

ENOB:dataNWG

Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude

**Institut Wohnen
und Umwelt GmbH**

Forschungseinrichtung
des Landes Hessen und
der Stadt Darmstadt

Rheinstraße 65
64295 Darmstadt
Germany

Tel: +49 (0)6151 / 2904-0
Fax: +49 (0)6151 / 2904-97

info@iwu.de
www.iwu.de



Leibniz-Institut
für ökologische
Raumentwicklung



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

E 4.2

Teilbericht Strukturdaten:

Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung von Gebäudehülle und haustechnischen Anlagen im Bestand der Nichtwohngebäude

Gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

im Förderbereich

Energieoptimierte Gebäude und Quartiere

der Fördermaßnahme *Anwendungsorientierte nichtnukleare FuE* des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

24. Februar 2022

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Impressum

Projekt	Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude. Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland.
Kurztitel	ENOB:dataNWG
Teilprojekt	Repräsentative Stichprobenerhebung und Auswertung typologischer, struktureller und energetischer Merkmale
Gefördert mit Mitteln von	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Förderschwerpunkt Energieoptimierte Gebäude und Quartiere des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung
Förderkennzeichen	03 ET1315 A
Fördermittelnehmer	Institut Wohnen und Umwelt Rheinstraße 65 64295 Darmstadt Tel. +49 (0) 6151 / 2904 -0
Projektpartner	<ul style="list-style-type: none">Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)Bergische Universität Wuppertal, Fachgebiet Ökonom Planens und Bauens (BUW-ÖPB)
Bericht	E 4.2
Verfasser	Michael Hörner
Mitarbeit	Holger Cischinsky, Nikolaus Diefenbach
Datum	24. Februar 2022
Dokument	

Sponsor:



Bank aus Verantwortung

In der Tieferhebung wird das
Werkzeug VSA 2.0 zur Energie-
analyse von Gebäuden verwen-
det. VSA 2.0 wurde vom IWU
mit Mitteln der KfW Banken-
gruppe erstellt.

Unterstützer:

IMMOBILIEN ZEITUNG



Inhalt

1	Zusammenfassung	1
1.1	Wichtige Ergebnisse zur Modernisierung der Nichtwohngebäude in Deutschland.....	1
1.2	Empfehlungen	2
2	Klimaschutzmonitoring im Gebäudebestand.....	4
2.1	Anlass.....	4
2.2	Methodik	6
2.2.1	Projektdesign.....	6
2.2.2	Schätzung von Fortschritt und Rate der Modernisierung eines Gebäudebestands aus einer Stichprobe	7
3	Zustand und Dynamik der energetischen Qualität der Gebäudehüllen	12
3.1	Wärmeschutz bei opaken Bauteilen.....	13
3.1.1	Eigenschaften der opaken Bauteile.....	13
3.1.2	Dämmfortschritt.....	17
3.1.3	Fortschritt bei nachträglich angebrachter Dämmung.....	19
3.1.4	Dämmrate	21
3.1.5	Sanierung ohne Dämmung.....	24
3.2	Wärmeschutz bei transparenten Bauteilen	28
3.2.1	Eigenschaften	28
3.2.2	Wärmeschutz-Rate.....	29
3.3	Ergänzende Auswertungen	31
3.3.1	Maßnahmenkombinationen bei Modernisierung.....	31
3.3.2	Standards bei Neubauten.....	32
3.3.3	Fördermittel	32
3.3.4	Energieberatung.....	33
3.3.5	Denkmalschutz	33
3.4	Gebäudemodernisierung.....	33
3.4.1	Gebäudemodernisierungsparameter.....	34
3.4.2	Gebäudeeffizienzparameter	35
4	Zustand und Dynamik der energetischen Qualität der Wärmeversorgung..	37
4.1	Basisdaten der Wärmeerzeugung	37
4.2	Modernisierung der Wärmeerzeugung.....	39
5	Eigentümerklassen und Modernisierung	42

6	Kälteversorgung	44
6.1	Basisdaten der Kälteerzeugung	44
6.2	Modernisierung der Kälteerzeugung	45
7	Raumlufttechnische Anlagen	46
7.1	Basisdaten der Raumlufttechnik	46
7.2	Modernisierung der Raumlufttechnik	48
8	Beleuchtung	49
8.1	Basisdaten der Beleuchtungsanlagen	49
8.2	Modernisierung der Beleuchtungsanlagen	49
Anhang A	Literaturverzeichnis	1

1 Zusammenfassung

Im Forschungsprojekt ENOB:dataNWG wurde der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland mit dem Ziel erforscht, wesentliche Kenntnislücken in diesem Bereich zu schließen. Dazu wurde der Bestand anhand einer repräsentativen Stichprobenerhebung erstmals statistisch valide erhoben. Eine zentrale Forschungsfrage des Projekts war, den Stand und die Dynamik der energetischen Beschaffenheit der Nichtwohngebäude zu ermitteln. Der vorliegende Teilbericht stellt detailliert die Ergebnisse der Erhebungen im Hinblick auf den baulichen Wärmeschutz an den Gebäudehüllen und der haustechnischen Anlagen der Nichtwohngebäude in Deutschland dar.

1.1 Wichtige Ergebnisse zur Modernisierung der Nichtwohngebäude in Deutschland

1. Das Projektdesign von ENOB:dataNWG für eine Stichprobenerhebung im Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland mit dem Ziel, die bisher unbekannt Strukturen sowie Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung statistisch valide zu erheben, konnte erfolgreich umgesetzt werden. Aufbereitete Gebobasisdaten sind eine geeignete Auswahlgrundlage für die Stichprobenziehung. Die Bereitschaft, an der Befragung teilzunehmen, war auch im Bereich eher kommerzieller Gebäude ausreichend groß. (vgl. Abschnitt 2.2 Methodik).
2. Erstmals konnten die Strukturen dieses Gebäudebestands wie Anzahl, Flächen, Haupt-Gebäudefunktionen, Baualterstrukturen und Eigentümerstrukturen statistisch valide quantifiziert werden (vgl. Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). 1,981 ± 0,152 Mio. Nichtwohngebäude sind demnach *GEG-relevant*, sie umfassen eine Bruttogrundfläche von 3.507 ± 0.399 Mio. m². (vgl. (Hörner et al. 2021) [Projektinformation Nr. 8.3](#))
3. Die Modernisierung von Bauteilen der Gebäudehülle ist unterschiedlich weit fortgeschritten, am weitesten beim Bauteil Dach bzw. oberste Geschossdecke und bei den Fenstern bzw. Verglasungen. Der Gebäudemodernisierungsfortschritt aller GEG-relevanten NWG beträgt 19% (vgl. Tabelle 3-20). Er gibt den Anteil der Gebäudehüllfläche gegen außen im Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland an, der nachträglich, also nach dem Zeitpunkt der Errichtung eines Gebäudes, bereits energetisch modernisiert wurde. Die mittlere jährliche Gebäudemodernisierungsrate von 0,7%/a der Gebäudehüllfläche reicht nicht aus, um Klimaschutzziele im Gebäudebestand bis zum Jahr 2045 zu erreichen. Aber: Etwa 2% der Außenwandflächen werden pro Jahr saniert, ohne dass dort gleichzeitig gedämmt wird. Es würde einen entscheidenden Unterschied in der energetischen Modernisierungsdynamik machen, wenn es gelänge diese Gelegenheiten auch mit Dämmmaßnahmen zu koppeln.
4. Mit einer moderaten Steigerung der derzeitigen Modernisierungsrate von 2,3%/a könnte ein Großteil der Wärmeerzeuger bis zum Jahr 2045 noch einmal ausgetauscht werden. Allerdings ist der Wechsel der Energieträger derzeit bei weitem nicht ausreichend für die erforderliche Wärmewende. (vgl. Abschnitt 4 Zustand und Dynamik der energetischen Qualität der Wärmeversorgung).

5. Die Modernisierungsdynamik im Zeitraum 2010 bis 2014 zeigt deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Eigentümerkategorien. In diesem Zeitraum haben die privaten institutionellen Eigentümer überdurchschnittlich viel modernisiert, sowohl bei Außenwänden und Fenstern als auch bei den Haupt-Wärmeerzeugern. Auch öffentliche Eigentümer modernisierten an der Gebäudehülle überdurchschnittlich viel, bei den Haupt-Wärmeerzeugern aber deutlich unter Durchschnitt. Die privaten natürlichen Personen als Eigentümer haben in diesem Zeitraum in ihren NWG deutlich unter Durchschnitt modernisiert. (vgl. Abschnitt 5 Eigentümerklassen und Modernisierung)
6. In weit über zwei Dritteln der Fälle von energetischer Modernisierung im Zeitraum 2010 bis 2014 wurden vorzugsweise Einzelmaßnahmen durchgeführt, keine Maßnahmenpakete. (vgl. Abschnitt 3.3.1 Maßnahmenkombinationen bei Modernisierung)
7. Rund 43% der Befragten von nach 2010 errichteten Neubauten gaben an, dass ihr Gebäude bessere energetische Standards - KfW-Effizienzgebäude 70, KfW-Effizienzgebäude 55 oder Passivhausstandard – mit Nachweis durch einen Fachmann aufweise, als durch die EnEV bzw. das GEG vorgeschrieben. (vgl. 3.3.2 Abschnitt Standards bei Neubauten)
8. In der [Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude](#) stehen wichtige Merkmale aus der Breiterehebung des Bestands der Nichtwohngebäude in Deutschland für Auswertungen Dritter im Wege des Fernrechnens zur Verfügung.

1.2 Empfehlungen

Die Modernisierungsdynamik an den Gebäudehüllen der Nichtwohngebäude in Deutschland, im Projekt ENOB:dataNWG gemessen als Gebäudemodernisierungsrate, reicht mit 0,7 %/a bei allen NWG und 1,1%/a bei den Altbauten (vgl. Tabelle 3-20) mutmaßlich nicht aus, um die Klimaschutzziele der Bundesregierung im Gebäudesektor zu erreichen. Selbst wenn es in Zukunft gelingen sollte, die GEG-relevanten Gebäude vollständig mit erneuerbaren Energieträgern thermisch zu konditionieren, ohne dabei Treibhausgase auszustoßen, wird in der Zeit bis es soweit ist, das Budget an zulässigen Emissionen aus dem Gebäudesektor mutmaßlich überschritten sein. Die Energieeffizienz der Gebäudehüllen muss deshalb sofort und entschieden auf deutlich höhere jährliche Raten als bisher gesteigert werden, um den Endenergieverbrauch für thermische Konditionierung zu reduzieren.

Bei der Betrachtung der verschiedenen Bauteile zeigen sich große Unterschiede. Tabelle 3-5 zeigt, dass nur bei knapp 15% aller NWG der Wärmeschutz an den Außenwänden nachträglich verbessert wurde. Noch geringer ist der Fortschritt mit knapp 10% am unteren wärmeübertragenden Gebäudeabschluss. Deutlich häufiger wird die Dämmung am wärmeübertragenden oberen Gebäudeabschluss nachträglich erstmals angebracht oder ertüchtigt, also an Dächern und obersten Geschossdecken, mit rund 41% aller NWG und mit über 60% bei den Altbauten. Möglicherweise ist dies auch eine Folge der Modernisierungsverpflichtung, die für oberste Geschossdecken in gewissen Situationen besteht. Bei der Entwicklung von Konzepten und Instrumenten zur Steigerung der Energieeffizienz und insbesondere der Dynamik beim Wärmeschutz erscheint also ein differenzierter Blick auf die einzelnen Bauteile und Maßnahmen notwendig.

Die transparenten Bauteile scheinen oft nur teilweise erneuert zu werden. Dafür spricht, dass nach Tabelle 3-16 nur gut 34% aller transparenten Flächen erneuert

wurden, während der Anteil der Gebäude mit Fenstererneuerung bei 53 % liegt. Die transparenten Bauteile sind die die spezifisch teuersten am Gebäude. Es erscheint daher noch viel weniger als bei anderen Maßnahmen (wie z. B. der Außenwanddämmung) wahrscheinlich und erreichbar, dass eine solche Maßnahme ohne konkreten Sanierungsanlass nur zum Zwecke der Energieeinsparung durchgeführt wird. Ein solcher Anlass sollte daher für eine energetisch optimale Modernisierung genutzt werden.

Es gibt viel Bautätigkeit an den Gebäudehüllen, die aber offensichtlich nicht zur energetischen Modernisierung genutzt wird, hauptsächlich an den Außenwänden, die an jährlich über 3% der NWG ganz oder teilweise saniert aber nicht gleichzeitig energetisch modernisiert werden. Demnach entscheiden sich nicht wenige Eigentümer immer noch dagegen, eine günstige Gelegenheit zur Verbesserung des Wärmeschutzes an der Außenwand ihres Gebäudes zu nutzen. Hier besteht in vielen Fällen ein Hebel für die Verschärfung bedingter Modernisierungspflichten bzw. die deutliche Stärkung der Kontrolle in der Umsetzung, mit zumutbaren Belastungen für die Eigentümer der Gebäude.

Bei Neubauten gaben nur gut 16% der Befragten an, Fördermittel beantragt zu haben, obwohl 43% nach besseren energetischen Standards gebaut haben als gesetzlich vorgeschrieben. Hier scheint der Markt die Ambitionen des Gesetzgebers zu überholen. Eine Verschärfung der Anforderungen beim Neubau scheint überfällig zu sein.

Bei den Wärmeerzeugern ist ähnlich wie bei den anderen haustechnischen Anlagen die Modernisierungsrate erfreulich hoch. Dies scheint mit den technisch-wirtschaftlichen Nutzungsdauern zu korrelieren, die kürzer sind als bei den Bauteilen der Gebäudehülle. Allerdings werden nach wie vor deutlich zu viele Neuanlagen der Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen betrieben. Im Ordnungsrecht und bei den Förderprogrammen sollten entschlossener Anreize für das Umsteuern gesetzt werden.

Erst nach Abschluss der Erhebung wurde mit der Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) eine erhebliche Ausweitung der Förderung für energetische Modernisierung im Gebäudebestand beschlossen. Ob sich die Modernisierungsraten alleine dadurch in die erforderliche Richtung bewegen lassen, ist eine offene Frage. Wir empfehlen schon jetzt, mit den Planungen für eine nächste Erhebung zur Modernisierungsdynamik zu beginnen. Nur so kann zeitnah und verlässlich gemessen werden, ob die gewünschte Wirkung auch eintritt und der Gebäudebestand auf den erforderlichen Klimaschutzkurs gebracht werden kann. Wenn nicht, werden weitere Maßnahmen erforderlich.

2 Klimaschutzmonitoring im Gebäudebestand

2.1 Anlass

Die Bundesregierung hat sich mit dem Beitritt zum **Übereinkommen von Paris** völkerrechtlich verbindlich den dort in Artikel 2 (1) a) genannten Klimaschutzziele verpflichtet: Begrenzung des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 Grad Celsius und möglichst auf 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau. Um diese Ziele erreichen zu können, legte die Bundesregierung im November 2016 mit dem **Klimaschutzplan 2050** den inhaltlichen Rahmen für alle Sektoren fest: Energiewirtschaft, Gebäude- und Verkehrssektor, Industrie sowie in der Land- und Forstwirtschaft. Ende 2019 trat in Deutschland dann das **Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)** in Kraft. Darin wird ein verbindlicher Fahrplan zur Senkung der Emissionen von Treibhausgasen (THG) in allen Sektoren bis zum Jahr 2030 festgelegt, um die nationalen Klimaschutzziele zu erreichen. Mit dem Urteil vom 29.04.2021 hat das Bundesverfassungsgericht allerdings entschieden, „dass die Regelungen des Klimaschutzgesetzes vom 12. Dezember 2019 (Klimaschutzgesetz <KSG>) über die nationalen Klimaschutzziele und die bis zum Jahr 2030 zulässigen Jahresemissionsmengen insofern mit Grundrechten unvereinbar sind, als hinreichende Maßgaben für die weitere Emissionsreduktion ab dem Jahr 2031 fehlen.“¹ Am 12.05.2021 beschloss das Bundeskabinett daraufhin, die jährlichen Minderungsziele pro Sektor für die Jahre 2023 bis 2030 und gesetzliche Festlegung der jährlichen Minderungsziele für die Jahre 2031 bis 2040 anzuhängen und hierzu ein Sofortprogramm vorzulegen.²

Das Langfristziel Deutschlands, die weitgehende THG-Neutralität derzeit bis zum Jahr 2050, genauer die Senkung der THG-Emissionen um 80% bis 95% bezogen auf das Referenzjahr 1990, soll bereits 2045 erreicht werden. In der Klimaforschung verdichtet sich derweil jedoch die Erkenntnis, dass die Klimaneutralität am oberen Ende der Spanne der prozentualen Emissions-Minderung definiert und deutlich früher als im neuen Zieljahr erreicht werden muss (IPCC 2018).

Die Energiewende im Gebäudesektor spielt eine wichtige Rolle in der Klimaschutzstrategie. Im Klimaschutzgesetz (KSG) wird dem Gebäudesektor³ in Deutschland im Jahr 2020 eine Jahresemissionsmenge von 118 Mt CO₂-Äquivalenten zugestanden, entsprechend 14,5% der gesamten Emissionen. Der Anteil des **gebäuderelevanten Endenergieverbrauchs** lag gemäß dem 2. Fortschrittsbericht zur Energiewende⁴ im

¹ <https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/bvg21-031.html>, Abruf 04.06.2021, 12:18 Uhr

² <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>, Abruf 08.06.2021, 08:45 Uhr

³ Die Sektoren werden im Klimaschutzgesetz (KSG) abgegrenzt entsprechend den Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformats (Common Reporting Format – CRF) des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) sowie den entsprechenden europäischen Durchführungsrechtsakten (derzeit Durchführungsverordnung EU Nr. 749/2014) oder entsprechend einer auf der Grundlage von Artikel 26 Absatz 7 der Europäischen Governance-Verordnung erlassenen Nachfolgeregelung (KSG Anlage 1). Als Quellkategorien im Sektor Gebäude zählen die Verbrennung von Brennstoffen in Haushalten, Handel und Behörden sowie sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere in militärischen Einrichtungen). Anlage 2 des KSG listet die zulässigen Jahresemissionsmengen auf.

⁴ Im 2. Fortschrittsbericht zur Energiewende, Die Energie der Zukunft, Berichtsjahr 2017 (BMWi 2019 S. 105) wird der Endenergieverbrauch in Gebäuden als Wärmebedarf bezeichnet. Dieser „gebäuderelevante

Jahr 2017 bei insgesamt rund 34,5 Prozent. Der größte Teil davon entfiel auf die privaten Haushalte, gefolgt vom Gewerbe- und Dienstleistungssektor und der Industrie. Die Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) gibt denn auch im Einklang mit den Gesamtzielen den **klimaneutralen Gebäudebestand** als ambitioniertes aber machbares Ziel im Gebäudesektor aus (BMWi 2015 S. 4).

Die Strategie der zielorientierten Weiterentwicklung zum klimaneutralen Gebäudebestand kann sich auf eine breite Palette unterschiedlichster Maßnahmen stützen, um der Vielfalt von baulichen Situationen und Eigentumsverhältnissen gerecht zu werden. Erfreulicher Weise sind viele technische Lösungen zum Klimaschutz an Gebäuden bekannt und bereits erprobt. Energieeffiziente Plusenergiehäuser stellen den Stand der Technik bei Neubauten dar, mit vertretbaren Mehrkosten gegenüber den aktuellen gesetzlichen Mindest-Anforderungen im Gebäudeenergiegesetz (GEG). Entscheidend aber ist, wie schnell und wie tiefgreifend die bereits bestehenden Gebäude energetisch modernisiert werden können. Wirtschaftlich optimal ist es, die Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs eines Gebäudes mit der wiederkehrend notwendigen Instandhaltung an Gebäudehülle und Anlagentechnik zu verbinden. Für den verbleibenden Energiebedarf muss aus fossilen Quellen erzeugte Energie durch möglichst gebäudenah erzeugte erneuerbare Energie substituiert werden. Je nach der konkreten Situation am Gebäude wird der Beitrag zur Senkung des fossilen Energieverbrauchs durch Maßnahmen der Energieeffizienz und solche der Substitution durch regenerative Energie, insbesondere durch dekarbonisierte Wärmeversorgung, unterschiedlich hoch sein. Die Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) und der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) empfehlen deshalb, gebäudeindividuelle Sanierungsfahrpläne zu erstellen. Denn es ist vernünftig, begrenzte Ressourcen möglichst optimal zu allokalieren. Ein funktionierendes System des Handels mit Treibhausgas-Zertifikaten muss die vorgenannten Maßnahmen ergänzen, um die verbleibenden Emissionen im Gebäudesektor, z.B. die „grauen“ Emissionen aus der Bereitstellung der Baustoffe, zu kompensieren.

Neben den Jahrzehnte-langen Sanierungszyklen bremsen aber auch andere Hemmnisse den Prozess der Modernisierung zum klimaneutralen Gebäudebestand: Mangelnde Kenntnisse bei privaten Eigentümern, Disparitäten der Ertragsersparung in produzierenden Unternehmen, Anforderungen des Denkmalschutzes etc. Staatliche Maßnahmen im Ordnungsrecht, Förderprogramme und gezielte Information und Beratung sollen diese Hemmnisse überwinden und bewirken, dass keine Chancen verpasst werden. Die Wirksamkeit dieser Instrumente ist schwer vorherzusagen. Zwei Fragen stellen sich dabei: Erstens, welchen Fortschritt haben die bisherigen Anstrengungen gebracht, und zweitens, reicht die aktuelle Rate der Umsetzung von Maßnahmen aus, um die Klimaschutzziele im Gebäudebestand zu erreichen?

Um diese Fragen zu beantworten, ist ein Monitoring notwendig, also eine regelmäßige systematische, statistisch valide Erfassung der in diesem Sektor ablaufenden Entwicklungen. Zum einen, um den Erfolg hinsichtlich der eigentlichen Zielgrößen - THG-Emissionen bzw. nicht-erneuerbarer Primärenergiebedarf - zu kontrollieren.

