

**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

Forschungsdatenbank **NichtWohnGebäude**

ENOB: dataNWG

Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland.

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 bei den Autoren.

9. März 2022



Leibniz-Institut
für ökologische
Raumentwicklung



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



PTJ
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

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
Teilprojekte	A Stichprobenerhebung und Auswertung typologischer, struktureller + energetischer Merkmale (IWU) B Erhebung von Gebäudemerkmale und Gebäudeklassifikation durch Geodatenanalyse (IÖR) C Screening des Nichtwohngebäudebestands (BUW)
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, B und C
Laufzeit	01.12.2015 bis 31.05.2021
Verbundkoordinator	Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt Tel. +49 (0) 6151 / 2904 -0
Verbundpartner	<ul style="list-style-type: none"> Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) Bergische Universität Wuppertal, Fachgebiet Ökonomie des Planens und Bauens (BUW)
Autoren	Michael Hörner (IWU), Dr. Holger Cischinsky (IWU), Julian Bischof (IWU), Steffen Schwarz (IÖR), Dr. Martin Behnisch (IÖR), Dr. Gotthard Meinel (IÖR), Prof. Dr. Guido Spars (BUW), Dr. Roland Busch (BUW)

Sponsor:



Bank aus Verantwortung

In der Tieferhebung wird das Werkzeug VSA 2.0 zur Energieanalyse von Gebäuden verwendet. VSA 2.0 wurde vom IWU mit Mitteln der KfW Bankengruppe erstellt.

Unterstützer:

IMMOBILIEN ZEITUNG





Inhalt

1	Projekt-Überblick (kurze Darstellung)	1
1.1	Die wichtigsten Erkenntnisse	1
1.2	Aufgabenstellung	2
1.3	Voraussetzungen	3
1.4	Planung und Ablauf	3
1.4.1	Kooperation	3
1.4.2	Inhaltliche Gliederung	4
1.4.3	Organisatorische Gliederung	5
1.5	Stand der Forschung zum Zeitpunkt der Antragstellung	7
1.6	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
1.7	Ausblick	9
2	Projekt-Ergebnisse (eingehende Darstellung)	11
2.1	Methodik	11
2.1.1	Projektdesign	11
2.1.2	Definition der Untersuchungseinheit	13
2.1.3	Schätzung von Fortschritt und Rate der Modernisierung eines Gebäudebestands aus einer Stichprobe	14
2.2	Forschungsfragen und Antworten	17
2.2.1	Strukturen des Bestands der Nichtwohngebäude	18
2.2.2	Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung der Nichtwohngebäude ..	19
2.2.3	Energiebedarf und -verbrauch im Bestand der Nichtwohngebäude	25
2.2.4	Entscheidungsprozesse	27
2.2.5	Gebäudebestandsmonitoring mit Geobasisdaten	30
2.2.6	Strukturen und Flächenbestände gewerblicher Immobilienmärkte	31
2.3	Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	34
2.3.1	Institut Wohnen und Umwelt GmbH	34
2.3.2	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.	35
2.3.3	Bergische Universität Wuppertal	36
2.4	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	37
2.4.1	Teilprojekt A: Repräsentative Stichprobenerhebung und Auswertung typologischer, struktureller und energetischer Merkmale (IWU)	37
2.4.2	Teilprojekt B: Erhebung von Gebäudemerkmalen und Gebäudeklassifikation durch Geodatenanalyse (IÖR)	41
2.4.3	Teilprojekt C: Screening des Nichtwohngebäudebestands (BUW)	41
2.4.4	Qualitätssicherung	42
2.5	Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse	45

2.6	Forschungsergebnisse anderer Akteure.....	45
2.7	Veröffentlichungen.....	47
2.7.1	Dokumentation der Abschlusstagung	47
2.7.2	Fernrechnen	47
2.7.3	Publikationen, Teilberichte und Projektinformationen.....	47
Anhang A -	Literaturverzeichnis.....	50



1 Projekt-Überblick (kurze Darstellung)

1.1 Die wichtigsten Erkenntnisse

Das Projekt ENOB:dataNWG wurde konzipiert, um erstmals die Strukturen des Bestands der Nichtwohngebäude (NWG) in Deutschland, die bisher in keiner amtlichen Statistik vollständig abgebildet sind, sowie Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung zu erheben. Nach Beendigung des Projekts stellen wir fest:

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 Geobasisdaten sind eine geeignete Auswahlgrundlage für die Stichprobenziehung. Die Bereitschaft, an der Befragung teilzunehmen, war auch im Bereich eher kommerzieller Gebäude ausreichend groß. (vgl. Abschnitt 2.1 Methodik).
2. Erstmals konnten die Strukturen dieses Gebäudebestands wie Anzahl, Flächen, Haupt-Gebäudefunktionen, Baualtersstrukturen und Eigentümerstrukturen statistisch valide quantifiziert werden (vgl. Abschnitt 2.2.1 Strukturen des Bestands der Nichtwohngebäude). Insgesamt ließen sich über 21 Mio. NWG identifizieren, zwei Drittel davon sind Garagen, Gartenhütten und andere Nebengebäude. $1,981 \pm 0,152$ Mio. Nichtwohngebäude sind demnach *GEG-relevant*, sie umfassen eine Bruttogrundfläche von 3.507 ± 0.399 Mio. m^2 . (vgl. Abschnitt 2.2.1 Strukturen des Bestands der Nichtwohngebäude)
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. Die mittlere jährliche Gebäudemodernisierungsrate von $0,7\%/a$ der Gebäudehüllfläche reicht nicht aus, um den Gebäudebestand bis zum Jahr 2045 für die Klimaschutzziele ausreichend zu modernisieren.
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.
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 2.2.2 Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung der Nichtwohngebäude).
4. In der Tiefenerhebung wurde die Toolbox Verbrauchsstrukturanalyse VSA 2.0 für die Datenerhebung vor Ort von Verbrauch und Bedarf, die automatisierte Bedarfsberechnung sowie für die Ergebnisberichtsgenerierung in Gebäudebeständen entwickelt. Als Ergebnis steht außerdem ein Datensatz für die Kalibrierung und Validierung von Energiebilanztools für Nichtwohngebäude zur Verfügung. (vgl. Abschnitt 2.2.3 Energiebedarf und -verbrauch im Bestand der Nichtwohngebäude)

5. Die Modernisierungsdynamik im Zeitraum 2010 bis 2014 zeigt Unterschiede zwischen den verschiedenen Eigentümerkategorien. 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. (vgl. Abschnitt 2.2.4 Entscheidungsprozesse)
6. Die gesammelten Erkenntnisse aus der Geodatenanalyse und dem Screening zur Hausumring-Gebäude-Relation und zu den tatsächlichen Haupt-Gebäudefunktionen sind wichtig, um die Möglichkeiten einer automatisierten Gebäudeklassifikation anhand von Geobasisdaten zu verbessern. Erste Analysen mittels Random Forest-Klassifikation ergeben, dass Wohn- und Nichtwohngebäude mit einer Genauigkeit von ca. 90% korrekt klassifiziert werden können. (vgl. Abschnitt 2.2.5 Gebäudebestandsmonitoring mit Geobasisdaten).
7. Im Screening konnte die Haupt-Gebäudefunktion in den meisten Fällen gut eingeschätzt werden. Dies ermöglicht Aussagen zu den Dimensionen und Strukturen der relevanten gewerblichen Immobilienmärkte für Büro-, Handels- und Logistikimmobilien. (vgl. Abschnitt 2.2.6 Strukturen und Flächenbestände gewerblicher Immobilienmärkte).

In der [Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude](#) stehen wichtige Merkmale aus der Breiterhebung des Bestands der Nichtwohngebäude in Deutschland für Auswertungen Dritter im Wege des Fernrechnens zur Verfügung.

1.2 Aufgabenstellung

Die erfolgreiche Steuerung der Energiewende im Gebäudesektor benötigt detaillierte Informationen über den energetischen Zustand, die Modernisierungstrends und die Wirksamkeit der eingesetzten Instrumente – einerseits, um rückblickend das bisher Erreichte vor dem Hintergrund der eingesetzten Instrumente sowie der gesamtwirtschaftlichen Rahmenbedingungen festzustellen, und andererseits zur Durchführung von Szenarioanalysen, die mögliche Zukunftspfade zur Einhaltung der gesteckten Klimaschutzziele aufzeigen. Detailliertes Wissen auch über das Investitionsgeschehen und den Bedarf im Gebäudesektor ist über energetische Fragestellungen hinaus auch von größter volkswirtschaftlicher Bedeutung.

Im Gegensatz zu den Wohngebäuden wird der Bestand der Nichtwohngebäude nicht einmal in groben Zügen durch die amtliche Statistik beschrieben. Dabei kommt den Nichtwohngebäuden sowohl in volkswirtschaftlicher als auch in energetischer Hinsicht große Bedeutung zu. Dem stand ein eklatanter Mangel an belastbaren Informationen über Struktur und Veränderungsprozesse gegenüber.

Das Institut Wohnen und Umwelt (IWU) hatte für die Wohngebäude in Deutschland im Projekt *Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016* (Cischinsky, Diefenbach 2018) erfolgreich gezeigt, dass diese Wissenslücke geschlossen werden kann. Wesentliches Ziel des Projekts *ENOB:dataNWG* und selbst gestellte Aufgabe war es also, die Kenntnislücken im Bestand der Nichtwohngebäude in gleicher Ausprägung wie bei den Wohngebäuden zu schließen, um den Gebäudesektor als Ganzes beschreiben und in Szenarien abbilden zu können.



1.3 Voraussetzungen

Die Ausarbeitung eines wissenschaftlich ausgereiften, aber gleichzeitig praxistauglichen Erhebungskonzepts, das die erfolgreiche Durchführung einer repräsentativen Primärdatenerhebung im Nichtwohngebäudebereich mit dem Ziel erlaubt, die Forschungsfragen zu beantworten, war überaus anspruchsvoll. Erstmals wurden dazu geoinformatische Methoden verwendet, um die Auswahlgrundlage zur Stichprobenziehung für eine repräsentative Primärdatenerhebung in einem Gebäudebestand zu erstellen. Es gab keine vergleichbaren Projekte vorher.

Die Projektidee konnte nur entstehen, weil sich für eine altbekannte Forschungsmethode aus der Sozialwissenschaft, die Stichprobenerhebung, mit den ab 2014 flächendeckend für ganz Deutschland verfügbaren Geobasisdaten HU-DE als Auswahlgrundlage ein neues Forschungsfeld erschloss: Ein Gebäudemonitoring, das den aktuellen Zustand und die Veränderungsprozesse durch Stichprobenerhebungen mit Befragung von Eigentümern zeitnah erfassen kann und über die Auswertung rein geometrischer Merkmale weit hinausgeht.

1.4 Planung und Ablauf

Das Projekt *ENOB:dataNWG* diente der Beantwortung einer Reihe von Forschungsfragen (siehe Kap. 2.1) zu den Strukturen sowie dem Stand und der Dynamik der energetischen Modernisierung der Nichtwohngebäude in Deutschland. Darüber hinaus sollte die Eignung der Geobasisdaten für das Gebäudebestandsmonitoring eingehend geprüft und erprobt werden und Forschungsbedarf aus der Immobilienwirtschaft bearbeitet werden.

1.4.1 Kooperation

Nur durch den Verbund der drei Forschungsinstitute

- Institut Wohnen und Umwelt (IWU),
- Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) und
- Bergische Universität Wuppertal (BUW), Fachgebiet Ökonomie des Planens und Bauens

als Partner mit ihren unterschiedlichen und sich ergänzenden methodischen Zugängen zum Forschungsgegenstand der Nichtwohngebäude konnte diese Forschungsaufgabe bewältigt werden. Darüber hinaus waren weitere Auftragnehmer eingebunden (siehe Abbildung 1 und Abschnitt 1.6).

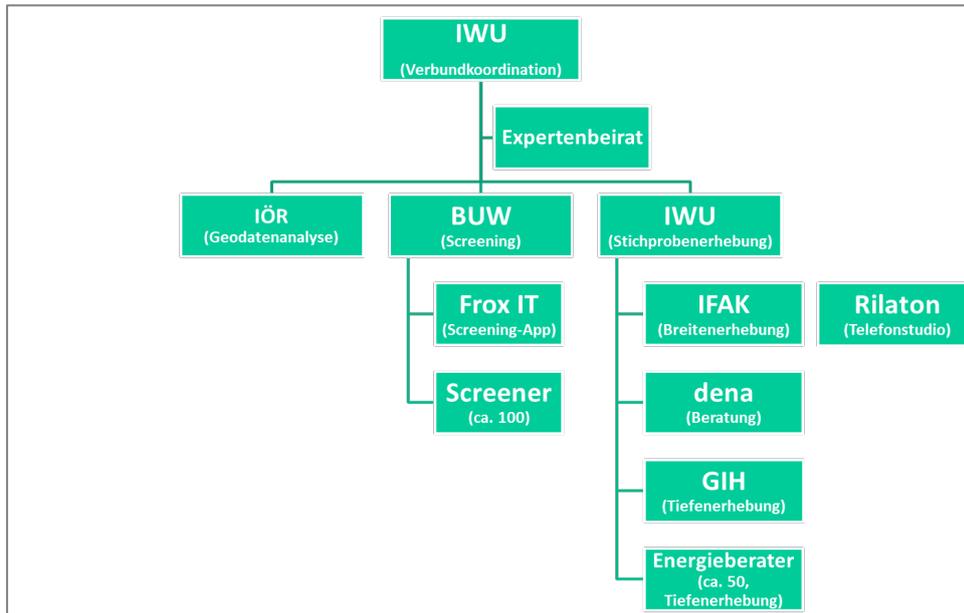
Institut Wohnen und Umwelt

Das IWU hat in mehreren Forschungsvorhaben, bei denen deutschlandweit repräsentative Daten zur energetischen Beschaffenheit und zur Dynamik des Modernisierungsgeschehens in Gebäudebeständen erhoben wurden, praxistaugliche Verfahren zur Durchführung von gebäudebezogenen Stichprobenerhebungen nach wissenschaftlichen Standards entwickelt und verfügt in diesem Forschungsfeld über viel Erfahrung.

Wichtig für die Erreichung der Projektziele war auch die Erfahrung in der Entwicklung vereinfachter Verfahren zur realistischen Berechnung des Energiebedarfs von Wohn- und Nichtwohngebäuden aus der laufenden Forschungsarbeit am Institut.



Abbildung 1 Organigramm des Projektteams



Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung

Das IÖR ist eine raumwissenschaftliche Forschungseinrichtung der Leibniz-Gemeinschaft. Es erarbeitet wissenschaftliche Grundlagen für die dauerhaft umweltgerechte Entwicklung von Städten und Regionen im nationalen und internationalen Zusammenhang.

Das IÖR besitzt deutschlandweit die größte Expertise im Umgang mit datenintensiven, flächendeckenden, GIS-basierten Gebäude- und Nutzungsinformationen. Eine wesentliche Grundlage des Projekts bildet der Geodatenbestand des IÖR durch kombinierte Verarbeitung amtlicher Geobasis-, Geofach- und statistischer Daten. Die Kombination verschiedener Geodatenquellen und die Entwicklung GIS-basierter Werkzeuge schaffte am IÖR wesentliche Grundlagen zur Strukturierung und Quantifizierung des deutschen Gebäudebestands.

Bergische Universität Wuppertal, Fachgebiet Ökonomie des Planens und Bauens

Das Fachgebiet Ökonomie des Planens und Bauens (ÖPB), Prof. Dr. Guido Spars, der BUW beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der lokalen und regionalen Primärerhebung von Nichtwohngebäudebeständen. Dadurch verfügt das Fachgebiet über reichlich Erfahrung in der Organisation und Durchführung von immobilienbezogenen, auf Geoinformationssystemen (GIS) gestützten Vor-Ort-Erhebungen sowie über umfangreiche Daten zu Nichtwohngebäudebeständen auf Einzelobjekt-ebene.

