswärmeverlust
h_{ce}	Wärmeübergangskoeffizient durch Konvektion
h_{re}	Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung
λ	Wärmeleitfähigkeit
L^{2D}	Längenbezogener thermischer Leitwert aus 2D-Berechnung
l_g	Länge der Glaskante
l_j	Länge – Außenmaß
M	Energieumsatz
n_{50}	Luftwechsel bei einer Druckdifferenz von 50 Pa
n_{inf}	Infiltrationsluftwechsel
p_a	Wasserdampfpartialdruck
ψ_g	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (Glas/Rahmen)
ψ_{gb}	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (Glas/Sprosse)
$R_{c,op}$	Wärmedurchlasswiderstand der Komponente
ρ	Dichte
R_{se}	Wärmeübergangswiderstand der äußeren Oberfläche
R_{si}	Wärmeübergangswiderstand der inneren Oberfläche
R_{tot}	Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand

θ_E	Empfindungstemperatur
θ_e	Außenlufttemperatur
θ_i	Raumlufttemperatur
θ_{int}	Innenlufttemperatur
θ_{se}	Äußere Oberflächentemperatur
θ_{si}	Innere Oberflächentemperatur
θ_{swand}	Strahlungstemperatur der Umfassungsflächen
t_i	Temperatur i-ter Stoff
t_o	operative Temperatur
U	Wärmedurchgangskoeffizient
U_f	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens
U_g	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung
U_w	Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters
\dot{Q}	Wärmestrom
$Q_{f,in,j}$	zugeführte Endenergie nach Energieträger j (Brennwert)
$Q_{p,in}$	die heizwertbezogene Primärenergie der externen Energieträger
q_{tw}	nutzflächenbezogener Trinkwarmwasserwärmebedarf
W	wirksame mechanische Leistung



1 Einleitung

Die Suche nach Schutz ist ein Grundbedürfnis und der Gesetzgeber definiert Schutzziele zur Wahrung der natürlichen Lebensgrundlage sowie der öffentlichen Sicherheit und Ordnung, die durch das Anordnen, Errichten, Ändern und Instandhalten von baulichen Anlagen nicht gefährdet werden dürfen (MBO § 3). In der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen werden die Grundanforderungen an Bauwerke konkretisiert:

A1 Mechanische Festigkeit und Standsicherheit

A2 Brandschutz

A3 Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz

A4 Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung

A5 Schallschutz

A6 Wärmeschutz

Diese technischen Baubestimmungen stellen eine sehr breite Liste an Anforderungen für zu erstellende Gebäude dar und regulieren das Gebäude sehr ausgewogen. Dabei sind für Nutzer die Anforderungen, wie die Standsicherheit, der Brandschutz und der Schallschutz grundlegend. In der öffentlichen Wahrnehmung hat der Wärmeschutz eine deutliche thematische Überhöhung, denn Wohngebäude machen durch Heizung und Warmwasserbedarf einen großen Anteil am gesamtdeutschen Energiebedarf aus und sind somit ein wichtiges Glied in der Steuerungskette der Bundesregierung. In dieser Diskussion werden die Nutzer in steigendem Maße aus dem Fokus verloren, obgleich Raumhygiene und Gesundheit benannt werden, wird dem Nutzer und dessen Verhalten nach derzeitiger Gesetzeslage und durch eingeführte Normen wenig Rechnung getragen.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass ein großes Potenzial in der Sanierung von Bestandsgebäuden steckt, da so deren Effizienz gesteigert und auch gebundene graue Energie weitergenutzt werden kann, was Ressourcen sowohl im Betrieb, als auch auf baulicher Seite sparen kann. Die deutsche Wohnungsbaubranche steht vor der Herausforderung, die energetisch angestrebten Sanierungsraten von bis zu 3 % des Gebäudebestandes und dadurch die Ziele der Energiewende zu erreichen. Diese stagnieren bei unter 1 % und werden auch durch das neu eingeführte Gebäudeenergiegesetz nicht mit neuen Anreizen versehen. Das Problem bestätigt sich durch die Förderungszahlen der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), bei der 80 % ihrer Gelder für Neubau abgerufen werden, obwohl diese ausschließlich 3 % des Gebäudebestandes umfassen.(UMWELTHILFE 2020)

Leider zeigen sich häufig Hemmnisse, wie der hohe energetische Anspruch und viele Risiken, die dem im Wege stehen. In dieser Arbeit wird ein Lösungsansatz aufgezeigt, durch den stärkeren Einbezug der Nutzer und eine strategische Quartiersbetrachtung, die Energiebedarfe der Siedlung deutlich zu senken, auch bei einer Reduzierung der gesetzlichen Anforderungen. Durch den Breiteneffekt kann ein größerer Fortschritt für die Gesamtheit erzielt werden, als durch wenige hochsanierte Objekte, insbesondere bei Einbezug sozialer Faktoren, wie der Behaglichkeitssteigerung oder direkte Verbesserungen der Gesundheit durch geringere Schadstoffbelastungen, also bessere Raumhygiene.

1.1 Zielsetzung

Ein behagliches Raumklima muss ganzjährig gewährleistet werden (KLEIN UND SCHLENGER 2017), es wird jedoch bereits durch den normativen Umfang des winterlichen zum sommerlichen Wärmeschutz deutlich, dass der Fokus der momentanen Berechnungen auf dem Winter liegt. Optimierungen in eine der beiden Richtungen verschlechtert häufig die Bedingungen für den anderen Betrachtungszeitraum, was meist in Behaglichkeitseinschränkungen oder zusätzlichem Energieaufwand resultiert.