Endenergieverbrauch“ macht 34,5% am gesamten Endenergieverbrauch aus und berücksichtigt die Sektoren priv. Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Industrie. „Als gebäuderelevanter Endenergieverbrauch für Wärme (Wärmebedarf) werden die Verbrauchswerte für Raumwärme (Heizung), Raumkühlung und Warmwasserbereitung ausgewiesen. Zusätzlich wird in Nichtwohngebäuden der Stromverbrauch für die (fest installierte) Beleuchtung bilanziert.“

Zum anderen kommt es aber auch auf eine differenzierte Betrachtung an, die der großen Vielfalt des deutschen Gebäudebestands ebenso wie der Vielfalt der möglichen Maßnahmen gerecht wird, denn dieser Vielfalt müssen auch die eingesetzten Instrumente adäquat Rechnung tragen⁵. Für die Weiterentwicklung der Klimaschutzstrategie müssen strukturelle Basisinformationen jeweils aktuell bereitgestellt werden. Dies ist nur möglich, wenn neben den Energiebilanzen auch strukturelle Daten über die Fortschritte beim Wärmeschutz und bei der Wärmeversorgung im Gebäudesektor gewonnen werden. Die Modernisierungsrate für den Gebäude-Wärmeschutz ist darin eine wichtige, aber nicht die einzige Zielgröße (Diefenbach, Cischinsky 2015). Solche Daten über den Ist-Zustand und die aktuelle Dynamik der energetischen Modernisierung sind auch für die Modellbildung in Szenarienanalysen notwendig.

Zuverlässige und aktuelle Basisdaten über den Gebäudebestand sind also unerlässlich für zielgerichtetes staatliches Handeln beim Klimaschutz im Gebäudesektor. Die AG Energiebilanzen erhebt regelmäßig die zentralen Zielgrößen wie THG-Emissionen bzw. nicht-erneuerbarer Primärenergiebedarf unter anderen auch für den Gebäudesektor, die Bundesregierung wird jährlich einen Klimaschutzbericht (BReg 2019) erstatten. Für die Strukturdaten zum Wärmeschutz und zur Wärmeversorgung geschieht das bisher nur unregelmäßig und mit großen zeitlichen Abständen in modellhaften Forschungsprojekten, für den Wohngebäudebestand zuletzt in (Cischinsky, Diefenbach 2018), und nun erstmalig im Projekt ENOB:dataNWG für den Nichtwohngebäudebestand (Hörner 2020).

Allerdings gibt es derzeit auch Bestrebungen der Bundesregierung, die nur alle zehn Jahre durchgeführte Gebäude- und Wohnungszählung (GWZ), die bisher Hauptquelle von Informationen zu Gebäuden und Wohnungen war, auf eine registerbasierte Ermittlung umzustellen mit der Perspektive, die Ergebnisse weniger belastungsintensiv zu ermitteln, in kürzeren Abständen zu veröffentlichen und bestehende Datenlücken zu schließen (Körner et al. 2019).

2.2 Methodik

2.2.1 Projektdesign

Unser Forschungsinteresse in ENOB:dataNWG galt den Nichtwohngebäuden (NWG) in Deutschland. Sie stellen die sogenannten Untersuchungseinheiten dar, mit

$$U = \{NWG | \text{in Deutschland}\}$$

bezeichnen wir die Menge aller Untersuchungseinheiten.

Sie wurden anhand einer repräsentativen Stichprobe erforscht. Da es ein Gebäuderegister noch nicht gibt, dienten die georeferenzierten Polygone der Hausumringe (HU-DE) als Auswahlgrundlage für die Ziehung einer Stichprobe. HU-DE ist ein Geobasisdaten-Produkt, das inzwischen flächendeckend für ganz Deutschland in digitaler Form vorliegt (ZSHH 2019). Dadurch eröffnet sich zum ersten Mal die Möglichkeit, den Sektor der Nichtwohngebäude in einer klassischen Stichprobenerhebung statistisch repräsentativ und kostengünstig zu erforschen.

⁵ In (Cischinsky, Diefenbach 2018) wurde z.B. festgestellt, dass die Modernisierung bei der Wärmeversorgung im Wohngebäudebestand zwar mit einer erfreulich hohen Rate von etwa 3 % pro Jahr voran schreitet, aber kein Brennstoffwechsel in ausreichendem Maße stattfindet, während die Modernisierungsrate beim Wärmeschutz weiterhin bei etwa 1 % pro Jahr stagniert.

Nachdem die Geodaten für die Zwecke der geplante Erhebung aufbereitet waren (Hartmann et al. 2020a), wurde eine Stichprobe von 100.000 Hausumringen gezogen. Eine detaillierte Beschreibung zur Modellierung und Ziehung der Stichprobe findet sich in (Cischinsky 2021a).

Mit dem Screening (Busch 2020) aller gezogenen Hausumringe vor Ort wurden die Grundlagen für die Befragung in der Breitenerhebung gelegt. Das war erforderlich, um erstens die Relevanz der Hausumringe und ihre Beziehung zu den Gebäuden festzustellen. Denn die Ausprägungen des Attributs Gebäudefunktion in den Geobasisdaten waren oft für Zwecke der Erhebung nicht aussagekräftig genug und ein Hausumring bildete häufig nur einen Teil eines Gebäudes ab. Zweitens konnten nur so Hinweise auf die Eigentümer ermittelt werden, etwa anhand von Firmenschildern an den Gebäuden, denn der Zugriff auf diese Angaben in Grundbüchern oder bei den Steuerbehörden unterliegt dem Datenschutz. Und drittens wurden einige Gebäudemerkmale erhoben, wie etwa der augenscheinliche Modernisierungsstatus, die für das später relevante Nonresponse-Modell wichtig waren.

In der Breitenerhebung wurden über 6.000 Interviews geführt mit Personen, die willens und in der Lage waren, Auskünfte zu den ausgewählten Nichtwohngebäuden zu geben. Die Teilnahme war freiwillig, so dass es auch Antwortausfälle, sowohl in Gestalt von Unit- als auch in Gestalt von Item-Nonresponse, gab.

Da zum Projektbeginn auch die 3D Gebäudedaten (LoD1) flächendeckend zur Verfügung standen, eröffnete sich die Möglichkeit, wichtige geometrische Eigenschaften für alle Gebäude in der Stichprobe abzuleiten: Grundfläche, Höhe, Abwicklung und Fassadenfläche nach Haupthimmelsrichtungen (Hartmann et al. 2020b). Im Unterschied zur Erhebung der Wohngebäude bestand in ENOB:dataNWG dadurch die Möglichkeit, die relevanten Hüllflächen der Gebäude aus den 3D-Gebäudedaten (LoD1) zu berechnen sowie bereits modernisierte Teilflächen aus den Angaben der Befragten abzuleiten.

Hauptziel des Projekts ENOB:dataNWG war es, Modernisierungsfortschritte und -raten an den Bauteilen der Gebäudehüllen und bei den technischen Anlagen im Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland, die uneingeschränkt den Vorschriften des §2 Abs. 1 GEG unterliegen, zu bestimmen. Eine Methodik wurde erarbeitet, um dies mit Hilfe einer Stichprobenerhebung auf Grundlage der Geobasisdaten zu tun.

2.2.2 Schätzung von Fortschritt und Rate der Modernisierung eines Gebäudebestands aus einer Stichprobe

Zum Verständnis der Ergebnisse der Erhebung werden die verwendeten Begriffe definiert und kurz erläutert, wie sie aus der Stichprobentheorie abgeleitet werden. Ausführlicher werden die Modellierung und Ziehung der Stichprobe sowie daraus abgeleitete Schätzungen von Parametern in (Cischinsky 2021a S. 55 ff.) beschrieben.

Um für die Population U aller Nichtwohngebäude einen Parameter t auf Basis der Stichprobe s zu schätzen, greifen wir auf den sog. Horvitz-Thompson-(Merkmalssummen-) Schätzer (kurz: HT-Schätzer) \hat{t}_π zurück, für den gilt

$$\hat{t}_\pi = \sum_{k \in s} \frac{y_k}{\pi_k}$$

mit

- $\pi_k > 0$ Ziehungswahrscheinlichkeit für ein Nichtwohngebäude k
- y_k Merkmalsausprägung des interessierenden Merkmals y von Untersuchungseinheit k (d. h. von Nichtwohngebäude k)
- s Menge der Untersuchungseinheiten (d. h. also der Nichtwohngebäude), die über die gezogene Stichprobe identifiziert worden sind

Dadurch, dass der HT-Schätzer die Merkmalsausprägung jedes Stichproben-Nichtwohngebäudes durch die korrespondierende Gebäudeziehungswahrscheinlichkeit dividiert und danach über alle Stichproben-Nichtwohngebäude aufsummiert, werden die Merkmalsausprägungen von Nichtwohngebäuden in der Stichprobe mit hoher Ziehungswahrscheinlichkeit gering gewichtet und umgekehrt die mit niedriger Ziehungswahrscheinlichkeit entsprechend hoch. Der Kehrwert der Ziehungswahrscheinlichkeit eines Nichtwohngebäudes entspricht dabei dessen Hochrechnungsfaktor, der angibt, für wie viele Nichtwohngebäude der Grundgesamtheit das Stichproben-Nichtwohngebäude stellvertretend steht.

Die Anzahl der GEG-relevanten Nichtwohngebäude in Deutschland z. B., also der Umfang $\hat{N}_{\tilde{U}}$ der Population $\tilde{U} \subset U$, ergibt sich als Summenschätzer aus

$$\hat{N}_{\tilde{U}} = \sum_{k \in s} \frac{NWG_k}{\pi_k}$$

mit

$$NWG_k = \begin{cases} 1, & \text{wenn Untersuchungseinheit } k \text{ GEG - relevant} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$\tilde{U} \subset U$ Population der GEG-relevanten Nichtwohngebäude als Teilmenge der Menge aller Nichtwohngebäude U

Eine solche Hochrechnung aus einer Stichprobe auf eine Grundgesamtheit ist immer mit einer stichprobenimmanenten Schätzungenauigkeit, dem Standardfehler⁶ $\hat{\sigma}(\hat{N}_{GEG})$, behaftet, der aus der Stichprobe heraus geschätzt werden kann. So ergibt sich der Schätzwert der Anzahl der GEG-relevanten NWG in Deutschland zu $\hat{N}_{GEG} = 1,981 \pm 0,152$ Mio.

Relevant für die Energiewende im Gebäudebestand ist der **Modernisierungsfortschritt** $f_{Bt,nd}^N$ [%], also der Anteil der GEG-relevanten Nichtwohngebäude, der zum Zeitpunkt der Erhebung am untersuchten Bauteil Bt bereits nachträglich energetisch ertüchtigt, also gedämmt, war, an allen GEG-relevanten Nichtwohngebäuden der Grundgesamtheit. Diesen definieren wir als das Verhältnis zweier Merkmalssummen, der Anzahl aller am betreffenden Bauteil nachträglich gedämmten Nichtwohngebäude, $N_{Bt,nd}$, einerseits und der Anzahl aller GEG-relevanten Nichtwohngebäude andererseits

⁶ Wir geben in allen Auswertungen immer den Standardfehler an. „Fehler“ heißt aber nicht „falsch“. Stattdessen handelt es sich bei „Fehlern“ im Sinne der Stichprobentheorie um nicht gänzlich auszuräumende Unsicherheiten, die daher rühren, dass man aus unterschiedlichen Gründen nicht mit letzter Gewissheit die Übereinstimmung der Auswertungsergebnisse einer Stichprobenerhebung mit den wahren Gegebenheiten in der Grundgesamtheit garantieren kann. Standardfehler gehören zur wissenschaftlich korrekten Darstellung von Ergebnissen immer dazu. Man muss sie so lesen: Der Mittelwert ist der aus der Stichprobe ermittelte wahrscheinlichste Wert für die wahre aber unbekannte Anzahl der NWG. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% liegt der wahre, aber unbekannte Wert im Bereich von einem Standardfehler um den angegebenen Mittelwert.

$$f_{Bt,nd}^N = \frac{N_{Bt,nd}}{N_{GEG}} [\%]$$

Wenn alle GEG-relevanten Gebäude am betrachteten Bauteil nachträglich gedämmt sind, wird $f_{Bt,nd}^N = 100\%$.

Beide Merkmalssummen müssen jedoch für die Population aus einer Stichprobe geschätzt werden, wobei \hat{N}_{GEG} als Summenschätzer ermittelt werden kann, wie oben gezeigt. Bei der anderen Merkmalssumme, $\hat{N}_{Bt,nd}$, gibt es für manche Untersuchungseinheiten jedoch fehlende Werte bezüglich des Merkmals *bt_nachged*, z. B. weil manche Befragte nicht angeben konnten, ob das betreffende Bauteil am in Frage stehenden Gebäude nachträglich gedämmt wurde. Deshalb wird der Modernisierungsfortschritt f mittels Verhältnisschätzung auf der Teilmenge der Stichprobe \tilde{s} ermittelt, deren Elemente gültige Ausprägungen des Merkmals $bt_nachged \geq 0$ haben⁷

$$\hat{f}_{Bt,nd} = \frac{\sum_{k \in \tilde{s}} y_k}{\sum_{l \in \tilde{s}} z_l} = \frac{\hat{N}_{Bt,nd}}{\hat{N}}$$

$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{wenn Untersuchungseinheit } k \text{ ein GEG - rel. NWG ist,} \\ & \text{das bereits am Bauteil } Bt \text{ nachträglich gedämmt ist,} \\ & \text{also } bt_nachged = 1 \text{ ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$$z_l = \begin{cases} 1, & \text{wenn Untersuchungseinheit } l \text{ ein GEG - rel. NWG ist,} \\ & \text{das einen gültigen Wert beim} \\ & \text{Merkmal "Bauteil } Bt \text{ nachträglich gedämmt" ist,} \\ & \text{also } bt_nachged \geq 0 \text{ ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$\tilde{s} \subset s$ Teilmenge der GEG-relevanten Untersuchungseinheiten mit gültigen Merkmalsausprägungen beim Merkmal $bt_nachged \geq 0$ an der gesamten Stichprobe s

Zur Schätzung des Standardfehlers dieses Verhältnisschätzers siehe (Cischinsky 2021a S. 58).

Die Anzahl der am Bauteil nachträglich gedämmten Nichtwohngebäude ergibt sich dann als Produkt

$$\hat{N}_{Bt,nd} = \hat{f}_{Bt,nd} \cdot \hat{N}_{GEG}$$

Dabei wird angenommen, dass die Teilmenge der Untersuchungseinheiten mit ungültigen Merkmalsausprägungen strukturgleich zur Teilmenge derjenigen mit gültigen Werten ist. Der Standardfehler dieses Produkts wurde im Projekt mit Hilfe des Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetzes bestimmt, also ebenfalls geschätzt.

Die Gebäude können allerdings sehr unterschiedlich groß sein. Relevant für die Energiewende im Gebäudebestand ist der flächenbezogene Modernisierungsfortschritt $f_{Bt,nd}^A$ [%], also der Anteil der nachträglich gedämmten Bauteilfläche an der gesamten Bauteilfläche eines opaken Bauteils Bt der Gebäudehüllen der Grundgesamtheit. Diesen definieren wir ebenfalls als das Verhältnis zweier Merkmalssummen, der

⁷ Fehlende bzw. ungültige Werte werden durch negative Zahlen codiert: -7 für „unbekannt“ (Befragte konnten die Annahmen nicht machen) oder -8 für „trifft nicht zu“ (die Frage war für das betreffende Gebäude nicht relevant).

Summe aller nachträglich gedämmten Flächen des Bauteils Bt , $A_{Bt,nd}[m^2]$, einerseits und der Summe aller Flächen dieses Bauteils, $A_{Bt}[m^2]$, andererseits

$$f_{Bt,nd}^A = \frac{A_{Bt,nd}}{A_{Bt}} [\%]$$

Wenn alle Gebäude an der gesamten Fläche des betrachteten Bauteils nachträglich gedämmt sind, egal mit welcher Dämmstärke, wird $f_{Bt,nd}^A = 100\%$.

Beide Merkmalssummen müssen jedoch zum einen aus einer Stichprobe geschätzt werden. Zum anderen gibt es bei beiden fehlende Werte, z. B. weil Befragte nicht angeben konnten, ob oder in welchem Maße das Bauteil nachträglich gedämmt wurde, bzw. weil die Bauteilfläche nicht ermittelt werden konnte. Beide Merkmalssummen sind deshalb jeweils als Produkt zweier anderer Schätzgrößen zu schätzen, nämlich des Merkmalssummenschätzwerts für die Populationsgröße \hat{N}_{GEG} (siehe oben), der frei von fehlenden Werten ist, und einem geeigneten Verhältnisschätzwert, in diesem Fall zum einen der durchschnittlichen, nachträglich gedämmten Fläche, geschätzt über alle Untersuchungseinheiten mit gültigen Werten für das betreffende Merkmal,

$$\hat{A}_{Bt,nd} = \frac{\sum_{k \in \hat{s}} \frac{A_{Bt,nd,k}}{\pi_k}}{\sum_{i \in \hat{s}} \frac{NWG_i}{\pi_i}} = \frac{\sum_{k \in \hat{s}} \frac{A_{Bt,nd,k}}{\pi_k}}{\hat{N}_{\hat{U}}}$$

$\hat{U} \subset U$ Population der GEG-relevanten Nichtwohngebäude mit einem gültigen Wert $A_{Bt,nd,k} \geq 0$ als Teilmenge aller Nichtwohngebäude

$\hat{s} \subset s$ Menge der Untersuchungseinheiten, d. h. der GEG-relevanten Nichtwohngebäude mit einem gültigen Wert $A_{Bt,nd,k} \geq 0$, die über die gezogene Stichprobe identifiziert worden sind

und zum anderen der durchschnittlichen Fläche des betreffenden Bauteils \hat{A}_{Bt} .

Der Schätzwert für die zum Erhebungszeitpunkt schon nachträglich gedämmte Bauteilfläche in der Grundgesamtheit aller GEG-relevanten Nichtwohngebäuden ergibt sich dann aus

$$\hat{A}_{Bt,nd} = \hat{A}_{Bt,nd} \cdot \hat{N}_{GEG}$$

und der für die gesamte Bauteilfläche (egal, ob nachträglich oder bei Errichtung gedämmt oder gar nicht gedämmt) ganz analog aus

$$\hat{A}_{Bt} = \hat{A}_{Bt} \cdot \hat{N}_{GEG}$$

Der aus der Stichprobe geschätzte, flächenbezogene Modernisierungsfortschritt des Bauteils Bt im Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist dann

$$\hat{f}_{Bt,nd}^A = \frac{\hat{A}_{Bt,nd}}{\hat{A}_{Bt}} [\%]$$

Die Standardfehler dieses Quotienten und der beiden vorher berechneten Produkte wurden im Projekt mit Hilfe des Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetzes bestimmt, also ihrerseits geschätzt.

Ganz analog wird die geschätzte Fläche eines Bauteils mit im Zeitraum djk nachträglich angebrachter Dämmung mit $\hat{A}_{Bt,nd,djk}[m^2]$ bezeichnet, wobei dieser Zeitraum $n_{djk}[a]$ Jahre lang sei. Die aus der Stichprobe geschätzte, flächenbezogene, **mittlere**

jährliche Modernisierungsrate des Bauteils Bt im Zeitraum djk im Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland

$$\hat{r}_{Bt,nd,djk}^A = \frac{\hat{A}_{Bt,nd,djk}}{\hat{A}_{Bt} \cdot n_{djk}} \left[\frac{\%}{a} \right]$$

gibt den Anteil der Bauteilfläche in Prozent an, der pro Jahr im betreffenden Zeitraum nachträglich gedämmt wurde.

Als Bezugsgröße von Fortschritt und Rate wird jeweils die Gesamtzahl bzw. Gesamtgröße aus allen GEG-relevanten Nichtwohngebäuden (ohne fehlende Werte) bzw. der jeweils betrachteten Teilmenge in Baualtersklassen etc. zugrunde gelegt.

3 Zustand und Dynamik der energetischen Qualität der Gebäudehüllen

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse der Befragung zu den Eigenschaften der Gebäudehüllen und den Modernisierungsprozessen, die in den letzten Jahren vor der Befragung abgelaufen sind, beschrieben. Dabei konzentrieren wir uns auf die energetische Modernisierung im Bestand der NWG, die in vollem Umfang dem Gebäudeenergiegesetz (GEG)⁸ unterliegen. Aus der Hochrechnung ergibt sich eine Anzahl von $1,981 \pm 0,152$ Mio. dieser GEG-relevanten, d.h. beheizten oder gekühlten, NWG. Diese Zahl ist niedriger als bisher genannte Zahlen⁹. Aber im Projekt ENOB:dataNWG wurden zum ersten Mal Eigentümer direkt danach gefragt, ob ihr NWG thermisch konditioniert ist oder nicht. Das lässt sich auf andere Weise kaum feststellen. Denn manche Gebäudefunktionen sind nur eingeschränkt GEG-relevant, etwa wenn die Raum-Solltemperatur im Heizfall von 12°C bis $< 19^\circ\text{C}$ beträgt, oder es handelt sich um NWG, wie z.B. Lagerhallen, die nur GEG-relevant sind, wenn sie thermisch konditioniert werden. Deshalb geben wir eine zweite wichtige Teilmenge von NWG an, die funktional relevanten NWG, die mit $2,943 \pm 208$ Mio. NWG neben den GEG-relevanten auch thermisch gering-konditionierte¹⁰ und thermisch nicht konditionierte¹¹ NWG umfasst. Die folgenden Auswertungen zu Gebäudegeometrie und Wärmeschutzmaßnahmen beziehen sich aber ausschließlich auf die GEG-relevanten Gebäude.

