

Bachelorarbeit

Ermittlung optimierter Gebäudeenergiesysteme für den deutschen Wohngebäudebestand unter besonderer Berücksichtigung von Lüftungsverlusten

Determination of optimized building energy systems for the German residential building stock with special consideration of ventilation losses

Aachen, Mai 2019

Jonas Baumgärtner

Matrikelnummer: 330575

Betreuer:

Sebastian Remy, M. Sc.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller

Diese Arbeit wurde vorgelegt am:

E.ON Energy Research Center | ERC

Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate | EBC

(Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik)

Mathieustraße 10, 52074 Aachen

Kurzfassung

Abstract

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Vorwort	IX
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufgabenstellung	1
2 Grundlagen	2
2.1 Deutscher Wohngebäudebestand	2
2.2 Historische Entwicklung der Dämmstandards	5
2.3 Sanierungsstand des deutschen Wohngebäudebestandes	7
2.4 Optimierungsmodell	9
3 Stand der Technik	10
Literaturverzeichnis	11
A Tabellen	13
A.1 U-Werte nach TABULA [in $W/(m^2 \cdot K)$]	13
B Wichtiger Anhang	14

Nomenklatur

Formelzeichen und Einheiten

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	Fläche	m^2
c_p	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
C	Wärmekapazität	W/kg
H	Enthalpie	J
\dot{H}	Enthalpiestrom	J/s
E	Exergie	J
e	spezifische Exergie	J/kg
\dot{m}	Massenstrom	kg/s
p	Druck	Pa
\dot{Q}	Wärmestrom	W
R	spezifische Gaskonstante	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
S	Entropie	J/K
\dot{S}	Entropiestrom	W/K
T	Temperatur	K
t	Zeit	s
U	innere Energie	J
U_T	Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
h	Wärmeübergangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
V	Volumen	m^3
\dot{V}	Volumenstrom	m^3/s
\dot{W}	Leistung	W
Y	Wasserbeladung der Luft	g/kg

Griechische Formelzeichen

Symbol	Bedeutung	Einheit
λ	Wärmeleitfähigkeit	$W/(m \cdot K)$
ψ	Wärmebrückenwirkung	—

Indizes und Abkürzungen

Symbol	Bedeutung
MFH	Mehrfamilienhaus (<i>multy family home</i>)
SFH	Einfamilienhaus (<i>single family home</i>)
WschV	Wärmeschutzverordnung

Abbildungsverzeichnis

2.1 errichtete Wohngebäude nach Mikrozensus-Klassen [6] 3

2.2 Anzahl an Wohneinheiten bei Einfamilienhäuser (SFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH)

 [7] 4

2.3 tba 7

2.4 [2] 8

Tabellenverzeichnis

2.1	Bestand an Fenstern in Deutschland, 2015 [2]	9
A.1	Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile Dach, Außenwand, Fenster und Boden nach Gebäudeart und Baualtersklasse	13

Vorwort

1 Einleitung

1.1 Motivation

das ist die einleitung

1.2 Aufgabenstellung

das ist die aufgabenstellung

2 Grundlagen

Ziel dieser Arbeit ist die Ermittlung optimierter Gebäudeenergiesysteme für den deutschen Wohngebäudebestand. Hierzu wurde in Kapitel 2.1 der Bestand analysiert, um auf dieser Untersuchung aufbauend die nationale Wohngebäudesituation in einigen wenigen, repräsentativen Klassen abzubilden. Des Weiteren wurde in 2.2 die historische Entwicklung der deutschen Dämmstandards betrachtet. Daraus wurden Zeiträume der Baualtersklassen mit ähnlichen Wärmeübergangskoeffizienten der Gebäudehülle zusammengefasst. Zuletzt stellt Kapitel 2.3 die Grundlagen der mathematischen Optimierung sowie das im Rahmen dieser Arbeit erweiterte Optimierungsprogramm vor.

Die Gebäudeklassen sollen für die Bestimmung der Gebäudeenergiesysteme mit dem Optimierungsprogramm benutzt werden. Hieraus soll ein Vergleich zwischen Emissionsoptimum sowie Kostenoptimum gewonnen werden.