Durch die momentane Gesetzgebung werden hohe Dämmstärken erforderlich, die Einschränkungen im Auskühlungsverhalten der Gebäude und Herausforderungen bei Sanierungen darstellen. Diese und weitere Faktoren, wie in Kapitel 4.5 aufgezeigt, hemmen die Sanierungsentscheidungen. Hohe Sanierungsraten stellen jedoch einen wichtigen Baustein der Strategie der Bundesregierung für den Klimaschutzplan 2050 (BMU 2016) dar, dessen Zielhorizont auf 2045 (BMU 2021) verkürzt wird (siehe Anhang Abbildung 10.1).

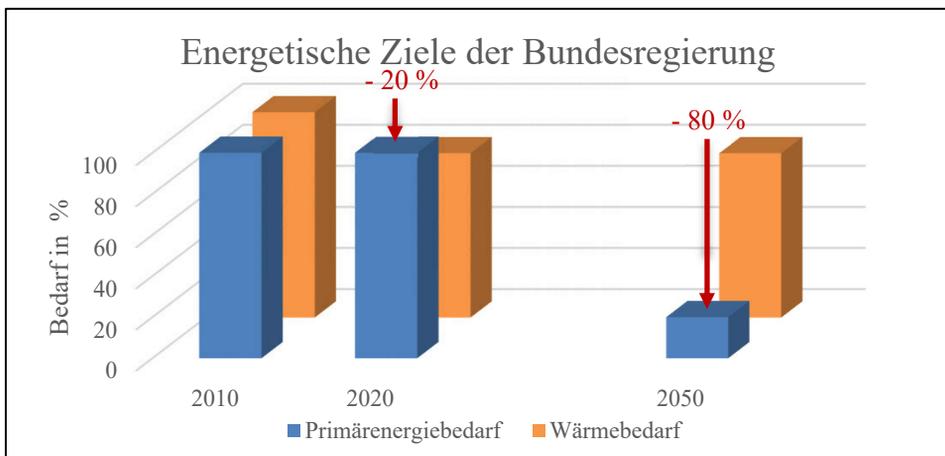


Abbildung 1.1: Energetische Ziele der Bundesregierung im Rahmen der Energiewende (BMU 2016)

Ein konzeptoffenerer Umgang mit dem Gebäudebestand, bei dem die Maßgabe einer Komforterhöhung vieler Nutzer das Hauptziel darstellt, ermöglicht auch eine Energieeinsparung in großem Umfang, indem man in der Breite die lohnenswerten ersten Zentimeter einer Dämmung aufbringt, wie Abbildung 1.2 zeigt. Dieser Plan ist auch mit Blick auf die im Klimaschutzplan formulierten Etappenziele nach Abbildung 1.1 umsetzbar. Im ersten Schritt fordert die Bundesregierung eine Wärmebedarfsreduzierung um 20 %, die einen gewissen Dämmaufwand erfordert und durch die erwähnten Hemmnisse momentan nicht erreicht wird (STEDE et al. 2018). Das langfristige Ziel bis 2050 legt den Fokus auf die Primärenergie und somit auf die Kombination von Effizienzsteigerungen und den Einsatz erneuerbarer Energien. Unter der heutigen Normung erreichen rein auf das Behaglichkeitsniveau gedämmte Bestandsgebäude jedoch die Maßgabe der energetischen Nachweise in Bezug auf den spezifischen Transmissionswärmeverlust nicht, weshalb eine Quartiersbetrachtung in Kombination mit hochgedämmten Neubauten sinnvoll ist, um Synergien zu nutzen.