1.4.2 Inhaltliche Gliederung

Das Projekt *ENOB: dataNWG* gliedert sich inhaltlich in die drei Teilprojekte, die den drei Verbundpartnern zugeordnet sind:

- **Teilprojekt A - Repräsentative Stichprobenerhebung und Auswertung typologischer, struktureller und energetischer Merkmale (IWU):** Unser Forschungsinteresse galt den Nichtwohngebäuden in Deutschland, deren Struktur, Zustand und Modernisierungsprozesse anhand einer repräsentativen Stichprobenerhebung, die 100.000 Hausumringe umfasste, erforscht wurde. Dazu wurden Personen ermittelt, kontaktiert und befragt, die willens und in der Lage waren, Auskunft über die Beschaffenheit der Gebäude zu geben. In der **Breitenerhebung** (IFAK 2019) wurden dazu ca. halbstündige Interviews geführt. (vgl. Abschnitt 2.4.1 Teilprojekt A: Repräsentative Stichprobenerhebung und Auswertung typologischer, struktureller und energetischer Merkmale (IWU))

Interessierte konnten zusätzlich an der **Tiefenerhebung** (Bischof et al. 2021) teilnehmen. Dazu kam ein Energieberater vor Ort, um noch detaillierter energierelevante Daten zu erheben, insbesondere auch die tatsächlichen Energieverbräuche. Vereinfachte Berechnungsverfahren, mit denen aus den Vor-Ort-Analyse der Energiebedarf berechnet werden kann, wurden entwickelt, die [Verbrauchsstrukturanalyse VSA 2.0](#), basierend auf dem TEK-Tool, und der [Dynamic ISO Building Simulator \(DIBS\)](#) als dynamisches Bilanzverfahren auf Basis der ISO 13790. Der Abgleich der Ergebnisse der vereinfachten Berechnungen des Bedarfs mit den Verbrauchsdaten ermöglichte methodische Weiterentwicklungen der Berechnungswerkzeuge als Voraussetzung für belastbare Szenarioanalysen. (vgl. Abschnitt 2.2.3 Energiebedarf und -verbrauch im Bestand der Nichtwohngebäude)

- **Teilprojekt B - Erhebung von Gebäudemerkmalen und Gebäudeklassifikation durch Geodatenanalyse (IÖR):** Da es in Deutschland bisher kein Gebäuderegister gibt, dienten die georeferenzierten Polygone des Geobasisdatenprodukts Amtliche Hausumringe Deutschland (HU-DE) als Auswahlgrundlage für die Ziehung einer Stichprobe. Die Hausumringe sind für diesen Zweck nicht vorgesehen und mussten entsprechend aufbereitet werden mit dem Ziel, insbesondere thermisch konditionierte Nichtwohngebäude vorzugsweise in die Stichprobe zu bringen. (vgl. Abschnitt 2.4.2 Teilprojekt B: Erhebung von Gebäudemerkmalen und Gebäudeklassifikation durch Geodatenanalyse (IÖR))
- **Teilprojekt C - Screening des Nichtwohngebäudebestands (BUW):** Mit dem Screening vor Ort musste die Relevanz der Hausumringe überprüft und ihre Beziehung zu den Gebäuden festgestellt werden. Außerdem wurden Hinweise auf die Eigentümer anhand von Firmenschildern oder Beschriftung von Briefkästen oder Türklingeln gesammelt, um Ansprechpartner für die Befragung zu finden. Einige Gebäudemerkmale wurden vor Ort ermittelt, um ein Non-response-Modell für die Befragung aufstellen zu können. Auch erste zahlenmäßige Hochrechnungen wurden damit durchgeführt. (vgl. Abschnitt 2.4.3 Teilprojekt C: Screening des Nichtwohngebäudebestands (BUW))

1.4.3 Organisatorische Gliederung

Organisatorisch gliederte sich das Projekt in fünf Phasen:

- **Konzeptphase:** In der Konzeptphase wurden die methodischen Grundlagen für die Datenerhebung und die Auswertung geschaffen. Dazu gehörte insbesondere die Modellierung der Stichprobe auf Basis georeferenzierter Hausum-



ringe sowie die Ziehung einer geschichteten Stichprobe in einem mehrstufigen Verfahren. Eine weitere wichtige Aufgabe in der Konzeptphase war die Erstellung der Erhebungsinstrumente, konkret der Frage- bzw. Erhebungsbögen für das Screening, die Breiten- und die Tiefeninterviews.

- **Pilotphase:** An die Konzeptphase schloss sich eine Pilotphase an, um anhand von ca. 4.000 im Rahmen des Screenings aufzusuchenden Hausumringen, 400 in die Breiterehebung aufzunehmenden Erhebungsgebäuden und 40 Tiefeninterviews, verteilt auf insgesamt 20 Erhebungsbezirke, alle Verfahrensabläufe der Datenerhebung, -gewichtung und -auswertung einem Testlauf zu unterziehen.

Das Maß der Bereitschaft von qualifizierten Gebäudeansprechpartnern, für unterschiedlich detaillierte Interviews ihre Zeit zu opfern, war vorab allerdings schwer zu quantifizieren. Die Pilotphase gab erfolgreich Aufschluss darüber, dass mit dem geplanten Aufwand die erforderliche Anzahl von Gebäuden gefunden werden kann, in denen unterschiedliche Ansprechpartner zu Interviews bereit sind.

- **Hauptphase:** In dieser Phase wurde maßgeblich die Feldarbeit des Screenings, der Breiten- und Tiefenerhebung geleistet. Sie dauerte insgesamt 3 Jahre, inklusive einer aus methodischen Gründen erforderlich gewordenen Nacherhebung in der Breiterehebung. Insgesamt wurden 89.796 Bebauungssituationen im Screening identifiziert und dabei 42.358 Nichtwohngebäude als relevant für die Breiterehebung eingestuft. Daraus konnte das Befragungsinstitut IFAK 6.011 Interviews generieren, wovon 5.630 Interviews für die Zwecke des Forschungsprojektes auswertbar waren. Das entspricht einer Responsequote von 14,2%. Von den Befragten waren 468 bereit, an einer Tiefenerhebung teilzunehmen, wovon 464 auswertbar waren.
- **Auswertung:** Der Auswertungsdatensatz fasst die Erhebungsergebnisse von Screening, Breiten- und Tiefenerhebung zusammen und ermöglicht – je nach Art und Menge der in diese drei Erhebungsphasen eingebundenen Nichtwohngebäude – Auswertungen in unterschiedlicher Tiefe.

Die Erstellung des Auswertungsdatensatzes umfasste die Arbeitsschritte Plausibilisierung und ggf. Editierung, Codierung und Gewichtung. Die Gewichtung der Erhebungsfälle dient der Herstellung von Repräsentativität und orientiert sich einerseits am Stichprobendesign, andererseits an Randverteilungen, die der im Rahmen des Projekts aufgebauten georeferenzierten Nichtwohngebäudedatenbank entnommen werden können. Der Auswertungsdatensatz stellt die Grundlage für den Aufbau der Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude dar.

- **Wissenstransfer:** Das Projekt wurde mit zahlreichen Zwischenberichten und Projektinformationen ausführlich dokumentiert, wichtige Ergebnisse und Informationen zur Methodik wurden auf der Abschlusskonferenz am 28. April 2021 der Fachöffentlichkeit vorgestellt.

Mit der [Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude](#) steht heute der einmalige Datenbestand der Breiterehebung über Nichtwohngebäude in Deutschland interessierten Dritten im Wege des Fernrechnens zur Verfügung.



Alle Informationen zum Projekt sind in Abschnitt 2.7 aufgelistet und mit der Projekthomepage www.datanwg.de verlinkt.

1.5 Stand der Forschung zum Zeitpunkt der Antragstellung

In den letzten Jahrzehnten wurde bereits mehrfach der Versuch unternommen, die Wissenslücken zum Umfang, zur Struktur und zum Energiebedarf von Nichtwohngebäuden zu schließen. Quantitative Angaben zum mengen- und flächenmäßigen Bestand wurden dabei jedoch überwiegend für Teilsektoren ermittelt, wobei sowohl sekundärstatistische Analysen als auch vereinzelte unsystematische Befragungen zum Einsatz kamen. Die methodische Qualität dieser Einzelerhebungen erlaubt jedoch keine verlässlichen Rückschlüsse auf die Gesamtheit aller Nichtwohngebäude in Deutschland. Vielmehr besteht aufgrund systematischer Untererfassung relevanter Gebäudebestände die Gefahr, dass verzerrte Hochrechnungsergebnisse zur Grundlage politischer und rechtlicher Rahmensetzungen herangezogen werden. Der Förderantrag enthielt einen Überblick über wichtige Studien der letzten 20 Jahre. Methodisch gesehen lassen sich zwei grundsätzliche Herangehensweisen erkennen:

Typologiegestützte Ansätze bauen auf einer Ausdifferenzierung der Nichtwohngebäude auf, die in der Regel auf den Kriterien Nutzung, Bauweise, Baualter und Größe basiert und vergleichsweise tief gegliederte Aussagen zu energiebezugsrelevanten Einflussfaktoren zulässt. Allerdings basieren diese Aussagen nur auf einer sehr geringen Zahl an Beispielgebäuden, deren Maß an Übereinstimmung mit dem gesamten Gebäudebestand des gleichen Typs weder bekannt ist noch anhand statistischer Informationen abgeschätzt werden kann. Es ist daher weder bekannt, wie repräsentativ das verwendete Typgebäude ist, noch, wie häufig ein bestimmter Gebäudetyp deutschlandweit vertreten ist. Eine Gütekontrolle der Hochrechnung auf den gesamten Gebäudebestand hinsichtlich der Erwartungstreue ist mit diesem Verfahren nicht möglich.

Mengengerüstgestützte Ansätze basieren auf einem Transfer von Merkmalen bekannter Teilmengen von Nichtwohngebäuden auf den gesamten Bestand unter Anwendung einer bestimmten Übertragungsmatrix. Im Rahmen dieser Methode wurden sowohl raumbezogene Transfers (Hochrechnung regionaler Gebäudebestände auf den nationalen Rahmen) als auch sachbezogene Transfers versucht (z. B. Umrechnung von Arbeitsplatzzahlen auf Nutzflächen). Das zentrale Problem derartiger Ansätze liegt in der fehlenden Überprüfbarkeit der Eignung der gewählten Übertragungsmatrix. Eine Hochrechnung auf den Gesamtbestand ist daher in der Regel weder erwartungstreu möglich, noch sind die Fehlerwahrscheinlichkeiten bekannt.

1.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG): Für das Forschungsvorhaben wurden die Geodaten der Amtlichen Hausumringe (HU-DE), der Georeferenzierten Adressdaten (GA-DE), die 3D-Gebäudemodelle Deutschland (LoD1-DE), das Digitale Basis-Landschaftsmodell (ATKIS Basis-DLM) und die Verwaltungsgebiete 1:25 000 (VG 25) seitens des BKG bereitgestellt. Darüber hinaus wurden offene Daten der Plattform OpenStreetMap einbezogen.



Zur Energieanalyse von Gebäuden wurde das Werkzeug VSA 2.0 verwendet. VSA 2.0 wurde vom IWU im Rahmen des Projekts *ENOB:dataNWG* mit Mitteln der **KfW Bankengruppe** erstellt (siehe auch Abschnitt 2.7.3.\Tools).

Frox IT GmbH: Für die Vor-Ort-Erfassung der grundlegenden Informationen zu den Stichprobenhausumringen im Screening war die Erstellung einer Erhebungs-App notwendig, da nur auf diesem digitalen Wege eine effiziente Bereitstellung der von den Screenern benötigten Informationen zur Lage der 100.000 Stichprobenhausumringe und vor allem die Vor-Ort-Abgrenzung der Gebäudesituation möglich wurde. Die Erstellung der Erhebungssapp erfolgte durch den Dienstleister FROX.IT, der die App auf Basis der Web-GIS-Anwendung ArcGIS Online der Firma ESRI Inc. entwickelt hat. Die Firma FROX.IT wurde im Rahmen einer von der Bergischen Universität Wuppertal durchgeführten öffentlichen Ausschreibung als Dienstleister ausgewählt.

IFAK Institut GmbH & Co. KG Markt- und Sozialforschung (IFAK): An die Breiterhebung waren hohe Anforderungen gestellt und sie umfasste ein großes Budget. Deshalb wurde in einer europaweiten Ausschreibung ein professionelles Beratungsinstitut für Markt- und Sozialforschung als Auftragnehmer mit der Konzeption und Durchführung gesucht. IFAK gewann die Ausschreibung und führte die Erhebung erfolgreich durch. Der Auftrag umfasste die Kontaktqualifizierung, die Durchführung der Befragung und die Dokumentation der Ergebnisse.

Deutsche Energieagentur (dena): Als Berater brachte die dena ihre Erfahrungen mit der Koordination und Leitung von Projekten ein, in denen vor Ort Erhebungen von gebäudebezogenen und energetischen Daten in einer großen Zahl von Wohn- und Nichtwohngebäuden durchgeführt wurden. Außerdem betreibt die dena mit der Datenbank zu Energieeffizienz-Experten für Förderprogramme des Bundes die bundesweit umfassendste unabhängige Vermittlungsstelle für qualifizierte Energieberater, auf die in der Tieferhebung zurückgegriffen wurde.

Bundesverband GIH e.V.: Für die Tieferhebung wurden 50 nur für Nichtwohngebäude zertifizierte Energieberater eingesetzt, die zuvor in einer bundesweiten Ausschreibung über die Verteiler des GIH ausgewählt worden waren

Zur Qualitätssicherung und Verbreiterung der wissenschaftlichen Basis wurde ein unabhängiger **Expertenbeirat** berufen. Der Expertenbeirat wurde an wichtigen Meilensteinen des Projekts über den Projektstand informiert und unterzog die Zwischenergebnisse einer kritischen Würdigung. Der Beirat begleitete das Konsortium fachlich und unterstützte durch vielfältige Kommunikationskanäle in die Fachöffentlichkeit.

Zahlreiche Firmen, Verbände und Institutionen waren bereit, als **Unterstützer** über ihre Netzwerke für das Projekt zu werben. Insbesondere sollten möglichst viele Eigentümer von Nichtwohngebäuden auf das Projekt aufmerksam gemacht werden, damit sie sich gegebenenfalls an der Befragung beteiligen würden, falls der Zufall sie in die Stichprobe gebracht haben sollte.

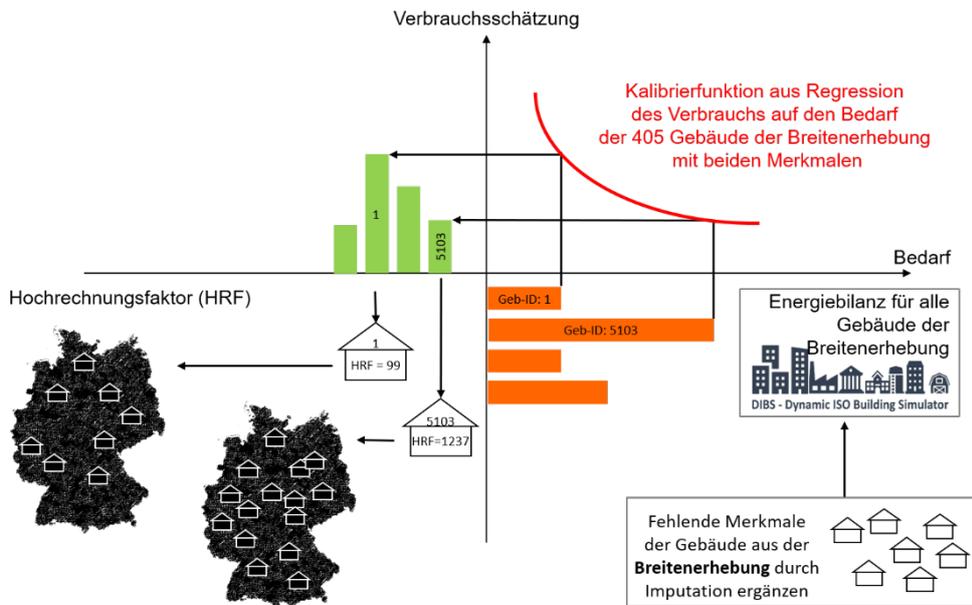


1.7 Ausblick

Mikrosimulationsmodell

Im Rahmen einer Dissertation¹ am IWU wird aus den Projektergebnisse ein Mikrosimulationsmodell für den Endenergiebedarf im Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland entwickelt (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Mikrosimulationsmodell mit DIBS



Dazu wird zunächst der Dynamic ISO Building Simulator (DIBS) so angepasst, dass Energiebedarfe auch mit dem Merkmalset der Breitenerhebung berechnet werden können. Mit den in der Tieferhebung erhobenen Verbrauchsdaten wird dann im zweiten Schritt eine Kalibrierfunktion auch für diese Energiebedarfe abgeleitet. Im dritten Schritt werden die so kalibrierten Energiebedarfe dann hochgerechnet auf den gesamten Bestand. (vgl. Abschnitt 2.2.3 Energiebedarf und -verbrauch im Bestand der Nichtwohngebäude)

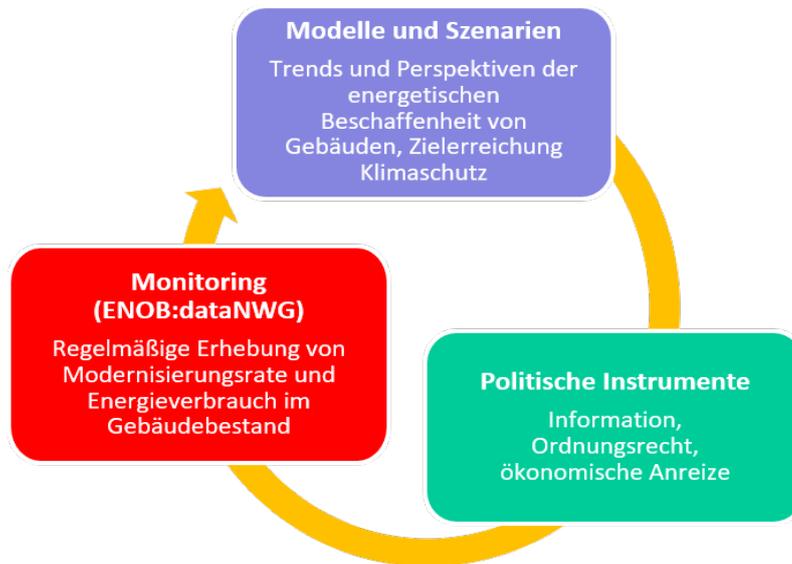
Steuerung der Energiewende

Zur Steuerung der Energiewende im gesamten Gebäudebestand ist ein regelmäßiges Monitoring erforderlich (vgl. Abbildung 3). Nur so können Modelle und Szenarien zukünftige Entwicklungspfade auf Basis realistischer Daten zum heutigen Zustand entwickeln bzw. rückwirkend die Wirkung politischer Instrumente evaluieren.