2.1 Deutscher Wohngebäudebestand

Zunächst wurde der Wohngebäudebestand hinsichtlich Alter und Größe ausgewertet. Als Daten wurden die Statistiken des Zensus2011, einer nationalen statistischen Erhebung von privaten Haushalten, betrachtet. Besagte Statistiken wurden in verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen des Institut für Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) ausgewertet und evaluiert. Weiterhin wurde für die gebäudetypischen Kennwerte die Typgebäude des europaweiten Projekts „Typology Approach for Building Stock Energy Assessment“ (TABULA) berücksichtigt. Diese Daten wurden wiederum IWU berechnet und erhoben.

Nach den 2011 veröffentlichten Zensus Daten besteht der deutsche Wohngebäudebestand aus rund 18.368.000 Gebäuden mit 39.432.000 Wohnungen [1]. Wie in Abbildung 2.1 zu erkennen ist, prägt den deutschen Wohngebäudebestand einen Boom in der Nachkriegszeit. So wurden in den Jahren von 1949 bis 1978 etwa 7,2 Millionen Häuser errichtet. Diese Klasse alleine macht 38 % der deutschen Wohngebäude aus. Mit circa 2,7 Millionen Gebäuden und einem Anteil von etwa 14 % bilden die vor 1919 fertiggestellten Wohnobjekte den zweitgrößten Anteil, sowie die Häuser mit Baualter zwischen 1919 und 1948 mit knapp 12 % die drittgrößte Gruppe. Folglich sind knapp zwei Drittel der deutschen Wohngebäude vor 1978 erbaut worden. Eine weitere relevante Klasse beschreiben mit fast 10 % die von 1979 bis 1986 geschaffenen Wohnbauten. Zusammen mit den drei Klassen 1987 - 1990, 1991 - 1995 und 1996 - 2000 werden durch diese vier Gruppen mehr als

ein Viertel des Wohngebäudebestandes in Deutschland abgebildet. Im Gegensatz zu den zuvor genannten Gruppen stellen die nach der Jahrtausendwende konstruierten Häuser mit unter 10 % und nur 1,6 Millionen Häusern einen relativ kleinen Anteil des nationalen Bestandes dar.

Es sei noch zu erwähnen, dass in dieser Betrachtung den Mikrozensus-Klassen gefolgt wurde. Diese sind explizit keine gleich langen Zeitintervalle, sondern „orientieren sich an historischen Einschnitten, den Zeitpunkten statistischer Erhebungen und den Veränderungen der wärmetechnisch relevanten Bauvorschriften“ [1]. So beschreibt beispielsweise das relativ kurze Zeitintervall von 1979 bis 1983 den Zeitraum zwischen erster und zweiter Wärmeschutzverordnung, auf welche in Kapitel 2.2 noch näher eingegangen wird.