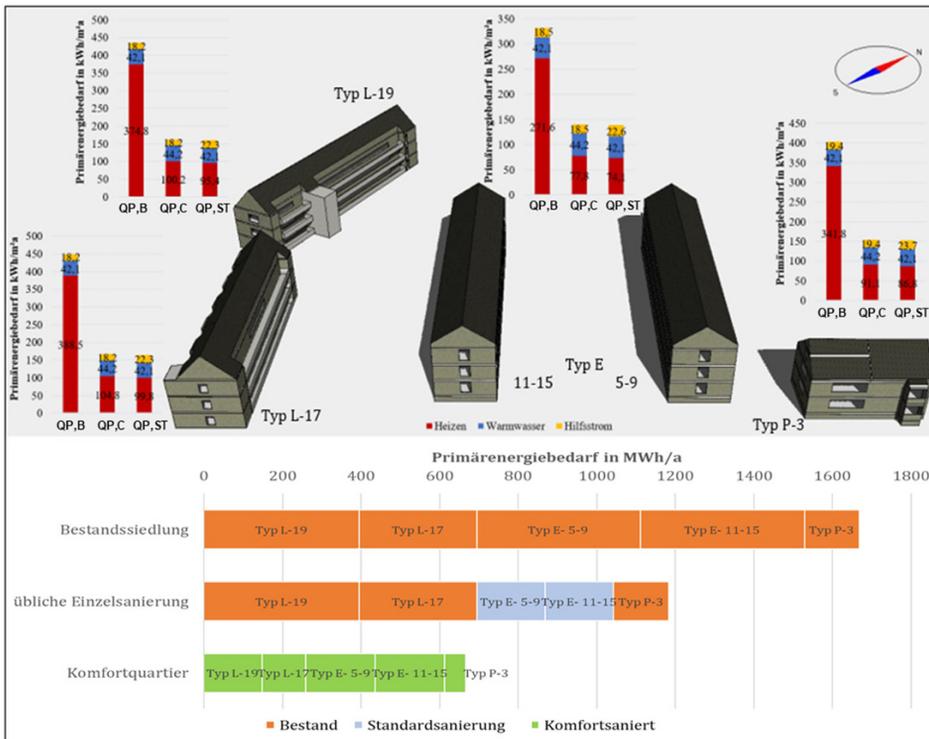


Abbildung 1.2: Gegenüberstellung komfortsanierter Quartiersbetrachtung und Bestandssanierung als Einzelobjekt durch verschiedene Primärenergiebedarfe (QP,B: Bestand, QP,C: Komfort, QP,ST: Standardisierung)

So können Anlagen im Verbund erneuert werden und Schwächen in der Fassade von Bestandsgebäuden durch hochwertige Neubauten, in deren Konstruktion sich niedrigere U-Werte leichter realisieren lassen, ausgeglichen werden. Problematisch ist hierbei insbesondere die energetische Bewertung des Gesamtkonzeptes, die bereits in einer frühen Planungsphase nötig ist. Es besteht aber die Chance in einem Gesamtkonzept alle Gebäude des Quartiers aufzuwerten, statt bei einer Investorenentscheidung ausschließlich ein Gebäude intensiv zu sanieren, so in der Breite mehr Energie einzusparen und mehr Menschen hygienische und komfortable Wohnbedingungen zu ermöglichen. Dazu stellt eine Vereinfachung der energetischen und komfortorientierten Bewertung in frühen Planungsstadien einen wichtigen Punkt dar. Dies wird auch beispielsweise im GEG „§ 107 Wärmeversorgung im Quartier“ (BUNDESREGIERUNG 2020) honoriert, wobei sich auch hier die Frage der Konzeptermittlung für die Gebäude stellt, die in dieser Ausarbeitung betrachtet wird.

1.2 Aufbau der Arbeit

Der Fokus der Arbeit benötigt einen hohen Anteil an numerischen und experimentellen Untersuchungen, die sich in drei Ebenen aufteilen und so auch die Arbeit untergliedern. Der erste Abschnitt befasst sich mit der Problemstellung und den Grundlagen aus denen sich die ersten Faktoren und Fragestellungen ergeben. Daraus baut sich eine erste Berechnungsstufe auf breiter Basis auf, die sowohl energetische, als auch ökologische Faktoren verschiedener Gebäudegrößen und Baualtersklassen untersucht und daraus Schlussfolgerungen für weitere Untersuchungen liefert. Diese Berechnungen werden anhand vorhandener Objektdaten repräsentativer Gebäude durchgeführt und stellen somit einen gewissen Abstraktionsgrad dar, der für den Zweck der ersten umfangreicheren Berechnungsstufe ausreichend ist. Hier werden auch Komfort- und Raumhygienemaßstäbe erörtert und festgelegt sowie bereits Vorbemessungen durchgeführt. Zusätzlich findet eine Auseinandersetzung mit vorhandenen Benchmarking-Prozessen statt, um daraus Vergleichswerte abzuleiten.

Die vorangegangene Berechnungsstufe verdeutlicht, dass durch den hohen Wiederholungseffekt eine Sanierung insbesondere bei Mehrfamilienhäusern sinnvoll ist, es aber sehr viele Hemmnisse gibt dies in die Tat umzusetzen. Gründe dafür sind insbesondere die fehlende konzeptionelle Offenheit für Sanierungskonzepte durch strenge U-Wert-Grenzen und die daraus folgenden hohen Bauteildicken. Dadurch resultieren größere Umbaumaßnahmen an zu sanierenden Gebäuden und Schäden nach Änderung eines für die Nutzer funktionierenden Systems. Dies führt zu einer der Hauptthesen, dass die energetischen Vorgaben sich bremsend auf die Sanierungsraten auswirken, was insbesondere auch in Bezug auf die Behaglichkeitsanforderungen und deren Abstand zu energetisch regulativen Forderungen erörtert wird.

Für genauere simulative Betrachtungen wird eine Siedlung mit fünf Mehrfamilienwohngebäuden detailliert aufgenommen und untersucht. Aufgrund der ausführlichen Bestandsaufnahme und deren Analyse ergeben sich weitere wissenschaftliche Fragestellungen, die genaue Betrachtungen von Anlagenteilen und Bauteilen nach sich ziehen.

Diese Informationen bilden die Grundlage, um die Klimasimulationen der Einzelgebäude zu erstellen und zu verfeinern. In diesem Zug entstehen umfangreiche Einzelanalysen, die die Sensitivität der Simulationen aufzeigen und Aussagen über die Prognosegenauigkeit generieren, bei gleichzeitiger Verringerung der Eingabezeit.

Hier geht es insbesondere um bautechnische Eingabegenauigkeiten verschattender und auskragender Gebäudeteile, Fensterverteilungen, Grundrissausarbeitungen sowie Detaillierungsgrade der Simulation und lüftungstechnischen Annahmen, die zu realistischen Ergebnissen führen.