Um den Aufwand für regelmäßige Erhebungen des Gebäudebestands – das gilt gleichermaßen für Wohn- wie für Nichtwohngebäude – deutlich zu vermindern, wäre die Einführung eines nationalen **Gebäuderegisters** außerordentlich vorteilhaft. (siehe auch Abschnitt 2.6 Forschungsergebnisse anderer Akteure)

¹ Julian Bischof (IWU), Dissertation (Arbeitstitel): Modelling the life-cycle energy demands and greenhouse gas emissions from non-domestic building stocks applied to a German case study; Dissertation an der TU Dublin, School of Civil and Structural Engineering, Dublin Energy Lab.

Abbildung 3 Monitoring



Automatisierte Klassifikation

Eine treffsichere automatisierte Klassifikation von Wohn- und Nichtwohngebäuden aus den Geobasisdaten würde ein regelmäßiges Gebäudebestandsmonitoring möglich machen, so dass zumindest Strukturdaten des Bestands aktuell gehalten werden könnten. Die Qualität zukünftiger Stichprobenerhebungen würde sich ebenfalls dadurch verbessern, dass sich die Standardfehler verringern würden.

Die im Screening vor Ort überprüften Daten zur Haupt-Gebäudefunktion dienen dabei als Referenz für maschinelle Lernverfahren am IÖR, mit denen die Algorithmen der Klassifikation verbesserte werden sollen. Die im Projektverlauf aufgedeckten Beziehungen zwischen Hausumringen und Gebäuden sind dabei wertvoller Input für erneute Merkmalsberechnung zu den Geodaten.

Der Datensatz der Geometriedaten und der dazugehörigen erhobenen Sachdaten und Fotos der Untersuchungseinheiten soll dazu verwendet werden ein Building-Data Reference Set aufzubauen. Dieser Referenz Datensatz soll für Forschungszwecke typische geometrische Gebäudeabdrücke und Merkmale bereithalten. Damit kann ein Beitrag zu Forschungsbestrebungen der automatisierten maschinellen Gebäudeableitung geleistet werden. (siehe auch Abschnitt 2.2.5 Gebäudebestandsmonitoring mit Geobasisdaten)

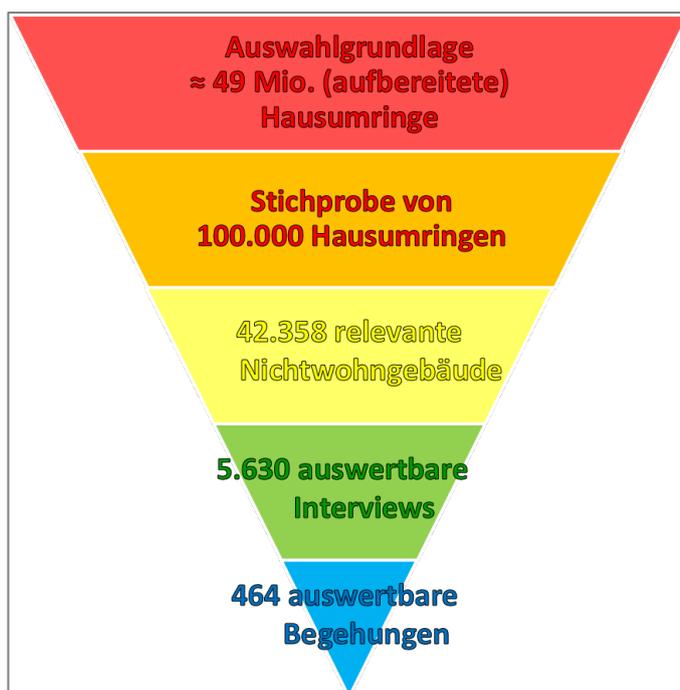
2 Projekt-Ergebnisse (eingehende Darstellung)

2.1 Methodik

Die Methodik, mit der es erstmals gelang, statistisch valide Daten zum Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland zu erheben, ist ein wichtiges Ergebnis des Projekts ENOB:dataNWG.

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). Auf dieser Grundlage wurden das im folgenden Abschnitt 2.1.1 beschriebene Projektdesign entwickelt und das einzelne Nichtwohngebäude als Untersuchungseinheit definiert (siehe Abschnitt 2.1.2). Wie aus Stichprobenvariablen auf Parameter der Grundgesamtheit hochgerechnet wird ist in Abschnitt 2.1.3 beschrieben.

Abbildung 4 Projektdesign mit Überblick über die inhaltliche Gliederung und die tatsächlich realisierten Stichprobenumfänge



2.1.1 Projektdesign

Zunächst wurden die Hausumringe (HU-DE) in der *Geodatenanalyse* für die Zwecke der geplanten Erhebung aufbereitet (Hartmann et al. 2020a). Dies betrifft die Beseitigung von Überlappungen im Datensatz sowie von Umringen, die kleiner sind als der Einmessungsschwellwert von 10m². Auch Umringe, die eine stark atypische Form und gleichzeitig eine Größe < 190 m² aufwiesen, wurden durch die Vereinigung mit benachbarten Umringen beseitigt. Weiterhin wurden die HU um die Attribute aus LoD1-DE, GA-DE und ATKIS Basis DLM angereichert und um formbezogene, umgebungsbezogene und semantische Merkmale ergänzt, die aus den verschiedenen Geobasisdatenprodukten berechnet werden können.

Aus den so aufbereiteten Geodaten wurde eine **Stichprobe** von 100.000 Hausumringen gezogen. Dabei steht die Festlegung des Stichprobenumfangs im Spannungsfeld zweier konkurrierender Ziele, nämlich zum einen dem Ziel, die stichprobenbedingte Ergebnisunsicherheit zu minimieren, und zum anderen dem Ziel, die Erhebungskosten möglichst gering zu halten. Diverse Defizite der verwendeten Auswahlgrundlage erfordern ein Vor-Ort-Aufsuchen einer ausreichend großen Hausumring-Stichprobe durch das Screening. Dieser Umstand legt mit Rücksicht auf die begrenzte räumliche Mobilität des hierfür eingesetzten Personals sowie zum Zwecke der Minimierung der Wegekosten nahe, der Ziehung von Hausumringen eine Ziehung von flächenmäßig begrenzten Erhebungsbezirken voranzustellen. Dadurch entsteht ein zweistufiges Ziehungsverfahren, bei dem auf der ersten Ziehungsstufe zunächst deutschlandweit eine ausreichend große Zahl von Erhebungsbezirken und erst auf der zweiten Ziehungsstufe Hausumringe innerhalb dieser Erhebungsbezirke zufällig ausgewählt werden.

Die Stichprobenziehung von Hausumringen auf der zweiten Ziehungsstufe (d. h. innerhalb zuvor gezogener Erhebungsbezirke) sollte dafür Sorge tragen, dass im Screening möglichst 50.000 oder mehr GEG-relevante Nichtwohngebäude identifiziert wurden. Da mutmaßlich nur ein kleiner Teil der Hausumringe zu GEG-relevanten Nichtwohngebäuden gehörte, war die Stichprobenziehung so zu gestalten, dass Hausumringe, die eher zu einem GEG-relevanten Nichtwohngebäude gehören, überproportional in die Stichprobe aufgenommen werden. Das stichprobenmethodische Mittel der Wahl hierfür ist eine nach Relevanzwahrscheinlichkeiten disproportional geschichtete Stichprobenziehung.

Eine detaillierte Beschreibung zur Modellierung und Ziehung der Stichprobe findet sich in (Cischinsky 2021).

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 festzustellen, denn die Ausprägungen des Attributs Gebäudefunktion in den Geobasisdaten waren oft für Zwecke der Erhebung nicht aussagekräftig genug. Letztlich konnten 42.358 relevante Nichtwohngebäude identifiziert werden, recht nahe am Sollwert von 50.000. Zweitens konnte nur so der Bezug zwischen Hausumringen und Gebäuden hergestellt werden, denn ein Hausumring bildete häufig nur einen Teil eines Gebäudes nach Definition in ENOB:dataNWG ab. Drittens mussten 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 viertens wurden einige Gebäudemerkmale erhoben, wie etwa der augenscheinliche Modernisierungsstatus, die für das später relevante Nonresponse-Modell wichtig waren.

In der **Breitenerhebung** (IFAK 2019) wurden über 6.000 Interviews geführt mit Personen, die willens und in der Lage waren, Auskünfte zu den ausgewählten Nichtwohngebäuden zu geben. Zielgröße waren 10.000 Interviews. Die Teilnahme war freiwillig, so dass es auch Antwortausfälle sowohl in Gestalt von Unit- als auch von Item-Nonresponse gab. Die Befragung konnte per Telefon oder online durchgeführt werden. Neben Strukturmerkmalen wie Gebäudefunktion, Baualter, Flächen, Eigentümerart und Bewirtschaftungsmerkmalen wurden insbesondere die energetische Beschaffenheit der Gebäudehülle mit den vier Bauteilen Außen-

wand, Fenster bzw. Verglasungen, Dach bzw. oberste Geschossdecke und Bodenplatte bzw. Kellerdecke erfragt sowie Art und Effizienz der gebäudetechnischen Anlagen zur Heizung, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung. Wichtiges Ziel der Befragung war es, das Modernisierungsgeschehen der letzten Jahre zu ermitteln.

Im Rahmen der **Tiefenerhebung** wurden NWG vor Ort von Energieberatern analysiert, der Energiebedarf sowie, zu Validierungszwecken, der Energieverbrauch ermittelt, wenn die Eigentümer sich im Interview dazu bereit erklärt hatten. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die vereinfachten Berechnungsmethoden für den Energiebedarf, die im Rahmen der Tiefenerhebung erarbeitet wurden, mit dem gemessenen Verbrauch abzugleichen. Ein Validierungsdatensatz ist so entstanden, der auch zur Validierung anderen Berechnungstools angewendet werden kann.

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.

2.1.2 Definition der Untersuchungseinheit

Was eine Untersuchungseinheit ist, also was genau ein **einzelnes Nichtwohngebäude** ist, das gezählt kann und dessen Merkmale untersucht werden können, war eine wichtige Festlegung im Projekt. Sie musste den Screenern ermöglichen, von außen, manchmal sogar aus einer gewissen Entfernung vom öffentlichen Raum aus und möglichst intersubjektiv zu entscheiden, was alles zum Gebäude gehört, das einen Hausumring in der Stichprobe ganz oder teilweise überlappt.

Verschiedene Definitionen wurden diskutiert und mit Versuchspersonen getestet. Ergebnis war diese primär visuelle, architektonisch motivierte Definition, die sowohl die einheitlichsten Ergebnisse im Test ergab als auch sich als praxistauglich im Feld bewährte:

Definition des einzelnen Nichtwohngebäudes

Bei Nichtwohngebäuden handelt es sich um Gebäude, die auf mehr als der Hälfte der Nutzfläche Nichtwohnzwecken gewidmet sind.

Als einzelne Gebäude gelten neben freistehenden Gebäuden diejenigen Gebäude, die in zeitlichem Zusammenhang auf Basis einer einheitlichen architektonischen Planung errichtet wurden zuzüglich nachträglich ergänzter, nicht eigenständig nutzbarer Gebäudeteile, die hinsichtlich der Erschließung und der Nutzung aus funktionalen Gründen dem Gebäude zuzurechnen sind.

Alle Gebäudeteile eines Nichtwohngebäudes müssen miteinander baulich verbunden sein.

In Zweifelsfällen ist auch die Veräußerbarkeit ein Kriterium bei der Entscheidung, welche Teile zu einem Gebäude gehören.

Der Prozess, wie die Gebäudedefinition festgelegt wurde und welche Alternativen betrachtet wurden, ist in (Busch, Müller 2020a) beschrieben.

2.1.3 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 Stichproben- und Schätztheorie abgeleitet werden. Ausführlicher wird die Schätzung von Parametern in (Cischinsky 2021 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 Standardfehler² $\hat{\sigma}(\hat{N}_{GEG})$, 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

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

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 $bt_nachged \geq 0$ haben³

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

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

² 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 auszukurierende 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% / 95% liegt der wahre, aber unbekannte Wert im Bereich von einem / zwei Standardfehler um den angegebenen Mittelwert.

³ 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).

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

$\tilde{s} \subset s$ 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 2021 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 wird 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 Grundgesamtheit. Diesen definieren wir ebenfalls als das Verhältnis zweier Merkmalssummen, der 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 Mittelwertschätzer, in diesem Fall zum einen der durchschnittlichen, nachträglich gedämmten Fläche, geschätzt über alle Untersuchungseinheiten mit gültigen Werten für das betreffende Merkmal,

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

$\tilde{U} \subset U$ 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 wird wieder 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.

2.2 Forschungsfragen und Antworten

Hauptziel des Projekts ENOB:dataNWG war es, Strukturdaten im Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland zu erheben sowie Modernisierungsfortschritte und -raten an den Bauteilen der Gebäudehüllen und bei den gebäudetechnischen Anlagen zu bestimmen. Unser Forschungsinteresse galt dabei hauptsächlich den Nichtwohngebäuden, die den Vorschriften des §2 Abs. 1 GEG unterliegen. Wir bezeichnen sie als *GEG-relevante Nichtwohngebäude*.

Dabei sollten in inhaltlicher Hinsicht insbesondere folgende Forschungsfragen beantwortet werden.

2.2.1 Strukturen des Bestands der Nichtwohngebäude

Forschungsfrage 1: Wie stellt sich allgemein die Struktur der Nichtwohngebäude dar (räumliche Verteilung, Gebäudekategorien, Bauwerkstypen, Sektoren, Fläche, Dauer von Lebenszyklen, Baualter etc.)?

Beispielhaft sind hier Ergebnisse der Auswertungen zu den Strukturen im Bestand aller Nichtwohngebäude in Deutschland aufgeführt, ausführlicher sind diese in (Hörner et al. 2021b) dargestellt.