Das Erhebungsdesign beruht auf dem Geobasisdatenprodukt HU-DE. Daraus leiten wir die Untersuchungseinheiten, einzelne Nichtwohngebäude, ab, die wir nach architektonischen und funktionalen Merkmalen definieren¹². Die ermittelte Anzahl der NWG ist also abhängig von der Gebäudedefinition. Die Summen der geometrischen Kenngrößen, wie die Bruttogrundfläche (BGF) oder die Nettoraumfläche (NRF), sind davon weniger abhängig. Sie summieren alle Hausumringflächen, die nach Inaugenscheinnahme im Screening von einem Gebäude oder Gebäudeteil mit Nichtwohnnutzung überdeckt werden.

Für das Merkmal Bruttogrundfläche, das sich aus den Hausumringflächen und den Angaben der Befragten zur Anzahl ober- und unterirdischer Geschosse ohne weitere Annahmen bestimmen lässt, wird eine Summe von $3.507 \pm 0,399$ Mio. m^2 ermittelt, was einem Mittelwert von 1.771 ± 149 m^2 BGF pro NWG entspricht. Die Angabe zur

⁸ Genauer: § 1 Abs. 1 GEG

⁹ Bisher genannte Mengengerüste thermisch konditionierter Nichtwohngebäude liegen mit 2,99 Mio. bei (Deilmann et al. 2013 S. 42) bzw. 3,231 Mio. bei (Clausnitzer 2015) sowie mindestens 3,5 Mio. in (BMW 2020 S. 30)) deutlich oberhalb der von uns ermittelten Menge der GEG-relevanten NWG und sogar noch höher als die Zahl funktional relevanter NWG.

¹⁰ Als thermisch gering-konditioniert bezeichnen wir NWG, die nach Angaben der Befragten in der Breitenerhebung zur Gebäudefunktion nach § 2 Abs. 2 Nr. 9 GEG von der vollen Anwendung des Gesetzes ausgenommen sind oder in denen 10% oder weniger der Nettoraumfläche thermisch konditioniert ist.

¹¹ Als thermisch nicht konditioniert gelten hier nur NWG, die hinsichtlich ihrer Gebäudefunktion unter § 2 Abs. 1 bzw. § 2 Abs. 2 Nr. 9 GEG fallen und die nach Angaben der Befragten in der Breitenerhebung dauerhaft nicht thermisch konditioniert sind, obwohl sie von ihrer Funktion her als relevant anzusehen wären (z.B. Lagergebäude).

¹² Die im Projekt ENOB:dataNWG verwendete Gebäudedefinition ist in (Busch, Müller 2020) ausführlich beschrieben.

BGF aus ENOB:dataNWG kann mit den in (BMW, BMU 2015a) angegebenen, nach Gebäudekategorien differenzierten Faktoren auf die NRF umgerechnet werden. Es ergibt sich eine NRF von $3.083 \pm 0,351$ Mio. m², deutlich höher als bisherige Vergleichswerte in der Literatur. Für die Nettoraumfläche (NRF), früher Nettogrundfläche (NGF), wurden bisher 2.346 Mio. m² in (BMW 2020 S. 31) als ein aus verschiedenen Quellen synthetisierter Wert bzw. 1.664 Mio. m² in (Deilmann et al. 2013 S. 42) als ein auf Basis der Geodaten von 4 Bundesländern auf ganz Deutschland übertragener Wert genannt.

Weitere wichtige Basisdaten zum NWG-Bestand sind in Projektinformation Nr. 8.3 beschrieben (Hörner et al. 2021).

Die Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude steht auch für Auswertungen interessierter Dritter im Wege des Fernrechnens¹³ zur Verfügung. Dazu liegt auch eine detaillierte **Beschreibung der verfügbaren Variablen (Cischinsky 2021b)** vor, auf die auch in diesem Text Bezug genommen wird

Zur Differenzierung von Aussagen über den Bestand der Nichtwohngebäude sind das Baualter und die Hauptgebäudfunktion wichtige Merkmale. Entsprechend tauchen auch in diesem Bericht die Variablen grobe Baualtersklasse *bak_grob*, mit den Ausprägungen Altbau (bis Baujahr 1978), Zwischenbau (1979 bis 2009) und Neubau (ab 2010), und aggregierte Hauptgebäudfunktion¹⁴ *hk_geb_agg*, mit den beiden Ausprägungen Dienstleistungsgebäude und Produktionsgebäude (und ähnliche), immer wieder auf.

3.1 Wärmeschutz bei opaken Bauteilen

3.1.1 Eigenschaften der opaken Bauteile

Fassade

„Fassade“ verwenden wir als Oberbegriff, wenn auf die vertikalen Bauteile der Gebäudehülle Bezug genommen wird. Fassaden bestehen ganz allgemein aus undurchsichtigen (sog. opaken) Bauteilen, üblicherweise als Außenwände bezeichnet, und transparenten Bauteilen, üblicherweise als Fenster bezeichnet. Vereinfacht ausgedrückt, gilt: Fassade = Außenwand + Fenster.

Die Flächen der Fassaden wurden aus den amtlichen Geobasisdaten ermittelt, die der gesamten Erhebung zugrunde liegen (Hartmann et al. 2020b). Im Folgenden sind nur die Flächen berücksichtigt, die zur Außenluft orientiert sind, nicht solche die an Nachbargebäude grenzen. Insgesamt wurde eine Fassadenfläche von 1.888 ± 185 Mio. m² für den Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ermittelt¹⁵, wovon die Fläche

¹³ Siehe dazu <https://www.datanwg.de/forschungsdatenbank/>

¹⁴ Folgende Hauptgebäudfunktionen (Ausprägungen der abgeleiteten Variablen *hk_geb*) sind unter **Dienstleistungsgebäuden** zusammengefasst: Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude (1), Gebäude für Forschung und Hochschullehre (2), Gebäude für Gesundheit und Pflege (3), Schule, Kindertagesstätte und sonstiges Betreuungsgebäude (4), Gebäude für Kultur und Freizeit (5), Sportgebäude (6), Beherbergungs- oder Unterbringungsgebäude, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude (7), Handelsgebäude (9) und unter **Produktionsgebäuden (und ähnliche)**: Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude (8), Technikgebäude (Ver- und Entsorgung) (10), Verkehrsgebäude (11)

¹⁵ Eigene Auswertung IWU dataNWG 4.3.2.3.0

der opaken Außenwände 1.210 ± 119 Mio. m² und die transparenten Flächen 647 ± 76 Mio. m² ausmachen¹⁶.

Auch die Bauweise der Fassade wurde erfragt, drei Antwortoptionen gab es zur Auswahl:

- Massive Bauweise (z.B. Mauerwerk, Beton)
- Leichtbauweise (z.B. Holz, Metall, Fachwerk)
- Fassadensystem (z.B. Glasfassade)

In Nachfragen wurden dann noch weitere Details der jeweiligen Konstruktion ermittelt, etwa ob im Massivbau schwere oder leichte Baustoffe verwendet wurden oder um welche Art von Fassadensystem es sich handelt, z.B. eine Pfosten-Riegel-Fassade oder eine Vorhangfassade. In den Interviews wurden jeweils der flächenmäßig größte und der zweitgrößte Teil der Fassade behandelt, für den möglicherweise verbleibenden unbekanntem Rest wurde Strukturgleichheit in der Verteilung der Bauweisen angenommen.

Die Anteile dieser Bauweisen haben sich im Laufe der Zeit verändert, wie Tabelle 3-1 zeigt. Während im Altbau die massive Bauweise mit fast 92% weit überwiegt, steigt der Anteil der Leichtbauweisen ab Anfang der 1980er Jahre deutlich auf 25% bis fast 29% an. Auch Fassadensysteme sind eher bei neueren NWG zu finden.

Tabelle 3-1: Bauweisen – Flächenanteil der überwiegenden Bauweise der Fassade nach Baualtersklassen

Bauweisen nach Flächenanteilen (4.3.2.3.1, Spaltenprozentage)	Altbau (bis 1978)	Zwischenbau (1979 - 2009)	Neubau (ab 2010)
Bezug: GEG-relevante NWG	100%	100%	100%
Massive Bauweise (z.B. Mauerwerk, Beton)	91,6% ± 16,6%	66,2% ± 14,0%	61,9% ± 24,9%
Leichtbauweise (z.B. Holz, Metall, Fachwerk)	6,9% ± 2,6%	25,4% ± 9,3%	28,9% ± 12,6%
Fassadensystem (z.B. Glasfassade)	1,5% ± 0,5%	8,5% ± 3,1%	(9,2% ± 9,5%)

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler $\geq 50\%$ oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

Auch bei den Gebäudekategorien (vgl. Tabelle 3-2) sind Unterschiede in der Verteilung der Bauweisen zu erkennen. Produktionsgebäude (und ähnliche) haben mit 28% einen deutlich höheren Flächenanteil an verschiedenen Leichtbauweisen als Dienstleistungsgebäude mit nur 7%. Dabei zeigt die Auswertung der mittleren Fassadenflächen keinen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden aggregierten Hauptgebäudefunktionen.

¹⁶ Eigene Auswertung IWU dataNWG 4.3.2.1.2.1. Es gibt einen leichten Unterschied zwischen der Summe von Außenwand- und Fensterfläche und der gesamten Fassadenfläche, der allerdings im angegebenen Standardfehler liegt. Er resultiert aus den unterschiedlichen Berechnungswegen. Während die Fassadenfläche direkt aus den Geobasisdaten bestimmt werden kann und für aller Gebäude in der Stichprobe vorliegt, ist die Angabe der Fensterflächenanteile mit Antwortausfällen in der Befragung verbunden, die sich auf die Hochrechnung der Flächen-summe auswirken und den Standardfehler vergrößern.

Tabelle 3-2: Bauweisen – Flächenanteil der überwiegenden Bauweise der Fassade nach Gebäudekategorien

Bauweisen nach Flächenanteilen (4.3.2.3.1a) Bezug: GEG-relevante NWG	Dienstleistungs- gebäude 100%	Produktionsgebäude (und ähnliche) 100%
Massive Bauweise (z.B. Mauerwerk, Beton)	87,2% ± 15,1%	70,1% ± 14,5%
Leichtbauweise (z.B. Holz, Metall, Fachwerk)	7,3% ± 2,6%	28,2% ± 8,7%
Fassadensystem (z.B. Glasfassade)	5,5% ± 2,2%	1,7% ± 0,7%

Oberer Gebäudeabschluss

Im Fragebogen wurde auch die überwiegende Form des Daches der Gebäude abgefragt, wobei ein Anteil der überdeckten Grundfläche des Gebäudes von mehr als 50% als überwiegend gewertet wurde. Die abgeleitete Variable *dachform_be* unterscheidet nur nach Steildach und Flachdach. Zu letzteren waren auch flach geneigte Dächer zu zählen¹⁷. Etwa 53% der NWG haben ein Steildach, 47% ein Flachdach.

Die Anteile der Dachform variieren mit den Baualtersklassen der Nichtwohngebäude. Bei den Altbauten haben 58% der NWG Steildächer und knapp 42% Flachdächer, in späteren Perioden kehrt sich das Verhältnis fast um, knapp 54% Flachdächer sind es bei Zwischenbauten und 53% bei Neubauten. Hinsichtlich der Hauptgebäudefunktionen sind die Unterschiede im Bestand geringer, Dienstleistungsgebäuden weisen zu 55% ein Steildach auf, bei Produktionsgebäuden (und ähnlichen) etwa 50%.¹⁸

Die Dachfläche entspricht bei Flachdächern der Gebäudegrundfläche *geb_flaeche*, bei Steildächern wird diese unter Berücksichtigung der Dachschräge mit einem pauschalen Faktor¹⁹ multipliziert: $A_{Da,steil} = 1,13 \cdot geb_flaeche$. Eine Dachfläche insgesamt von 1.857 ± 253 Mio. m² wurde für den Bestand der NWG in Deutschland ermittelt. Davon entfallen etwa ein Drittel auf Steildächer und zwei Drittel auf Flachdächer²⁰.

Die Dachflächen sind im Mittel zu 2,4% mit transparenten Materialien²¹ ausgeführt, bei Flachdächern mit 2,9% etwas mehr, bei Steildächern nur 1,5%.

¹⁷ Der Frage war folgender Hinweis beigefügt: Als Flachdach bezeichnet man ein Dach mit keiner oder sehr geringer Neigung (≤ 10 Grad), als flach geneigtes Dach ein Dach mit einer Neigung von > 10 Grad und ≤ 22 Grad. Als Steildach bezeichnen wir alle Dächer mit einer Neigung > 22 Grad, unabhängig von der Dachform (z.B. Satteldach, Pultdach, Sheddach etc.).

¹⁸ Eigene Auswertung IWU dataNWG 4.3.2.5.1

¹⁹ In (Loga et al. 2005 S. I–29) ist der Faktor hergeleitet. Durch statistische Analyse einer Gebäuestichprobe von mehr als 4000 Wohngebäuden wurde ein einfaches Verfahren zur Abschätzung der Bauteilflächen, z.B. des Dachs, aus wenigen, in der Regel leicht zu ermittelnden Daten der Gebäude, insbesondere der Geschosswohnfläche, entwickelt. Der Faktor von 1,13 entspricht einer durchschnittlichen Dachneigung von etwa 30°.

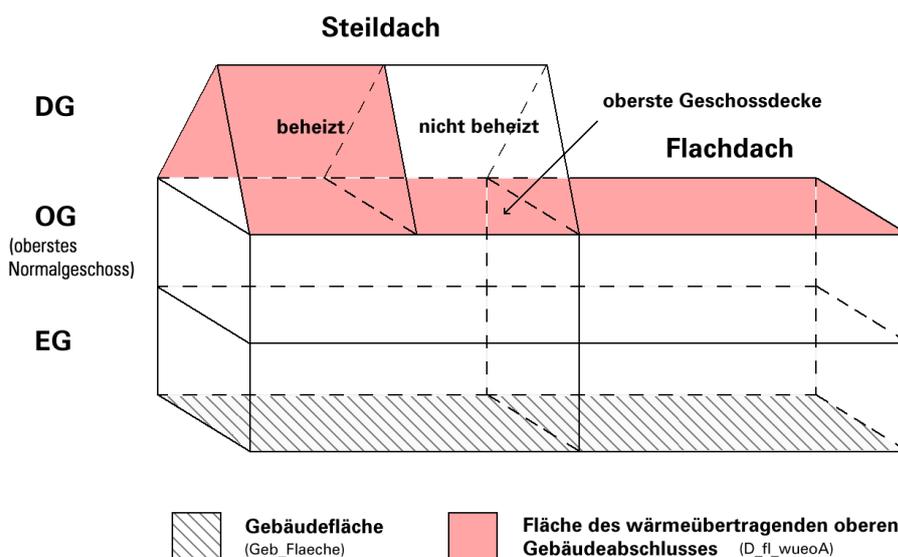
²⁰ Eigene Auswertung IWU dataNWG 4.3.2.5.2

²¹ Eigene Auswertung IWU dataNWG 4.3.2.5.3

Bei Berechnungen der Nutzflächen wird zwischen Normalgeschossen und Dachgeschossen²² unterschieden, letztere kann es nur bei Steildächern geben. In Dachgeschossen befindliche Nutzflächen können auch thermisch konditioniert sein.

Die wärmeübertragende Fläche des oberen Gebäudeabschlusses d_{fl_wueoa} schließt die thermisch konditionierte Nutzfläche nach oben ab. Sie kann sich von der Dachfläche unterscheiden, wie Abbildung 3-1 illustriert, je nach Dachform und Nutzung.

Abbildung 3-1: Prinzipskizze zur Erläuterung, welche Teile des oberen Gebäudeabschlusses zur wärmeübertragenden Fläche zählen



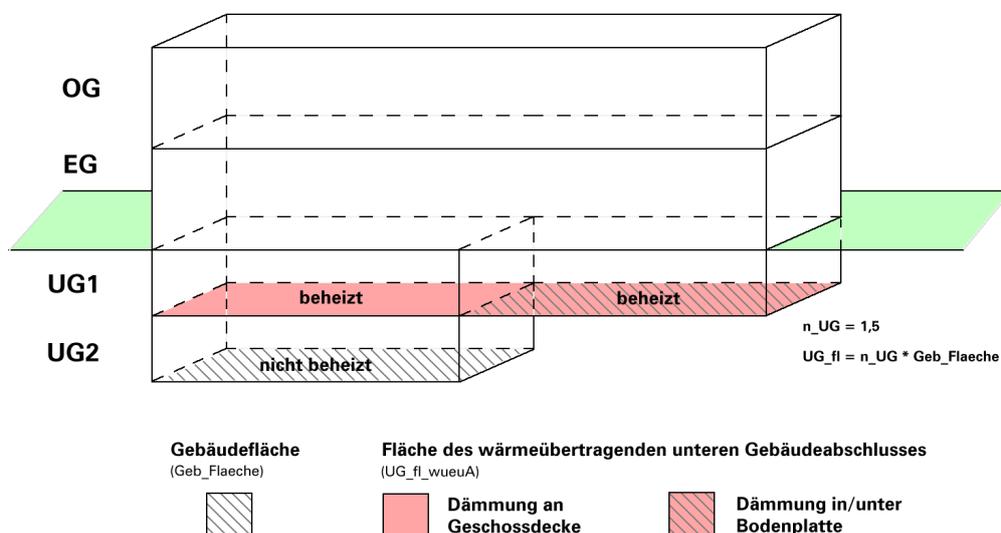
Unterer Gebäudeabschluss

Die nutzbare Untergeschossfläche ergibt sich aus der Gebäudefläche mal der Anzahl der Untergeschosse, sie kann thermisch konditioniert sein oder auch nicht.

Die wärmeübertragende Fläche des unteren Gebäudeabschlusses schließt die thermisch konditionierte Nutzfläche nach unten ab. Sie ist gleich der Gebäudefläche (Merkmal $geb_flaeche$), kann aber in unterschiedlichen Ebenen liegen, z.B. in der Bodenplatte oder in der Kellerdecke zu einem darunter liegenden unbeheizten Untergeschoss, je nachdem ob der Keller ganz oder teilweise beheizt ist. Siehe dazu Abbildung 3-2. Den Anteil der wärmeübertragenden Fläche des unteren Gebäudeabschlusses, der mit einer Wärmedämmung versehen ist, bezeichnen wir mit dem Merkmal $UG_fl_wueuA_ged$.

²² Bei Dachgeschossen bestehen die Decken zu mehr als 50% aus Dachschrägen. Unter Dachgeschossfläche verstehen wir die Grundfläche eines Dachgeschosses bzw. aller Dachgeschosse, wenn es mehr als eines gibt.

Abbildung 3-2: Prinzipskizze zur Erläuterung, welche Teile des unteren Gebäudeabschlusses zur wärmeübertragenden Fläche zählen



3.1.2 Dämmfortschritt

Zwei Kennwerte sind für ein Monitoring des Stands und der Dynamik des Wärmeschutzes im Gebäudebestand wichtig, der Dämmfortschritt und die Dämmrate der Bauteile Außenwand, Dach/oberste Geschossdecke und Bodenplatte/Kellerdecke. Der erste Kennwert gibt an, welcher Anteil der Gebäude bzw. der Bauteilfläche bereits mit Dämmung versehen ist, der zweite zeigt die Geschwindigkeit des Modernisierungsprozesses als Anteil pro Jahr an. Dabei bleibt die Dämmstärke zunächst außer Acht.

Tabelle 3-3: Dämmfortschritt – Anteil der Nichtwohngebäude mit Wärmedämmung

Bezug: GEG-relevante NWG	Außenwand (4.3.2.3.2)	Dach/ob. Geschossdecke (4.3.2.5.4)	Bodenplatte / Kellerdecke (4.3.2.7.4)
Alle NWG	41,4% ± 2,9%	81,6% ± 2,8%	37,9% ± 4,0%
Altbauten (bis Bj. 1978)	30,8% ± 3,5%	77,1% ± 4,0%	22,2% ± 3,6%
Zwischenbau (1979 bis 2009)	51,9% ± 5,2%	86,6% ± 3,9%	45,4% ± 5,5%
Neubauten (ab Bj. 2010)	91,5% ± 3,4%	96,1% ± 2,6%	87,0% ± 4,4%

Insgesamt sind in Deutschland 41% aller NWG ganz oder teilweise mit Wärmedämmung an der Außenwand versehen (Tabelle 3-3). Erwartungsgemäß sind die Neubauten mit über 91% deutlich häufiger wärmedämmung als die Altbauten mit knapp 31%.

Dabei ist auch zu beachten, dass im Fragebogen speziell nach Wärmedämmschichten (z. B. Styropor, Mineralwolle, Dämmschüttungen oder Einblasdämmungen) gefragt wurde. Ob gut dämmende Mauersteine verwendet wurden, eine mögliche Bauweise

für Außenwände im Bestands- und Neubau, hätte sich nur schwer abfragen lassen²³ und wurde daher nicht explizit berücksichtigt.

Im Vergleich zu den Außenwänden sind fast doppelt so viele Gebäude am Dach bzw. an der obersten Geschossdecke als mit Wärmedämmung ausgestattet, nämlich rund 82%. Die Neubauten verfügen zu 96% fast vollständig, die Altbauten zu über drei Vierteln über Wärmedämmschichten im wärmeübertragenden oberen Gebäudeabschluss. Gebäude mit Flachdächern haben zu rund 86% Wärmedämmung im oberen Gebäudeabschluss, solche mit Steildächern nur zu 78%²⁴. Mehr als die Hälfte der Steildächer wurden im Dach gedämmt, ein Drittel in der obersten Geschossdecke, für 15% wird beides angegeben²⁵.

Am unteren Gebäudeabschluss verfügen fast 38% aller NWG über eine Wärmedämmschicht, bei Altbauten nur 22%, bei Neubauten erwartungsgemäß mit 87% deutlich mehr. Bei rund 92% der am unteren Gebäudeabschluss gedämmten NWG befindet sich die Dämmschicht nach Angaben der Befragten auf, in oder unter der Bodenplatte. Nur etwa 5% der NWG nutzen die Geschossdecke zum unbeheizten Bereich zur Dämmung, bei Altbauten sind es 11%.