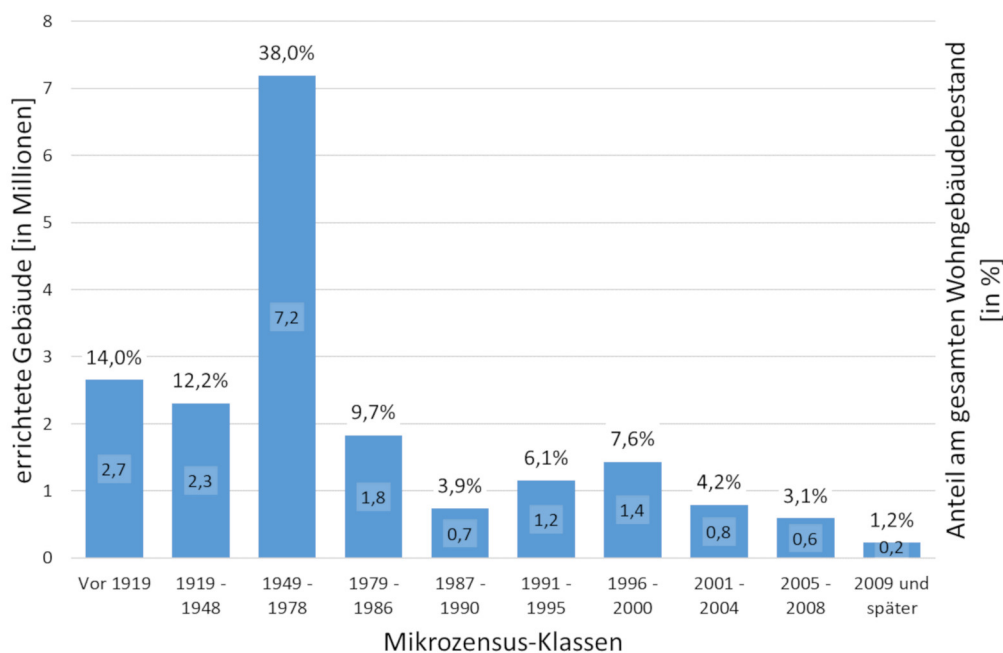


Abbildung 2.1: errichtete Wohngebäude nach Mikrozensus-Klassen [6]

Eine weitere Unterteilung des Wohngebäudebestandes erhält man bei der Betrachtung der Anzahl an Wohneinheiten im Gebäude. Hierbei setzt sich der Bestand zu zwei Dritteln aus Wohngebäuden mit nur einer Wohnung zusammen. Weitere 17 % bilden Gebäude mit zwei Wohnungen und die Gebäudeklasse mit 3 - 6 Wohnungen ist mit 12 % vertreten. Die größeren Gebäude mit 7 - 12 Wohnungen sowie mit 13 und mehr Wohnungen sind anteilig am Gebäudebestand mit jeweils 5 % und 1 % relativ kleine Gruppen. Allerdings gelten letztere nur bei einer Gebäudebetrachtung als weniger relevant, da sie bei einer Anschauung der Wohneinheiten logischerweise mit größeren Faktoren im Vergleich zu Einfamilienhäusern eingehen. [7]

In Abbildung 2.2 sind die Anzahl der Wohneinheiten für die drei Baualtersklassen älter als 1978, 1979 - 1994 und 1995 - 2009 sowie deren Anteil an allen Wohneinheiten bis Baujahr 2009 des Ge-

bäudebestandes dargestellt. In Anlehnung an den vorherigen Abschnitt werden Gebäude mit bis zu 2 Wohnungen als Einfamilienhäuser zusammengefasst und nach der englischen Bezeichnung „single family home“ mit SFH abgekürzt. Wohngebäude mit 3 oder mehr Wohnungen werden als Mehrfamilienhäuser mit der Abkürzung MFH für „multy family home“ gebündelt.

Auffallend ist wiederum der enorme Anteil der Gebäude mit Baualter älter als 1978. Hier zählen die Mehrfamilienhäusern mit 14,8 Millionen Wohnungen und einem Anteil aller bis 2009 errichteten Wohneinheiten von 38 % zur größten Gruppe. Mit 12,5 Millionen Wohnungen und einem Anteil von 32 % entfällt die zweitgrößte Klasse auf die Einfamilienhäuser mit Baujahr älter 1978. Ähnlich wie zuvor bei der Gebäudebetrachtung wurden somit auch mehr als zwei Drittel aller Wohnungen vor 1978 erbaut.