Tabelle 1: Überblick über die Anzahl der Nichtwohngebäude in Deutschland (Quelle: IWU)

Nichtwohngebäude in Deutschland (Auswertung 1.1.2, Screening und Breitenerhebung)	Anzahl \pm abs. Standardfehler in TSD	Relativer Standard- fehler in %
Nichtwohngebäude (NWG)	21.124 \pm 445	2,1%
... davon <i>thermisch relevante</i> NWG ^(a)	2.172 \pm 168	7,7%
... davon <i>GEG-relevante</i> NWG ^(b)	1.981 \pm 152	7,7%
... davon <i>thermisch gering-konditionierte</i> NWG ^(c)	192 \pm 47	24,7%
... davon sonstige thermisch konditionierte NWG ^(d)	4.166 \pm 170	4,1%
... davon thermisch nicht konditionierte NWG ^(e)	14.786 \pm 375	2,5%
^(a) Als <i>thermisch relevante</i> NWG gelten die Gebäude, die nach Angaben der Befragten in der Breitenerhebung zur Gebäudefunktion und zur thermischen Konditionierung als relevant für das GEG anzusehen sind.		
^(b) Als <i>GEG-relevante</i> NWG sind Gebäude bezeichnet, die nach Auswertung der Breitenerhebung uneingeschränkt in den Anwendungsbereich des § 2 Abs. 1 GEG fallen.		
^(c) Als <i>thermisch gering-konditionierte</i> NWG sind Gebäude bezeichnet, 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.		
^(d) Als <i>sonstige thermisch konditionierte</i> NWG gelten Gebäude, die hinsichtlich ihrer Gebäudefunktion nach § 2 Abs. 2 Nr. 1, 4, 5, 6, 7 GEG von der vollen Anwendung des Gesetzes ausgenommen sind, denen aber dennoch ein gewisser Bedarf an thermischer Konditionierung beigemessen wird, z.B. Gebäude für religiöse Zwecke.		
^(e) Als <i>thermisch nicht konditionierte</i> NWG gelten Gebäude, die hinsichtlich ihrer Gebäudefunktion nach § 2 Abs. 2 Nr. 2 GEG von der vollen Anwendung des Gesetzes ausgenommen sind oder die nach Angaben der Befragten in der Breitenerhebung aufgrund ihrer Funktion keinen bzw. einen mutmaßlich vernachlässigbaren Bedarf an thermischer Konditionierung haben (z.B. private Einzelgaragen / Carports und Gartenhütten) oder 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).		

Auf den ersten Blick überrascht die hohe Zahl von über 21 Mio. Nichtwohngebäuden in Tabelle 1. Diese erklärt sich aus der Nutzung der Geobasisdaten als Auswahlgrundlage der Stichprobenziehung. Über zwei Drittel der Nichtwohngebäude gehören zu den *thermisch nicht konditionierten* NWG, das sind hauptsächlich Einzelgaragen, Schuppen und Gartenhütten, und „nur“ 1,981 \pm 0,152 Mio. Nichtwohngebäude sind demnach *GEG-relevant*.

Mit der flächendeckenden Verfügbarkeit der Geobasisdaten, insbesondere der 3D-Gebäudemodelle, war nicht nur die Auswahlgrundlage für die Stichprobenziehung gegeben, sondern auch die Voraussetzung dafür erfüllt, aus den Attributen der Hausumringe geometrische Kenngrößen der Gebäude in der Stichprobe zu berechnen.

Tabelle 2: Flächen und Volumina GEG-relevanter Nichtwohngebäude in Deutschland (Quelle: IWU)

Flächen und Volumina GEG-relevanter NWG Anzahl: 1.981 ± 152 TSD (Auswertung 1.2.1, Breitenerhebung)	Summe ± abs. Standardfehler in Mio.	Mittel ± abs. Standardfehler
Bruttovolumen [m ³]	18.182 ± 2.658	9.181 ± 1.142
Bruttogrundfläche [m ²]	3.507 ± 0.399	1.771 ± 149
Fassadenfläche [m ²]	1.905 ± 0.187	962 ± 59
... davon transparente Fläche [m ²]	0.647 ± 0.076	327 ± 29
... davon opake Fläche gegen außen [m ²]	1.211 ± 0.119	611 ± 37
Dachfläche [m ²]	1.858 ± 0.254	938 ± 106

So konnten in der weiteren Geodatenanalyse durch das Projektteam des Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) Grund- und Fassadenflächen sowie Bruttovolumina für fast alle Gebäude in der Stichprobe berechnet werden. Die Methodik der Berechnung ist in (Hartmann et al. 2020b) beschrieben. Zusätzliche Merkmale der Gebäude aus dem Screening und der Breitenerhebung, wie die Anzahl ober- und unterirdischer Vollgeschosse, der Anteil transparenter Flächen in der Fassade und die Dachform, wurden ausgewertet, um die Bruttogrundfläche (BGF), transparente und opake Flächen der Fassaden sowie die Dachfläche zu berechnen. Der Katalog der Erhebungsmerkmale im Screening ist in (Busch, Müller 2020b), der Fragebogen der Breitenerhebung in (Hörner, Cischinsky 2020) zu finden.

2.2.2 Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung der Nichtwohngebäude

Forschungsfrage 2: Wie stellen sich die wärmetechnische Beschaffenheit der Gebäudehülle und die energetische Qualität der technischen Anlagen bei Nichtwohngebäuden im Bestand dar? Welche energetischen und sonstigen Modernisierungsprozesse laufen mit welcher Geschwindigkeit ab? Welche Bedeutung haben Zustand und Modernisierungsrate im Sektor Nichtwohngebäude für die Erreichung der Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung und der nationalen Klimaschutzziele im Gebäudesektor?

Der Teilbericht (Hörner et al. 2021a) dokumentiert detailliert die Ergebnisse der Auswertungen zu Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung der Gebäudehüllen und der haustechnischen Anlagen im Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland. Als wichtige Ergebnisse des Projekts beinhaltet der hier dargestellte Auszug die gebäudebezogenen Parameter der Modernisierung der Gebäudehülle und der Modernisierung der Wärmeerzeugungsanlagen.

Für zusammenfassende Betrachtungen der Entwicklung im Gebäudebestand ist es mitunter sinnvoll, über alle Bauteile der Gebäudehülle hinweg Parameter der Gebäudemodernisierung 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). Im Abschnitt 2.1.3 wurde die Methodik erläutert, wie 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 $\hat{r}_{i,nd,2010}^A$ als entsprechende mittlere jährliche Fortschritte im Zeitraum ab 2010 bis zum Ende der Erhebung Mitte 2019 bestimmt werden.

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.

Für die Wärmewende im Gebäudebestand ist dann zusätzlich von entscheidender Bedeutung, wie insbesondere die Wärmeerzeuger modernisiert werden und der Wechsel zu regenerativen Energieträgern voranschreitet.

Gebäudemodernisierung

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. 2.1.3) 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 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. 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: 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 ± 0,04%/a für alle Wohngebäude und 1,43%/a ± 0,06%/a für die Altbauten, also insgesamt etwas höhere Werte⁴.

Gebäudeeffizienz

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

⁴ 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.

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

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 wurde, 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

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

Durch (Teil-)Modernisierung der Gebäudehülle reduziert sich der spezifische Transmissionswärmebedarf dann um $\Delta H = H_{T,0} - H_T$ gegenüber dem Zustand bei Errichtung des Gebäudes. 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*⁵ gebracht werden sollte, um Klimaneutralität gut erreichen zu können.

⁵ 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 $T \geq 19^\circ C$ beheizt werden, der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient für die opaken Außenbauteile den Wert von $\bar{U}_{opak} = 0,22 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ und derjenige für die transparenten Außenbauteile den Wert von $\bar{U}_{transparent} = 1,2 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ nicht überschreiten.

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

$$\hat{f}_{Geb,nd}^H = 45\% \pm 8\%^6$$

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.

Verpasste Chancen

Vor dem Hintergrund der ordnungsrechtlichen Bestimmungen zu bedingten Modernisierungsanforderungen wurde im Interview auch gefragt, ob es sich bei der Sanierung der Außenwände, bei denen nicht gleichzeitig eine Dämmung angebracht wurde, 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, dass an etwa 2,4%/a aller NWG bzw. 2,6%/a der Altbauten pro Jahr Fassaden neu angestrichen werden, ohne gleichzeitig Wärmedämmung anzubringen. An 0,5%/a aller NWG bzw. 0,6%/a 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, wurden 1,9%/a aller Außenwandflächen von NWG bzw. 2,2%/a bei Altbauten ohne gleichzeitige Dämmung saniert.

Offensichtlich findet 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 oben 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.

Wärmeerzeugung

Die Modernisierungsrate bei den Wärmeerzeugungsanlagen zeigt eine erfreuliche Tendenz (vgl. Tabelle 4). Insgesamt wurden seit 2010 durchschnittlich in etwa 2,3 % der NWG pro Jahr die Wärmeerzeugungsanlagen modernisiert, bezogen nur

⁶ 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.

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: Modernisierungsrate der Hauptwärmeerzeuger – Anteil der Nichtwohngebäude nach Baualterklasse

Modernisierungsrate Hauptwärmeerzeuger (4.3.3.1.9)	Alle NWG	Altbau (bis 1978)	Zwischenbau (1979 - 2009)
Bezug: GEG-relevante NWG	%/a	%/a	%/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 5), dass bei der Modernisierung der Wärmeerzeuger seit dem Jahr 2010 überwiegend der gleiche Energieträger weiterverwendet wird, der auch vorher eingesetzt wurde. Mehr als 80% der Eigentümer, die bisher einen Gas-Heizkessel zur Wärmeerzeugung nutzten, 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 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.

Die Modernisierungsdynamik bei der Wärmeerzeugung, insbesondere die Dynamik, mit der fossile Brennstoffe durch regenerative Energieträger ersetzt werden, ist also weit davon entfernt, ambitionierte Ziele des Klimaschutzes im Gebäudebestand – auch Wärmewende genannt – erreichen zu können.

Tabelle 5: 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_erb_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.

2.2.3 Energiebedarf und -verbrauch im Bestand der Nichtwohngebäude

Forschungsfrage 3: Wie hoch ist der tatsächliche Verbrauch an Brennstoffen und elektrischer Energie im Bestand der Nichtwohngebäude? Wie korreliert dieser mit dem berechneten Bedarf bzw. mit baulichen, technischen und nutzungsbedingten Parametern? Wie können in Zielszenarien 2030 bzw. 2050 verlässlichere Prognosen der erreichbaren Energieeinsparungen und CO₂-Minderung berechnet werden?

In der Tiefenerhebung konnten die Verbrauchs- und Bedarfsdaten von 464 EnEV relevanten Nichtwohngebäuden ganz oder teilweise erfasst werden. Die Methodik der Tiefenerhebung ist in (Bischof et al. 2021) ausführlich beschrieben.

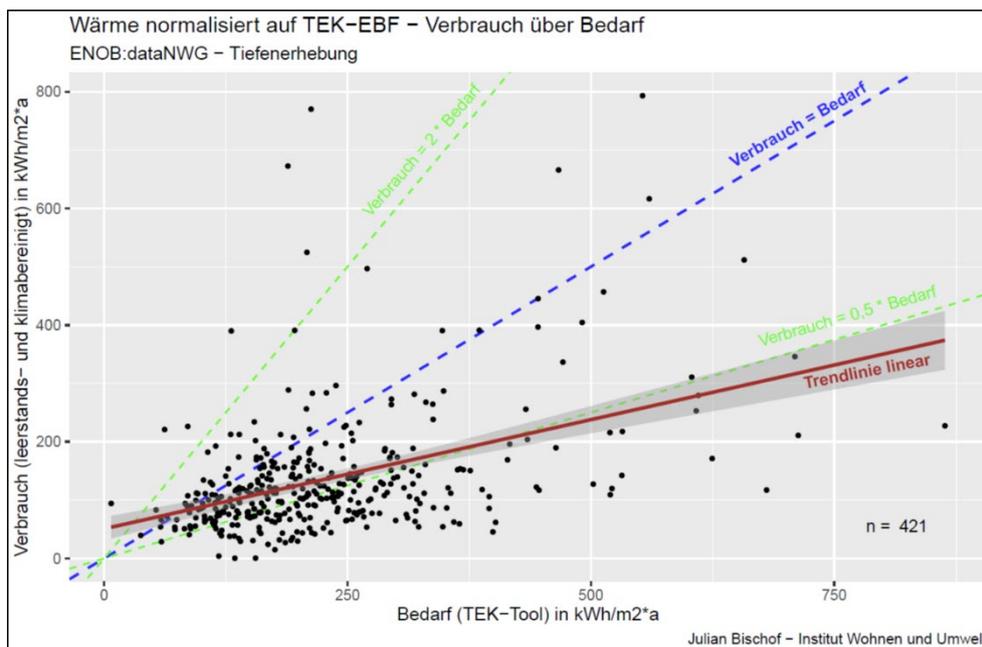
Die Verbrauchserfassung orientierte sich an der Bekanntmachung für Energieverbrauchswerte (BMWi, BMU 2015a), die Bedarfserfassung an dem zur Bedarfsberechnung gewählten Energiebilanz-Tool, dem TEK-Tool (Hörner et al. 2017), das in einem früheren Forschungsprojekt am Institut Wohnen und Umwelt entwickelt wurde. Für die Datenerhebung von Verbrauch und Bedarf vor Ort, die automatisierte Bedarfsberechnung sowie für die Ergebnisberichtsgenerierung wurde die Toolbox Verbrauchsstrukturanalyse VSA 2.0 entwickelt. Die Bedarfsberechnung

erfolgt darin mit dem TEK-Tool. VSA 2.0 steht der interessierten Öffentlichkeit frei und quelloffen zur Verfügung, zusammen mit einer Dokumentation und Bedienungsanleitung sowie diversen Schulungsunterlagen (siehe Abschnitt 2.7.3\Tools).

Insbesondere für die Ergebnisse der Tieferhebung ist durch die relativ geringe Fallzahl phasenspezifisch verzerrender Unit-Nonresponse⁷ nicht auszuschließen, der auch durch das Nonresponse-Modell auf Basis des Screenings nicht ausgeglichen werden kann (Cischinsky 2021). Eine erwartungstreue Hochrechnung auf die Grundgesamtheit aller GEG-relevanten Nichtwohngebäude ist deshalb nicht möglich. Allerdings kann ein Datensatz für die Kalibrierung und Validierung von beliebigen Energiebilanztools für Nichtwohngebäude aus den Ergebnissen der Tieferhebung gewonnen werden. Das ist ein großer Fortschritt in der Entwicklung von Werkzeugen zur realistischen Berechnung des Energiebedarfs von Nichtwohngebäuden.

Die Ergebnisse der Tieferhebung zeigen die schon aus anderen Untersuchungen (Hörner, Lichtmeß 2019) bekannten Merkmale, dargestellt in Abbildung 5.

Abbildung 5: Endenergieverbrauch Wärme über dem mit TEK berechneten Bedarf aufgetragen als ein Ergebnis der Tieferhebung



Für hohe Bedarfswerte überschätzt die Berechnung den gemessenen Verbrauch teilweise deutlich, gut erkennbar auch an der linearen Trendlinie. Außerdem streuen die Verbrauchswerte zu einem gegebenen Bedarf erheblich, die Streubreite korreliert mit der Höhe des Bedarfs, ein Verhalten das in der Statistik als Heteroskedastizität bezeichnet wird. Aus diesen Daten mit Methoden des Machine Learnings eine geeignete Kalibrierungsfunktion zu erzeugen, ist unter anderem Gegenstand der Dissertation von Julian Bischof am IWU⁸.

Ein zusätzliches Tool wurde im Rahmen der Dissertation entwickelt, der Dynamic ISO Building Simulator (DIBS), um den Endenergiebedarf Wärme für den Bestand

⁷ Statistische Verzerrung durch ungleichmäßig verteilte Antwortausfälle.

⁸ Siehe Fußnote 1 auf Seite 9

der Nichtwohngebäude auch in Stundenschritten berechnen zu können, im Gegensatz zum Monatsbilanzverfahren im TEK-Tool. Das ist unter anderem für die Berücksichtigung volatiler regenerativer Energiequellen sinnvoll.

Der DIBS soll so weiterentwickelt werden, dass Energiebedarfe auch in der Stichprobe der Breiterehebung berechnet werden können. Ziel ist es, ein statistisch valides Mikrosimulationsmodell für den Endenergiebedarf des Bestands der Nichtwohngebäude in Deutschland zu entwickeln. Siehe dazu auch Abschnitt 1.7 Ausblick.