In diesem Zuge werden auch Anlagenanteile untersucht, wobei das Hauptaugenmerk auf der Platzierung und Abstraktion der Übergabeeinrichtungen liegt und welchen Einfluss diese auf den Energiebedarf, die Raumhygiene und die Behaglichkeit haben. Die letzten beiden Faktoren werden auch dezidiert untersucht, da Bauqualitäten und Grundrisse sich sehr individuell auswirken und die Behaglichkeit eine sehr ortsabhängige und personenabhängige Größe ist.

Für den letzten Schritt, die Überführung hin zu einer Siedlungssimulation, werden die Erfahrungen aller vorherigen Einzelbetrachtungen in der Gesamtmodellerstellung zusammengeführt. Der letzten aufgestellten These entsprechend, werden zur Beschleunigung der Eingabe und Simulationszeit Vereinfachungen in der Zonierung und Öffnungsdarstellung sowie deren Ergebnisrelevanz ausgetestet, da durch die vorhandenen Simulationsprogramme Beschränkungen in der Zonenanzahl auftauchen und deshalb, dem Forschungsgedanken zuträglich, eine weitere Abstraktionsebene untersucht und validiert wird.

Generell unterscheidet man zwischen vereinfachten, statischen und dynamischen Rechenverfahren, um den Einfluss der Berechnungsweise darzustellen und eine Aufwandsabschätzung zu geben. Diese ist Grundlage der Arbeit, da sie sich mit einem frühen Planungsstadium in der Praxis konfrontiert sieht, in dem Planungsdetails und Bestandsdaten noch sehr variabel sein können und auch die Mittelverfügbarkeit für Simulations- und Planungskosten noch sehr gering ist.