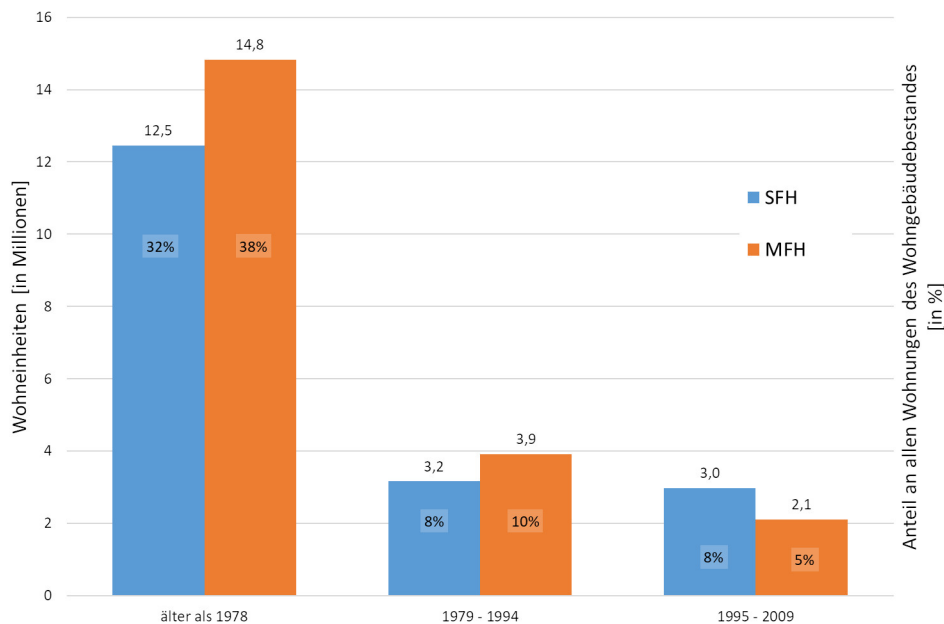


Abbildung 2.2: Anzahl an Wohneinheiten bei Einfamilienhäuser (SFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) [7]

Zusammenfassend lassen sich folgende Punkte bei der statistischen Betrachtung des deutschen Gebäudebestandes festhalten:

- 2/3 aller Gebäude des Bestandes wurden vor der 1. Wärmeschutzverordnung 1978 errichtet.
- Ein- und Zweifamilienhäuser stellen mit 87 % den größten Anteil dar.
- Bei einer Betrachtung der Wohneinheiten teilt sich der Bestand in Gebäude mit einer oder zwei Wohnungen (47 %) und drei oder mehr Wohnungen (53 %) auf.

2.2 Historische Entwicklung der Dämmstandards

Nachdem im vorherigen Kapitel der Gebäudebestand nach Alter und Größe beschrieben wurde, werden nun die zu den jeweiligen Gebäudealtern und -größen zugehörigen Dämmstandards vorgestellt. Hierzu wird zwischen der Isolierung verschiedener Gebäudebauteilen unterschieden. Neben Möglichkeiten zur Dämmung des Daches beziehungsweise der obersten Geschossdecke und der Außenwand werden zudem die Dämmung des Bodens sowie die Fenster betrachtet.

Ein wichtiger Kennwert zur energetischen Bewertung eines Gebäudes und einzelner Gebäudekomponenten beschreibt der U-Wert. Hierbei handelt es sich um den Wärmeübergangskoeffizienten, welcher den Wärmestrom durch 1 m² Bauteilfläche bei 1 Kelvin Temperaturdifferenz beschreibt. Berechnet wird dieser als Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstand R_T . Der U-Wert ist definiert als

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{in } W/(m^2 \cdot K) \quad (2.1)$$

wobei mit

$$R_T = \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (2.2)$$

der Wärmedurchgangswiderstand als Verhältnis der Dämmstoffdicke d_i einer Dämmschicht i und der Wärmeleitfähigkeit λ_i des Baustoffes der Schicht i beschrieben wird.

Für transparente Bauteile und somit explizit für Fenster variiert die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_w :

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f} \quad \text{in } W/(m^2 \cdot K) \quad (2.3)$$

Hierbei beschreiben A_f den Flächenanteil des Fensterrahmens und A_g die Glasfläche. Ferner sind U_g und U_f die Wärmeübergangskoeffizienten der Verglasung (Index g) und des Fensterrahmens (Index f). Außerdem werden Wärmebrückenbildungen des Glasrandverbundes mit der Multiplikation des ψ -Wertes mit der Gesamtumfangsfläche der Verglasung l_g berücksichtigt. [5]

Aus den Definitionen der U-Werte und des Wärmedurchgangswiderstandes lässt sich leicht erkennen, dass die Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes stark von der Dicke und den Dämmeigenschaften des Dämmmaterials abhängen. Hierbei lassen sich historische Unterscheidungen treffen.