2.2.4 Entscheidungsprozesse

Forschungsfrage 4: Welche Rückschlüsse können aus der vergangenen Entwicklung des Nichtwohngebäudebestands und der aktuellen Modernisierungsdynamik auf die Motivation der Akteure bei Investitionsentscheidungen gezogen werden und inwieweit hängen diese Entscheidungen von rechtlichen und volks- wie betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab? Wie wird das bestehende Förderinstrumentarium genutzt? Welche Bedeutung hat es für Modernisierungsentscheidungen? Wie kann es im Sinne eines Zielerreichungsszenarios möglicherweise optimiert werden?

Eigentümerstruktur

Im Fragebogen (Hörner, Cischinsky 2020) wurde auch danach gefragt, welcher Kategorie sich der rechtliche Eigentümer des Gebäudes zuordnen lässt. Aus den möglichen Antwortoptionen⁹ wurden drei Hauptkategorien gebildet:

- a. Private natürliche Personen oder Gemeinschaften aus diesen, also Einzelpersonen, Ehepaare oder eingetragene Lebenspartnerschaften sowie Wohneigentümergeinschaften und Erbgemeinschaften,
- 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 Breiterehebung 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. Auffällig sind die mit 32% der Bürogebäude und 42% der Büroflächen hohen 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 Anteil der Büroflächenbestände, die im Besitz von Banken, Pensionskassen, Versicherungen, Immobilienfonds und REITs¹⁰ sind.

⁹ Dazu wurden die Antwortoptionen der Fragen q27 und q27X des Fragebogens der Breiterehebung (Hörner, Cischinsky 2020) entsprechend kombiniert.

¹⁰ REITs – Real Estate Investment Trusts – steht für börsennotierte, in der Immobilienbranche tätige Aktiengesellschaften.

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 sehr 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 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 zeigen.

Eigentümerklassen und Modernisierung

So zeigen die Auswertungen zu den Modernisierungsfortschritten¹¹, 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

¹¹ ENOB:dataNWG, Auswertung 4.3.2.12

an der Gebäudehülle etwas über, bei den Haupt-Wärmerzeugern deutlich unter Durchschnitt. Die privaten natürlichen Personen als Eigentümer haben in diesem Zeitraum in ihren NWG deutlich unter Durchschnitt modernisiert.

Immobilienteilmärkte

Die umfangreichen Abfragen zu den energetischen Gebäudemerkmale bieten vielfältige Möglichkeiten für differenzierte Auswertungen, z.B. zu den verwendeten Energieträgern und zur Wärmedämmung, auf der Ebene von Immobilienteilmärkten, die von typischen Eigentümerstrukturen gekennzeichnet sind.

Im Rahmen der Breiterehebung wurde unter anderem abgefragt, welche Energieträger in den untersuchten Gebäuden zum Einsatz kommen. Darüber hinaus wurden grundlegende Informationen zur thermischen Konditionierung eingeholt. Erwartungsgemäß zeigt sich, dass es sich bei einem Großteil der immobilienwirtschaftlich relevanten Gebäudetypen um GEG-relevante, also beheizte Gebäude handelt. Lediglich bei den Park- und Garagengebäuden und den sonstigen Gebäuden für Lagerung liegt der Schwerpunkt bei thermisch nicht konditionierten Gebäuden.

Tabelle 6: Anteil der Gebäude bzw. Gebäudefläche mit Außenwanddämmung an den GEG-relevante Nichtwohngebäuden (Quelle: BUW)

	Gebäude		Gebäudefläche (BGF)	
	Anteil Geb. mit Dämmung in %	abs. Std. fehler in %	Anteil Geb.fl. mit Dämmung in %	abs. Std. fehler in %
Bürogebäude	50%	6%	70%	23%
Herberge, Ferienhaus, -haus, Hotel/Pension einfach	16%	6%	39%	25%
Sterne-Hotel	63%	9%	81%	37%
Alten(pflege)heim (ohne eig. Haush.führung d. Bew.)	92%	4%	93%	50%
Handelsimmobilien	40%	11%	50%	27%
Logistikimmobilien	27%	17%	38%	42%
sonstige Gebäude für Lagerung	57%	14%	67%	35%

Erdgas ist bei fast allen der betrachteten Gebäudetypen der am häufigsten eingesetzte Energieträger. Lediglich bei den GEG-relevanten Park- und Garagengebäuden dominiert der Energieträger Öl. Höhere Anteile an Ölheizungen sind zudem bei Herbergen, Ferienheimen/ -häusern und einfachen Pensionen/Hotels sowie bei Logistikimmobilien festzustellen. Bei ersteren fällt zudem der hohe Anteil des Energieträgers Holz auf. Elektrischer Strom spielt vor allem bei den sonstigen Lagergebäuden eine Rolle. Bei dieser Gebäudeart spielt zudem die Kategorie der sonstigen Energieträger eine Rolle – dies ist auf den beachtlichen Anteil von Bioöl und Biogas

(5%) in den Lagergebäuden zurückzuführen. An das Nah- und Fernwärmenetz angeschlossen sind laut dieser Auswertung am häufigsten die eher auf zentrale Standorte ausgerichteten Gebäudetypen Bürogebäude und Sterne-Hotels.

Auf Basis der Abfragen zum Dämmfortschritt in der Breiterehebung ist in Tabelle 6 der Anteil der Gebäude und Gebäudeflächen mit gedämmter Außenwand differenziert nach Gebäudetyp dargestellt. Überdurchschnittlich hohe Dämmquoten sind demnach bei Altenheimen bzw. Altenpflegeheimen zu finden. Auch Sterne-Hotels und Bürogebäude verfügen über einen vergleichsweise hohen Anteil an gedämmten Außenwänden. Niedrige Dämmquoten zeigen sich dagegen bei den Herbergen, Ferienheimen, -häusern und einfachen Hotels bzw. Pensionen sowie bei den Logistikkimmobilien. Bei den Logistikkimmobilien ist allerdings die sehr hohe Standardabweichung aufgrund der geringen Fallzahlen zu beachten.

2.2.5 Gebäudebestandsmonitoring mit Geobasisdaten

Forschungsfrage 5: Welche Möglichkeiten bietet die Geoinformatik in Kombination mit Bildverarbeitung und maschinellem Lernen, um aus deutschlandweit digital vorliegenden, georeferenzierten Gebäudedaten in Gestalt von amtlichen Hausumringen und -koordinaten in Kombination mit anderen Datenquellen Rückschlüsse auf Bestand und Struktur der Nichtwohngebäude in Deutschland zu ziehen?

Anhand des Geobasisdatenprodukts Amtliche Hausumringe Deutschland (HU-DE), welches um semantische Sekundärinformationen u.a. der Gebäudenutzung aus den 3D Gebäudemodellen Deutschland (LoD1-DE) angereichert wurde (Schwarz et al. 2021), konnte eine Auswahlgrundlage zur Stichprobenerhebung von Nichtwohngebäuden erstellt werden.

Die im Screening aufgesuchten 100.000 Hausumringe ergaben knapp 90.000 erfassbare Gebäudesituationen. Von den erfassten Gebäudesituationen konnten ca. 67.000 als Nichtwohngebäude und davon etwa 43.000 als breiterehebungsrelevante Gebäude identifiziert werden. Die aufgesuchten Hausumringe stellen also nicht zwingend eine Gebäudesituation dar, wie sie in der Definition des einzelnen Nichtwohngebäudes festgelegt wurde (vgl. Abschnitt 2.1.2 Definition der Untersuchungseinheit). Wenn keine 1:1 Beziehung bestand wurden die Hausumringe verbunden oder geteilt. Bei ca. 69% der Gebäude spiegelte der Hausumring das zu erfassende Nichtwohngebäude wider, bei ca. 29% wurden zwei Hausumringe zusammengesetzt um die Gebäudesituation abzubilden. Bei ca. zwei Prozent wurden komplexere Beziehungen zwischen Hausumring und Gebäude festgestellt.

Die Datengrundlage der Geodaten und die daraus hervorgegangene Auswahlgrundlage stellte sich zusammen mit dem Screening als geeignet heraus, um einzelne Nichtwohngebäude zu identifizieren. Der überwiegende Teil der Gebäudesituationen lässt sich aus einem oder zwei Hausumringen herleiten. Die gesammelten Erkenntnisse zur Hausumring-Gebäude-Relation sind wichtig, um die automatisierte Gebäudeklassifikation anhand von Geobasisdaten zu verbessern.

Im Projektverlauf gewonnene Erkenntnisse, hinsichtlich relevanter Features für überwachte Klassifikationsverfahren, konnten in weiterführende Forschungsarbeiten einfließen. Erste Analysen mittels Random-Forest-Klassifikation ergeben, dass Wohn- und Nichtwohngebäude mit einer Genauigkeit von ca. 90% klassifiziert werden können. Daten wie LoD2-DE können dabei in der Zukunft zusätzlich die

geometrische und semantische Aussagekraft steigern. An dieser Stelle wird weiterer Forschungsbedarf gesehen, um die Voraussagemöglichkeiten zu optimieren.

2.2.6 Strukturen und Flächenbestände gewerblicher Immobilienmärkte

Forschungsfrage 6: Welche Flächenbestände existieren deutschlandweit in den gewerblichen Immobilienmärkten? Welche Alters-, Zustands- und Eigentümerstrukturen zeigen sich in den unterschiedlichen Marktsegmenten? Wie verteilen sich die gewerblichen Immobilienbestände (vor allem Büro-, Einzelhandels- und Logistikimmobilien) im Raum?

Im Screening konnten in den meisten Fällen Einschätzungen zur Gebäudefunktion gewonnen werden. Dies ermöglicht Aussagen zu den Dimensionen und Strukturen der relevanten gewerblichen Immobilienmärkte. Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen am Beispiel des Büro- und des Logistikimmobilienmarktes vorgestellt. Eine ausführlichere Dokumentation der Ergebnisse der immobilienwirtschaftlichen Fragestellungen findet sich im Teilbericht des Projektbausteins Screening (Busch et al. 2021) sowie in der DataNWG-Projektinfo Nummer 10 (Busch, Hörner 2021).

Auf Basis der Ergebnisse des Screenings und der Breitenerhebung wurden jeweils-Hochrechnungen des Nichtwohngebäudebestandes differenziert nach Hauptgebäudefunktion durchgeführt. Hierbei ist – je nach Grundlage der Berechnung¹² – ein Bestand an Büro-, Verwaltungs- und Amtsgebäuden von 307.000 nach Breiten-erhebung bis 413.000 nach Screening ermittelt worden.

Die Ableitung der in den Gebäuden befindlichen Büroflächen erfolgt durch Multiplikation der Gebäudegrundfläche mit der durchschnittlichen Etagenanzahl, dem Anteil, den die Büronutzung an der Gesamtnutzfläche ausmacht sowie einem Umrechnungsfaktor, mit dem aus der ermittelten Bruttogrundfläche (BGF) eine Nutzflächenangabe abgeleitet wird.

Die so geschätzten Angaben zum Büroflächenbestand beziehen sich jedoch nur auf Flächen in Gebäuden, in denen die Büronutzung die dominante Gebäudefunktion darstellt. Bei Büroimmobilien handelt es sich jedoch häufig um mischgenutzte Immobilien, in denen neben der Büronutzung auch noch andere Nutzungen vorhanden sind. Im Screening wurde deshalb neben der primären Gebäudefunktion auch die sekundäre Gebäudefunktion eingeschätzt. Basierend auf den Erkenntnissen zur Dimension mischgenutzter Gebäude mit Büronutzungen konnten für den Bestand an Büroflächen in Gebäuden mit schwerpunktmäßiger sowie untergeordneter Büronutzung in Deutschland zum Stand der Erhebung im Jahr 2018 Schätzwerte für die Mietfläche für gewerblichen Raum (MF-G) nach gif¹³ in Tabelle 7 geschätzt werden.

¹² Dass die Hochrechnungen auf Basis der Ergebnisse des Screenings und der Breitenerhebung zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, ist angesichts der sehr unterschiedlichen Messmethoden nicht verwunderlich. Während in Screening die Gebäude nur vom öffentlichen Raum aus beurteilt werden konnten, wurden in der Breitenerhebung ausführliche Interviews mit Ansprechpersonen des Eigentümers oder Nutzers geführt. Die damit jeweils verbundenen Unsicherheiten können anhand des Standardfehlers eingeschätzt werden.

¹³ gif e.V - Gesellschaft für immobilienwirtschaftliche Forschung

Tabelle 7: Abgeleiteter Büroflächenbestand gemäß gif in Gebäuden mit Büronutzung als primäre oder sekundäre Gebäudefunktion (Quelle: BUW)

Bezugsmenge	Fläche ± abs. Standardfehler in Mio. m ² MF-G
Screening	510 ± 45
Breitenerhebung funktional relevante NWG	445 ± 92
Breitenerhebung GEG-relevante NWG	429 ± 82

Bezüglich der räumlichen Verteilung des Büroflächenbestandes ist erwartungsgemäß festzustellen, dass sich die Bestände vor allem in den Ballungszentren konzentrieren. Die Ergebnisse der Screening-Hochrechnung zeigen, dass in den Großstädten deutlich mehr Bürofläche pro Einwohner zu finden ist als in den ländlichen Regionen und Ballungsrandgebieten. Interessant ist, dass die durchschnittliche Bürofläche pro Einwohner in den Städten der ländlichen Regionen höher ist als im suburbanen Umfeld der Großstädte und im dörflich bzw. kleinstädtisch geprägten ländlichen Raum. Dies unterstreicht die wichtige „Zentrale Orte“-Funktion dieser Städte – hier konzentrieren sich die Verwaltungs- bzw. Büronutzungen des ländlichen Raums.

Die Untersuchung der Größenstrukturen zeigt, dass die Büroflächenbestände vor allem in kleineren und mittelgroßen Bürogebäuden verortet sind. In Bürogebäuden mit 1.000 bis unter 5.000 m² Bürofläche finden sich gemäß Screening-Hochrechnung 31 % und gemäß Hochrechnung der Breitenerhebungsergebnisse sogar 37 % der Bestände. Hier wird deutlich, wie stark der gesamtdeutsche Büroflächenbestand – anders als die Bestände in den zumeist im Fokus der Berichterstattung stehenden TOP-7-Büromärkte - von kleineren Büroimmobilien geprägt sind.

Für das Marktsegment der Logistikimmobilien weisen die Hochrechnungen auf Basis der Screening-Daten einen Bestand in Höhe von 150 Mio. m² BGF in ca. 25.000 Objekten aus. Die Hochrechnung auf Basis der Breitenerhebungsdaten kommt zu einem ähnlichen Ergebnis: Hier wird der Bestand an Logistikimmobilien auf 154 Mio. m² BGF geschätzt.

Die Differenzierung nach Größenklassen zeigt, dass ein Großteil der Logistikimmobilien (62 %) über eine Fläche von mindestens 10.000 m² verfügen. In derartig großen Objekten sind gemäß Screening-Hochrechnung insgesamt 91 Mio. m² BGF zu finden, gemäß Hochrechnung auf Basis der Breitenerhebungsdaten sogar 96 Mio. m² BGF.

An Flächen in sonstigen Gebäuden für Lagerung wurde auf Basis der Screening-Daten ein Bestand in Höhe von 224 Mio. m² BGF in knapp über 500.000 Gebäuden ermittelt. Auf Basis der Ergebnisse der Breitenerhebung kommt man auf einen Bestand von 262 Mio. m² BGF. Im Gegensatz zu den Logistikimmobilien handelt es sich bei den sonstigen Gebäuden für Lagerung zumeist um kleinere Objekte. Ein Großteil der Flächen sind in Gebäuden mit weniger als 3.000 m² BGF verortet.

Insgesamt ergibt sich ein Gesamtbestand an Flächen in Lager- und Logistikimmobilien in Höhe von 374 Mio. m² BGF gemäß Screening-Hochrechnung und 417 Mio. m² BGF gemäß Hochrechnung auf Basis der Breitenerhebung.

Bezüglich der räumlichen Verteilung zeigt sich, dass sich Logistikimmobilien stark im Umland der größeren Städte konzentrieren. Hier am Ballungsrand, im Umfeld der Autobahnringe um die Großstädte, befinden sich die bevorzugten Standorte für Logistikimmobilien.

Sonstige Gebäude für Lagerung sind ebenfalls häufig im Umland der Großstädte zu finden. Viel stärker als die Logistikimmobilien sind sie jedoch zudem auch in ländlich geprägten Regionen verortet. Während nicht mehr als ein Viertel des Flächenbestandes in Logistikimmobilien in ländlichen Regionen zu finden sind, liegt der Anteil der ländlichen Regionen bei den Sonstigen Lagergebäuden bei über 50%.