Die Auswertung in Tabelle 3-3 wertet alle Gebäude gleich, unabhängig davon ob es sich um ein großes oder ein kleines bzw. ein ganz oder nur teilweise gedämmtes Gebäude handelt. Die zu berücksichtigenden Bauteilflächen können aber sehr unterschiedlich sein. Deshalb zeigt Tabelle 3-4 den Anteil der Bauteilflächen, die bereits gedämmt sind, an der gesamten Bauteilfläche im Bestand. Die Auswertung ergibt bei den gedämmten Außenwandflächen einen ähnlichen, tendenziell etwas niedrigeren Anteil an den gesamten Außenwandflächen als bei der Gebäude-bezogenen Auswertung.

Die Fläche der wärmeübertragenden oberen Gebäudeabschlüsse, also Dächer oder oberste Geschossdecken, ist zu fast drei Vierteln bereits mit Wärmedämmung ausgestattet, an den Altbauten erwartungsgemäß mit über zwei Dritteln etwas geringer, bei den Neubauten fast vollständig. Bei Steildächern sind zwei Drittel der Flächen, bei Flachdächern fast 80% bereits gedämmt²⁶.

Tabelle 3-4: Dämmfortschritt – Anteil der Bauteilfläche der Nichtwohngebäude mit Wärmedämmung

Bezug: GEG-relevante NWG	Außenwand (4.3.2.3.3)	Dach/ob. Geschossdecke (4.3.2.5.5)	Bodenplatte/Kellerdecke
Alle NWG	40,0% ± 6,5%	74,2% ± 14,3%	24,9% ± 4,7%
Altbauten (bis 1978)	28,2% ± 6,2%	68,1% ± 19,3%	18,1% ± 5,6%
Zwischenbau (1979 bis 2009)	54,4% ± 13,5%	80,9% ± 20,2%	30,5% ± 7,1%
Neubauten (ab 2010)	87,0% ± 30,1%	94,4% ± 38,8%	67,1% ± 28,6%

²³ Im Hinblick auf einen möglichst einfachen Befragungsablauf sollte vermieden werden, dass die Befragten Materialkennwerte in Unterlagen nachsehen oder bei Planern bzw. ausführenden Unternehmen erfragen müssen.

²⁴ Eigene Auswertung IWU dataNWG 4.3.2.5.4

²⁵ Eigene Auswertung IWU dataNWG 4.3.2.5.1b

²⁶ Eigene Auswertung IWU dataNWG 4.3.2.5.5

Insgesamt ist zu erkennen, dass der Fortschritt der Wärmedämmung sich zwischen den einzelnen Bauteilen deutlich unterscheidet: Während nur 40% der Wandflächen gedämmt sind, liegt der Anteil bei den Dächern und Obergeschossdecken über 70 %, bei Bodenplatten/Kellerdecken bei rund 25%.

3.1.3 Fortschritt bei nachträglich angebrachter Dämmung

Bedeutsam ist auch die Frage, ob die Wärmedämmung an Bauteilen bereits bei Errichtung des Gebäudes oder erst nachträglich also im Zuge einer Modernisierung angebracht wurde. Bei der Berechnung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden muss in zweiten Fall ein anderer als der für das Baujahr des Gebäudes typische Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) angesetzt werden. Siehe dazu auch den Bericht zur Datenerhebung Wohngebäudebestand (Cischinsky, Diefenbach 2018 S. 46). Die Kenntnis des Fortschritts und der Rate bei nachträglich installierter Wärmedämmung in bestehenden Gebäuden ist auch zur Beurteilung der Wirksamkeit der Instrumente zum Klimaschutz im Gebäudebestand von großer Bedeutung.

Tabelle 3-5 zeigt, dass nur bei knapp 15% aller NWG der Wärmeschutz an den Außenwänden nachträglich verbessert wurde, verständlicherweise mit 19% bei den Altbauten am höchsten und nahe 0% bei Neubauten. Bei Wohngebäuden (WG) liegen diese Werte deutlich höher, 25% für alle WG und knapp 38% für die Altbauten (Cischinsky, Diefenbach 2018 S. 46).

Deutlich häufiger wird die Dämmung am wärmeübertragenden oberen Gebäudeabschluss nachträglich erstmals angebracht oder ertüchtigt, also an Dächern und obersten Geschossdecken, mit rund 41% aller NWG und mit über 60% bei den Altbauten.

Dagegen sind die nachträglichen Dämmaktivitäten am wärmeübertragenden unteren Gebäudeabschluss mit knapp 10% aller NWG und 13% der Altbauten recht gering. Dabei wird nach Angaben der Befragten in ca. 79% der Fälle in Altbauten die Bodenplatte ertüchtigt und nur in knapp 13% die unterste Geschossdecke zum beheizten Bereich.

Tabelle 3-5: Dämmfortschritt – Anteil der Nichtwohngebäude mit nachträglich installierter Wärmedämmung

Bezug: GEG-relevante NWG	Außenwand (4.3.2.3.4 mod)	Dach/ob. Geschossdecke (4.3.2.5.6)	Bodenplatte / Kellerdecke (4.3.2.7.6)
Alle NWG	14,5% ± 1,9%	40,9% ± 3,4%	9,8% ± 1,7%
Altbauten (bis 1978)	19,2% ± 2,6%	60,3% ± 4,4%	13,0% ± 2,2%
Zwischenbau (1979 bis 2009)	9,0% ± 3,3%	16,7% ± 4,6%	6,2% ± 3,1%
Neubauten (ab 2010)	(0,4% ± 0,3%)	(0,2% ± 0,2%)	-

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler $\geq 50\%$ oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

In der flächengewichteten Betrachtung sind die prozentualen Anteile der nachträglich gedämmten an den gesamten Außenwandflächen mit rund 10% bei allen NWG und knapp 16% bei Altbauten geringer als bei der Gebäude-bezogenen Auswertung, wie Tabelle 3-6 zeigt. Die Wohngebäude zeigen auch hier einen deutlich höheren Dämmfortschritt mit knapp 19% bei allen WG und 28% bei den Altbauten.

Bei den Dächern zeigt sich auch bei der flächenbezogenen Betrachtung der nachträglich angebrachten Dämmung ein deutlich höherer Fortschritt als bei den Außenwänden. Mehr als ein Drittel der Flächen am wärmeübertragenden oberen Gebäudeabschluss wurde nach der Errichtung der Gebäude gedämmt bzw. die Dämmung ertüchtigt, bei Altbauten sogar mehr als die Hälfte.

Auch in der flächenbezogenen Betrachtung sind die Dämmfortschritte am unteren Gebäudeabschluss geringer als bei den anderen Bauteilen.

Tabelle 3-6: Dämmfortschritt – Anteil der Bauteilfläche der Nichtwohngebäude mit nachträglich installierter Wärmedämmung

Bezug: GEG-relevante NWG	Außenwand (4.3.2.3.5)	Dach/ob. Geschossdecke (4.3.2.5.7)	Bodenplatte / Kellerdecke (4.3.2.7.7)
Alle NWG	10,4% ± 2,3%	33,6% ± 8,5%	5,7% ± 1,8%
Altbauten (bis 1978)	15,6% ± 3,7%	55,0% ± 16,8%	9,4% ± 3,3%
Zwischenbau (1979 bis 2009)	3,3% ± 1,6%	7,7% ± 3,3%	1,4% ± 0,9%
Neubauten (ab 2010)	(0,2% ± 0,2%)	(0,3% ± 0,3%)	-

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler $\geq 50\%$ oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

Deutliche Unterschiede bei den Dämmfortschritten treten bei den unterschiedlichen Gebäudekategorien zutage. Wir unterscheiden wieder zwischen Dienstleistungsgebäuden und Produktionsgebäuden (und ähnlichen), den beiden Ausprägungen der aggregierten Hauptgebäudefunktion (abgeleitete Variable *hk_geb_agg*) aus der Breitenhebung.

Tabelle 3-7: Dämmfortschritt – Anteil der Bauteilfläche der Nichtwohngebäude mit nachträglich installierter Wärmedämmung, nach aggregierten Gebäudekategorien differenziert

Bezug: GEG-relevante NWG	Außenwand (4.3.2.3.5)	Dach/ob. Geschossdecke (4.3.2.5.7)	Bodenplatte / Kellerdecke
Alle NWG	10,4% ± 2,3%	33,6% ± 8,5%	5,7% ± 1,8%
Dienstleistungsgebäude	13,4% ± 3,3%	36,6% ± 12,4%	7,3% ± 2,5%
Produktionsgebäude (und ähnliche)	5,4% ± 2,2%	29,4% ± 11,6%	(3,6% ± 2,6%)
Altbauten (bis 1978)	15,6% ± 3,7%	55,0% ± 16,8%	9,4% ± 3,3%
Dienstleistungsgebäude	17,8% ± 3,8%	52,0% ± 20,0%	10,1% ± 3,7%
Produktionsgebäude (und ähnliche)	10,1% ± 4,7%	61,1% ± 26,6%	(5,8% ± 3,6%)

In Tabelle 3-7 wird erkennbar, dass in der Gesamtheit der Dienstleistungsgebäude mehr als der doppelte Anteil der Außenwandflächen nachträglich gedämmt wurde als bei Produktionsgebäuden (und ähnlichen). Nicht ganz so deutlich aber dennoch beträchtlich ist der Unterschied für die Altbauten. Ähnlich verhält es sich am unteren

Gebäudeabschluss. Ausgeglichenere sind die Verhältnisse zwischen den Gebäudekategorien bei den Dachflächen, aber auf deutlich höherem Niveau.

3.1.4 Dämmrate

Neben den insgesamt bzw. nachträglich gedämmten Flächenanteilen ist die Dämmrate von besonderem Interesse, also der Prozentsatz der Gebäude pro Jahr, die am jeweiligen Bauteil erst nach der Errichtung ganz oder teilweise mit Dämmung versehen wurden, bzw. der prozentuale Anteil der nachträglich gedämmten an der gesamten Bauteilfläche pro Jahr. Es wurden jeweils die Zeitperioden 2010–2014, 2015 oder später und 2010 oder später als Summe der beiden untersucht. Dazu wurden die jeweiligen Anzahlen durch die Länge des betrachteten Zeitraums (in Jahren) und durch die Gesamtzahl der Gebäude in der jeweils untersuchten Teilmenge dividiert (vgl. Kap. 2.2.2).

Die Betrachtungsperioden 2010 bzw. 2015 oder später bezeichnen die jeweiligen Zeitspannen bis zum Ende der Erhebung. Dabei ist zu beachten, dass der Erhebungszeitpunkt nicht genau definiert ist, da die Haupt-Feldphase der Erhebung über einen längeren Zeitraum in den Jahren 2018 – 2019 durchgeführt wurde (vgl. (Cischinsky 2021a)), in der Pilotphase teilweise auch schon in 2017. Die Auswertungen für diese Perioden sind also mit zusätzlichen Unsicherheiten behaftet²⁷. Aus Vereinfachungsgründen wurde immer die Gesamtzahl aller Nichtwohngebäude bzw. aller Altbauten (bis Baujahr 1978) zum Referenzzeitpunkt der Erhebung, Mitte 2019, zugrunde gelegt²⁸.

Wie in (Cischinsky, Diefenbach 2018 S. 72) ist ferner darauf hinzuweisen, dass sich auch für die Erhebung der Nichtwohngebäude die nachfolgenden Auswertungen für Außenwand, Dach/obere Geschossdecke und Bodenplatte/Kellerdecke auf Gebäude beziehen, die ihre jeweilige Bauteildämmung *überwiegend* in der betrachteten Periode erhalten haben. Fälle, bei denen die Dämmung vorwiegend früher angebracht wurde und bei denen ein weiterer kleinerer Flächenanteil in der betrachteten Zeitperiode gedämmt wurde, wurden dagegen mutmaßlich nicht erfasst. Umgekehrt wurde in Fällen, in denen die Dämmung zwar vorwiegend in der angegebenen Periode angebracht wurde, bei denen aber ein kleinerer Anteil der Fläche schon früher mit Dämmung versehen wurde, dieser kleinere Anteil nicht von der Gesamtfläche subtrahiert.

²⁷ Bis Mitte 2019 war die Feldphase der Breitenerhebung in vollem Gange, danach gab es nur noch Abwicklungsarbeiten. In der Nacherhebung 2020 wurden überwiegend irrelevante Gebäude und Teilnahmeverweigerer zur genauen Abgrenzung dieser Sachverhalte erneut kontaktiert. D.h. nachträgliche Dämmmaßnahmen konnten nur angegeben werden, wenn sie vor dem Zeitpunkt des individuellen Interviews bzw. vor dem Ende der Breitenerhebung ausgeführt worden waren. Die Angabe 2010 oder später wird dann als Zeitraum von 2010 bis Mitte 2019 interpretiert, entsprechend 9,5 Jahren.

Durch die Filterführung im Fragebogen entstand ein weiteres Abgrenzungsproblem zwischen den Dämmjahresklassen 2010-2014 und 2015 oder später. In den Fragen qB11/qXB11 und qB20G/qXB20G gab es als jüngsten Zeitraum nur noch die Option 2010 oder später. Die wenigen Gebäude, die in den Interviews durch die Filterführung zu diesen Fragen gelangten und für die die genannte Antwortoption gewählt wurde, wurden generell auch der Dämmjahresklasse 2010-2014 zugeordnet, obwohl das nicht mit Sicherheit festgestellt werden konnte. Der Dämmjahresklasse 2015 oder später wird deshalb nur eine Dauer von 4 Jahren zugeordnet.

²⁸ Auf diese Weise entsprechen gleiche Modernisierungsraten in unterschiedlichen Perioden immer der gleichen Anzahl jährlich durchgeführter Modernisierungsmaßnahmen. Tatsächlich ändern sich die Gebäudebestände im Laufe der Zeit ständig: Der Altbau nimmt durch Abriss ab, während der Gesamtbestand der Gebäude über die letzten Jahre zugenommen hat, da der Neubau den Abriss deutlich überwogen hat. Vor diesem Hintergrund wäre beispielsweise die Modernisierungsrate für den Bestand der Nichtwohngebäude in der Periode 2010–2014 etwas höher und für den Altbau im gleichen Zeitraum etwas niedriger, wenn man den jeweiligen Gebäudebestand in dieser Periode (z. B. zum Jahresende 2012 als der Intervallmitte dieser Periode) zu Grunde legen würde.

Es besteht die Modellannahme, dass sich solche gegenläufigen Effekte die Waage halten bzw. keine relevante Rolle spielen.

In den Raten können auch Gebäude enthalten sein, bei denen eine an einem Bauteil schon vorher vorhandene Wärmedämmung ab 2010 verbessert wurde, also der Ausgangszustand nicht der für das Errichtungsjahr des Gebäudes typische war. Diese „Brutto-Modernisierungsraten“ zeigen also die gesamte Modernisierungstätigkeit in einer Zeitspanne an.

Einen Überblick über die Raten der Gebäude pro Jahr, die an den verschiedenen opaken Bauteilen der NWG in drei verschiedenen Zeitspannen seit 2010 energetisch modernisiert wurden, gibt Tabelle 3-8. Zwischen 2010 und 2014 wurden durchschnittlich 0,7% aller NWG und 0,9% der Altbauten pro Jahr an der Außenwand durch Anbringung einer Wärmedämmung energetisch modernisiert. Im selben Zeitraum liegt die Gebäude-bezogene mittlere jährliche Dämmrate bei Dach bzw. oberster Geschossdecke mit 1,1% aller NWG und 1,5% der Altbauten pro Jahr deutlich höher, an Bodenplatte bzw. Kellerdecke mit 0,3% aller NWG, überwiegend in Altbauten, deutlich niedriger.

Tabelle 3-8: *Mittlere jährliche Dämmrate – Anteil der Gebäude pro Jahr, bei denen am jeweiligen Bauteil nachträglich (also später als bei der Errichtung) Dämmmaßnahmen durchgeführt wurden*

Bezug: GEG-relevante NWG	Außenwand (4.3.2.3.12)	Dach/ob. Ge- schossdecke (4.3.2.5.8)	Bodenplatte / Kellerdecke (4.3.2.7.8)
Alle Nichtwohngebäude			
2015 oder später	0,5% ± 0,1%	1,0% ± 0,2%	0,1% ± 0,04%
2010-2014	0,7% ± 0,2%	1,1% ± 0,2%	0,4% ± 0,1%
2010 oder später	0,6% ± 0,1%	1,0% ± 0,1%	0,3% ± 0,1%
Altbauten (bis 1978)			
2015 oder später	0,6% ± 0,1%	1,4% ± 0,3%	0,2% ± 0,1%
2010-2014	0,9% ± 0,2%	1,5% ± 0,3%	0,4% ± 0,1%
2010 oder später	0,8% ± 0,1%	1,4% ± 0,2%	0,3% ± 0,1%

Betrachtet man die auf die Bauteilflächen bezogenen Raten in Tabelle 3-9 ergibt sich ein ganz ähnliches Bild. Zwischen 2010 und dem Ende der Erhebung wurden durchschnittlich 0,5% der Außenwandflächen aller NWG und 0,7% der Altbauten pro Jahr durch Anbringung einer Wärmedämmung energetisch modernisiert. Es ist kein signifikanter Unterschied in den Raten der verschiedenen Perioden zu erkennen.

Die Erhebung der Wohngebäude weist im Zeitraum 2010-2015 eine flächengewichtete mittlere jährliche Modernisierungsraten an der Außenwand von 0,9% bei allen Wohngebäuden und von 1,2% bei den Altbauten aus (Cischinsky, Diefenbach 2018 S. 73). Das ist am ehesten vergleichbar mit dem Auswertungszeitraum zwischen 2010 und 2014 der Erhebung der NWG. Die entsprechenden Raten der Außenwandflächen aller Nichtwohngebäude lagen in diesem Zeitraum mit durchschnittlich 0,6% pro Jahr

und 0,9% der Altbauten etwas niedriger²⁹. Die Ergebnisse beim Modernisierungsschritt zu den Nichtwohngebäuden aus dem letzten Kapitel und der Vergleich mit der Entwicklung bei den Wohngebäuden legt nahe, dass dies schon in der früheren Vergangenheit so gewesen sein muss.

Bei Dächern liegen die auf die Bauteilflächen bezogenen Raten etwas höher als die Gebäude-bezogenen. Seit 2010 wurden jährlich 1,4% der Dachflächen aller NWG und 2,2% der Altbauten mit Wärmedämmung versehen. Die Ergebnisse in den beiden Teilzeiträumen 2010-2014 und 2015 oder später fluktuieren allerdings stark und sind mit großen Standardfehlern behaftet. Ob das Modernisierungsgeschehen in den beiden Perioden tatsächlich so unterschiedlich war, kann daraus nicht zuverlässig geschlossen werden. Offenbar werden Dächer aber häufiger energetisch modernisiert als Außenwände und Bodenplatten, das zeigen die Raten im Zeitraum 2010 oder später.

Bei Bauteil Bodenplatte sind die Raten der nachträglichen Dämmung niedriger als bei den anderen opaken Bauteilen und die Standardfehler größer.

Tabelle 3-9: Mittlere jährliche Dämmrate – Anteil der Bauteilfläche pro Jahr, die erst nach der Errichtung mit Dämmung versehen wurden

Bezug: GEG-relevante NWG	Außenwand (4.3.2.3.16)	Dach/ob. Ge- schossdecke (4.3.2.5.9)	Bodenplatte / Kellerdecke
Alle Nichtwohngebäude			
2015 oder später	0,4% ± 0,1%	0,7% ± 0,2%	0,2% ± 0,1%
2010-2014	0,6% ± 0,2%	2,1% ± 1,1%	(0,2% ± 0,1%)
2010 oder später	0,5% ± 0,1%	1,4% ± 0,6%	0,2% ± 0,1%
Altbauten (bis 1978)			
2015 oder später	0,6% ± 0,2%	1,0% ± 0,3%	0,3% ± 0,1%
2010-2014	0,9% ± 0,3%	3,5% ± 1,9%	0,2% ± 0,1%
2010 oder später	0,7% ± 0,2%	2,2% ± 1,1%	0,2% ± 0,1%

Betrachtet man die flächenbezogenen Dämmraten differenziert nach aggregierten Gebäudekategorien, dann ergibt sich für den Zeitraum 2010 – 2014 das Bild in Tabelle 3-10. Auch bei den Raten zeigen die Dienstleistungsgebäude deutlich höhere Werte als die Produktionsgebäude (und ähnliche), sowohl über alle Nichtwohngebäude als auch nur über die Altbauten betrachtet etwa das 4-fache bei den Außenwänden und mehr als das Doppelte bei den Dächern.

²⁹ Ein Hypothesentest ($H_0: \mu_{NWG} = \mu_{WG}$, Signifikanzniveau 5%) zeigt allerdings, dass angesichts der gegebenen Standardfehler ein Unterschied zwischen diesen Modernisierungsraten statistisch nicht abgesichert ist.

Tabelle 3-10: Mittlere jährliche Dämmrate 2010 - 2014 – Anteil der Bauteilfläche pro Jahr mit nachträglich installierter Wärmedämmung, nach aggregierten Gebäudekategorien differenziert

Bezug: GEG-relevante NWG	Außenwand (4.3.2.3.16)	Dach/ob. Geschossdecke (4.3.2.5.9)	Bodenplatte / Kellerdecke (4.3.2.7.9)
Alle NWG	0,6% ± 0,2%	2,1% ± 1,1%	(0,2% ± 0,1%)
Dienstleistungsgebäude	0,8% ± 0,3%	2,8% ± 1,8%	(0,3% ± 0,2%)
Produktionsgebäude (und ähnliche)	0,2% ± 0,1%	1,1% ± 0,8%	(0,03%±0,03%)
Altbauten (bis 1978)	0,9% ± 0,3%	3,5% ± 1,9%	0,2% ± 0,1%
Dienstleistungsgebäude	1,1% ± 0,3%	-	-
Produktionsgebäude (und ähnliche)	0,3% ± 0,2%	-	-

3.1.5 Sanierung ohne Dämmung

Im Bauwesen wird der Begriff Sanierung sehr umfassend für verschiedene Maßnahmen verwendet. Darunter fallen die verschiedenen Aspekte der Instandhaltung³⁰, aber auch Umbauten und Modernisierungen³¹. Maßnahmen der energetischen Modernisierung sind bekanntermaßen dann besonders wirtschaftlich, wenn sie nach dem sogenannten Kopplungsprinzip aus Anlass von oder in Kombination mit anderen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Wird etwa eine ungedämmte Fassade eines Altbaus neu angestrichen, muss ein Gerüst gestellt werden und eventuell muss der Putz vorbereitet und ausgebessert werden. Wenn bei dieser Gelegenheit nicht gleichzeitig Wärmedämmung angebracht wird, spricht man deshalb auch von einer verpassten Chance.