Die drei TABULA-Klassen vor 1918, 1919 - 1948 sowie 1949 - 1957 umfassen die Epochen der Gründerzeit, der Zwischenkriegszeit, den beiden Weltkriegen sowie der Nachkriegszeit. Wie in Kapitel 2.1 bereits dargelegt prägen die Nachkriegsjahre einen schnellen Wiederaufbau, in dem vor allem mit Trümmern neue Gebäude errichtet wurde. Auch in dem Zeitraum vor 1918 kam es im Rahmen der Ausdehnung der Städte zu zahlreichen neuen Konstruktionen. Aus Tabelle ?? lässt sich erkennen, dass sich die Wärmeübergangskoeffizienten der Gebäudetypen SFH und MFH in diesen Jah-

ren stark ähneln. Dies ergibt sich auch aus der Darstellung der Geschichte des Dämmstandards von Eicke-Henning. Hier wurde festgehalten, dass sich bis zum Jahr 1957 die Dämmindustrie und der Hochbau im Rahmen der Industrialisierung zwar weiterentwickelte, es allerdings dennoch keinen Wandel im Hinblick auf Wärmeschutz gab. So wurde bevorzugt günstig gebaut und die damit verbunden erhöhten Heizkosten in Kauf genommen. Die im Jahr 1952 eingeführte DIN 4108 verkörperte zwar den ersten Ansatz Wärmeschutz normativ zu regulieren, jedoch konnte sie auch zu keiner Veränderung der energetischen Bauweise führen. Trotz deren Name „Wärmeschutz im Hochbau“ beinhaltete die Norm nur einen Mindestwärmeschutz zur Vermeidung bauphysikalischer Schäden durch Schimmelbildung. Als Standard dieser Jahre galt das 38 cm dicke Vollziegel-Mauerwerk, keine Dämmung der Böden oder Dächer sowie die Einscheiben-Verglasung. [4]

In den folgenden Jahren von 1958 - 1968 sowie 1969 - 1978 kam es zu keinen normativen Änderungen des Wärmeschutzes. Dennoch kann durch einen Wandel der Baustoffwahl eine Verbesserung der U-Werte beobachten werden. So verschwand der Vollziegel langsam vom Markt und wurde durch Hochlochziegeln oder Hohlblocksteinen substituiert. Weiter wurden vermehrt Trittschalldämmungen in Böden und Dächer installiert. Trotz dessen primären Zweckes zur Lärmvermeidung erzielten diese dünnen Dämmschichten von 1 - 4 cm eine Verbesserung der Wärmedurchgangskoeffizienten der zuvor genannten Bauteile. Ab 1965 erreichten vorgefertigte Betonteile mit einem 3 - 6 cm dicken Dämmkern zudem einen besseren Wärmeschutz. Bezüglich der Fenster wurde in diesen Jahren keine Veränderung geschaffen, sodass weiterhin die Einscheiben-Verglasung die Konvention bildete.

Nach der Ölkrise von 1974 rückte die Bedeutung des ressourcenschonenden Bauens beziehungsweise Betriebes von Gebäuden in den Vordergrund. Der Gesetzgeber verabschiedete am 11. August 1977 mit der 1. Wärmeschutzverordnung, im Folgenden mit 1. WschV abgekürzt, erstmalig eine Verordnung, in der ein Standard zur Minimierung des Heizwärmebedarfs festgelegt wurde. In Folge der 1. WschV verbesserte sich die Dämmeigenschaften der Bauten mit Baujahr 1979 - 1983. So lässt sich bei dem Tabula SFH-Typgebäude dieser Jahrgänge feststellen, dass sowohl das Dach eine 8 cm Dämmung als auch der Boden eine 4 cm dicke Dämmschicht besitzen. Weiterhin wurde durch die Verordnung vorgeschrieben, dass „außenliegende Fenster und Fenstertüren von beheizten Räumen (...) mindestens mit Isolier- und Doppelverglasung auszuführen (sind)“ [3]. Somit ermöglichte die 1. WschV eine Verbesserung des energetischen Standards der Wohngebäuden. Allerdings stellten die ersten normativen Anforderungen an die Gebäudehülle aus heutiger Sicht nur einen Zwischenschritt hin zu einem energetisch sinnvollen Standard dar. Als Beispiel hierfür ist die Anforderung an Fenster zu nennen. Für diese wurde in der 1. WschV festgelegt, dass ein U-Wert von $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ nicht überschritten werden darf [3]. Nach heutigem Standard der Energieeinsparverordnung 2009, die im folgenden noch weiter erläutert wird, sind für die Fenster im Neubau U_w -Werte kleiner $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ einzuhalten.