2.3 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

2.3.1 Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Tabelle 8: Übersicht zahlenmäßiger Nachweis des Teilprojekts A (IWU)

Pos. Nr. Finanzierungsplan	Zahlungsgrund	Zahlbetrag €
0815	Beschäftigte E12-E15	644.335,82 €
0817	Beschäftigte E1-E11	277.907,71 €
0831	Gegenstände bis 800/410/400€	27.179,70 €
0834	Mieten und Rechnerkosten	5.831,05 €
0835	Vergabe von Aufträgen	1.245.290,48 €
0843	Sonstige Allgemeine Verwaltungsausgaben	97.246,54 €
0846	Dienstreisen	8.797,88 €

2.3.2 Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.

Tabelle 9: Übersicht zahlenmäßiger Nachweis des Teilprojekts B (IÖR)

Pos. Nr. Finanzierungsplan	Zahlungsgrund	Zahlbetrag €
0812	Beschäftigte E12-E15	350.279,27 €
0835	Vergabe von Aufträgen	3.981,39 €
0843	Allgemeine Verwaltungsausgaben	35.113,04 €
0846	Dienstreisen	4.624,51 €

2.3.3 Bergische Universität Wuppertal

Tabelle 10: Übersicht zahlenmäßiger Nachweis des Teilprojekts C (BUW)

Pos. Nr. Finanzierungsplan	Zahlungsgrund	Zahlbetrag €
0812	Beschäftigte E12-E15	293.989 €
0817	Beschäftigte E1-E11	91.103 €
0822	SHK/WHF	6.644 €
0834	Mieten und Rechnerkosten	1.800 €
0835	Vergabe von Aufträgen	301.417 €
0843	Sonst. Allg. Verwaltungsausgaben	60.690 €
0846	Dienstreisen	10.760 €

2.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

2.4.1 Teilprojekt A: Repräsentative Stichprobenerhebung und Auswertung typologischer, struktureller und energetischer Merkmale (IWU)

Methodisches Konzept

Die ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung sind ohne tiefgreifende Veränderungen im Gebäudesektor nicht erreichbar. Hierzu ist verstärktes staatliches Handeln in Gestalt eines abgestimmten Einsatzes geeigneter Instrumente wie ordnungsrechtlicher Vorgaben, ökonomischer Anreize sowie „weicher“ Maßnahmen zur Verbesserung der Information und Markttransparenz erforderlich. Die Aufgabe, die notwendige Dynamik zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen tatsächlich in Gang zu setzen, stößt allerdings auf eine schwer überschaubare Vielfalt der wesentlichen Gebäudemerkmale im Bestand und höchst unterschiedliche Interessen der Eigentümer.

Heterogene Strukturen und Voraussetzungen erfordern dabei differenzierte staatliche Eingriffe. Die Fragen, ob und inwieweit diese Maßnahmen erfolgreich sind oder ob gegebenenfalls nachjustiert werden muss, lassen sich allerdings nicht modelltheoretisch, sondern nur empirisch beantworten, indem man in regelmäßigen Zeitintervallen die energetische Beschaffenheit des Gebäudebestandes misst und analysiert, wie hoch die Geschwindigkeit bei der Umsetzung von Energieeffizienz- und Klimaschutzmaßnahmen tatsächlich ist. Ein solches „Nachmessen“ erfordert eine Datenlage, die der Heterogenität des deutschen Gebäudebestandes gerecht wird und gleichzeitig die Dynamik entsprechend zu erfassen vermag.

Die fortlaufende amtliche Bautätigkeitsstatistik wird dieser Aufgabe genauso wenig gerecht wie die 2011 im Rahmen des Zensus durchgeführte Gebäude- und Wohnungszählung. Auch regelmäßige Mehrthemenbefragungen von Haushalten wie der Mikrozensus bzw. die darin alle vier Jahre integrierte Zusatzerhebung zur Wohnsituation, die Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) oder das Sozio-oekonomische Panel (SOEP) liefern bestenfalls partielle Informationen. Wenn überhaupt, enthalten alle diese Quellen die erforderlichen Daten für den Wohngebäudebestand. Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist darin weder strukturell ausreichend abgebildet, noch sind Daten zur energetischen Beschaffenheit verfügbar. Vor diesem Hintergrund ist es unabdingbar, eigenständige Datenerhebungen zu konzipieren und durchzuführen, die die benötigten Informationen erstmalig und dann regelmäßig bereitstellen können, möglicherweise in Zukunft sogar die amtliche Statistik ergänzen.

Grundsätzliche Erwägungen und Erfahrungen mit solchen Erhebungen im Wohngebäudebestand ((Cischinsky et al. 2013), (Cischinsky, Diefenbach 2018)) führten zur Konzeption des Projekts ENOB:dataNWG für die erstmalige Erhebung von Strukturen sowie Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung des Bestands der Nichtwohngebäude in Deutschland. Dessen Aufgabe bestand unter anderem darin, ein Konzept für eine „Basiserhebung“ zu entwickeln, mit der die grundlegenden Informationen über die Fortschritte beim Wärmeschutz und bei

den haustechnischen Anlagen sowie dem tatsächlichen Energieverbrauch im deutschen Nichtwohngebäudebestand regelmäßig (d.h. im Abstand weniger Jahre) erhoben werden können. Das Konzept hat dabei nicht nur einen inhaltlichen, sondern auch einen methodischen Strang, denn über die Festlegung des Datenbedarfs hinaus ist es erforderlich, eine geeignete Methodik zu entwickeln, die die gewünschten Daten repräsentativ und valide bereitzustellen vermag, ohne dabei Kosten- und Praktikabilitätsgesichtspunkte außer Acht zu lassen.

Die Erhebungsinhalte können nur über eine Befragung der Gebäudeeigentümer bzw. -verwalter erhoben werden, das zeigten die vergleichbaren Projekte im Wohngebäudebestand. Dies war Gegenstand des Projektbausteins Breitenerhebung. Damit waren zwei Aufgaben verbunden: Erstens einen geeigneten Fragebogen und zweitens ein Konzept für die Ansprache der Kontaktpersonen im sogenannten Business-to-Business (B2B) Bereich zu entwickeln. Der Fragebogen wurde am IWU erarbeitet, die fachlichen Kompetenzen aus langjähriger Forschungsarbeit im Bereich der Gebäude- und Energieforschung und die Erfahrungen aus vergleichbaren Befragungen flossen ein. Mit der Organisation und Durchführung der Befragung selbst und insbesondere mit der Qualifizierung der Kontakte zu geeigneten Gebäudeansprechpersonen im Vorfeld wurde ein professionelles Institut der Markt- und Sozialforschung, die IFAK GmbH & Co. KG, beauftragt. Auswahlkriterien bei der europaweiten Ausschreibung, die dazu durchgeführt werden musste, waren ausreichende Erfahrung mit vergleichbar groß angelegten Stichprobenerhebungen, eine Mindestfirmengröße mit ausreichend großem Stamm an festangestellten und erfahrenen Interviewern sowie Referenzen größerer Befragungen im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung sowie eine adäquate technische Ausstattung.

Darüber hinaus stellte sich im Zuge der Projektkonzeption und aus der Erfahrung anderer Erhebungen im Wohngebäudebestand sehr schnell heraus, dass gerade die Erhebung des Energieverbrauchs anspruchsvoll ist und differenzierte Hilfestellungen erforderlich macht, um zu gewährleisten, dass die Angaben der befragten Gebäudeansprechpartner logisch-konsistent, plausibel und valide sind. Dies führte zur Konzeption der Tiefenerhebung mit Begehungen vor Ort durch qualifizierte Energieberater und Face-to-face-Interviews mit fachkundigen Personen vor Ort. Der damit verbundene Aufwand musste durch die Begrenzung der Anzahl dieser Begehungen auf ein plausibles Maß reduziert werden. Damit verbunden war auch die Entwicklung des Konzepts der methodischen Einbindung, wie in Abschnitt 2.2.3. beschrieben.

Da die amtliche Statistik aktuell kein deutschlandweites, räumliches und objektscharfes Gebäuderegister enthält, wurde mit dem Rückgriff auf das deutschlandweit verfügbare Geobasisdatenprodukt Amtliche Hausumringe (HU-DE) ein neuartiger Ansatz gewählt. Dies war die einzige Möglichkeit, um die Auswahlgrundlage für eine Stichprobenziehung im Nichtwohngebäudebestand mit vertretbarem Aufwand zu generieren. Die damit verbundene Analyse und Aufbereitung der Geobasisdaten durch den Verbundpartner IÖR ist im folgenden Abschnitt 2.4.2 beschrieben. Einzige Alternative wäre eine Vollerhebung gewesen, die angesichts des dazu erforderlichen Aufwands an Zeit und Geld von vorne herein ausgeschlossen war.

Die Hausumring-Datenbank erfüllt zwar die Minimalanforderungen an eine Auswahlgrundlage, ist jedoch trotz der umfangreichen und anspruchsvollen Aufbereitungsmaßnahmen nicht ideal. Denn das inhaltliche Erkenntnisinteresse richtet

sich auf Nichtwohngebäude als Untersuchungseinheiten der vorliegenden Erhebung. Ein besonderer Fokus ist dabei auf GEG-relevante Nichtwohngebäude gerichtet. Um die Defizite der Auswahlgrundlage auszugleichen, insbesondere zur Recherche von Gebäudeansprechpartnern, war eine vorgeschaltete Vor-Ort-Begehung, das Screening unausweichlich. Das Screening war eine aufwändige erhebungspraktische Maßnahme mit großen Auswirkungen auf das Stichprobenauswahlverfahren und daher auf die gesamte stichprobentheoretische Modellierung der Erhebung, die in (Cischinsky 2021) ausführlich dargestellt ist. Außerdem gibt es für ein solches Screening weitere Argumente, die in Abschnitt 2.4.3 erläutert sind; die zentrale Notwendigkeit ergibt sich allerdings aus dem Umstand, dass es ohne eine solche Vor-Ort-Begehung nicht lückenlos möglich gewesen wäre, an Informationen zu gelangen, die die Identifizierung geeigneter Gebäudeansprechpartner erlauben.

Stichprobenumfang

Die Festlegung des Stichprobenumfangs stand im Spannungsfeld zweier konkurrierender Ziele, nämlich zum einen der Notwendigkeit, die stichprobenbedingte Ergebnisunsicherheit zu minimieren, und zum anderen dem Ziel, die Erhebungskosten auf einen angemessenen Umfang zu begrenzen.

Dieser Zielkonflikt wurde durch die ambitionierte Vorgabe eines anzustrebenden Nettostichprobenumfangs von möglichst 10.000 GEG-relevanten Nichtwohngebäuden aufgelöst. Denn dadurch können die typischerweise im unteren einstelligen Prozentbereich liegenden, bauteilbezogenen Modernisierungsraten auch für Teilssegmente des Gebäudebestands mit vertretbarer statistischer Unsicherheit bestimmt werden, sofern die Untergruppen ausreichend viele GEG-relevante Nichtwohngebäude umfassen. Die angestrebte Zahl von 10.000 Gebäudedatensätzen mit validen Informationen zum Modernisierungsgeschehen, aber auch zu typologischen Merkmalen, zum Wärmeschutz, zur Gebäudetechnik sowie zum Bewirtschaftungsverhalten und den Eigentümerstrukturen ist hinsichtlich der Aussagekraft der Ergebnisse, aber auch hinsichtlich der damit verbundenen Erhebungskosten eine sinnvoll austarierte Größe. Und selbst wenn diese ambitionierte Größenordnung – wie sich im Nachhinein herausstellte (vgl. Abbildung 4) – doch nicht erreicht werden kann und man sich mit weniger Gebäudedatensätzen begnügen muss, ist damit noch nicht das Untersuchungsziel gefährdet.

Was die Erhebung von Energieverbrauch und -bedarf angeht, wäre ein ebenso großer Nettostichprobenumfang fraglos wünschenswert. Angesichts des ungleich höheren Erhebungsaufwandes, der erforderlichen Fachkompetenz des Interviewers und nicht zuletzt mit Blick auf die Auskunftsbereitschaft der Befragten fiel die Entscheidung, erhebungsorganisatorisch zwischen einer Breiten- und einer nachgelagerten Tieferhebung zu unterscheiden und die Erhebung von Energieverbrauch und -bedarf auf die Tieferhebung von bis zu 1.000 Gebäuden zu beschränken, die sich aus den „Breitenerhebungsgebäuden“ rekrutieren.

Um die mehrheitlich nur auf dem Befragungswege zu erhebenden Daten für im Idealfall 10.000 GEG-relevante Nichtwohngebäude zu erreichen, ist eine wesentlich größere Bruttostichprobe erforderlich, denn erfahrungsgemäß kommt aus unterschiedlichen Gründen nur in einem kleinen Teil der Fälle ein auswertbares Interview mit einem auskunftswilligen Gebäudeansprechpartner zustande. Zur Beantwortung der Frage, wie groß der entsprechende Hebel sein muss, existieren

mangels vergleichbarer Vorgängeruntersuchungen jedoch keine belastbaren Erfahrungen, so dass ersatzweise auf Erfahrungswerte aus – thematisch allerdings anders gelagerten – schriftlich-postalischen Gebäude- bzw. Wohnungseigentümersbefragungen zurückgegriffen wurde, wo gewöhnlich von Response- bzw. Rücklaufquoten in einer Größenordnung von rund 20% berichtet wird¹⁴. Die tatsächliche Responsequote in der Breitenerhebung von ENOB:dataNWG lag bei knapp 14%, ein Ergebnis das für zukünftige Erhebungen dieser Art mehr Planungssicherheit gewährleisten kann.

Dies führte zu dem Ziel, im der Breitenerhebung vorgelagerten Screening möglichst 50.000 mutmaßlich GEG-relevante Nichtwohngebäude zu identifizieren¹⁵, um für die sich anschließende Breitenerhebung einen ausreichend großen Vorrat an Untersuchungsgebäuden vorhalten zu können. Da sich die Stichprobenziehung auf Hausumringe als Erhebungseinheiten erstreckte, war eine Entscheidung dahingehend zu treffen, wie viele Hausumringe zu ziehen sind, um diese Zielvorgabe zu erfüllen. Zum einen aufgrund der nicht notwendigerweise eindeutigen Beziehung zwischen Hausumring und Nichtwohngebäude und zum anderen aufgrund der methodisch gebotenen Notwendigkeit, auch Hausumringe mit Relevanzwahrscheinlichkeiten kleiner als 1 in die Hausumring-Stichprobe aufzunehmen¹⁶, fiel die Entscheidung, doppelt so viele Hausumringe zu screenen wie mutmaßlich GEG-relevante Nichtwohngebäude identifiziert werden sollen, d. h. für das Screening eine Stichprobe von 100.000 Hausumringen zu ziehen.

In der Breitenerhebung recherchierte das Marktforschungsinstitut IFAK im Rahmen der Kontaktqualifizierung die Ansprechpersonen und führte 6.011 ca. halbstündige Interviews durch, um die erforderlichen Gebäudedaten zu erheben. Davon waren 5.630 Interviews für die Zwecke der Breitenerhebung auswertbar. In der Tiefenerhebung konnten 464 Gebäude begangen und vertieft analysiert werden.

¹⁴ So berichten (Cischinsky et al. 2015 S. 37) im Rahmen einer bundesweiten schriftlich-postalischen Befragung der Eigentümer von Mietwohnungen in Mehrfamilienhäusern von einer Rücklaufquote (bezogen auf den auswertbaren Rücklauf) von 22,0%. (Cischinsky, Diefenbach 2018 S. 34) erreichten bei einer bundesweiten Wohngebäudeerhebung, bei der ebenfalls Eigentümer schriftlich-postalisch befragt wurden, eine Rücklaufquote von 18,2%.