Deshalb wurde im Fragebogen auch danach gefragt, ob „die opaken/nicht-durchsichtigen Teile der Fassade des Gebäudes seit dem 1.1.2010 ganz oder zum überwiegenden Teil neu verputzt, angestrichen oder verkleidet wurden, ohne dass gleichzeitig gedämmt wurde.“ Eine analoge Frage wurde auch zum Dach gestellt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 3-11: 2,9% aller GEG-relevanten NWG werden im Durchschnitt pro Jahr an den Außenwänden saniert, ohne dass gleichzeitig Wärmedämmung angebracht wird. Bei den Altbauten sind es naturgemäß mit 3,2% pro Jahr etwas mehr und hier spielt auch die Gebäudenutzung eine größere Rolle, Produktionsgebäude (und ähnliche) werden tendenziell etwas häufiger ohne Wärmedämmung saniert als Dienstleistungsgebäude.

Am Bauteil Dach sind diese Raten deutlich niedriger. Offenbar wird bei einer Dachsanierung seltener darauf verzichtet, eine Wärmedämmung erstmals anzubringen oder

³⁰ Instandhaltung umfasst nach DIN 31051 Maßnahmen der Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung.

³¹ Das Mietrecht versteht unter Modernisierung unter anderem Maßnahmen, durch die Endenergie oder nicht erneuerbare Primärenergie nachhaltig eingespart wird, aber auch solche, durch die der Gebrauchswert der Mietsache nachhaltig erhöht wird.

eine bereits vorhandene zu ertüchtigen als bei einer Sanierung der Außenwand. Die Frage bezog sich dabei explizit auf den Begriff „Dach“. Es ist deshalb vorstellbar, dass auch Fälle einbezogen wurden, bei denen eine Dämmung speziell im Dach gar nicht sinnvoll gewesen wäre, etwa an einem NWG mit Steildach und unbeheiztem Dachgeschoss, bei dem eine Dämmung sinnvollerweise in der obersten Geschossdecke anzubringen wäre.

Tabelle 3-11: *Jährliche Sanierungsrate ohne Anbringung von Dämmung nach aggregierten Gebäudekategorien differenziert – Anteil der Gebäude mit Baujahr vor 2010, an denen seit dem 1.1.2010 der Putz, die Verkleidung oder der Anstrich bzw. das Dach erneuert wurden, ohne dass gleichzeitig eine Wärmedämmung angebracht wurde³²*

Bezug: GEG-relevante NWG mit Baujahr vor 2010	Außenwand (4.3.2.4.1)	Dach (4.3.2.6.1)
Alle NWG	2,9% ± 0,3%	1,3% ± 0,2%
Dienstleistungsgebäude	2,9% ± 0,4%	1,6% ± 0,3%
Produktionsgebäude (und ähnliche)	3,0% ± 0,6%	0,8% ± 0,2%
Altbauten (bis 1978)	3,2% ± 0,5%	1,4% ± 0,3%
Dienstleistungsgebäude	2,9% ± 0,5%	1,7% ± 0,4%
Produktionsgebäude (und ähnliche)	3,7% ± 1,0%	0,9% ± 0,3%

Auf den ersten Blick scheint ein Vergleich mit den Wohngebäuden zu zeigen, dass die Sanierungsraten ohne Dämmung an der Außenwand mit 2,3% pro Jahr dort niedriger liegen (Cischinsky, Diefenbach 2018 S. 78). Der Hypothesentest ($H_0: \mu_{NWG} = \mu_{WG}$, Signifikanzniveau 5%) zeigt aber auch hier, dass ein Unterschied zwischen beiden Raten statistisch nicht abgesichert ist.

Offensichtlich findet jedoch im gesamten Gebäudebestand eine beträchtliche Bautätigkeit an den Außenwänden statt, ohne dass diese Gelegenheiten dazu genutzt würden, gleichzeitig Wärmedämmung anzubringen. Kapazitäten im Handwerk für Raten der energetischen Modernisierung, die höher liegen als die in Kapitel 3.1.4 dargestellten, scheinen also vorhanden zu sein, wenn man annimmt, dass die Kopplung dieser Maßnahme an eine ohnehin stattfindende Sanierung weniger zusätzliche Kapazitäten bindet als die vollständig getrennte Durchführung beider Maßnahmen.

Diese Gebäude-bezogene Auswertung berücksichtigt nicht, wie groß die sanierte Fläche war. Jedes Gebäude, ob groß oder klein, zählt gleich und steht sozusagen stellvertretend für die Entscheidung eines Eigentümers.

In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, dass die Energiesparverordnungen bzw. das GEG nicht in jedem Fall dazu verpflichten, bei Erneuerung des Putzes oder von Fassadenverkleidungen gleichzeitig auch Wärmedämmung anzubringen. Die

³² Sowohl bei der Außenwand als auch beim Dach gab es eine nicht zu vernachlässigende Anzahl von Fällen, in denen angegeben wurde, dass ab 2010 am Bauteil sowohl nachträglich Wärmedämmung angebracht als auch saniert worden sei, ohne dass gedämmt worden sei. Das ist vorstellbar, denn an einem Teil des Bauteils könnte gedämmt worden sein, an einem anderen nicht. Oder die Maßnahmen waren in zeitlicher Abfolge ausgeführt worden. Die Fragen nach der Wärmedämmung enthielten immer die öffnende Formulierung „ganz oder teilweise“.

EnEV 2009 schrieb in Anlage 3 vor, dass ein Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand $U_{AW} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ als Höchstwert eingehalten werden muss, wenn z.B. der Außenputz oder die Verkleidung bei einer bestehenden Wand, deren $U_{AW} > 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist, erneuert wird. Eine solche Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten kann nur erreicht werden, wenn aus Anlass der Sanierung der Außenwand eine Wärmedämmung angebracht wird³³. Nach EnEV 2014 war diese bedingte Anforderung auf Außenwände, die unter Einhaltung energiesparrechtlicher Vorschriften nach dem 31.12.1983 errichtet oder erneuert wurden, nicht anzuwenden³⁴, also nicht mehr an den Ausgangs-U-Wert gebunden. Für Gebäude mit einem Verhältnis $A/V > 0,40$ stellte dies eine leichte Verschärfung der Anforderung dar. Die Regelungen der EnEV 2014 wurden auch in das heute geltende GEG übernommen. Bei Neuanstrich der Fassade sieht das Ordnungsrecht derzeit keinerlei Verpflichtung zur Verbesserung des Wärmeschutzes vor.

Vor dem Hintergrund dieser ordnungsrechtlichen Bestimmungen wurde im Interview genauer nachgefragt, ob es sich bei der Sanierung der Außenwände um eine Erneuerung von Putz oder Verkleidung handelte oder nur um einen neuen Anstrich. Es zeigt sich, dass in der überwiegenden Zahl der Fälle die Fassade nur angestrichen (ohne Putzerneuerung) wurde, sowohl bei allen NWG (ca. 83%) als auch bei den Altbauten (ca. 80%). Für die jährlichen Raten heißt das (siehe Tabelle 3-12, mittlere Spalte), dass an etwa 2,4% aller NWG bzw. 2,6% der Altbauten pro Jahr Fassaden neu angestrichen werden, ohne gleichzeitig Wärmedämmung anzubringen. An 0,5% aller NWG bzw. 0,6% der Altbauten werden auch größere Sanierungsarbeiten wie die Erneuerung von Putz oder Verkleidungen durchgeführt, ohne diese Gelegenheit für eine Verbesserung des Wärmeschutzes zu nutzen.

Bezieht man zusätzlich die jeweiligen Anteile der Außenwandflächen in die Auswertung mit ein (siehe Tabelle 3-12, rechte Spalte), wurden 1,9% aller Außenwandflächen von NWG bzw. 2,2% bei Altbauten ohne gleichzeitige Dämmung saniert.

³³ Die Anforderungen galten gemäß § 9 Abs. (1), EnEV 2009 allerdings auch als erfüllt, wenn die sogenannte 140er-Regel eingehalten wurde, also das geänderte Nichtwohngebäude insgesamt den Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes um nicht mehr als 40% überschreitet. Und laut Abs. (3) ist Abs. (1) nicht anzuwenden, wenn die Fläche der geänderten Bauteile nicht mehr als 10% der gesamten jeweiligen Bauteilfläche des Gebäudes betreffen.

³⁴ Auch nach § 9 Abs. (1), EnEV 2014 gilt die 140er-Regel, jedoch ist die Verschärfung auf 75% der Anforderungen an das Referenzgebäude nicht anzuwenden, die ab 01.01.2016 gelten.

Tabelle 3-12: *Jährliche Sanierungsrate der Außenwand ohne Anbringung von Dämmung nach Art der Sanierungsmaßnahme³⁵ differenziert – Anteil der Gebäude bzw. der Außenwandflächen mit Baujahr vor 2010, an denen seit dem 1.1.2010 der Putz, die Verkleidung oder der Anstrich erneuert wurden, ohne dass gleichzeitig eine Wärmedämmung angebracht wurde*

Bezug: GEG-relevante NWG mit Baujahr vor 2010	Außenwand nach Gebäuden (4.3.2.4.4.2)	Außenwand nach Flächen (4.3.2.4.5)
Alle NWG	2,9% ± 0,3%	1,9% ± 0,3%
(1) Putzerneuerung oder neue Fassadenverkleidung	0,5% ± 0,1%	0,6% ± 0,3%
(2) neuer Anstrich (ohne Putzerneuerung)	2,4% ± 0,3%	1,3% ± 0,3%
Altbauten (bis 1978)	3,2% ± 0,5%	2,2% ± 0,7%
(1) Putzerneuerung oder neue Fassadenverkleidung	0,6% ± 0,2%	(0,9% ± 0,4%)
(2) neuer Anstrich (ohne Putzerneuerung)	2,6% ± 0,4%	1,3% ± 0,4%

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler $\geq 50\%$ oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

Insgesamt fanden etwa 42% der Sanierungsmaßnahmen an Außenwänden mit $U_{AW} \leq 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ statt und rund 58% an solchen mit schlechterem Wärmeschutz, bei Altbauten waren es für letzteren Fall mit 87% erwartungsgemäß deutlich mehr (Tabelle 3-13). Der Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand der NWG zum Zeitpunkt der Erhebung wurde als abgeleitetes Merkmal aus konstruktionstypischen Bauteilaufbauten abgeleitet. Dabei wurden die im Fragebogen erhobenen Angaben zu Dämmstärken und Flächenanteilen nachträglich gedämmter Außenwände ebenso wie die Pauschalwerte nicht nachträglich gedämmter opaker Bauteile im Ausgangszustand nach (BMW, BMU 2015b S. 9) und (Thiel, Riedel 2011) genutzt³⁶. Bei den Pauschalwerten bestehen mutmaßlich Unsicherheiten, die jedoch im Rahmen dieser Auswertungen nicht quantifiziert werden können.³⁷

³⁵ Die Werte sind auf alle GEG-relevanten Nichtwohngebäude bzw. alle Altbauten bezogen, und zwar unabhängig von deren Wandbeschaffenheit, also unabhängig davon, ob überhaupt eine verputzte bzw. verkleidete Fassade vorliegt und ob die Fassade für einen Anstrich geeignet ist.

³⁶ Eine Typologie der Nichtwohngebäude in Deutschland wurde aus den Erhebungsdaten entwickelt. Die Dokumentation der Berechnungsansätze für die U-Werte der Bauteile wird noch bearbeitet und zu gegebener Zeit auf www.datanwg.de zur Verfügung stehen.

³⁷ Analysen zu den Unsicherheiten zu den oben genannten Pauschalwerten der Wärmedurchgangskoeffizienten im Zustand der Errichtung der Gebäude wurden vom IWU im Forschungsprojekt MOBASY durchgeführt, siehe dazu (Loga et al. 2021 Kapitel Anhang C), https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2021_IWU_LogaEtAl_MOBASY-Realbilanzierung-Verbrauch-Bedarf-Vergleich.pdf

Tabelle 3-13: Sanierung der Außenwand ohne Anbringung von Dämmung nach U-Wert differenziert – Anteil der Gebäude mit Baujahr vor 2010, an denen seit dem 1.1.2010 der Putz, die Verkleidung oder der Anstrich erneuert wurden, ohne dass gleichzeitig eine Wärmedämmung angebracht wurde

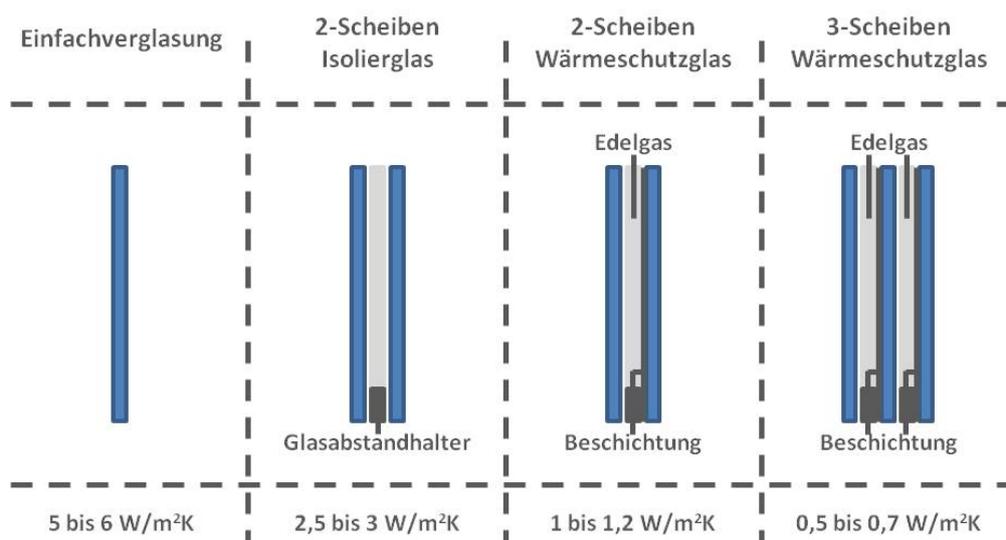
Bezug: GEG-relevante NWG mit Baujahr vor 2010 mit $aw_sanohndaemm = 1$	Außenwand (4.3.2.4.4.2)
Alle NWG	100%
... davon $U_{AW} \leq 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	42,4% ± 7,4%
... davon $U_{AW} > 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	57,6% ± 7,4%
Altbauten (bis 1978)	100%
... davon $U_{AW} \leq 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	12,6% ± 3,0%
... davon $U_{AW} > 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	87,4% ± 3,1%

3.2 Wärmeschutz bei transparenten Bauteilen

3.2.1 Eigenschaften

Beim Wärmeschutz der transparenten Bauteile sind in der Vergangenheit weitreichende technische Entwicklungen gelungen. Laut (Passipedia 2019) hat sich der Wärmedurchgangskoeffizient U_w der marktverfügbaren Fenster in den letzten 40 Jahren um mehr als einen Faktor 8 verringert. Abbildung 3-3 zeigt schematisch die Unterschiede.

Abbildung 3-3: Schematische Darstellung des Aufbaus der üblichen Verglasungsarten in Gebäuden (Quelle: energie-experten.org)



Insgesamt wurde eine transparente Fläche in den Fassaden von 647 ± 76 Mio. m^2 für den Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ermittelt

Nach 1978 war der Einbau von Einfachverglasung in thermisch konditionierten Gebäuden nicht mehr erlaubt. Die Ölkrisen Anfang und Mitte der 70er Jahre hatten den

Einzug der 2-Scheiben-Isolierverglasung stark beschleunigt. Das Jahr 1995 markiert relativ gut den Übergang von der Isolierverglasung zur Wärmeschutzverglasung mit beschichteten Scheiben und Edelgasfüllung zur Reduzierung der Wärmeverluste (Diefenbach et al. 2010 S. 78).

Tabelle 3-14: *Verglasungsarten – Flächenanteil der heute überwiegenden Art der Verglasung an der gesamten transparenten Fläche*

Verglasung nach Flächen (4.3.2.2.2, Spaltenprozentage)	Alle NWG	Altbau (bis 1978)	Neubau (ab 2010)
Bezug: GEG-relevante NWG	100%	100%	100%
1-Scheiben-Glas	8,1% ± 2,6%	10,7% ± 3,9%	(0,2% ± 0,2%)
2-Scheiben-Glas	84,5% ± 14,6%	84,0% ± 20,1%	62,3% ± 29,3%
3-Scheiben-Glas	7,4% ± 1,6%	5,3% ± 1,7%	37,5% ± 17,1%

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler ≥ 50% oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

Den Fortschritt beim Wärmeschutz an den transparenten Bauteilen kann man an den Flächenanteilen der Verglasungsarten gut erkennen. Nach Tabelle 3-14 überwiegt 2-Scheiben-Glas deutlich, außer beim Neubau, wo bereits mehr als ein Drittel der Fläche mit 3-Scheiben-Glas ausgestattet ist. Bei Wohngebäuden hat sich im Vergleich dazu die 3-S-Verglasung im Neubau deutlich besser etabliert, mehr als drei Viertel sind bereits damit ausgestattet (Cischinsky, Diefenbach 2018 S. 70).

Dienstleistungsgebäude mit 85% und Produktions- und ähnliche Gebäude mit 83% unterscheiden sich nach Tabelle 3-15 nur wenig beim Anteil der 2-S-Verglasung in den transparenten Bauteilen, wohl aber beim Anteil von 1-S- und 3-S- Glas. Bei den Produktions- und ähnlichen Gebäuden stellt 1-S-Glas mit ca. 13% einen etwa doppelt so hohen und 3-S-Glas mit gut 4% nur etwa den halben Flächenanteil als bei Dienstleistungsgebäuden.

Tabelle 3-15: *Verglasungsarten – Flächenanteil der heute überwiegenden Art der Verglasung an der gesamten transparenten Fläche, differenziert nach Gebäudekategorien*

Verglasung nach Flächen (4.3.2.2.2a, Spaltenprozentage)	Dienstleistungs- gebäude	Produktionsgebäude (und ähnliche)
Bezug: GEG-relevante NWG	100%	100%
1-Scheiben-Glas	6,6% ± 2,8%	12,5% ± 5,9%
2-Scheiben-Glas	85,0% ± 18,0%	83,2% ± 20,3%
3-Scheiben-Glas	8,4% ± 2,2%	4,3% ± 1,4%

3.2.2 Wärmeschutz-Rate

Bei etwa 53% aller Gebäude wurden Verglasungen nach der Errichtung erneuert, ganz oder teilweise. Ähnlich wie bei Wohngebäuden liegt die Vermutung nahe, dass bei transparenten Bauteilen häufig auch kleinteilige Maßnahmen durchgeführt werden, also in deutlich stärkerem Maße als bei den opaken Bauteilen z.B. nur ein Teil der Fenster ausgetauscht werden. Dafür spricht, dass nach Tabelle 3-16 nur gut 34% aller transparenten Flächen erneuert wurden

Tabelle 3-16: Fortschritt beim Wärmeschutz transparenter Bauteile – Anteil der Gebäude bzw. der Flächen, deren Verglasungen nach der Errichtung erneuert wurden (ganz oder teilweise)

Bezug: GEG-relevante NWG	Gebäude (4.3.2.2.5)	Fläche (4.3.2.2.6)
Alle NWG	52,9% ± 3,4%	34,4% ± 5,8%
Altbauten (bis 1978)	77,8% ± 3,4%	47,4% ± 9,8%
Zwischenbau (1979 bis 2009)	20,9% ± 4,6%	12,7% ± 4,2%
Neubauten (ab 2010)	(1,3% ± 1,5%)	(0,6% ± 0,8%)

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler $\geq 50\%$ oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

Die Rate der Erneuerung, also der Prozentsatz der Bauteile bzw. Bauteilflächen, der pro Jahr erneuert wurde, wurde auch bei den transparenten Bauteilen für die Zeit ab dem Jahr 2010 ausgewertet. Die Raten sind in Tabelle 3-17 dargestellt, sie liegen durchweg etwas höher als bei den Außenwänden. Im Durchschnitt aller NWG wurden im Zeitraum ab 2010 Verglasungen bei 1,6% der Gebäude und 1,0% der transparenten Bauteilfläche erneuert, bei Altbauten mit 2,3% der Gebäude und 1,3% der transparenten Bauteilfläche naturgemäß mehr.

Diese Raten liegen höher als bei den Außenwänden, obwohl transparente Bauteile die spezifisch teuersten sind. Möglicherweise liegt es daran, dass die transparenten Bauteile eine kürzere Nutzungsdauer haben als z.B. Teile der Außenwandbekleidungen³⁸. Dann würde der beobachtete Effekt auf der „natürlichen“ Erneuerungsrate von Bauteilen im Rahmen der Instandhaltung beruhen.