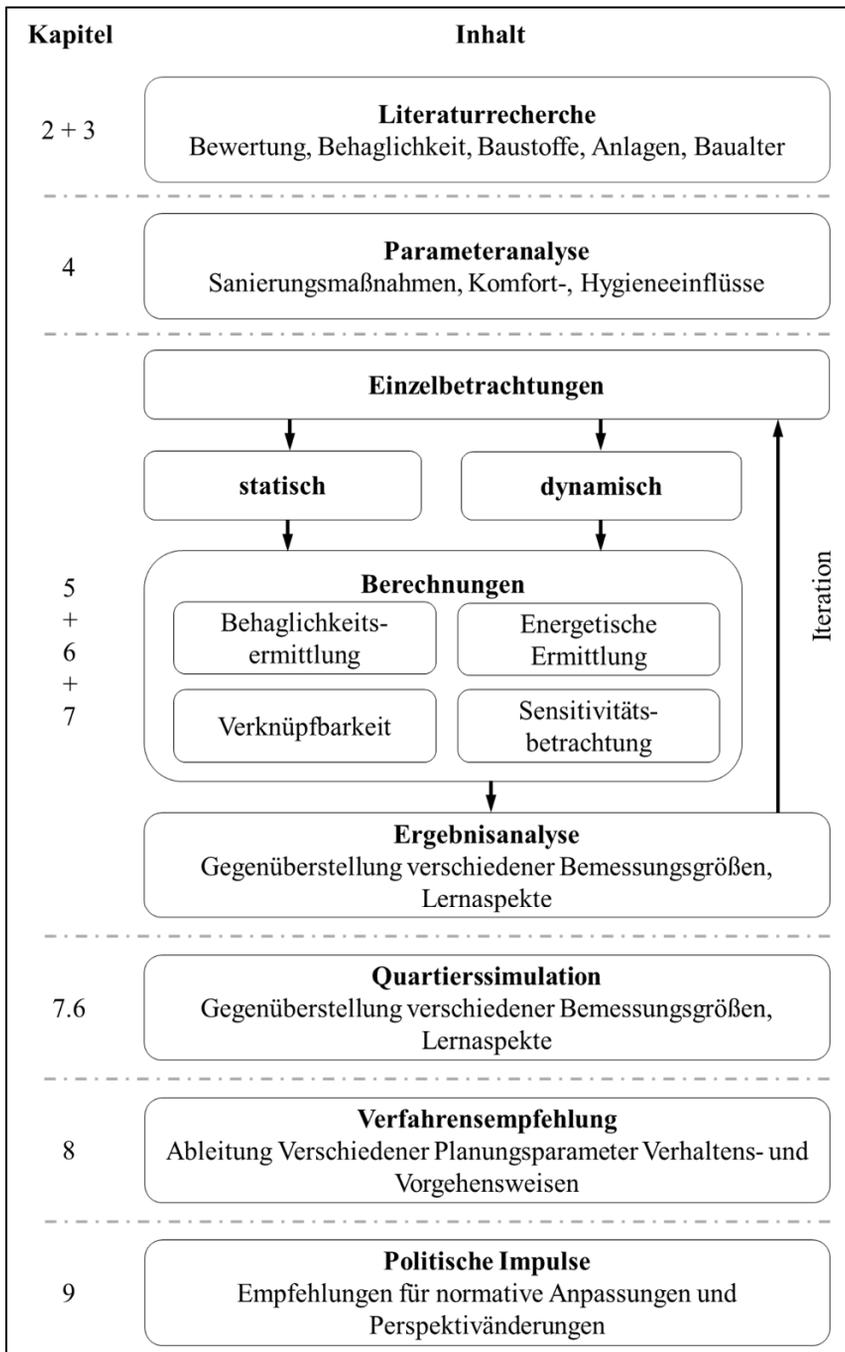


Abbildung 1.3: Aufbau der Arbeit und Ablauf der Untersuchungen



2 Energetische Historie und Maßgaben für zu sanierende Gebäude

Die Bewertung energetischer Gebäudesanierungen unterliegt vielfältigen Rahmenbedingungen, die in der öffentlichen und zum Großteil praxisorientierten Diskussion häufig verkürzt dargestellt werden. Dieses Kapitel bietet eine umfassende Darstellung der, in den Diskussionen um die energetische Gebäudesanierung disziplinar relevant gemachten, Faktoren und Beschränkungen. Die nachfolgenden Kapitel fassen zusammen, dass für die energetische Gebäudesanierung zum Teil Maßgaben mit politischem Hintergrund getroffen werden, die zu einer Überreglementierung und deutlichen Verkomplizierung der energetischen Konzepte für Bauherren führen. Diese erklären einerseits die niedrige Sanierungsrate im Gebäudebestand und damit auch die Notwendigkeit einer nachhaltigen Bewertung energetischer Maßnahmen in diesem Bereich mit Einbezug von Gutschriften durch Einsparung grauer Energie, wenn die Sanierungsrate im Gebäudebestand gesteigert werden soll.

2.1 Sanierungen im gesellschaftlichen und demografischen Wandel

Gebäude machen einen großen Teil unseres Landschaftsbildes aus und prägen Kulturen, da sie für Sicherheit und Stabilität stehen. Sie ermöglichen Produktion, Komfort und Gemeinschaft und sind vielfältig in Form, Zweck und Nutzung. Alle vereint dabei die Frage nach Beständigkeit, Substanz und Versorgung. Die energetische Qualität ist hier ein wichtiges Maß, das immer stärker in Investitionsentscheidungen einfließt, da Energiestandards und –kosten stetig steigen. Das spiegelt sich auch in vorherrschenden Megatrends wieder, in denen, nicht nur aufgrund der neuen Impulse des demografischen Wandels, Richtungen hin zu Cleantech und stärkerem Umweltbewusstsein eingeschlagen werden. In einer immer stärker vernetzten und technisierten Gesellschaft, bei der sich durch Globalisierung und Flexibilisierung der Arbeits-, aber auch Partner- und Sozialverhältnisse, große Instabilitäten ergeben, stellen Gebäude eine seltene Konstante dar. Hierbei wird versucht, sich der voranschreitenden Urbanisierung zu stellen und die Individualität zu bewahren und auszubauen, was sich auch in der Aufweichung traditioneller Rollen zeigt. Die daraus entstehenden Konsummuster sind vielfältig, haben aber verstärkt einen ökologischen

Hintergrund, der das Lernen, Achten und Schätzen der Natur wieder in den Vordergrund stellt. (FERCHHOFF 2008)

Dieses neue Gesundheits- und Naturbewusstsein rückt bei vielen Menschen den Klimawandel, nachhaltiges Verhalten und die Wohnraumhygiene mehr in den Fokus, wozu alle Gebäude, wie in Abbildung 2.1 ersichtlich, einen großen Beitrag leisten und insbesondere der Wohngebäudebestand, der mit etwa 18,4 Mio. Immobilien (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR 2011) den größten Teil des Gebäudebestandes ausmacht. (Z_PUNKT 2014)

Als Bedarfsgröße ist der Wohnungsbau im Bereich Heizwärme ein entscheidender Faktor, auch wenn die Bedarfe im vergangenen Jahrzehnt (2008 bis 2018) in Deutschland um 17 Prozent zurückgegangen sind. Ein großer Anteil dieser deutlich erscheinenden Reduktion ist jedoch auf die höhere Durchschnittstemperatur zurückzuführen, weshalb durch reine Effizienz- und Sanierungsmaßnahmen lediglich ein Rückgang um 2 Prozent zu verzeichnen ist (BUTTERMANN 2020).

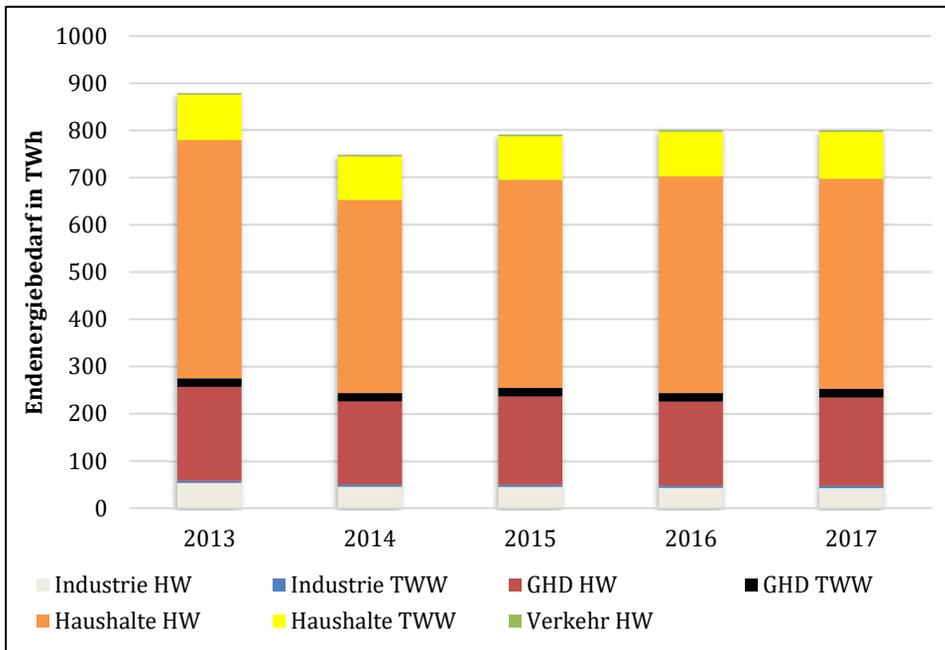


Abbildung 2.1: Endenergieverbrauch der Raumwärme und des Warmwassers aufgeteilt nach Industrie, Gewerbe/Handel/Dienstleistung, Haushalte und Verkehr 2013 - 2017 (BUTTERMANN 2019)