1984 - 1994: 2nd thermal protection ordinance (2. Wärmeschutzverordnung); GDR: further impro-

ved insulation ("Rationalisierungsstufe III") market introduction of low energy houses, supported by regional grant pro-grammes

1995 - 2001: 3rd thermal protection ordinance (3. Wärmeschutzverordnung); considera-tion of a bonus in the tax in case of realisation of a low energy house

2002 - 2009: energy saving ordinance ("EnEV 2002"), considering building and heat supply system; KfW grant programmes ("KfW-Energiesparhaus 60 and 40", Passive Houses)

2010 ... : new requirements of energy saving ordinance ("EnEV 2009") on the level of low energy buildings new KfW grant programme regulations ("KfW-Effizienzhaus 70, 55 and 40", Passive Houses)

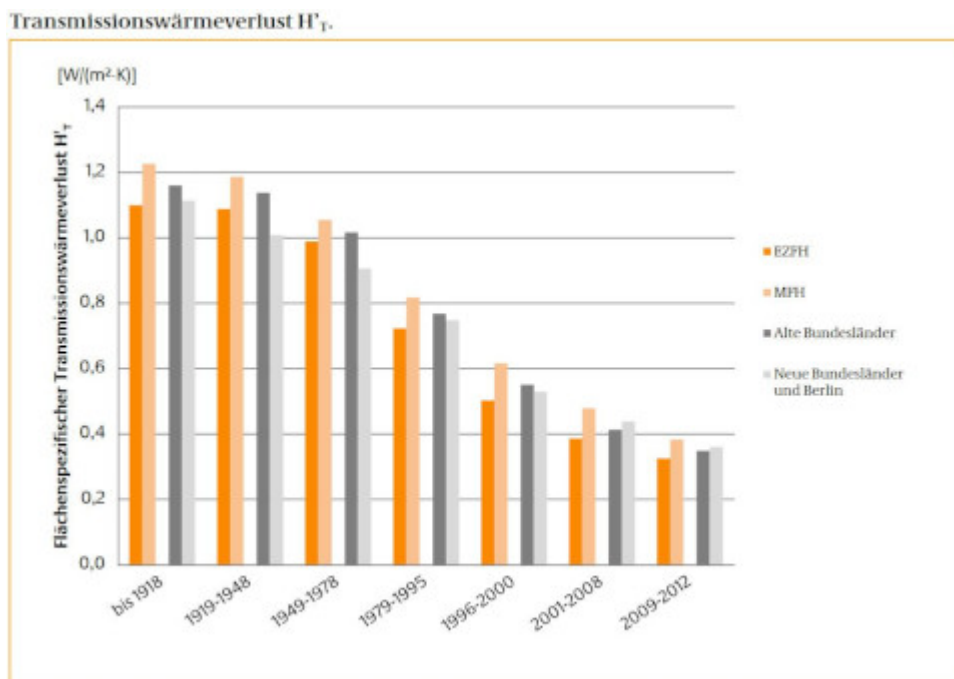


Abbildung 2.3: tba

2.3 Sanierungsstand des deutschen Wohngebäudebestandes

In dem vorangegangenen Abschnitt wurde die Entwicklung des Dämmstandard vorgestellt. Hierbei wurde sich ausschließlich auf den Neubauzustand bei Fertigstellung des Gebäudes bezogen. Dieses Kapitel soll nun die Veränderung aus energetischer Sicht des Gebäudebestandes durch Sanierung veranschaulichen.