Tabelle 3-17: Rate der Erneuerung beim Wärmeschutz transparenter Bauteile – Anteil der Gebäude bzw. der Flächen, deren Verglasungen nach der Errichtung pro Jahr erneuert wurden (ganz oder teilweise)

Bezug: GEG-relevante NWG	Gebäude (4.3.2.2.5)	Fläche (4.3.2.2.6)
Alle Nichtwohngebäude		
2015 oder später	2,5% ± 0,5%	1,2% ± 0,4%
2010-2014	1,0% ± 0,2%	0,9% ± 0,2%
2010 oder später	1,6% ± 0,2%	1,0% ± 0,3%
Altbauten (bis 1978)		
2015 oder später	3,6% ± 0,9%	1,5% ± 0,6%
2010-2014	1,5% ± 0,3%	1,3% ± 0,3%
2010 oder später	2,3% ± 0,4%	1,3% ± 0,4%

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler $\geq 50\%$ oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

³⁸ Vgl. (BBSR 2017)

Auffallend ist die Erhöhung der Raten seit 2015 gegenüber dem Zeitraum von 2010-2014, wobei diese Tendenz bei der Anzahl der Bauteile deutlich ausgeprägter ist als bei den Flächenanteilen und bei den opaken Bauteilen so nicht zu erkennen ist. Die Tendenz ist auch in der Auswertung nach Gebäudekategorien in Tabelle 3-18 erkennbar. Ansonsten zeigen die Ergebnisse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gebäudekategorien.

Tabelle 3-18: *Rate der Erneuerung beim Wärmeschutz transparenter Bauteile – Anteil der Gebäude bzw. der Flächen, deren Verglasungen nach der Errichtung pro Jahr erneuert wurden (ganz oder teilweise), nach aggregierten Gebäudekategorien differenziert*

Bezug: GEG-relevante NWG	Gebäude (4.3.2.2.5a)	Fläche (4.3.2.2.6a)
Dienstleistungsgebäude		
2015 oder später	2,3% ± 0,6%	1,3% ± 0,6%
2010-2014	1,4% ± 0,2%	1,1% ± 0,3%
2010 oder später	1,7% ± 0,3%	1,1% ± 0,3%
Produktionsgebäude (und ähnliche)		
2015 oder später	2,8% ± 1,1%	(1,0% ± 0,5%)
2010-2014	0,5% ± 0,2%	0,4% ± 0,2%
2010 oder später	1,4% ± 0,5%	0,6% ± 0,3%

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler $\geq 50\%$ oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

Auch bei den transparenten Bauteilen wurde gefragt, wann diese überwiegend erneuert wurden, so dass ähnliche Modellannahmen bei der genauen Zuordnung zu einer bestimmten Periode zu treffen sind wie bei den opaken Bauteilen.

3.3 Ergänzende Auswertungen

3.3.1 Maßnahmenkombinationen bei Modernisierung

Es wurde auch untersucht, ob bei der energetischen Modernisierung bestehender Nichtwohngebäude Maßnahmen vorzugsweise an einzelnen Bauteilen der Gebäude oder als Maßnahmenpakete an mehreren oder allen Bauteilen inklusive der Erneuerung der Haupt-Wärmeerzeuger durchgeführt werden. Berücksichtigt wurden folgende fünf Energiesparmaßnahmen:

- Dämmung der Außenwand,
- Erneuerung der Fenster bzw. der Verglasungen,
- Dämmung des Daches bzw. der obersten Geschossdecke,
- Dämmung der Bodenplatte bzw. der Kellerdecke,
- Erneuerung des Haupt-Wärmeerzeugers der Heizung.

Ausgewertet wurden Maßnahmen im Zeitraum von 2010 bis 2014. Wenn mehr als eine Maßnahme in diesem Fünfjahres-Zeitraum ausgeführt wurde, wurde angesichts der üblichen Modernisierungsraten ein zeitlicher Zusammenhang angenommen und diese Kombination als „Maßnahmenpaket“ gewertet. Das ist sicher eine etwas vereinfachte Betrachtungsweise. Einerseits wird nicht in jedem Fall ein direkter

Zusammenhang zwischen den Maßnahmen bestehen, wenn z.B. von zwei Maßnahmen die eine in 2010 und die andere in 2014 durchgeführt wurde, andererseits werden Maßnahmen nicht berücksichtigt, die vielleicht kurz vor oder nach dem Auswertungszeitraum erfolgten aber mit einer Maßnahme in 2010 oder 2014 in Verbindung stehen.

Dennoch vermittelt die Auswertung in Tabelle 3-19 den Eindruck, dass in weit über zwei Dritteln der Fälle vorzugsweise Einzelmaßnahmen durchgeführt wurden. An knapp zehn Prozent der NWG wurden im Betrachtungszeitraum vier oder fünf Maßnahmen durchgeführt, was man als eine Vollmodernisierung der NWG ansehen kann.

Tabelle 3-19: Maßnahmenkombinationen – Anteil bestehender NWG nach Anzahl der Maßnahmen, die im Zeitraum 2010 bis 2014 durchgeführt wurden

Maßnahmenkombinationen (4.3.2.12a, Spaltenprozent)	100%
Bezug: bestehende GEG-relevante NWG mit energetischer Modernisierung in 2010-14	
Eine Maßnahme	69,9% ± 5,1%
Zwei Maßnahmen	14,9% ± 3,3%
Drei Maßnahmen	5,8% ± 1,4%
Vier Maßnahmen	7,0% ± 3,0%
Fünf Maßnahmen	2,3% ± 1,1%

Dabei sind die Fortschritte bei der energetischen Modernisierung der Bauteile der Gebäudehülle und der Haupt-Wärmeerzeuger sehr unterschiedlich, wie die Auswertungen in den Abschnitten 3.1.3, 3.2.2 und 4.2 zeigen.

3.3.2 Standards bei Neubauten

Bei Neubauten, also ab 2010 errichteten NWG, wurde nach den energetischen Standards, nachgewiesen durch einen Fachmann, gefragt. Zur Auswahl standen KfW-Effizienzgebäude 70, KfW-Effizienzgebäude 55 und Passivhausstandard bzw. keinen davon, wenn nach den energetischen Standards der EnEV gebaut worden war. Rund 43% der diesbezüglich Befragten gaben an, dass ihr Gebäude bessere energetische Standards aufweise, als durch die EnEV vorgeschrieben³⁹. Erwartungsgemäß sind die besseren Standards mit fast 60% der Gebäude häufiger bei den Dienstleistungsgebäuden zu finden, bei den Produktionsgebäuden sind es nur rund 8% der Gebäude⁴⁰.

3.3.3 Fördermittel

Nur gut 16% der Befragten gaben an, Fördermittel für energiesparende Bauweise oder Anlagen im Neubau oder für Energiesparmaßnahmen bei der Modernisierung

³⁹ Eigene Auswertung, IWU dataNWG 4.3.2.1.1

⁴⁰ Eigene Auswertung, IWU dataNWG 4.3.2.1.2

oder für die regenerative Energieerzeugung am Gebäude in Anspruch genommen zu haben⁴¹.

3.3.4 Energieberatung

Rund 18% der Befragten hatten eine Energieberatung durch einen zertifizierten Energieberater als eigenständige, also nicht mit dem Verkauf von Waren oder Dienstleistungen verbundene, Leistung beauftragt⁴².

3.3.5 Denkmalschutz

Ganz oder teilweise unter Denkmalschutz oder Ensembleschutz stehen 6,2% aller Nichtwohngebäude mit deutlichen Unterschieden zwischen den Gebäudekategorien: Für die Dienstleistungsgebäude wurde ein Anteil mit Denkmalschutz von 9,4% ermittelt, für die Produktionsgebäude nur von 1,1%.

Von den restlichen NWG haben 5% Fassaden, die unabhängig von Denkmalschutz als erhaltenswert angesehen werden.

3.4 Gebäudemodernisierung

Für zusammenfassende Betrachtungen der Entwicklung im Gebäudebestand ist es mitunter sinnvoll, über alle Bauteile hinweg Parameter der Gebäudemodernisierung für die gesamte Gebäudehülle anzugeben (vgl. auch (Diefenbach, Cischinsky 2015)). Die Gebäudehülle besteht dabei gedanklich aus 4 Bauteilen: Bt1 = Außenwand (AW), Bt2 = Fenster (F), Bt3 = Dach/oberste Geschossdecke (D), Bt4 = Bodenplatte/Kellerdecke (K). In den vorangegangenen Kapiteln wurden jeweils die Bauteilmodernisierungsfortschritte

$$\hat{f}_{i,nd}^A = \frac{\hat{A}_{i,nd}}{\hat{A}_i} [\%], i = (Bt1, \dots, Bt4)$$

aus der Stichprobe als Verhältnisse der insgesamt nachträglich energetisch modernisierten Bauteilflächen $\hat{A}_{i,nd}$ zu den gesamten Bauteilflächen \hat{A}_i und die Modernisierungsraten $\hat{f}_{i,nd,2010}^A$ als entsprechende mittlere jährliche Fortschritte im Zeitraum ab 2010 bis zum Ende der Erhebung Mitte 2019 bestimmt.

Verschiedene Definitionen von Gebäudeparametern werden betrachtet: Zwei Gebäudemodernisierungsparameter (Fortschritt und Rate) und ein Gebäudeeffizienzparameter. Im ersten Fall geht dies mit einer deutlichen Vereinfachung insofern einher, als nur Flächenverhältnisse betrachtet werden und nicht der eigentliche Wärmetransfer durch die Bauteile.

Im zweiten Ansatz wird ein Gebäudeeffizienzparameter als das Verhältnis von Transmissionswärmebedarfen gebildet, allerdings um den Preis von Unsicherheiten, die mit der Verwendung von Pauschalwerten nicht nachträglich gedämmter opaker Bauteile im Zustand gemäß Baualtersklasse der Errichtung des Gebäudes nach (BMW, BMU 2015b S. 9) und (Thiel, Riedel 2011) einhergehen.

⁴¹ Eigene Auswertung, IWU dataNWG 4.3.2.1.3

⁴² Eigene Auswertung, IWU dataNWG 4.3.2.1.5

3.4.1 Gebäudemodernisierungsparameter

Wir definieren den Gebäudemodernisierungsfortschritt in der Population als die gewichtete Summe der Bauteilmodernisierungsfortschritte

$$f_{Geb,nd}^A = \sum_{i=Bt1}^{Bt4} g_i \cdot f_{i,nd}^A$$

wobei die Summe der Gewichtungsfaktoren $\sum_{i=Bt1}^{Bt4} g_i = 1$ sein muss. Entsprechendes gilt für die mittlere jährliche Modernisierungsrate $r_{Geb,nd,2010}^A$ im Zeitraum von 2010 bis zum Ende der Erhebung Mitte 2019. Die Gewichtungsfaktoren werden als Verhältnis der jeweiligen Bauteilflächen A_i zur gesamten Hüllfläche A_{Geb} der Population definiert:

$$g_i = \frac{A_i}{A_{Geb}} = \frac{A_i}{\sum_{j=Bt1}^{Bt4} A_j}, i = (Bt1, \dots, Bt4)$$

$A_i [m^2]$ Fläche des Bauteils i gegen außen in der Population

Die Gewichtungsfaktoren ergeben sich als Mittelwertschätzer aus der Stichprobe für die ganze Population (vgl. Kap. 2.2.2) zu

$$\hat{g}_i = \begin{cases} 23\%, & i = Bt1 \text{ (Außenwand)} \\ 12\%, & i = Bt2 \text{ (Fenster)} \\ 33\%, & i = Bt3 \text{ (Dach bzw. ob. Geschossdecke)} \\ 32\%, & i = Bt4 \text{ (Bodenplatte bzw. Kellerdecke)} \end{cases}$$

Betrachtet man nur die Altbauten (Baujahr vor 1978) separat ergeben sich leicht andere Gewichte: $\hat{g}_{i,Altbau} = (23\%, 13\%, 32\%, 32\%)$. Die Gebäudemodernisierungsparameter können dann mit den Bauteilmodernisierungsparametern aus Kap. 3 folgendermaßen bestimmt werden

$$\text{Fortschritt: } \hat{f}_{Geb,nd}^A = \sum_{i=Bt1}^{Bt4} \hat{g}_i \cdot \hat{f}_{i,nd}^A$$

$$\text{Rate: } \hat{r}_{Geb,nd,2010}^A = \sum_{i=Bt1}^{Bt4} \hat{g}_i \cdot \hat{r}_{i,nd,2010}^A$$

Der Gebäudemodernisierungsfortschritt aller GEG-relevanten NWG beträgt demnach rund 19% und rund 30% für die Altbauten, siehe auch Tabelle 3-20. Er gibt den Anteil in Prozent der Gebäudehüllfläche gegen außen im Bestand der NWG bzw. der Altbauten in Deutschland an, der nachträglich, also nach dem Zeitpunkt der Errichtung eines Gebäudes, bereits energetisch modernisiert wurde. Die mittlere jährliche Gebäudemodernisierungsrate beschreibt die Dynamik der energetischen Modernisierung als den Anteil der Gebäudehüllfläche, der im betrachteten Zeitraum durchschnittlich pro Jahr nachträglich energetisch modernisiert wurde. Für den Zeitraum ab dem Jahr 2010 bis zum Ende der Erhebungen Mitte 2019 beträgt sie 0,7%/a für alle NWG und 1,1%/a nur für die Altbauten.

Tabelle 3-20: Gebäudemodernisierungsfortschritt und -rate als gewichtetes Mittel über die flächenbezogenen Bauteilmodernisierungsparameter

Bezug: GEG-relevante NWG	Fortschritt in % (4.3.2.10a)	Rate in %/a (4.3.2.10a)

Alle NWG	19,3% ± 3,5%	0,7%/a ± 0,2%/a
Altbauten (bis 1978)	30,3% ± 7,1%	1,1%/a ± 0,4%/a

Zum Vergleich: Im Wohngebäudebestand ergaben sich laut (Cischinsky, Diefenbach 2018 S. 77) Raten von $0,99\%/a \pm 0,04\%/a$ für alle Wohngebäude und $1,43\%/a \pm 0,06\%/a$ für die Altbauten, also insgesamt etwas höhere Werte⁴³.

3.4.2 Gebäudeeffizienzparameter

Der spezifische Transmissionswärmeverlust (ohne Wärmebrücken) stellt ein geeignetes Maß für die Gesamteffizienz der Gebäudehülle eines Gebäudes dar. Diesen bezeichnen wir mit

$$H_{T,0} = \sum_{i=Bt1}^{Bt4} F_{i,x} \cdot U_{i,0} \cdot A_i \left[\frac{W}{K} \right]$$

wenn der Zustand gemäß Baualtersklasse der Errichtung des Gebäudes vorliegt. Dabei steht $U_{i,0} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ für den Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils i , das gemäß den Anforderungen zum Zeitpunkt der Errichtung des Gebäudes gebaut wurde⁴⁴, bei opaken Bauteilen mit der Dämmstärke $d_0[m]$. $F_{i,x}$ bezeichnet den Temperaturkorrekturfaktor des Bauteils i .

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines opaken Bauteils, das nachträglich vollständig gedämmt wurde mit einem Dämmmaterial der Wärmeleitfähigkeit $\lambda \left[\frac{W}{mK} \right]$ und der Gesamt-Dämmstärke $d_{nd}[m]$, ist dann

$$U_{Bt,nd} = \frac{1}{\frac{1}{U_{Bt,0}} + \frac{d_{nd}-d_0}{\lambda}} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

Bei transparenten Bauteilen sinkt der Wärmedurchgangskoeffizient im Modernisierungsfall durch Erneuerung mit zeitgemäßen Fenstern. Den Wärmedurchgangskoeffizienten eines Bauteils, das nachträglich zu $a_{Bt,nd}\%$ (teil-)modernisiert wurde, bezeichnen wir mit

$$U_{Bt} = U_{Bt,nd} \cdot a_{Bt,nd} + U_{Bt,0} \cdot (1 - a_{Bt,nd})$$

unter Berücksichtigung der zusätzlichen Dämmstärke bzw. des verbesserten transparenten Bauteils und des modernisierten Flächenanteils a . Der spezifische Transmissionswärmebedarf im (teil-)modernisierten Zustand über alle Bauteile ergibt sich dann als

$$H_T = \sum_{i=Bt1}^{Bt4} F_{i,x} \cdot U_i \cdot A_i \left[\frac{W}{K} \right]$$

⁴³ Beim Vergleich der Ergebnisse von ENOB:dataNWG mit der Wohngebäudeerhebung fällt auf, dass die Standardfehler in ersterer deutlich größer sind. Das liegt zum einen an der kleineren Stichprobe. Zum anderen aber auch an dem komplizierteren Ziehungsverfahren, das zu stark fluktuierenden Ziehungswahrscheinlichkeiten in der Stichprobe führt. Beides vergrößert den Standardfehler bei der Hochrechnung auf die Population.

⁴⁴ Zu den damit einhergehenden Unsicherheiten siehe Fußnote 37, Seite 28

Durch (Teil-)Modernisierung der Gebäudehülle reduziert sich der spezifische Transmissionswärmebedarf dann um $\Delta H = H_{T,0} - H_T$. Als Gebäudeeffizienzfortschritt definieren wir

$$f_{Geb,nd}^H = \frac{\Delta H}{\Delta H_{Ziel}} = \frac{H_{T,0} - H_T}{H_{T,0} - H_{T,Ziel}} [\%]$$

Dieser würde 100% erreichen bei $H_T = H_{Ziel}$ und könnte theoretisch auch darüber hinaus gehen. Ein physikalisch und ökonomisch realistischer Zielwert könnte $H_{T,Ziel} = H_{T,EG55}$ sein, entsprechend der Annahme, dass der Wärmeschutz der NWG im Bestand im Durchschnitt auf das Niveau *Effizienzgebäude 55*⁴⁵ gebracht werden sollte, um Klimaneutralität gut erreichen zu können.

Der aktuelle Gebäudeeffizienzfortschritt wird als Mittelwertschätzer aus der Stichprobe für die Population bestimmt zu

$$\hat{f}_{Geb,nd}^H = 45\% \pm 8\%^{46}$$

Für die Altbauten ergibt sich ein Wert von

$$\hat{f}_{Geb,Altbau,nd}^H = 38\% \pm 3\%$$

Der Gebäudeeffizienzfortschritt gibt einen Eindruck davon, wie weit die Gebäudeeffizienz auf dem Weg zum Ziel - in dieser Modellannahme den Standard EG55 durchschnittlich im Bestand der NWG in Deutschland zu erreichen - fortgeschritten ist. Bei einer Modernisierungsrate von etwa 1% pro Jahr und ausreichender Modernisierungstiefe würde es noch über 50 Jahre dauern, das Ziel im Gesamtbestand der Nichtwohngebäude in Deutschland zu erreichen.

⁴⁵ Gemäß der Anlage *Technische Mindestanforderungen zum Programm Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude* in (BMW 2021) dürfen für Effizienzgebäude 55, die auf eine Raum-Solltemperatur von $T \geq 19^\circ\text{C}$ beheizt werden, der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient für die opaken Außenbauteile den Wert von $\bar{U}_{opak} = 0,22 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$ und derjenige für die transparenten Außenbauteile den Wert von $\bar{U}_{transparent} = 1,2 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$ nicht überschreiten.

⁴⁶ Eigene Auswertung, IWU dataNWG 4.3.2.11. Diese Auswertung beruht auf komplexen abgeleiteten Variablen, in die viele Fragebogen-Variablen eingehen, wie z.B. Dämmstärken der Hüllflächenbauteile oder nachträglich gedämmte Bauteilflächen. Naturgemäß konnten nicht alle Befragte alle Fragen beantworten, es kam zu einer nicht geringen Anzahl von Antwortausfällen an der einen oder anderen Stelle. In 2.470 von 5.107 Fällen konnte deshalb $H_{T,nd}$ nicht berechnet werden. Es gibt aber keine Hinweise darauf, dass diese Antwortausfälle systematisch verzerrt gewesen wären. Es gilt deshalb die Annahme der Strukturgleichheit der Teilmenge der Gebäude mit Antwortausfällen zur Teilmenge, in der alle erforderlichen Werte bekannt sind.

4 Zustand und Dynamik der energetischen Qualität der Wärmeversorgung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Befragung zur Wärmeversorgung dargestellt. Gefragt wurde jeweils nach dem überwiegend verwendeten System der Wärmeversorgung, sowohl der Erzeugung als auch der Verteilung und der Übergabe.

4.1 Basisdaten der Wärmeerzeugung

Der Fragebogen war so konzipiert, dass auch Nicht-Fachleute unter den Befragten in der Lage sein sollten, die erwünschten Angaben zur Wärmeerzeugung zu machen. Deshalb wurde zunächst nach der überwiegenden Beheizungsart⁴⁷ gefragt. Tabelle 4-1 zeigt die Ergebnisse als prozentuale Anteile der NWGs. Die Zentralheizung im Gebäude ist mit fast 70% die mit Abstand häufigste Beheizungsart, gefolgt von Fern- und Nahwärme mit knapp 17%. Es gibt kaum Unterschiede zwischen den beiden Gebäudekategorien.

Tabelle 4-1: Beheizungsart – Anteil der Nichtwohngebäude nach Gebäudekategorien

Beheizungsart nach Anteil NWG (4.3.3.1.1, Spaltenprozent)	Dienstleistungsgebäude	Produktionsgebäude (und ähnliche)
Bezug: GEG-relevante NWG	100%	100%
Zentralheizung	69,1% ± 3,6%	69,9% ± 5,6%
Blockheizung	5,6% ± 1,6%	7,3% ± 3,2%
Fernwärme / Nahwärme	16,9% ± 2,4%	13,7% ± 4,4%
Dezentrale Heizung	8,4% ± 3,0%	9,1% ± 2,6%

Bei den Energieträgern (vgl. Tabelle 4-2) dominieren, nicht überraschend, zum Zeitpunkt der Erhebung die fossilen Energieträger Erdgas, Flüssiggas und Heizöl in über zwei Dritteln der NWG, wobei sich die Anteile der Energieträger zwischen den Gebäudekategorien doch deutlich unterscheiden. In den Produktionsgebäuden liegt der Einsatz von Heizöl prozentual fast doppelt so hoch wie bei den Dienstleistungsgebäuden. Nach den fossilen Energien folgt Fern- und Nahwärme als zweit häufigste Quelle. Die biogenen Brennstoffe werden in Dienstleistungsgebäuden deutlich von Holz dominiert, in der Produktion überwiegen Biogas und Bioöl. Ähnliche prozentuale Anteile der NWG werden mit elektrischer Energie beheizt.