Der Gebäudesektor in Deutschland hat mit 1.002 TWh einen Primärenergiebedarfsanteil von 27 % des gesamten Energieverbrauchs Deutschlands (Jahr 2015). Dabei teilt sich nach Abbildung 2.2 der Bedarf zu 63 % in Wohn- und 37 % in Nichtwohngebäude in Bezug auf Endenergie auf, wobei ca. 80 % als Raumwärme im Wohnbereich und damit

etwa 12% des deutschen Gesamtendenergieverbrauchs eingesetzt werden. (WESTERMANN et al. 2018)

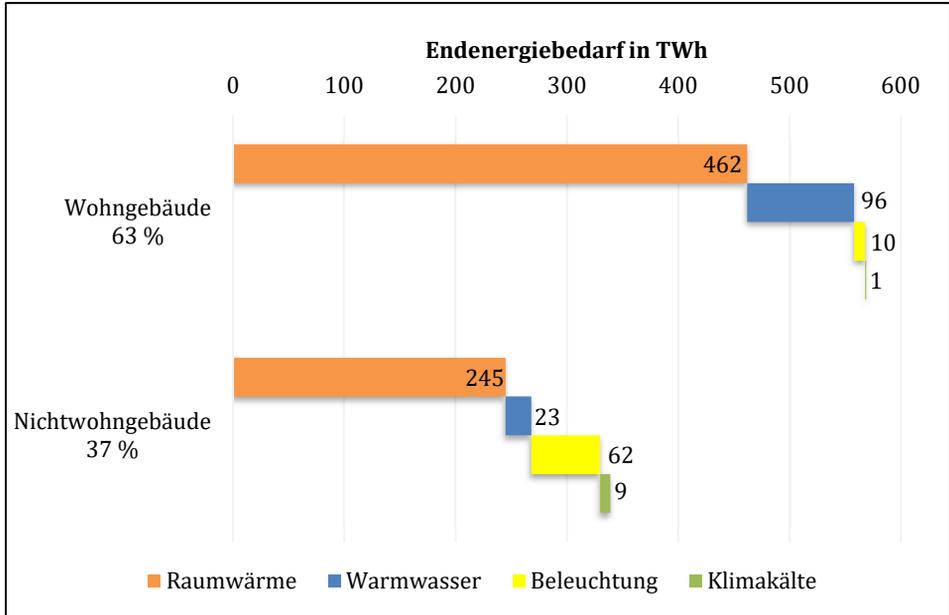


Abbildung 2.2: Endenergiebedarf im Wohn- und Nichtwohngebäudebereich nach (dena 2018)

Die Auswirkungen des gesellschaftlichen und demografischen Wandels auf diesen Wohngebäudebestand sind vielfältig und regional unterschiedlich. Derzeit sind Abwanderungen aus konjunkturell schwächeren Gebieten, wie z.B. Teilen Ostdeutschlands oder des Ruhrgebietes, aber auch Suburbanisierungen festzustellen, die in den Großstädten und deren Randgebieten zu Bevölkerungswachstum führen. Gleichzeitig zeigen Zukunftsprognosen gegenläufige Entwicklungen auch durch absolut schrumpfende Bevölkerungszahlen auf, die seit 2011 jedoch durch hohe Nettozuwanderung trotzdem wieder insgesamt ein Wachstum aufweisen (BPB 2020).

Die Abnahme spiegelt sich auch nicht im Verlauf der genutzten Wohnfläche aus Abbildung 2.3 wider, da der Wohnraumbedarf seit 1990 von 34,5 m²/Person auf 45,1 m²/Person im Jahr 2019 gestiegen ist, wodurch die energetische Regulierung mit Bezug auf Quadratmeter Gebäudenutzfläche eine größere energetische Gesamtverbesserung suggeriert, als es die Absolutwerte der Bedarfe pro Person würden. (DESTATIS 2020a)