Abbildung 2.4 zeigt den Anteil der durch nachträgliche Wärmedämmung sanierten Bauteilfläche nach Bauteilen und Gebäudeart. Zu erkennen ist der große Anteil an sanierter Dachfläche beziehungsweise obere Geschossdeckenfläche. Dieser liegt für SFH und MFH annähernd gleich bei

etwa 57 %. Folglich wurde mehr als die Hälfte der Dachflächen im Altbau nachträglich gedämmt. Einen leichten Unterschied zwischen den Gebäudearten ist bei den nachträglich sanierten Außenwänden zu beobachten. Bei diesem Bauteil wurden bei MFH etwas mehr als 31 % mit einer besseren Dämmung versehen, wohingegen es bei den SFH nur etwa ein Viertel waren. Deutlich weniger Relevanz bei der nachträglichen Dämmung erhielt die Isolierung des Fußbodens beziehungsweise der Kellerdecke. Für diese Bauteile wurden bei beiden Gebäudearten nur circa 10 % mit einem besseren Wärmeschutz versehen.

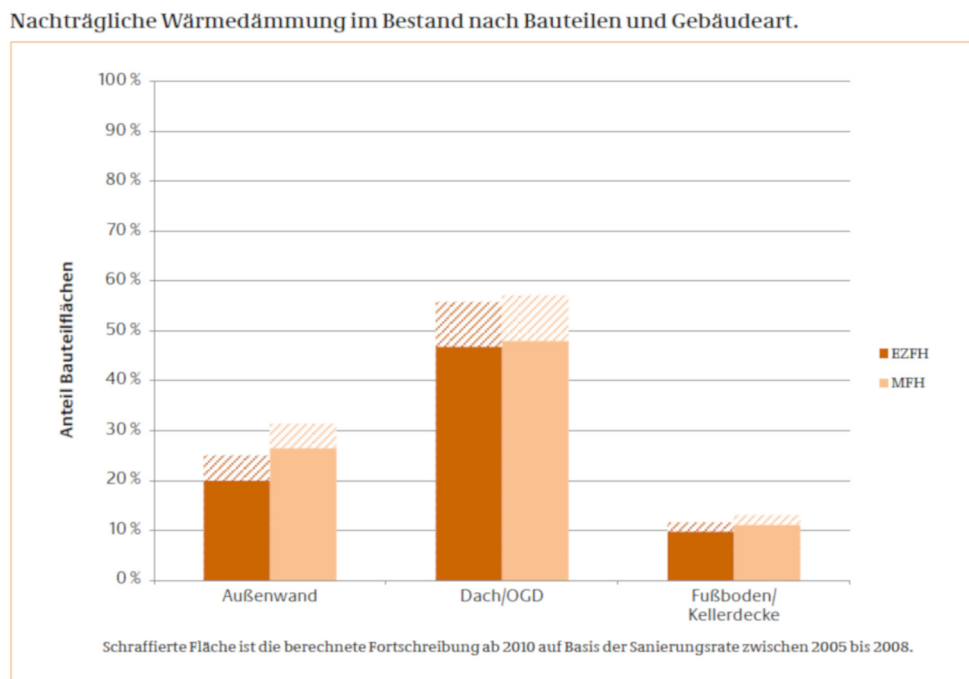


Abbildung 2.4: [2]

In Abbildung 2.4 fehlen die Angaben zum Sanierungsstandes der Fenster. Hierfür ist die Datengrundlage der Sanierung schwierig, allerdings bietet [2] eine Schätzung über den Bestand an Fenstern im Jahre 2015. Aus Tabelle A.1 sind verschiedene Verglasungsarten mit deren U_g -Wert sowie Anzahl und Anteil am gesamten Fensterbestand in Deutschland zu erkennen. Wie in Gleichung 2.3 dargelegt, beschreibt der U_g -Wert den Wärmedurchgang durch die Verglasung.