⁴⁷ Als Hinweis war zu der Frage nach der Beheizungsart folgende Erläuterung beigelegt:

- Zentralheizung: Heizwärmeversorgung eines Gebäudes aus einer zentralen Heizanlage im Gebäude, ohne dass andere Gebäude mitversorgt werden.
- Blockheizung: Gemeinsame Beheizung mehrerer, aneinandergrenzender Gebäude in einer Zeile oder einem Block. Bei Versorgung mehrerer getrennter Gebäude oder Blocks bitte Fernwärme/Nahwärme wählen.
- Fernwärme/Nahwärme: Heizwärmeversorgung mehrerer getrennter Gebäude oder Blocks über wärmege-dämmte Rohrleitungssysteme.
- Dezentrale Heizung: Entweder direkte Beheizung der Räume über Öfen, elektrische oder gasbetriebene Raumheizgeräte sowie brennstoffbetriebene Strahlungsheizgeräte (z.B. in Hallen) oder indirekte Beheizung (z.B. über Etagenheizung).

Tabelle 4-2: Energieträger – Anteil der Nichtwohngebäude nach Gebäudekategorien

Energieträger nach Anteil NWG (4.3.3.1.2, Spaltenprozente) Bezug: GEG-relevante NWG	Dienstleistungs- gebäude 100%	Produktionsgebäude (und ähnliche) 100%
Erdgas	51,6% ± 3,9%	41,2% ± 5,5%
Flüssiggas	3,4% ± 1,0%	3,4% ± 1,5%
Heizöl	14,6% ± 3,1%	26,6% ± 5,7%
Bioöl, Biogas (auch Biogas aus dem Erdgas- netz, wenn Anteil laut Liefervertrag > 50%)	0,2% ± 0,1%	(4,5% ± 2,6%)
Holz (Pellets, Hackschnitzel)	7,2% ± 2,5%	2,9% ± 0,9%
andere feste Biomasse (z.B. Stroh)	(0,04% ± 0,02%)	(0,1% ± 0,1%)
Kohle	(0,03% ± 0,02%)	(0%)
elektrischer Strom (z.B. bei elektrischer Wärmepumpe oder Direktheizung)	6,0% ± 2,3%	7,7% ± 3,1%
Nah- oder Fernwärme	16,9% ± 2,4%	13,7% ± 4,4%

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler ≥ 50% oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

Bei den Hauptwärmeerzeugern überwiegen zentrale, mit Brennstoff betriebene Anlagen (vgl. Tabelle 4-3), d.h. in der Regel Heizkessel, in über 70% der NWG, mit weitem Abstand gefolgt von Nah- oder Fernwärme.

Tabelle 4-3: Kategorie des Hauptwärmeerzeugers – Anteil der Nichtwohngebäude nach Gebäudekategorien

Hauptwärmeerzeuger (Kategorie) nach Anteil NWG (4.3.3.1.3, Spaltenprozente) Bezug: GEG-relevante NWG	Dienstleistungs- gebäude 100%	Produktionsgebäude (und ähnliche) 100%
zentral elektrisch	1,2% ± 0,4%	6,4% ± 3,1%
dezentral elektrisch	4,8% ± 2,3%	1,3% ± 0,3%
zentral Brennstoff	73,5% ± 3,4%	70,9% ± 5,1%
dezentral Brennstoff	(3,6% ± 2,0%)	7,7% ± 2,5%
Nah- oder Fernwärme	16,9% ± 2,4%	13,7% ± 4,4%

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler ≥ 50% oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

Das gilt gleichermaßen in Dienstleistungs- wie in Produktionsgebäuden, allerdings mit deutlich abnehmender Tendenz bei den Neubauten (vgl. Tabelle 4-4). Produktionsgebäude sind relativ häufiger zentral elektrisch (überwiegend mit Wärmepumpen) oder dezentral mit Brennstoff (überwiegend mit Gas betriebenen Hell- oder Dunkelstrahlern) beheizt, aber im Vergleich zu den Heizkesseln mit sehr geringen Anteilen. Ein gewisser Trend ist über die Baualtersklassen zu beobachten (vgl. Tabelle 4-4):

Während fast drei Viertel⁴⁸ der Altbauten mit Heizkesseln beheizt werden, sind es nur noch gut die Hälfte der Neubauten. Der Anteil der mit Nah- oder Fernwärme versorgten NWG nimmt über die Zeit zu, ebenso der Anteil der dezentral mit Brennstoff beheizten NWG. Letzteres lässt sich auf den häufigeren Einsatz von Gas-betriebenen Hell- und Dunkelstrahlern zurückführen. Der Anteil derjenigen NWG, die mit elektrischen Wärmepumpen beheizt werden, nimmt bei Neubauten zwar zu, es scheint aber immer noch die Ausnahme zu sein. Im Vergleich zu den neugebauten Wohngebäuden (Anteil 39%) ist der Anteil der elektrischen Wärmepumpen mit knapp 3,5%⁴⁹ auffallend gering.

Tabelle 4-4: Kategorie des Hauptwärmeerzeugers – Anteil der Nichtwohngebäude nach Baualtersklasse

Hauptwärmeerzeuger (Kategorie) nach Anteil NWG (4.3.3.1.6, Spaltenprozente) Bezug: GEG-relevante NWG	Alle NWG 100%	Altbau (bis 1978) 100%	Neubau (ab 2010) 100%
zentral elektrisch	3,2% ± 1,2%	(1,5% ± 1,0%)	4,2% ± 1,3%
... davon Wärmepumpen	71,9% ± 14,6%	88,2% ± 8,6%	82,3% ± 11,9%
... davon zentral elektrische Wärmeerzeuger	(28,1% ± 14,5%)	(11,8% ± 8,0%)	(17,7% ± 10,4%)
dezentral elektrisch	3,5% ± 1,5%	2,0% ± 0,6%	(1,1% ± 0,7%)
zentral Brennstoff	72,5% ± 2,8%	78,0% ± 3,0%	54,1% ± 10,9%
... davon Heizkessel	92,1% ± 2,0%	93,1% ± 1,9%	93,8% ± 3,2%
... davon Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (z.B. BHKW)	3,4% ± 1,0%	3,7% ± 1,4%	(4,5% ± 2,6%)
... davon Wärmepumpe (mit Brennstoff betrieben)	4,4% ± 1,7%	3,1% ± 1,3%	(1,8% ± 1,3%)
... davon sonstige zentrale Wärmeerzeuger mit Brennstoff	(0,1% ± 0,04%)	(0%)	(0,1% ± 0,1%)
dezentral Brennstoff	5,2% ± 1,6%	4,8% ± 2,2%	(21,7% ± 12,0%)
Nah- oder Fernwärme	15,7% ± 2,3%	13,7% ± 2,1%	18,9% ± 7,8%

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler ≥ 50% oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

4.2 Modernisierung der Wärmeerzeugung

Auskunft über die Altersstruktur der gegenwärtig installierten Hauptwärmeerzeuger im Bestand der NWG gibt Tabelle 4-5, in der das Installationsjahr der Hauptwärmeerzeuger in 5 Altersklassen ausgewertet wurde. Mehr als die Hälfte der

⁴⁸ Der Anteil von 72,5% ergibt sich aus Tabelle 4-4 durch Multiplikation von 78,0% der Altbauten, die mit Brennstoff in zentralen Anlagen betrieben werden, mit den 93,1% Heizkesseln davon.

⁴⁹ Von den Neubauten sind 4,2% zentral elektrisch beheizt, wovon wiederum 82,3% Wärmepumpen als Wärmeerzeuger haben.

Wärmeerzeuger wurde bis zum Jahr 2001 installiert, also vor nunmehr 20 Jahren und mehr. Sie haben ihre übliche technisch-wirtschaftliche Nutzungsdauer bereits überschritten und stehen ggf. in nächster Zeit zur Erneuerung an. Ein gutes Viertel wurde in den letzten 10 Jahren installiert, wobei an dieser Stelle nicht nach Neubauten und Modernisierungen unterschieden wurde. Insgesamt zeigt die Altersverteilung bei den Dienstleistungsgebäuden eine Tendenz zu neueren Anlagen, bei den Produktionsgebäuden eher zu etwas älteren.

Tabelle 4-5: Altersstruktur der Hauptwärmeerzeuger – Anteil der Nichtwohngebäude nach Installationsaltersklasse der Wärmeerzeuger

Installationsaltersklasse der Haupt-Wärmeerzeuger (4.3.3.1.11, Spaltenprozentage) Bezug: GEG-relevante NWG	Dienstleistungsgebäude 100%	Produktionsgebäude (und ähnliche) 100%	Alle NWG 100%
Vor 1995	33,9% ± 3,8%	36,3% ± 5,7%	34,9% ± 3,3%
1995 – 2001	18,5% ± 3,1%	19,6% ± 5,2%	19,0% ± 2,8%
2002 - 2009	17,6% ± 2,5%	23,7% ± 4,9%	20,1% ± 2,4%
2010 – 2014	19,3% ± 3,5%	9,7% ± 1,8%	15,4% ± 2,2%
2015 oder später	10,7% ± 2,0%	10,7% ± 2,9%	10,7% ± 1,7%

Die Modernisierungsrate bei den Wärmeerzeugungsanlagen liegt deutlich höher als bei den Bauteilen der Gebäudehülle (vgl. Tabelle 4-6). Insgesamt wurden seit 2010 durchschnittlich etwa 2,3% der Wärmeerzeugungsanlagen pro Jahr modernisiert, bezogen nur auf die Altbauten sogar etwa 2,5% pro Jahr. Mit einer moderaten Steigerung der Modernisierungsdynamik könnte das Gros der Wärmeerzeuger bis zum Jahr 2045 noch einmal ausgetauscht werden.

Tabelle 4-6: Modernisierungsrate der Hauptwärmeerzeuger – Anteil der Nichtwohngebäude nach Baualtersklasse

Modernisierungsrate Hauptwärmeerzeuger (4.3.3.1.9) Bezug: GEG-relevante NWG	Alle NWG %/a	Altbau (bis 1978) %/a	Zwischenbau (1979 - 2009) %/a
2010 – 2014	2,4% ± 0,4%	3,1% ± 0,6%	1,6% ± 0,5%
2015 oder später	2,4% ± 0,4%	2,1% ± 0,4%	2,9% ± 0,8%
2010 oder später	2,3% ± 0,3%	2,5% ± 3,0%	2,1% ± 0,4%

Für die Wärmewende im Gebäudebestand ist jedoch entscheidend, ob die hohe Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen bei der Gelegenheit einer Modernisierung der Hauptwärmeerzeuger vermindert werden kann, also ein Wechsel zu anderen Energieträgern stattfindet. Deshalb wurde im Fragebogen nicht nur gefragt, welche Art von Wärmeerzeuger (mit welchem Energieträger) bei der Modernisierung neu installiert wurde, sondern auch womit die Heizwärme vorher überwiegend erzeugt wurde.

Es zeigt sich in der Auswertung (vgl. Tabelle 4-7), dass bei der Modernisierung der Wärmeerzeuger überwiegend der gleiche Energieträger weiterverwendet wird, der auch vorher eingesetzt wurde. Mehr als 80% der Eigentümer, die bisher einen Gas-

Heizkessel zur Wärmeerzeugung nutzen, lassen bei Modernisierung wieder einen Gas-Heizkessel installieren, knapp 11% wechseln zu Nah- oder Fernwärme, rund 5% zu KWK. Wurde bisher ein Öl-Heizkessel genutzt, steigen fast 34% auf Gas-Heizkessel um, fast 26% auf Biomasse-Heizkessel, mehr als 13% auf Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und mehr als 10% auf Nah- oder Fernwärme um.

Erstaunlicherweise geben fast 39% der bisherigen Nutzer von Nah- oder Fernwärme an, bei der Neuinstallation einem Gas-Heizkessel den Vorzug gegeben zu haben. Die Ergebnisse bei den bisherigen Nutzern von Wärmepumpen müssen mit Vorsicht interpretiert werden; die Fallzahl war mit insgesamt 7 einfach zu gering, um in der Hochrechnung belastbare Aussagen zu erhalten. Dass 87% auf eine brennstoff-betriebene Wärmepumpe umgestiegen sein sollten, lässt sich bezweifeln, da das Ergebnis auf nur drei Fällen beruht, darunter ein Gebäude mit einem hohen Hochrechnungsfaktor. Hier kommt die Kleinteiligkeit der Fallunterscheidung an die Grenzen der Auswertemöglichkeiten, die bei diesem Stichprobenumfang möglich sind.

Tabelle 4-7: Energieträgerwechsel bei der Modernisierung der Hauptwärmeerzeuger seit 2010

Austausch Hauptwärmeerzeuger (4.3.3.1.8) Bezug: GEG-relevante NWG, in denen seit dem 1.1.2010 der Wärmeerzeuger erneuert wurde.	Womit wurde die Heizwärme vorher (überwiegend) erzeugt? (Fragebogen qG17, Spaltenprozente)			
	Gas-Heizkessel	Öl-Heizkessel	Nah- oder Fernwärme	Wärmepumpe
Welche Art von Wärmeerzeuger wurde bei der Modernisierung neu installiert? (w_erz_art_et_neu_2)	100%	100%	100%	100%
Gas-Heizkessel	80,5% ± 6,2%	33,9% ± 9,3%	38,7% ± 18,9%	(1,2% ± 1,6%)
Öl-Heizkessel	(0%)	14,9% ± 4,0%	(0%)	(0%)
Biomasse-Heizkessel	(2,4% ± 1,4%)	25,9% ± 11,8%	(0%)	(0%)
Elektr. Wärmepumpe	(0,2% ± 0,2%)	(0,2% ± 0,1%)	(0%)	(2,9% ± 3,3%)
KWK	4,8% ± 1,7%	13,6% ± 6,5%	(4,1% ± 2,7%)	(0%)
Brennst. Wärmepumpe	(0,3% ± 0,2%)	(0,4% ± 0,3%)	(0%)	(87,1% ± 14,7%)
Nah- oder Fernwärme	10,9% ± 5,3%	(10,5% ± 5,3%)	34,1% ± 14,2%	(0%)
Dezent. Wärmeerzeuger	1,0% ± 0,4%	(0,7% ± 0,4%)	(22,3% ± 18,1%)	(8,7% ± 10,9%)
Sonstige	(0,1% ± 0,1%)	(0%)	(0%)	(0%)

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler ≥ 50% oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.
Klammerung und durchgestrichene Schrift (~~#,#%~~), bedeutet, dass die gültige Fallzahl ≤ 1 ist.

5 Eigentümerklassen und Modernisierung

Im Fragebogen (Hörner, Cischinsky 2020) wurde auch danach gefragt, welcher Kategorie sich der rechtliche Eigentümer des Gebäudes zuordnen lässt. Aus den möglichen Antwortoptionen⁵⁰ wurden drei Hauptkategorien gebildet:

- a. Private natürliche Personen oder Gemeinschaften aus diesen, also Einzelpersonen, Ehepaare oder eingetragene Lebenspartnerschaften sowie Wohneigentümergeinschaften und Erbengemeinschaften,
- b. private institutionelle Eigentümer, wie z.B. Immobilienunternehmen oder -fonds, Banken und Versicherungen oder sonstige Unternehmen,
- c. öffentliche institutionelle Eigentümer, wie die öffentliche Hand selbst oder öffentliche Unternehmen, die sich mehrheitlich in öffentlichem Eigentum befinden.

Eigentümerklassen und Büroflächenbestände

Laut Breitenerhebung befinden sich 39% der Bürogebäude im Besitz von privaten Eigentümern der Kategorie a. Bezogen auf den Büroflächenbestand beträgt der Anteil dieser privaten Eigentümer jedoch nur noch 14% - dies zeigt, dass private Eigentümer vor allem kleinere Gebäude mit wenig Bürofläche im Besitz haben. Recht hoch erscheinen mit 32% der Bürogebäude und 42% der Büroflächen die Anteile, die im Besitz der öffentlichen institutionellen Eigentümer sind. Während die restlichen Gebäude bzw. Flächen von privaten institutionellen Eigentümern gehalten werden. Äußerst gering ist der mit 1,1% Anteil der Büroflächenbestände, die im Besitz von Banken, Pensionskassen, Versicherungen, Immobilienfonds und REITs⁵¹ sind.⁵²

Obwohl bisher wenig Informationen zu den Büroflächenbeständen außerhalb der Großstädte bzw. Ballungsräume existieren und dort durchaus mit einer großen Bedeutung öffentlicher Eigentümer zu rechnen ist, erscheint der Anteil an Büroflächen im Besitz der öffentlichen institutionellen Eigentümer recht hoch und weicht von bisherigen Einschätzungen ab (vgl. (Busch, Hörner 2021 S. 11)). Diese sind jedoch sehr uneinheitlich und nennen Anteile zwischen 5% und 30%. Es gibt zum einen lokale und regionale Erhebungen, deren erwartungstreue Hochrechnung auf ganz Deutschland nicht ohne weiteres möglich ist. Bei anderen Studien werden verschiedene Schätzverfahren, z.B. über Arbeitsstättenenerhebungen, angewendet. Zu klären wäre auch, was jeweils mit öffentlichen Eigentümern gemeint war und wie das einzelne Gebäude definiert wurde.

Der laut Breitenerhebung höhere Anteil an Büroflächen im Besitz öffentlicher Eigentümer als in bisherigen Studien könnte allerdings auch ein Hinweis darauf sein, dass eine höhere Bereitschaft öffentlicher Eigentümer zur Teilnahme an der umfangreichen Befragung im Rahmen der Breitenerhebung anzunehmen ist. Eine Übergewichtung dieses Eigentübertyps kann jedoch weder bestätigt noch ausgeschlossen werden. Ein entsprechendes Merkmal wurde im Screening nicht erfasst und kann deshalb durch

⁵⁰ Dazu wurden die Antwortoptionen der Fragen q27 und q27X des Fragebogens der Breitenerhebung (Hörner, Cischinsky 2020) entsprechend kombiniert.

⁵¹ **REITs** – Real Estate Investment Trusts – steht für börsennotierte, in der Immobilienbranche tätige Aktiengesellschaften.

⁵² ENOB:dataNWG, Auswertung 4.3.4.5

das Non-Response-Modell in der Hochrechnung nicht ausgeglichen werden. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse der Breitenerhebung zu beachten. In einer zukünftigen Erhebung wird darauf zu achten sein, dass das Merkmal Eigentümerkategorie in das Non-Response-Modell Eingang findet

Allerdings sind Auswertungen über alle erhobenen Nichtwohngebäude sowie innerhalb einer jeden Eigentümer-Kategorie ohne weiteres möglich. Aus dem Vergleich der relativen Häufigkeiten von Merkmalsausprägungen in den verschiedenen Kategorien lassen sich durchaus valide Schlüsse ziehen. Insbesondere zeigt sich, dass bei den zentralen Projektergebnissen zur Modernisierungsdynamik nur geringe Unterschiede in den Eigentümerklassen, also wenig Einfluss der Eigentümerkategorie, erkennbar sind, wie die folgenden Ergebnisse aufweisen.

Eigentümerklassen und Modernisierung

So zeigen die Auswertungen zu den Modernisierungsfortschritten⁵³, dass der Anteil der NWG von öffentlichen Eigentümern, der an der Außenwand oder den Fenstern energetisch modernisiert wurde, mit 13% bzw. 49% etwas unter dem Durchschnitt von 15 % bzw. 52% aller NWG liegt, während private natürliche Personen als Eigentümer bei diesen Maßnahmen mit 16% bzw. 60% etwas höhere Ambition zeigen. Umgekehrt sind die Verhältnisse bei der Modernisierung der Haupt-Wärmeerzeuger, die in 60% aller NWG bereits einmal stattgefunden hat, in den öffentlichen NWG sind es 64%, in denen der privaten natürlichen Personen 59%. Die Bestände der privaten institutionellen Eigentümer liegen bei Maßnahmen an den Außenwänden im Durchschnitt, bei den Fenstern mit 46% und bei den Wärmeerzeugern mit 57% etwas darunter.

Die Modernisierungsdynamik im Zeitraum 2010 bis 2014 zeigt ein etwas anderes Bild. In diesem Zeitraum haben die privaten institutionellen Eigentümer bei Außenwänden und Fenstern etwas über Durchschnitt modernisiert und bei den Haupt-Wärmeerzeugern deutlich darüber. Öffentliche Eigentümer modernisierten an der Gebäudehülle etwas über, bei den Haupt-Wärmeerzeugern deutlich unter Durchschnitt. Die privaten natürlichen Personen als Eigentümer haben in diesem Zeitraum in ihren NWG deutlich unter Durchschnitt modernisiert.

⁵³ ENOB:dataNWG, Auswertung 4.3.2.12

6 Kälteversorgung

Bei den Fragen zur Kälteerzeugung ging es hauptsächlich um zentrale Anlagen. Diese versorgen zentrale raumluftechnische Anlagen oder Raumkühlsysteme, wie z.B. Kühldecken, mit einem kalten Medium. Dieses Medium ist oft Kaltwasser, kann aber auch ein anderes Kältemittel sein (etwa in Direktverdampfern von Multisplitanlagen). Dezentrale mechanische Kälteanlagen, wie z.B. Splitgeräte in Serverräumen oder mobile Klimageräte, wurden nicht näher untersucht.

6.1 Basisdaten der Kälteerzeugung

Nur 8,5% der NWG, das sind etwa 168 TSD, werden mit zentralen mechanischen Kälteanlagen gekühlt (vgl. Tabelle 6-1). Zu mehr als zwei Dritteln sind das Dienstleistungsgebäude. 87% der NWG werden nicht mechanisch gekühlt.