¹⁵ Eine treffsichere Feststellung der GEG-Relevanz ist vom öffentlichen Raum aus nicht möglich, so dass im Screening nur entsprechende Mutmaßungen angestellt werden konnten. Eine endgültige Entscheidung hinsichtlich der GEG-Relevanz konnte daher erst im Zuge der Befragung während der Breitenerhebung getroffen werden. Vergleichbares galt auch für die Abgrenzung zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden im Falle gemischt genutzter Gebäude, die im Einklang mit der Definition der amtlichen Statistik nur anhand der Gegenüberstellung der entsprechenden Nutzflächen vorgenommen werden kann (vgl. auch Fußnote **Fehler! Textmarke nicht definiert.**). Aus methodischen Gründen wurden alle im Screening identifizierten Gebäude, bei denen zumindest die Möglichkeit bestand, dass es sich um GEG-relevante Nichtwohngebäude handelt, in die Bruttostichprobe der Breitenerhebung aufgenommen (sog. breitenerhebungsrelevante Gebäude, vgl. Abbildung 4-1), um dort eine endgültige Klärung herbeizuführen.

¹⁶ Anderweitig wäre eine der Voraussetzungen zur Herstellung von Erwartungstreue und zur Schätzung von Standardfehlern, nämlich die Gewährleistung positiver Ziehungswahrscheinlichkeiten für alle Nichtwohngebäude der Grundgesamtheit, verletzt worden.

2.4.2 Teilprojekt B: Erhebung von Gebäudemerkmale und Gebäudeklassifikation durch Geodatenanalyse (IÖR)

Wie oben ausgeführt, sind die in der Stichprobe zu ziehenden Erhebungseinheiten somit Hausumringe, die sich jedoch von den eigentlichen Untersuchungseinheiten, den Nichtwohngebäuden, unterscheiden. Aufgrund dessen war es erforderlich, alle ca. 48 Mio. Hausumringe der Datenbank geoinformatisch zu analysieren und mit Merkmalen anzureichern, die möglichst mit der Eigenschaft, ein GEG-relevantes Nichtwohngebäude zu sein, korrelieren (siehe (Hartmann et al. 2020a)). Außerdem wurde die Relevanz der Erhebungseinheiten in einer begrenzten Anzahl von Fällen anhand von Realdaten überprüft (Pilotphase), die als Ergebnis lokaler Erhebungen oder in Gestalt weiterer Gebäudeinformationen aus ALKIS und den 3D Gebäudedaten (LoD1) zu Projektbeginn vorlagen. Dadurch war die Zuweisung einer Relevanz-Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein beliebiger Hausumring ein GEG-relevantes Nichtwohngebäude ganz oder teilweise überdeckt, im Rahmen eines binär-logistischen Regressionsmodells möglich. Die beschriebene Wahrscheinlichkeitszuweisung erlaubte eine effiziente Stichprobenziehung. Der Stichprobenumfang konnte so gesteuert werden, dass sich in der Stichprobe eine erwartete Zahl von Hausumringen befindet, die GEG-relevante Nichtwohngebäude ganz oder teilweise überdecken. Auch die Bildung der Erhebungsbezirke und somit die Organisation der Vor-Ort-Begehungen geschah unter Rückgriff auf die wahrscheinliche Verteilung der Nichtwohngebäude (siehe (Schorcht et al. 2021)). Die Analyse und Bearbeitung der Geodaten mit anschließender Generierung der Auswahlgrundlage bildete die Basis des Projekts ohne die eine effiziente flächendeckende Erhebung der deutschen Nichtwohngebäude auf Stichprobenbasis nicht gelungen wäre.

Zu Projektbeginn wurden mit den 3D Gebäudemodellen (LoD1) zusätzliche Geodaten verfügbar, welche durch ergänzende semantische Informationen einen deutlichen Mehrwert in Bezug auf die Identifikation von Nichtwohngebäuden versprachen. Das Forschungskonsortium beschloss daher, den erhöhten Zeitbedarf für die Prüfung und Einbeziehung der zusätzlichen Daten in Kauf zu nehmen. Der gewählte Ansatz stellte sich als geeignet heraus, um in Kopplung mit dem gewählten stichprobenmethodischen Ansatz Nichtwohngebäude zu identifizieren und diese anschließend großflächig zu erheben.

2.4.3 Teilprojekt C: Screening des Nichtwohngebäudebestands (BUW)

Das Screening erfüllte vier wichtige Aufgaben, die für das Gesamtprojekt von entscheidender Bedeutung waren:

- Relevanz: Ob ein Hausumring tatsächlich ein GEG-relevantes Nichtwohngebäude ganz oder teilweise überdeckt und somit überhaupt relevant für die Erhebung ist, wurde im Rahmen der Vor-Ort-Begehung entschieden, die an 100.000 Orten von Hausumringen durchgeführt wurde.
- Verhältnis HU / Gebäude: Weiterhin musste das Beziehungsgeflecht zwischen Hausumringen und Gebäuden geklärt werden. Denn häufig decken Hausumringe nur einen Teil eines Gebäudes ab, wenn man übliche Kriterien für die Definition des „einzelnen Nichtwohngebäudes“ heranzieht.

- Ansprechpartner: Vor Ort mussten gleichzeitig Hinweise auf geeignete Auskunftspersonen erhoben werden, denn aus Datenschutzgründen war dem Forschungskonsortium der Zugriff auf Adress- oder Eigentümerdaten nicht erlaubt.
- Strukturdaten: Einige grundlegende Strukturdaten wurden bereits im Screening für eine außerordentlich große Stichprobe von Gebäuden gesammelt.

Insgesamt war die Vor-Ort-Erfassung im Rahmen des Screenings mit einem hohen organisatorischen und personellen Aufwand verbunden, der aber aus methodischen Gründen notwendig und nicht vermeidbar war. Die vorgestellten Aufgaben des Screenings stellten eine entscheidende Grundlage für die Umsetzung der zeitlich folgenden Projektbausteine der Breiten- und Tieferhebung dar. Durch die Nutzung einer für diese spezielle Erhebungsaufgabe erstellte Erhebungss Applikation und das wegesparende dezentrale Konzept der Personalakquise konnte eine effiziente Umsetzung des Projektbausteins erfolgen.

2.4.4 Qualitätssicherung

Auf allen Ebenen der Erhebung - dem Screening, der Breiten- und der Tieferhebung - wurden Maßnahmen zur Qualitätssicherung der Ergebnisse getroffen. Das erhöhte zwar den Erhebungsaufwand beträchtlich, war aber erforderlich, um gleichbleibende Qualität und Intersubjektivität bzgl. des eingesetzten Erhebungspersonals zu erreichen.

Screening (BUW)

Neben dem Screening-Personal im Feld wurde an der BUW ein Kontrollteam eingerichtet. Dieses hatte die Aufgabe, das Feldpersonal zu akquirieren, zu schulen und über die gesamte Feldphase hin zu betreuen. Außerdem sicherte das Kontrollteam die Qualität der Erhebungsergebnisse.

Das Erhebungspersonal wurde in Schulungen auf die Aufgabe inhaltlich vorbereitet und mit der Bedienung der Screening-App vertraut gemacht. Dabei wurde auch vereinbart, dass nach dem ersten Erhebungstag ein Zwischenupload durchgeführt wird. Die hochgeladenen Ergebnisse wurden vom Kontrollteam überprüft („Q-Check“), anschließend gab es eine Nachbesprechungen, bei welchen einzelnen Fälle durchgegangen und generelle Verbesserungsvorschläge und Erhebungstipps gegeben wurden.

Wenn der Q-Check ergab, dass die Erhebungsaufgabe noch unzureichend verstanden wurde, wurde ein neuer Upload nach einem weiteren Erhebungstag vereinbart und eine erneute Zwischenkontrolle vorgenommen. In den Fällen, in denen die Q-Checks und die Endkontrolle des ersten Erhebungsgebietes größere Mängel aufwiesen und eine Verbesserung der Erhebungsergebnisse im Laufe der Erfassung des Gebietes nicht erkennbar war, wurden der betreffenden Person keine weiteren Gebiete zugeteilt und die Zusammenarbeit beendet.

Nach dem Upload eines vollständig erfassten Erhebungsgebietes überprüfte das Kontrollteam der Bergischen Universität Wuppertal die Erhebungsergebnisse. Das Kontrollteam bestand aus vier qualifizierten Architekt*innen und Stadt-/Raumplaner*innen. Im Rahmen der Kontrollen wurde jede der 100.000 erfassten Hausumring-Situationen mit Hilfe der programmierten Kontrolloberfläche eingesehen und

fehlerhafte Gebäudeabgrenzungen sowie Merkmalsfestlegungen korrigiert. Obwohl häufig ergänzende Luftbildeinschätzungen durchgeführt wurden, konnte aufgrund der großen Zahl an Erhebungsobjekten und des limitierten Projektzeitrahmens in vielen Fällen jedoch nur eine kurze Überprüfung der Gebäudesituation auf Basis des vorhandenen Bildmaterials erfolgen. Bei Bedarf wurden im Zuge der Kontrollen Gebäudeabgrenzungen und Merkmalsausprägungen verändert.

Zudem wurde eine Editierung der Hausumring-Polygonfläche im Geoinformationssystem vorgenommen, wenn ein Hausumring mehrere Gebäude (teilweise oder vollständig) umfasste oder wenn eine Anpassung der Form des Hausumrings erfolgen musste, da die Polygonabgrenzung stark von der vorgefundenen Situation vor Ort abwich. Besonders die erste Fallkategorie, bei der Hausumringe dupliziert, eine Grenze definiert und die Überdeckungsflächen entfernt werden mussten, nahm viel Zeit in Anspruch: Knapp über 800 Hausumring-Teilungsfälle wurden auf diese Weise manuell editiert.

Breitenerhebung (IFAK und IWU)

Im Unterschied zum standardmäßigen Procedere für telefonische Interviews von Marktforschungsunternehmen bzw. Felddienstleistern bestand die entscheidende Herausforderung für das Marktforschungsunternehmen IFAK bei den Breiteninterviews in der Förderung der Teilnahmebereitschaft sowie der Kontaktqualifizierung, d.h. jene Person zu identifizieren, die fachlich die Fragen beantworten kann und willens ist, dies zu tun. Je „größer“ und „anonymer“ die Einheiten (Firmen, Behörden, Eigentümer usw.) sind, desto intensiver musste nach dem relevanten Ansprechpartner gesucht werden. Deshalb wurden wenige, aber sehr spezialisierte Interviewer(innen) mit hoher kommunikativer Kompetenz, eingesetzt.

Auch bei IFAK wurde ein Kontrollteam eingerichtet, das alle Interviews einer Plausibilitätsprüfung unterzog. Die Datenprüfung verfolgte das Ziel, für die Auswertung weitgehend widerspruchsfreie und plausible Datensätze zur Verfügung zu stellen.

Durch den Einsatz der NEBU-Software für die Erstellung des Fragebogens und EDV-gestützte Befragung wurden grundlegende Qualitätsparameter gesichert, da

- Interviewer und Befragte durch den elektronischen Fragebogen geführt wurde und Filterfehler damit ausgeschlossen waren,
- jeder Fragebogen automatisch auf Vollständigkeit geprüft wurde,
- Plausibilitätsprüfungen, wie z.B. Summenprüfungen, Definition von Min-/Max-Werten, eingearbeitet wurden.

Während des Interviews erfolgten formal-logische Plausibilitätschecks innerhalb einzelner Fragen, wie z.B. Zulässigkeit von Mehrfachantworten oder Gültigkeitsbereiche von numerischen Antworten. Im Verlauf des Interviews wurden bestimmte Informationen zwischen einzelnen Fragen auf Plausibilität geprüft. Dadurch wurde gesichert, dass mögliche Unplausibilitäten während des Interviews (und nicht nur durch spätere Schritte) geklärt werden konnten.

Bevor der Datensatz an IWU übergeben wurde, erfolgte ein Datencheck. Hier wurden insbesondere „Ausreiserwerte“ kontrolliert und wichtige Gebäudeeckdaten mit den Fotos aus dem Screening abgeglichen. Außerdem wurden die Freitextfelder zu weiteren Interviewangaben geprüft. Eine fachliche Bewertung der Daten erfolgte nicht.

Im Verlauf der Breitenerhebung wurden IWU weitere Informationen bereitgestellt:

- Interviewnummer
- Interviewdauer
- Angabe, ob Telefon-, Onlineinterview oder Duplikat
- Anmerkungen von IFAK über Auffälligkeiten in den Daten
- Anmerkungen des Ansprechpartners, wenn nicht exakt zum Gebäudeumriss das Interview geführt werden konnte

Interviews mit Inhalten, die bei der Kontrolle als auffällig bewertet wurden, wurden gesondert gekennzeichnet und an IWU zur weiteren inhaltlichen Überprüfung übergeben.

Tiefenerhebung (IWU)

Die Qualitätssicherung der in der Tiefenerhebung erfassten Daten erfolgt in mehreren Schritten:

- Plausibilitätskontrollen und Warnhinweise in den EXCEL-Erfassungsmasken des Tools VSA 2.0. Fehlten relevante Werte oder waren eingegebene Werte inkompatibel zueinander, so erfolgte, entweder durch farbliches Kennzeichnen der entsprechenden Zellen, Einblenden von Warntexten oder von Warnmeldungen eine direkte Rückkopplung an den Fachinterviewer.
- Händische Durchsicht aller Erfassungsmasken unter Berücksichtigung möglicher Anmerkungen der Fachinterviewer und der Gebäudefotos. Hierbei wurde hauptsächlich geprüft, ob alle relevanten Daten erfasst wurden und keine groben Unplausibilitäten oder Abweichungen zu der realen Gebäudesituation auf Basis der Gebäudefotos und den Daten aus der Breitenerhebung aufgetreten waren. Fehlende oder unplausible Werte wurden über direkte Rückfragen an die Fachinterviewer - zeitnah zur Gebäudeerfassungen – geklärt und korrigiert.
- Mehrfach händische Durchsicht des kompletten Datensatzes aller Tiefenerhebungsgebäude durch verschiedene Experten. Hierbei wurde insbesondere auf Ausreißer, Formatfehler und Unplausibilitäten zwischen den Variablen geprüft.
- Mehrfach händische Durchsicht aller Berechnungsergebnisse zum Energiebedarf aus dem TEK-Tool durch verschiedene Experten. Im Falle von großen Abweichungen des Bedarfs vom ermittelten Verbrauch bzw. von anderen Fehlern wurden die Fehlerursachen ermittelt und jeweils im Einzelfall geprüft. Im Fall von fehlerhaften Dateneingaben (zum Beispiel „.“ als Dezimaltrennzeichen oder sonstige Tippfehler) wurde der Erfassungsdatsatz entsprechend korrigiert.
- Maschinelle Prüfung von EXCEL-typischen Zellfehlern, Zellformatierungen sowie Abgleich der Zellinhalte mit den in der Variablendokumentation hinterlegten gültigen Variablenausprägungen.

Alle Korrekturen an den Erfassungsdatensätzen wurden unter Nennung der entsprechenden Gebäude-IDs sowie der angepassten Variablen dokumentiert.

2.5 Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse

Als Ergebnis des Verbundprojektes ENOB:dataNWG entstand ein einmaliger Datenbestand über Nichtwohngebäude in Deutschland, der den erwartungstreuen Rückschluss von der Stichprobe auf die Verhältnisse der Grundgesamtheit aller Nichtwohngebäude sowie die damit einhergehende Quantifizierung der Ergebnisunsicherheit nach Maßgabe der Stichprobentheorie erlaubt. Dieser Datenbestand kann für die Zwecke der Gebäude- und Energieforschung sowie für immobilienwirtschaftliche, energetische und geoinformatische Analysen genutzt werden. Der Zugriff für Dritte ist im Wege des Fernrechnens möglich.

Die Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude bildet die Grundlage für detaillierte Auswertungen von Strukturdaten wie Anzahl, Fläche, Kompaktheit, Nutzung, Standort etc. und insbesondere zur energetischen Beschaffenheit von Gebäudehülle und technischen Anlagen sowie zu den Modernisierungstrends im deutschen Nichtwohngebäudebestand im Hinblick auf Maßnahmen der Energieeffizienz.

Wichtige Ergebnisse stellen die Modernisierungsraten der Bauteile der Gebäudehüllen und der haustechnischen Anlagen im Gebäudebestand dar. Nur so können Modelle und Szenarien zukünftige Entwicklungspfade auf Basis realistischer Daten zum heutigen Zustand entwickeln bzw. rückwirkend die Wirkung politischer Instrumente in Gestalt eines abgestimmten Einsatzes geeigneter Instrumente wie ordnungsrechtlicher Vorgaben, ökonomischer Anreize sowie „weicher“ Maßnahmen zur Verbesserung der Information und Markttransparenz evaluieren.