Obwohl die Einfachverglasung für einen großen Teil des Altbaues den Neubaustandard darstellte, ist deren Anteil am Fensterbestand mit nur noch 3 % sehr gering. Der heutige Bestand der Fenster wird durch unbeschichtetes Isolierglas sowie dem Zweischeiben-Wärmedämmglas dominiert, welche mit 34 % und 47 % vertreten sind. Weiterhin ist zu erkennen, dass das Dreischeiben-Wärmeglas bereits 8 % des Fensterbestandes stellt, obwohl dieses erst 10 Jahren vor Erhebung der Daten auf den Markt kam.

Verglasungstyp	Anzahl [in Millionen]	Anteil am Bestand [in %]	U_g -Wert [in $W/(m^2 \cdot K)$]
Einfachverglasung	19,6	3	5,8
Verbund- und Kastenfenster	44,8	7	2,8
Dreischeiben-Wärmedämmglas	48,9	8	0,7
unbeschichtetes Isolierglas	207,3	34	2,8
Zweischeiben-Wärmedämmglas	284,2	47	1,4 - 1,1

Tabelle 2.1: Bestand an Fenstern in Deutschland, 2015 [2]

2.4 Optimierungsmodell

3 Stand der Technik

Literaturverzeichnis

- [1] *Deutsche Wohngebäudetypologie: Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*. Neue Ausg. Darmstadt : Wohnen und Umwelt, 2015. – ISBN 978-3-941140-47-9
- [2] BIGALKE, Uwe ; ARMBRUSTER, Aline ; LUKAS, Franziska ; KRIEGER, Oliver ; SCHUCH, Cornelia ; KUNDE, Jan ; DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (Hrsg.): *dena-Gebäudereport 2016: Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand*. www.dena.de
- [3] BUNDESREGIERUNG: 1. Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden: 1. WschVo. <https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeschutzverordnung>. Version: 1977
- [4] EICKE-HENNING, Werner: Kleine Geschichte der Dämmstoffe: "Erster Teil". In: *wksb* 2011 (2011), Nr. 65, S. 6–27
- [5] LAASCH, Thomas (Hrsg.) ; LAASCH, Erhard (Hrsg.): *Haustechnik*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-9900-2>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-9900-2>. – ISBN 978-3-8348-1260-5
- [6] STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER: *Gebäude mit Wohnraum nach Art des Gebäudes und Baujahr (Mikrozensus-Klassen)*. https://ergebnisse.zensus2011.de/#StaticContent:00,GWZ_10_2,m,table. Version: 2014
- [7] STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER: *Gebäude mit Wohnraum nach Art des Gebäudes, Zahl der Wohnungen und Baujahr (Mikrozensus-Klassen)*. https://ergebnisse.zensus2011.de/#StaticContent:00,GWZ_10_8,m,table. Version: 2014

Anhang

A Tabellen

A.1 U-Werte nach TABULA

Baualtersklasse	SFH				MFH			
	Dach	Außenwand	Fenster	Boden	Dach	Außenwand	Fenster	Boden
vor 1918	1,3	1,7	2,8	0,88	1,3	2,2	2,7	0,88
1919 - 1948	1,4	1,7	2,8	0,77	1,4	1,7	3	0,77
1949 - 1957	1,4	1,4	2,8	0,78	1,08	1,2	3	1,33
1958 - 1968	0,8	1,2	2,8	1,08	0,51	1,2	3	1,08
1969 - 1978	0,5	1	2,8	0,77	0,51	1	3	0,77
1979 - 1983	0,5	0,8	4,3	0,65	0,43	0,8	3	0,65
1984 - 1994	0,4	0,5	3,2	0,51	0,36	0,6	3	0,51
1995 - 2001	0,35	0,3	1,9	0,4	0,32	0,4	1,9	0,4

Tabelle A.1: Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile Dach, Außenwand, Fenster und Boden nach Gebäudeart und Baualtersklasse [in $W/(m^2 \cdot K)$]

B Wichtiger Anhang

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsarbeit eingereicht worden. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die vorliegende Arbeit in der Lehrstuhlbibliothek und Datenbank aufbewahrt und für den internen Gebrauch kopiert werden darf.

Aachen, den 15. Mai 2019

Jonas Baumgärtner