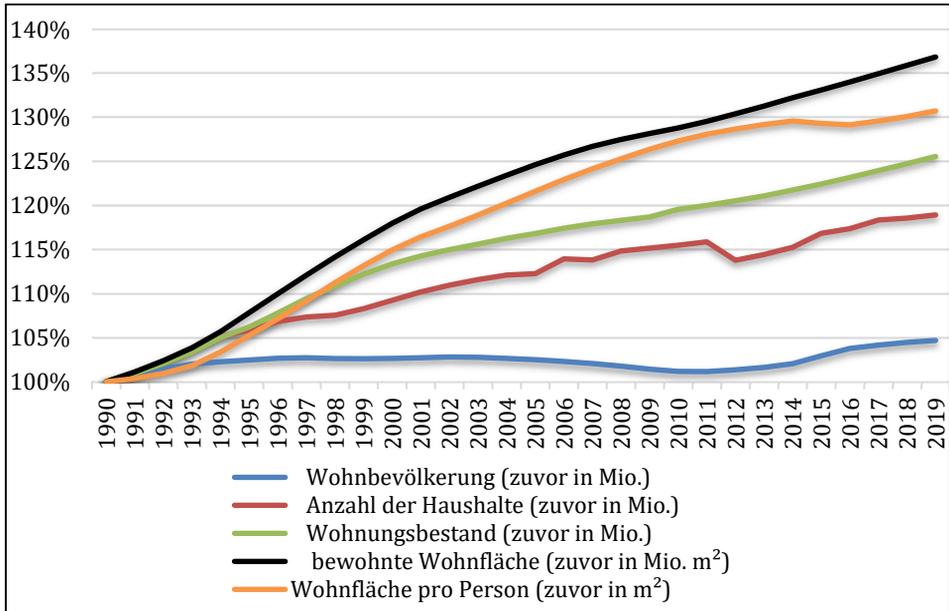


Abbildung 2.3: Bevölkerungs- und Wohndaten zwischen 1990 und 2019 nach statistischen Daten (DESTATIS 2020a)

Aber es entstehen auch neue Herausforderungen durch die sich ändernde Altersverteilung, die steigende Mobilität und Multimodalität sowie durch generelle Zuwanderungen aus dem Ausland. Die daraus abzuleitenden neuen Anforderungen können von Kommunen nur schwer aufgefangen werden, da die finanziellen Mittel häufig fehlen. Für Investoren ergeben sich hingegen gute Möglichkeiten zur Mitgestaltung, da z.B. bei einem Bauungsplan viele Kommunen die Unterstützung mit einem Mitspracherecht honorieren, das in einer genau zugeschnittenen Infrastruktur und Chancen für Sanierungsprojekte resultieren kann.

Die größte und absehbarste Auswirkung ist die verstärkte Nachfrage und Auslegung auf Bedürfnisse älterer Menschen, da der Anteil der jungen Bevölkerung deutlich sinkt und ein Anstieg der über 65-Jährigen erwartet wird. Hierbei sind Zahlen von 22,3 Mio. bis 2030 zu erwarten, die damit über ein Viertel (28 %) der Bevölkerung in Deutschland ausmacht. Hinzu kommt durch die höhere Lebenserwartung ein in Abbildung 2.4 erkennbarer Anstieg der über 80-Jährigen von 4,1 Mio. (Stand 2011) auf 6,4 Mio., wobei ein anhaltendes Wachstum auf bis zu 10 Mio. bis 2050 zu erwarten ist. (HÜTHER UND NAEGELE 2013)

93 % dieser Bevölkerungsgruppe leben in Wohnungen und 60 % davon in altem Bestand, der auf ihre derzeitigen Bedürfnisse nicht angepasst ist. Über 50 % leben in Gebäuden der Baujahre 1949-1980, ein großer Anteil bereits seit 30 Jahren.

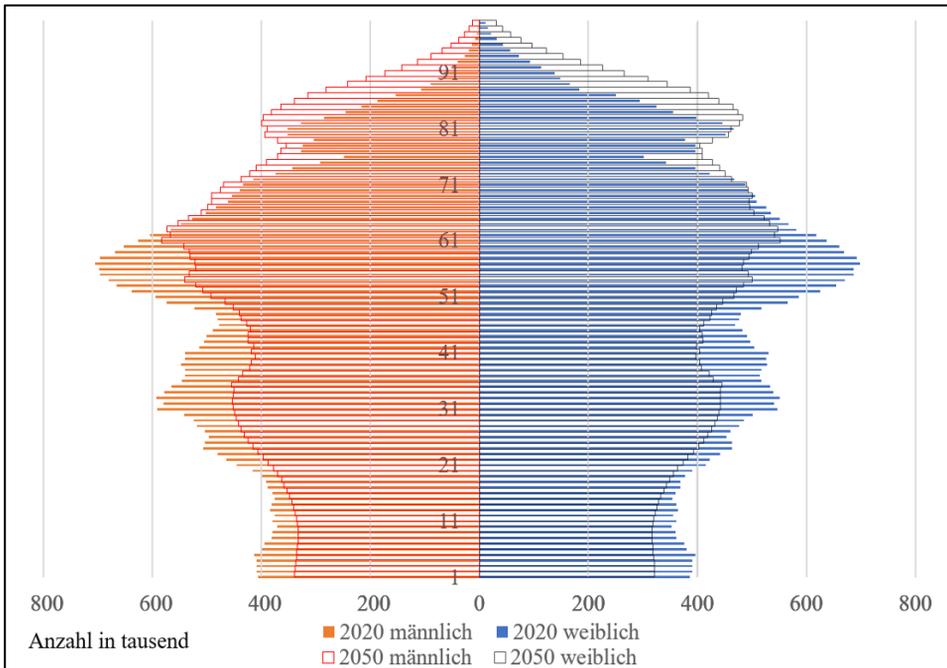


Abbildung 2.4: Demografische Entwicklung der Bevölkerung Deutschlands (DESTATIS 2019)

Hinzu kommt, dass 70 % stadt-/zentrumsferne Wohnungen mit mangelhafter Anbindung an die Infrastruktur nutzen. Das Streben nach infrastruktureller Anbindung wird bereits heute von dieser Bevölkerungsgruppe aufgrund veränderter, mobiler Lebensweise zunehmend eingefordert und setzt sich auch im technischen Sinne fort, da die Berührungängste mit Technik im Alter verstärkt abnehmen, umfangreichen Forderungen weichen und sich die Alltagseinbindung von Technik insgesamt ausweiten wird (GEORGIEFF 2009). Im Zuge dieser Entwicklungen wird auch der Komfort- / Behaglichkeitsanspruch, die Selbständigkeit und somit das Interesse an Gebäudeautomation steigen, was auch durch das zunehmende Interesse an (energetischer) Effizienz unterstrichen wird.