Die Auswertung der umfangreichen Informationen, die in der Tieferhebung von mehreren hundert Nichtwohngebäuden erfasst wurden, liefern zusätzliche Erkenntnisse über den tatsächlichen Energieverbrauch im Nichtwohngebäudebestand. Der Vergleich mit vereinfachten Berechnungen des Bedarfs ermöglicht methodische Weiterentwicklungen der Berechnungswerkzeuge als Voraussetzung für belastbare Szenarioanalysen.

Ein besonderer Nutzen der verschiedenen Erhebungen besteht auch darin, die Attributsicherheit der Geobasisdaten sowie die geoinformatischen Methoden und Algorithmen anhand der im Screening vor Ort erhobenen Realdaten validieren zu können. Dies ist besonders im Hinblick auf ein regelmäßiges Gebäudebestandsmonitoring interessant. Auch stehen jetzt Daten zu den Hüllflächen der Gebäude zur Verfügung, die aus den Geobasisdaten abgeleitet werden konnten.

Am IÖR sind bereits Ansätze zur besseren maschinellen Ableitung von Gebäuden aus Geometriedaten weiterentwickelt worden. In einer Analyse wurde die Trennbarkeit von Wohn- und Nichtwohngebäudebestand mit Hilfe von maschinellen Lernverfahren untersucht ((Hartmann et al. 2022), Manuskript in Begutachtung). Es konnte dabei gezeigt werden, dass eine Trennung von Wohn- und Nichtwohngebäuden möglich ist. Erste Analysen mittels Random Forest-Klassifikation ergeben, dass Wohn- und Nichtwohngebäude mit einer Genauigkeit von ca. 90% klassifiziert werden können.

2.6 Forschungsergebnisse anderer Akteure

Im Verlaufe des Projekts sind folgende Ergebnisse anderer Akteure bekannt geworden, die für das Projekt ENOB:dataNWG relevant waren.

CASA Monitor Energie 2020

Die infas 360 GmbH veröffentlichte Ergebnisse von Hochrechnungen auf Basis einer repräsentativen Online-Umfrage von rund 10.000 Haushalten zum Sanierungsgeschehen in Wohngebäuden in ganz Deutschland (Kroth, Nelleßen 2020).

Mit den Befragungsergebnissen wurde – mutmaßlich mittels einer binär-logistischen Regressionsanalyse – ein funktionaler Zusammenhang zwischen Gebäude- und Bewohnermerkmalen auf der einen und der Sanierungstätigkeit auf der anderen Seite geschätzt, der Ausgangspunkt war, um 22 Mio. Einzelgebäuden Sanierungswahrscheinlichkeiten (unterteilt nach Außenwanddämmung, Heizungserneuerung, Dachdämmung und Erneuerung von Fenstern und Türen) zuzuordnen. Auf dieser Basis wiederum konnten regionale jährliche Gebäude-Sanierungsquoten für alle Postleitzahlgebiete in Deutschland angegeben werden.

Da weder zur Güte der Schätzgleichung noch zur Validität der Eingangsdaten der 22 Mio. Einzelgebäude Angaben veröffentlicht sind, entziehen sich die Vorgehensweise und die erzielten Ergebnisse einer wissenschaftlichen Bewertung. Davon losgelöst stellt sich die Frage nach dem Nutzen postleitzahlengenaue Sanierungsquoten.

Nationales Gebäuderegister

Interessant sind die Diskussionen um die Einführung eines Gebäuderegisters für den künftigen Zensus (Körner et al. 2019). Ein solches Register, zielgerichtet aufgebaut, hätte viele Vorteile. Unter anderem würde es repräsentative Stichprobenerhebungen im Gebäudebestand im Rahmen eines Gebäudebestandsmonitorings erheblich vereinfachen. Vielleicht wäre das sogar der Hauptzweck eines Gebäuderegisters. Aufwand und Kosten für ein regelmäßiges Monitoring würden dadurch sinken, die Ergebnisse präziser werden.

Das Gebäuderegister könnte auf wenige Gebäudebasismerkmale begrenzt werden, die entweder im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens bzw. im Zuge der Baufertigstellungsanzeige ohnehin anzugeben sind - sofern die Merkmale unveränderbar sind (z.B. das Fertigstellungsjahr) oder ihre Änderung genehmigungs- oder wenigstens anzeigepflichtig ist (z.B. Anzahl Vollgeschosse) - oder die in anderen öffentlichen Registern bereits enthalten sind, insbesondere dem Grundbuch (Eigentumsverhältnisse) und dem Liegenschaftskataster (Geometrie).

Angesichts der herausragenden Bedeutung des Gebäudesektors sowohl für die Volkswirtschaft insgesamt als auch für die Erreichung der Klimaschutzziele und die daraus folgende Notwendigkeit, ein regelmäßiges Gebäudebestandsmonitoring zu etablieren, sollte mit dem Aufbau eines Gebäuderegisters so bald wie möglich begonnen werden.

Aus dem Projekt *ENOB:dataNWG* heraus wurden im Workshop "Auf dem Weg zu einem Gebäude- und Wohnungsregister - Erwartungen und Perspektiven" im August 2021, durchgeführt vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) und dem Statistischen Bundesamt, Hinweise gegeben, welche Eigenschaften ein solches Register für ein Gebäudebestandsmonitoring haben müsste.

2.7 Veröffentlichungen

2.7.1 Dokumentation der Abschlusstagung

Die digitale Abschlusstagung fand am 28. und 29. April 2021, Programm und Präsentationen sowie Videomitschnitte der Veranstaltung stehen unter <https://www.datanwg.de/downloads/abschlusstagung/> zum Download bereit.

2.7.2 Fernrechnen

Die Möglichkeit, individuelle Auswertungen aus der Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude zu erstellen, besteht im Wege des Fernrechnens unter <https://www.datanwg.de/forschungsdatenbank/>.

2.7.3 Publikationen, Teilberichte und Projektinformationen

Teilergebnisse sind als Publikationen in Fachzeitschriften oder als Zwischenberichte und Projektinformationen auf der Projekt-Homepage <https://www.datanwg.de/downloads/> veröffentlicht. Auch im Projekt entwickelte Tools stehen hier zum Download zur Verfügung.

Publikationen in Fachzeitschriften

Schwarz, Steffen; Hartmann, André; Hecht, Robert; Schorcht, Martin; Meinel, Gotthard; Behnisch, Martin (2021). Bestandsaufnahme Amtliche 3D-Gebäudemodelle im LoD1: Eine Metadatenanalyse. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, (3/2021), 198–206.

Hartmann, André; Meinel, Gotthard; Hecht, Robert; Behnisch, Martin (2022). On the Separability of residential and non-residential Building Stock by Means of Random Forest Methods. *Manuskript in Begutachtung: International Journal of Digital Earth*.

Teilberichte

(<https://www.datanwg.de/downloads/berichte/>)

Hörner, Michael; Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2022). *Teilbericht Strukturdaten: Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung von Gebäudehüllen und haustechnischen Anlagen im Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland*. (ENOB:dataNWG Teilbericht Nummer E 4.2). Darmstadt: IWU.

Busch, Roland; Spars, Guido; Müller Ann-Katrin; Wardzala, Stephan (2021). *Teilbericht Screening*. (ENOB:dataNWG Teilbericht Nummer E 1.2). Wuppertal: BUW.

Cischinsky, Holger (2021). *Stichprobe: Modellierung und Ziehung*. (ENOB:dataNWG Teilbericht Nummer E 1.4.5). Darmstadt: IWU.

Bischof, Julian; Hörner, Michael; Cischinsky, Holger; Ritter, Volker (2021). *Teilbericht Tiefenerhebung Zielsetzung, Methodik und Organisation*. (ENOB:dataNWG Teilberichte E.1.3, E.2.3, E.3.3). 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.

Schorcht, Martin; Hartmann, André; Behnisch, Martin; Hecht, Robert; Meinel, Gotthard; Schwarz, Steffen (2021). *Teilbericht Erhebungsbezirke*. (ENOB:dataNWG Teilbericht Nummer E 1.4.4). Dresden: IÖR.

Steffen Schwarz, André Hartmann, Martin Schorcht, Gotthard Meinel, Martin Behnisch, Robert Hecht (2022). *Teilbericht Begehungsunterlagen*. (ENOB:dataNWG Teilbericht Nummer E 1.4.6). Dresden: IÖR.

Hörner, Michael; Cischinsky, Holger (2020). *Fragebogen der Breitenerhebung in ENOB:dataNWG*. Darmstadt: IWU.

IFAK (2019). ENOB:dataNWG Feldbericht Hauptphase Breitenerhebung. *IFAK Institut für Markt- und Sozialforschung GmbH & Co. KG*.

Projektinformationen

(<https://www.datanwg.de/downloads/projektinformationen/>)

Hörner, Michael (2020). *Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude*. [ENOB:dataNWG Projektinfo 1]. Darmstadt: IWU.

Busch, Roland; Müller, Ann-Katrin (2020b). *Erhebungsmerkmale und Merkmalsausprägungen im Screening*. [ENOB:dataNWG Projektinfo 3]. Wuppertal: BUW.

Busch, Roland; Müller, Ann-Katrin (2020a). *Definition und Abgrenzung von Nichtwohngebäuden im Screening*. [ENOB:dataNWG Projektinfo 4]. Wuppertal: BUW.

Hartmann, André; Hörner, Michael; Rodenfels, Markus (2020b). *Berechnung der Hüllflächen aller Gebäude in der Stichprobe*. [ENOB:dataNWG Projektinfo 6]. Dresden: IÖR.

Busch, Roland (2020). *Screening – Ablauf der Vor-Ort-Erhebung und Struktur der Erhebungsfälle*. [ENOB:dataNWG Projektinfo 7]. Wuppertal: BUW

Hörner, Michael (2021). *Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist vermessen*. (ENOB:dataNWG Projektinformation Nummer 8.3). Darmstadt: IWU.

Hörner, Michael (2021). *Zentrale Raumluftechnik in GEG-relevanten Nichtwohngebäuden*. (ENOB:dataNWG Projektinformation Nummer 9). Darmstadt: IWU.

Busch, Roland; Hörner, Michael (2021). *Immobilienwirtschaftliche Auswertungen zum Büroflächenbestand*. [ENOB:dataNWG Projektinformation 10]. Wuppertal: BUW.

Tools

(<https://www.datanwg.de/downloads/tools/>)

Toolbox VSA 2.0 (gefördert von KfW Bankengruppe)

Das Ziel für die Entwicklung von VSA 2.0 war die schnelle energetische Erfassung von Gebäudebeständen, also von vielen Gebäuden in kurzer Zeit, in Begehungen vor Ort durch Fachpersonal. Der Schwerpunkt liegt auf der Erfassung von Nichtwohngebäuden und den komplexeren Nutzungen, die dort vorherrschen. Dabei musste ein Mittelweg zwischen Detaillierungsgrad und Zeitaufwand der Erfassung gefunden werden. Aus den erhobenen Daten werden "auf Knopfdruck" Energiebedarfe mit dem TEK-Tool 9.24 des IWU berechnet. (Verfügbar unter: <https://github.com/IWUGERMANY/VSA-2.0---Tool-Chain>)

Dynamic ISO Building Simulator

Der Dynamic ISO Building Simulator (DIBS) ist ein Simulationsprogramm zur Berechnung des Endenergiebedarfs für Heizung und Kühlung von Nichtwohngebäuden in Deutschland. Der DIBS baut auf dem etablierten dynamischen Stundenbilanzverfahren der ISO 13790 auf und erweitert dieses um verschiedene Aspekte, z.B. die Nachtlüftung zur Reduktion des sommerlichen Kältebedarfs. Das Simulationsprogramm erlaubt die Berechnung von einzelnen Gebäuden sowie von Gebäudebeständen. Die Entwicklung des Programms fand im Projekt ENOB:dataNWG statt. Es ist für Bedarfsberechnungen mit den wenigen Erhebungsdaten von ENOB:dataNWG konzipiert. So sind im Fall der Breitenerhebung nur 36 Eingangsdaten pro Gebäude notwendig. (Verfügbar unter: <https://github.com/IWUGERMANY/DIBS---Dynamic-ISO-Building-Simulator>)

Anhang A Literaturverzeichnis

- Bischof, Julian; Hörner, Michael; Cischinsky, Holger; Ritter, Volker (2021). *Teilbericht Tiefenerhebung Zielsetzung, Methodik und Organisation*. (Teilbericht Nummer ENOB:dataNWG Teilberichte E.1.3, E.2.3, E.3.3). Darmstadt: IWU.
- 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.
- 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 (2020a). *Definition und Abgrenzung von Nichtwohngebäuden im Screening*. [ENOB:dataNWG Projektinfo 4]. Wuppertal: BUW.
- Busch, Roland; Müller, Ann-Katrin (2020b). *Erhebungsmerkmale und Merkmalsausprägungen im Screening*. [ENOB:dataNWG Projektinfo 3]. Wuppertal: BUW.
- Busch, Roland; Spars, Guido; Müller, Ann-Katrin; Wardzala, Stephan (2021). *Teilbericht Screening*. (ENOB:dataNWG Teilbericht Nummer E.3.1.). Wuppertal: Bergische Universität Wuppertal.
- Cischinsky, Holger (2021). *Stichprobe: Modellierung und Ziehung*. (ENOB:dataNWG Teilbericht Nummer E 1.4.5). Darmstadt: IWU.
- Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2018). *Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand*. IWU, Darmstadt 2018.
- Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus; Loga, Tobias (2013). *Datenaufnahme Gebäudebestand—Vorstudie zur empirischen Analyse der energetischen Entwicklung des Wohnungsbestandes: Gebäudemerkmale, Energieverbrauch, Ursachen und Hemmnisse für Investitionen*. Darmstadt: IWU.
- Cischinsky, Holger; Kirchner, Joachim; Vaché, Martin; Rodenfels, Markus; Nuss, Galina (2015). *Privateigentümer von Mietwohnungen in Mehrfamilienhäusern*. BBSR-Online-Publikation, Nr. 02/2015.
- Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, Holger (2015). *Was ist eigentlich die energetische Sanierungsrate? Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 65 (7), S. 51-53.
- 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.

- Hartmann, André; Meinel, Gotthard; Hecht, Robert; Behnisch, Martin (2022). On the Separability of residential and non-residential Building Stock by Means of Random Forest Methods. *International Journal of Digital Earth*.
- Hörner, Michael; Cischinsky, Holger (2020). *Fragebogen der Breitenerhebung in ENOB:dataNWG*. Darmstadt: IWU.
- Hörner, Michael; Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2021a). *Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung der Gebäudehülle und der haustechnischen Anlagen im Bestand der Nichtwohngebäude*. (Teilbericht Nummer E.4.2). Darmstadt: IWU.
- Hörner, Michael; Jedek, Christoph; Bagherian, Behrooz; Grafe, Michael (2017). *Teillenergiekennwerte: Neue Wege in der Energieanalyse von Nichtwohngebäuden im Bestand*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
- Hörner, Michael; Lichtmeß, Markus (2019). Energy performance of buildings: A statistical approach to marry calculated demand and measured consumption. *Energy Efficiency*, 12 (1), 139–155.
- Hörner, Michael; Rodenfels, Markus; Cischinsky, Holger; Behnisch, Martin; Busch, Roland; Spars, Guido (2021b). *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.
- IFAK (2019). ENOB:dataNWG Feldbericht Hauptphase. *IFAK Institut für Markt- und Sozialforschung GmbH & Co. KG*.
- Körner, Thomas; Krause, Anja; Ramsauer, Kathrin (2019). Anforderungen und Perspektiven auf dem Weg zu einem künftigen Registerzensus. *WISTA, Sonderheft Zensus 2021*, , S. 74-87.
- Kroth, Julia; Nelleßen, Christina (2020). *Die regionale Gebäude-Sanierungsquote für Deutschland—CASA Monitor Energie*. Bonn: infas 360 GmbH.
- Schorcht, Martin; Hartmann, André; Behnisch, Martin; Hecht, Robert; Meinel, Gotthard; Schwarz, Steffen (2021). *Teilbericht Erhebungsbezirke*. (ENOB:dataNWG Teilbericht Nummer E 1.4.4). Dresden: IÖR.
- Schwarz, Steffen; Hartmann, André; Hecht, Robert; Schorcht, Martin; Meinel, Gotthard; Behnisch, Martin (2021). Bestandsaufnahme Amtliche 3D-Gebäudemodelle im LoD1: Eine Metadatenanalyse. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, (3/2021), 198–206.
- 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*.