Tabelle 6-1: Art der Kälteerzeugung – Anteil der Nichtwohngebäude nach Gebäudekategorien

Kälteerzeugung nach Anteil NWG (4.3.3.3.1a, Spaltenprozentage) (4.3.3.3.4a, Spaltenprozentage) Bezug: GEG-relevante NWG	Dienstleistungs- gebäude 100%	Produktionsge- bäude (und ähnliche) 100%	Alle NWG 100%
Keine mechanische Kühlung	86,0% ± 1,9%	88,6% ± 2,4%	87,0% ± 1,4%
Nur dezentrale mechanische Kälteerzeugung	4,6% ± 1,0%	4,4% ± 1,5%	4,6% ± 0,8%
Zentrale mechanische Kälteerzeugung	9,4% ± 1,6%	7,0% ± 1,2%	8,5% ± 1,2%
... davon mit Kompressionskältema- schinen			91,0% ± 4,3%
... davon mit Absorptionskältemaschi- nen			8,3% ± 4,2%
... davon Nah- oder Fernkälte			0,7% ± 0,3%
... Summe			100%

Zentrale Kälteerzeugung findet in 91% der Fälle mit elektrische betriebenen Kompressionskältemaschinen und nur in gut 8% der Fälle mit Absorptionskältemaschinen, die mit Wärme betrieben werden, statt.

Auf die Frage, ob das NWG, ggf. zusätzlich, durch sommerliche Nachtlüftung passiv, also ohne Energieaufwand, gekühlt werde, antworten 14,5% der Befragten mit Ja. Freie Kühlung mit Rückkühlwerken der Kälteerzeuger oder mit Grundwasser wird nur in 1,7% der Fälle angegeben.⁵⁴

Anders als bei der Beheizung wird die Nutzungsfläche (NF) der NWG in der Regel nur zum Teil mit Hilfe von zentralen mechanischen Kälteerzeugern gekühlt. Die Befragung ergab, dass in 4,4% der NWG die NF vollständig gekühlt wird, in 9,4%

⁵⁴ ENOB:dataNWG, Auswertung 4.3.3.3.2

weitestgehend (> 75% NF), 17,6% überwiegend (> 50% NF), 46,8% nur teilweise (10% ≤ gekühlte NF ≤ 50%) und 21,8% nur in geringen Maße (< 10% NF) oder nur in speziellen Räumen.⁵⁵

6.2 Modernisierung der Kälteerzeugung

Knapp zwei Drittel der Kälteerzeuger wurden vor 2010 installiert, ein gutes Drittel 2010 oder später (vgl. Tabelle 6-2). Ähnlich wie bei den Wärmeerzeugern sind auch die Kälteerzeuger in den Dienstleistungsgebäuden tendenziell etwas neuer als in den Produktionsgebäuden.

Tabelle 6-2: Altersstruktur der Haupt-Kälteerzeuger – Anteil der Nichtwohngebäude nach Installationsaltersklasse der Kälteerzeuger

Installationsaltersklasse der Haupt-Kälteerzeuger (4.3.3.3.5a, Spaltenprozentage) Bezug: GEG-relevante NWG mit zentrale Kälteanlage (ql1 = 3)	Dienstleistungsgebäude 100%	Produktionsgebäude (und ähnliche) 100%	Alle NWG 100%
Vor 2010	60,0% ± 8,1%	70,7% ± 9,8%	63,4% ± 6,6%
2010 oder später	40,0% ± 8,1%	29,3% ± 9,7%	36,6% ± 6,5%

Auch das Modernisierungsgeschehen der Kälteerzeugung wurde erfragt. Für den Zeitraum ab 2010 bis zum Ende der Befragung Mitte 2019 wurde eine **mittlere jährliche Modernisierungsrate von 3,2 ± 0,7 %/a** ermittelt⁵⁶. Dabei wurde nicht unterschieden, ob bei der Modernisierung eine alte Anlage durch eine neue ersetzt wurde oder ob erstmals eine Kälteerzeugungsanlage eingebaut wurde. Nimmt man an, dass der erste Fall die Regel ist, dann entspricht die ermittelte Rate einem Austausch aller Kälteanlagen etwa alle 30 Jahre.

Dabei unterscheiden sich Dienstleistungs- und Produktionsgebäude nur wenig. In Altbauten werden jedoch mit 4,1%/a deutlich mehr Kälteanlagen erneuert als im Durchschnitt über alle Gebäude.

Das Modernisierungsgeschehen ist damit auf Kurs gemessen an den Klimaschutzziele. Allerdings sind die Minderungspotenziale bei den Treibhausgasen nicht so hoch wie bei den Wärmeerzeugern, da ein Brennstoffwechsel in diesem Segment nicht ansteht, denn die meisten Anlagen sind elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen. Allerdings wird auch die mutmaßlich höhere Energieeffizienz neuer Anlagen zu einer Minderung von Treibhausgasen führen.

⁵⁵ ENOB:dataNWG, Auswertung 4.3.3.3.3

⁵⁶ ENOB:dataNWG, Auswertung 4.3.3.3.5

7 Raumluftechnische Anlagen

7.1 Basisdaten der Raumluftechnik

In Tabelle 7-1 sind die Gebäude nach der Art der Lüftung aufgeteilt. Gefragt wurde, ob es zentrale raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) zur mechanischen Lüftung von Nutzungsflächen im Gebäude gibt. Dies ist bei 285 ± 40 Tsd. oder 14% der GEG-relevanten Nichtwohngebäude demnach der Fall. Überwiegend jedoch, in 78% der Fälle, werden die NWG durch Fensterlüftung mit frischer Außenluft versorgt, 8% verfügen nach Angabe der Befragten über dezentrale Lüftungsanlagen. Letztere umfassen in die Fassade oder Fenster integrierte Geräte, die keine zentrale Luftverteilung haben. Die Frage war um den Hinweis ergänzt, dass Umluft- oder Luftheizungsanlagen, die keine frische Außenluft in die Räume bringen, oder dezentrale Kleinanlagen wie z.B. WC-Lüfter oder mobile Klimageräte nicht zu den Anlagen zählen, die hier angegeben werden sollten.

Tabelle 7-1: GEG-relevante Nichtwohngebäude in Deutschland nach Art der Lüftung

Art der Lüftung in GEG-relevanten NWG (4.3.3.2.1)	Anzahl in TSD	Anteil in %
GEG-relevante Nichtwohngebäude (NWG)	1.981 ± 152	100%
... davon mit <i>Fensterlüftung</i>	1.541 ± 128	$78\% \pm 3\%$
... davon nur mit <i>dezentralen Anlagen</i>	156 ± 45	$8\% \pm 2\%$
... davon mit <i>zentralen RLT-Anlagen</i>	285 ± 40	$14\% \pm 2\%$

Etwa 19% der zentralen raumluftechnischen Anlagen werden in *Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäuden*, 17% in *Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäuden* und gut 15% in *Beherbungs- oder Unterbringungsgebäude, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäuden* eingesetzt.

Energetisch relevant ist auch der Anteil an der Nutzungsfläche, der mechanisch belüftet und dazu die Zuluft deshalb mutmaßlich auch thermisch konditioniert wird. Auch diese Angabe wurde abgefragt, die Ergebnisse zeigt Tabelle 7-2.

Tabelle 7-2: GEG-relevante Nichtwohngebäude mit zentraler Raumluftechnik nach Anteil belüfteter Nutzungsfläche

GEG-relevante NWG mit zentralen RLT-Anlagen nach Anteil belüfteter Nutzungsfläche (NF) (4.3.3.2.2)	Anzahl in TSD	Anteil in %
... davon <i>vollständige (gesamte NF)</i>	54 ± 13	$19\% \pm 4\%$
... davon <i>weitestgehend (> 75% NF)</i>	39 ± 8	$14\% \pm 2\%$
... davon <i>überwiegend (> 50%)</i>	42 ± 10	$15\% \pm 3\%$
... davon <i>teilweise (10% bis 50% NF)</i>	133 ± 25	$47\% \pm 6\%$
... davon <i>in geringem Maße, nur spezielle Räume (< 10%)</i>	17 ± 5	$6\% \pm 2\%$
GEG-relevante NWG mit zentraler RLT	285 ± 40	100%

Bei fast der Hälfte aller GEG-relevanten NWG mit zentralen RLT-Anlagen wird die Nutzungsfläche nur teilweise mechanisch belüftet, bei einem Drittel weitestgehend oder vollständig und bei 6% nur in geringem Maße. In wie weit die Befragten unterscheiden konnten, ob es sich bei der (den) installierten raumluftechnischen Anlage(n) um zentrale oder dezentrale handelt, gerade bei der Kategorie in geringem Maße, stellt eine gewisse Unsicherheit dar, die aber nicht quantifiziert werden kann.

Die Komplexität einer raumluftechnischen Anlage kann durch die Anzahl der thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen klassifiziert werden. Dabei werden die Funktionen Heizen (H), Kühlen (K), Befeuchten (B) und (gezieltes) Entfeuchten (E) unterschieden. Mehr als die Hälfte der RLT-Anlagen sind nach Tabelle 7-3 sehr einfach und haben keine Luftbehandlungsfunktionen. Diese finden sich überwiegend in *Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäuden* und *Beherbergungs- oder Unterbringungsgebäuden, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäuden sowie Technikgebäuden*. Ein Fünftel der RLT-Anlagen hat nur eine Luftbehandlungsfunktion, in der Regel Heizen, ein knappes Fünftel zwei, etwa die Hälfte davon sind *Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude*. Eine Wärmerückgewinnung (WRG) ist in 23% der zentralen RLT-Anlagen installiert.

Tabelle 7-3: GEG-relevante Nichtwohngebäude mit zentraler Raumluftechnik in Deutschland nach Anzahl und Art der Luftbehandlungsfunktionen

GEG-relevante NWG mit zentraler RLT nach Luftbehandlungsfunktionen (LBF) (4.3.3.2.3)	Anzahl in TSD	Anteil in %
GEG-relevante NWG mit zentraler RLT	285 ± 40	100%
... davon <i>keine</i> LBF	163 ± 27	57% ± 5%
... davon <i>eine</i> LBF	57 ± 12	20% ± 3%
... davon <i>zwei</i> LBF	50 ± 13	18% ± 4%
... davon <i>drei</i> LBF	6 ± 2	2% ± 1%
... davon <i>vier</i> LBF	9 ± 3	3% ± 1%
... davon mit Wärmerückgewinnung	66 ± 14	23% ± 4%
... davon mit Umluft	62 ± 13	22% ± 4%

Auch nach Lüftungsfunktionen – Zuluft, Abluft, Umluft – können RLT-Anlagen klassifiziert werden. In der aktuellen Corona-Pandemie gilt den Anlagen mit Umluft-Funktion besondere Aufmerksamkeit. Eine eigene Auswertung dazu findet sich in der letzten Zeile von Tabelle 7-3: 22% ± 4% der zentralen RLT-Anlagen sind nach Angaben der Befragten mit einer Umluft-Funktion ausgestattet.

Bei der Aufteilung nach Hauptgebäudedefunktion gibt es oft so geringe Fallzahlen, dass die Zahlen durch große Standardfehler wenig Aussagekraft haben. So haben 2,9% ± 1,0% der *Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude* und 1,4% ± 0,3% der *Schulen, Kindertagesstätten und sonstiges Betreuungsgebäude* mit zentralen RLT-Anlagen eine Umluft-Funktion.

7.2 Modernisierung der Raumluftechnik

Knapp 30% aller zentralen raumluftechnischen Anlagen wurden seit 2010 installiert, über 70% davor. Dabei machen die älteren Anlagen in den Produktionsgebäuden über 80% aus, in den Dienstleistungsgebäuden nur gut 66%. In letzteren wird also deutlich häufiger erneuert oder erstmals eingebaut.

Tabelle 7-4: Altersstruktur der Haupt-RLT-Anlage – Anteil der Nichtwohngebäude nach Installationsaltersklasse der RLT-Anlage

Installationsaltersklasse der Haupt-RLT-Anlage (4.3.3.3.5a, Spaltenprozentage) Bezug: GEG-relevante NWG mit zentrale RLT-Anlage (qh1 = 3)	Dienstleistungsgebäude 100%	Produktionsgebäude (und ähnliche) 100%	Alle NWG 100%
Vor 2010	66,3% ± 5,6%	81,2% ± 6,1%	70,5% ± 4,5%
2010 oder später	33,7% ± 5,5%	18,8% ± 6,0%	29,5% ± 4,5%

Auch das Modernisierungsgeschehen bei den raumluftechnischen Anlagen wurde erfragt. Für den Zeitraum ab 2010 bis zum Ende der Befragung Mitte 2019 wurde eine **mittlere jährliche Modernisierungsrate von $2,2 \pm 0,4$ %/a** ermittelt⁵⁷. Dabei wurde nicht unterschieden, ob bei der Modernisierung eine alte Anlage durch eine neue ersetzt wurde oder ob erstmals eine RLT-Anlage eingebaut wurde. Nimmt man an, dass der erste Fall die Regel ist, dann entspricht die ermittelte Rate einem Austausch aller RLT-Anlagen etwa alle 45 Jahre. Dabei unterscheidet sich die Rate in den Dienstleistungsgebäude mit 2,4%/a deutlich von der in den Produktionsgebäude mit 1,8%/a. In Altbauten werden mit 4,7%/a deutlich mehr RLT-Anlagen erneuert als im Durchschnitt über alle Gebäude.

⁵⁷ ENOB:dataNWG, Auswertung 4.3.3.2.4

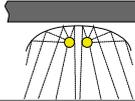
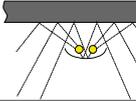
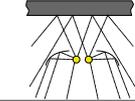
8 Beleuchtung

Der Bedarf an elektrischer Energie für Beleuchtung muss in einem Energiebedarfsausweis für Nichtwohngebäude neben dem Bedarf für die haustechnischen Anlagen ebenfalls ausgewiesen werden. Beleuchtungsanlagen in Nichtwohngebäuden sind also „GEG-relevant“.

8.1 Basisdaten der Beleuchtungsanlagen

Mit etwa 43% am weitesten verbreitet sind direkt-strahlende Leuchten mit Leuchtstofflampen, gefolgt von LED-Lampen ebenfalls in direkter Beleuchtungsart. Insgesamt werden in mehr als der Hälfte aller Beleuchtungsanlagen nach wie vor Leuchtstofflampen eingesetzt, in mehr als einem Drittel allerdings auch schon LED-Lampen. Glüh- und vor allem Halogenglühlampen stellen in etwa 11% der Anlagen das Leuchtmittel.

Tabelle 8-1 Beleuchtungsanlagen – Überblick über die Technik im Bestand

Beleuchtungsanlagen (4.3.3.4.1, Tabellenprozent)	Beleuchtungsart (qF1)			
	Alle NWG (Spaltenpro- zente)	Direkt 	Indirekt 	Direkt/Indirekt 
Bezug: GEG-relevante NWG				
Lampenart (qF2A)				
Alle NWG (Zeilenprozent)	100%	78,3% ± 2,3%	6,0% ± 1,4%	15,7% ± 2,0%
Glüh- und Halogenglühlampen	11,1% ± 2,5%	9,4% ± 2,4%	(0,6% ± 0,4%)	1,0% ± 0,3%
Leuchtstofflampen	52,2% ± 3,2%	42,8% ± 3,3%	3,0% ± 1,1%	6,4% ± 1,1%
LED-Lampen	35,2% ± 3,1%	25,2% ± 2,7%	2,2% ± 0,7%	7,8% ± 1,7%
Speziallampen	1,5 ± 0,5%	0,9% ± 0,3%	(0,2% ± 0,2%)	(0,4% ± 0,3%)

Klammerung (#,#%) bedeutet, dass der relative Standardfehler $\geq 50\%$ oder die gültige Fallzahl ≤ 5 ist.

8.2 Modernisierung der Beleuchtungsanlagen

Knapp drei Viertel aller Beleuchtungsanlagen wurden vor dem Jahr 2010 installiert (vgl. Tabelle 8-2) und entsprechend etwa ein Viertel seit 2010. Tendenziell sind die Beleuchtungsanlagen in den Dienstleistungsgebäuden etwas neuer als die in den Produktionsgebäuden.

Auch das Modernisierungsgeschehen bei den Beleuchtungsanlagen wurde erfragt. Für den Zeitraum ab 2010 bis zum Ende der Befragung Mitte 2019 wurde eine

mittlere jährliche Modernisierungsrate von $2,4 \pm 0,3 \text{ %/a}$ ermittelt⁵⁸. Das entspricht einem Austausch aller Beleuchtungsanlagen etwa alle 40 Jahre.

Tabelle 8-2: Altersstruktur der Haupt-Beleuchtungsanlagen – Anteil der Nichtwohngebäude nach Installationsaltersklasse der Beleuchtung

Installationsaltersklasse der Haupt-Beleuchtungsanlagen (4.3.3.4.2a, Spaltenprozent)	Dienstleistungsgebäude	Produktionsgebäude (und ähnliche)	Alle NWG
Bezug: GEG-relevante NWG	100%	100%	100%
Vor 2010	70,6% \pm 3,6%	77,4% \pm 3,3%	73,1% \pm 2,6%
2010 oder später	29,4% \pm 3,6%	22,6% \pm 3,3%	26,9% \pm 2,5%

⁵⁸ ENOB:dataNWG, Auswertung 4.3.3.4.2

Anhang A Literaturverzeichnis

- BBSR (2017). *Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*. Berlin: BBSR.
- BMWi (2015). *Energieeffizienzstrategie Gebäude (Kurzfassung)*.
- BMWi (2019). *Zweiter Fortschrittsbericht zur Energiewende, Die Energie der Zukunft, Berichtsjahr 2017*.
- BMWi (2020). *Langfristige Renovierungsstrategie der Bundesregierung*. Berlin: BMWi.
- BMWi (2021). *Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude (BEG NWG)*. Berlin: BMWi.
- BMWi; BMU (2015a). *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand*. Berlin.
- BMWi; BMU (2015b). *Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand*. Berlin.
- BReg (2019). *Bundes-Klimaschutzgesetz*.
- Busch, Roland (2020). *Screening – Ablauf der Vor-Ort-Erhebung und Struktur der Erhebungsfälle*. [ENOB:dataNWG Projektinfo 7]. Wuppertal: BUW.
- Busch, Roland; Hörner, Michael (2021). *Immobilienwirtschaftliche Auswertungen zum Büroflächenbestand*. [ENOB:dataNWG Projektinformation 10]. Wuppertal: BUW.
- Busch, Roland; Müller, Ann-Katrin (2020). *Definition und Abgrenzung von Nichtwohngebäuden im Screening*. [ENOB:dataNWG Projektinfo 4]. Wuppertal: BUW.
- Cischinsky, Holger (2021a). *Stichprobe: Modellierung und Ziehung*. (ENOB:dataNWG Teilbericht Nummer E 1.4.5). Darmstadt: IWU.
- Cischinsky, Holger (2021b). *Variablendokumentation Fernrechnen*. [Teilbericht]. Darmstadt: IWU.
- Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2018). *Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand*. IWU, Darmstadt 2018.
- Clausnitzer, Klaus-Dieter (2015). *Datenerhebung Gebäudebestand—Erfassung von statistischen Basisdaten zum Nichtwohngebäudebestand und empirische Analyse der energetischen Qualität ausgewählter Gebäudetypen, Band II: Mengengerüst Nichtwohngebäude und energetische Eigenschaften*. Fraunhofer IFAM, Fraunhofer ISI, 2015.
- Deilmann, Clemens; Behnisch, Martin; Dirlich, Stefan; Gruhler, Karin; Hagemann, Ulrike; Petereit, Ralph; ... Petereit, Karin (2013). *Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen*. *BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2013*.
- Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, Holger (2015). *Was ist eigentlich die energetische Sanierungsrate?* *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 65 (7), S. 51-53.
- Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, Holger; Rodenfels, Markus (2010). *Datenbasis Gebäudebestand—Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand*. Darmstadt: IWU.

- Hartmann, André; Behnisch, Martin; Hecht, Robert; Meinel, Gotthard; Schorcht, Martin; Schwarz, Steffen (2020a). *Teilbericht Gebäudemerkmale*. (ENOB:dataNWG Teilbericht Nummer E 1.4.3). Dresden: IÖR.
- Hartmann, André; Hörner, Michael; Rodenfels, Markus (2020b). *Berechnung der Hüllflächen aller Gebäude in der Stichprobe*. [ENOB:dataNWG Projektinfo 6]. Dresden: IÖR.
- Hörner, Michael (2020). *Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude—Primärdatenerhebung zur Erfassung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland*.
- Hörner, Michael; Cischinsky, Holger (2020). *Fragebogen der Breitenerhebung in ENOB:dataNWG*. Darmstadt: IWU.
- Hörner, Michael; Rodenfels, Markus; Cischinsky, Holger; Behnisch, Martin; Busch, Roland; Spars, Guido (2021). *Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist vermessen*. [https://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/210412_IWU_Projektinfo-8.3_BE_Strukturdaten_final.pdf]. Darmstadt: IWU.
- IPCC (2018). *Global warming of 1.5°C*.
- Körner, Thomas; Krause, Anja; Ramsauer, Kathrin (2019). Anforderungen und Perspektiven auf dem Weg zu einem künftigen Registerzensus. *WISTA, Sonderheft Zensus 2021*, , S. 74-87.
- Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf (2005). *Kurzverfahren Energieprofil—Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden*. Darmstadt: IWU.
- Loga, Tobias; Großklos, Marc; Müller, André; Swiderek, Stefan; Guillaume, Behem (2021). *Realbilanzierung für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich*. [MOBASY Teilbericht]. Darmstadt: IWU.
- Passipedia (2019). *Verglasungen und ihre Kennwerte*. [https://passipedia.de/plannung/waermeschutz/fenster/verglasungen_und_ihre_kennwerte]. Darmstadt: PHI.
- Thiel, Dieter; Riedel, Dirk (2011). *Typisierte Bauteilaufbauten - Präzisierung der Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Bekanntmachung der Regeln der Datenaufnahme im Nichtwohngebäudebestand: Endbericht*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- ZSHH (2019). Datenformatbeschreibung Hausumringe Deutschland (HU-DE). *Bayrisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung ZSHH*.