Zusätzliche Maßnahmen sind im Bereich der Barrierefreiheit nötig, da hier die Anforderungen an den Komfort, aber auch die grundsätzliche Nutzung, sich aktuell und zukünftig stark erhöhen und Stufen oder zu enge Türen durch Pflegebedürfnisse o.Ä. nicht akzeptiert werden können. Ebenerdige Duschen und ein beschwerdefreier Zugang zu allen Wohn- und Nutzflächen werden generelle Voraussetzung zukünftiger Wohnungen sein und bieten gleichzeitig auch immer Chancen für Effizienzsteigerungen.

Alleine durch die Umbauarbeiten hin zu barrierefreien Wohnungen sind Investitionen in Höhe von 39 Mrd. € nötig, wobei 21 Mrd. € als generelle Sanierungsmaßnahmen gelten und somit nicht der Barrierefreiheit zugeschrieben werden (BUNDESMINISTERIUM FÜR

VERKEHR 2011). Ein wichtiger Punkt in diesem Bezug sind auch Notfall und Rettungsmaßnahmen, die zum einen durch kleine Notmeldegeräte unterstützt, aber auch erst durch große Umbaumaßnahmen, wie Feuerwehrfahrstühle, ermöglicht werden können. Letztere sind bei Sanierungen kein alleiniges Altersthema. Dessen Bedeutung wird durch die größer werdende Kluft der unterschiedlichen Normenjahrgänge noch zusätzlich unterstützt. Nicht nur energetisch reglementierende Normen haben sich weiterentwickelt, auch die Möglichkeiten und daraus resultierenden Anforderungen beispielsweise der Feuerwehr. Durch die Entwicklung der Atemgeräte haben sich die Rettungsmöglichkeiten einer Löschung von außen zu einer Rettung von innen entwickelt. All diese notwendigen Anpassungen bieten eine Chance moderate energetische Sanierungsmaßnahmen mit einzubringen und so den generellen Komfort und die Effizienz zu steigern, wenn die Maßnahmen attraktiv sind und kein Hindernis darstellen.

Zum vorliegenden Bestand und der Lebensweise in dessen Baujahren haben sich die Lebenskulturen und Komfortbedürfnisse heutzutage stark geändert. Durch die Zunahme an alleinlebenden Personen, die Technisierung und dem höheren Mindestkomfort ergeben sich marktrelevante Effekte. Viele sind bereit die Hälfte ihrer Einkünfte für einen höheren Standard und Individualität auszugeben und fordern diese auch ein (BLICKLE et al. 2019). Die zunehmenden Möglichkeiten, wie Reisen und ferne Studien, die damit einhergehende steigende Bildung und die dadurch komplexeren Identitäten und Biografien ergeben vielfältige heterogene Anforderungen. Dies trifft insbesondere in Ballungsräumen verstärkt auf das hochpreisige Segment zu. Im Mittel- und Tiefpreissegment ist jedoch weiterhin der meiste Bedarf zu erkennen und aufgrund der Erwerbsbiografien zukünftiger Generationen ab 2050 noch weiter zunehmend. In diesen Bereichen ist eine Akzeptanz und auch vereinzelt ein Trend zu kleinen intelligenten Wohnungen (Multifunktionale Möbelkonzepte) zu erkennen, obwohl der generelle Wohnraumananspruch pro Person steigt, was durch die vielen Singlehaushalte (KABISCH UND WAGNER 2005) und den Trend zum Home-Office oder Quarantänesituationen verstärkt wird (BITKOM-RESEARCH 2017).

Neben den wahrzunehmenden Forderungen nach Energieeffizienz und Barrierefreiheit ist das Komfortbedürfnis generell gestiegen, im Vergleich zu Bualtern, in denen Gebäude rein dem Schutz und der Unterbringung der Nutzer dienen, was sich durch normative Novellen zeigt. Diesem müssen Sanierungsleistungen gerecht werden. Beispielhaft sind Disziplinen wie der Schall-, Wärme- und Feuchteschutz zu nennen, deren Mindestanforderungen und die Wertigkeit bei den Nutzern deutlich gestiegen sind. Das ist sowohl im Alltag festzustellen, beim Vergleich beispielsweise der gestiegenen Komfort-Ansprüche an ein Kraftfahrzeug des Baujahres 1950 und einem aktuellen Modell, wobei es eine deutliche Steigerung zwischen dem Anspruch auf reine Fortbewegung früher und der Laufruhe und Klimatisierung heute gibt. Zum anderen verdeutlichen aber auch die vielen Normen-Novellen (beispielhafte Gegenüberstellung für Schallschutz im Anhang Tabelle 10.1) und deren gestiegene Komplexität und Anforderung ein gesteigertes Komfortbedürfnis.