



**Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung**

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung



BBSR-Online-Publikation Nr. 04/2019

## **Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen**

Das Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI) durchgeführt.

ISSN 1868-0097

## IMPRESSUM

### **Herausgeber**

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

### **Wissenschaftliche Begleitung**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung  
Referat II 2 – Energieeinsparung, Klimaschutz  
Isabel Ahlke  
isabel.ahlke@bbr.bund.de

### **Auftragnehmer**

IWU – Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt  
Tobias Loga, Britta Stein, Ulrike Hacke, André Müller, Marc Großklos,  
Rolf Born, Ina Renz, Holger Cischinsky, Michael Hörner, Ines Weber

### **Stand**

Juni 2018

### **Vervielfältigung**

Alle Rechte vorbehalten

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der des Herausgebers identisch.

### **Zitierweise**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen. BBSR-Online-Publikation 04/2019, Bonn, März 2019.



Liebe Leserinnen und Leser,

bei der energetischen Sanierung von Gebäuden ist die gemessene Energieeinsparung oft geringer als vor der Sanierung berechnet. Das liegt daran, dass Normwerte als Grundlage der Berechnungen dienen. Dabei bleibt aber unberücksichtigt, wie sich das spezifische Nutzerverhalten – also der Mensch – oder auch eine Änderung der Haushaltsgröße – etwa nach einem Eigentümerwechsel – auf den Energieverbrauch auswirken.

Forscher des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) haben daher im Auftrag des BBSR untersucht, wie sich Einspareffekte realistischer als bisher abschätzen lassen. Der vorliegende Abschlussbericht des Forschungsvorhabens zeigt hierfür Wege auf. Die Erkenntnisse der Studie sind besonders für die Sanierungsberatung von Nutzen.

Darüber hinaus werden Erkenntnisse zu den weiteren positiven Effekten energetischer Modernisierungen dargestellt. Diese nicht monetären Vorzüge gilt es den Autoren der Studie zufolge stärker in den Fokus der Sanierungsberatung zu rücken.

Die vorliegende Arbeit ergänzt Studien des BBSR zu Fragen der Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungen im Wohnungsbau. Die Forschungsvorhaben werden mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau umgesetzt.

Ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre.



Dr. Markus Eltges  
Leiter des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung

# Inhalt

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>5</b>
Kernpunkte der Studie .....	5
Empirische Grundlagen der Studie .....	6
Methodik-Vorschläge .....	10
Weiterer Handlungs- und Forschungsbedarf (Kapitel 7) .....	20
<b>Executive Summary</b> .....	<b>26</b>
How to consider user aspects in the assessment of energy upgrades of residential buildings – The findings of the study in a nutshell .....	26
<b>1 Vorwort und Einführung in die Problematik</b> .....	<b>30</b>
<b>2 Nutzerverhalten und -einfluss auf den Energieverbrauch</b> .....	<b>32</b>
2.1 Empirische Daten zum Energieverbrauch von Wohngebäuden.....	32
2.2 Theoretischer Einfluss des Nutzers .....	87
2.3 Messdaten zum Nutzerverhalten und zu den Wohnbedingungen.....	126
2.4 Verhaltensmuster und Kategorisierung in Haushaltstypen .....	162
<b>3 Nicht-energetischer Nutzen von energetischen Modernisierungen und Nutzerzufriedenheit</b> .....	<b>192</b>
3.1 Mögliche positive Aspekte energetischer Modernisierungen auf der makroökonomischen Ebene.....	193
3.2 Mögliche positive Aspekte energetischer Modernisierungen auf der mikroökonomischen Ebene.....	197
3.3 Beleg durch Ergebnisse von Befragungen .....	211
3.4 Zusammenfassung .....	220
Literaturverzeichnis zum Kapitel 3 .....	221
<b>4 Methodik für die Bestimmung des erwarteten Energieverbrauchs und der typischen Streuung</b> .....	<b>226</b>
4.1 Grundsätzliche Betrachtungen zur Realitätsnähe der energetischen Bilanzierung .....	226
4.2 Baustein A: Vergleichstabellen Energieverbrauch .....	229
4.3 Baustein B: Verbrauchsprognosefunktion als Ergänzung zur EnEV .....	238
4.4 Übertragung der hergeleiteten Verbrauchsprognosefunktion auf Berechnungen nach DIN V 18599 .....	264
4.5 Baustein C: „Realbilanzierung“ mit realitätsnahen Randbedingungen.....	285
4.6 Fehlerbetrachtung: Abschätzung des Einflusses der Bandbreiten der Nutzung und anderer Parameter auf den Energiebedarf .....	292
4.7 Verbraucherorientierte anschauliche Präsentation der Vergleichswerte Energieverbrauch .....	302
4.8 Zusammenfassung und Fazit .....	307
Literaturverzeichnis zum Kapitel 4 .....	309

<b>5</b>	<b>Operationalisierung und Bewertung der Effekte energetischer Modernisierungen .....</b>	<b>311</b>
5.1	Bestehende Ansätze zur Operationalisierung des nicht-energetischen Nutzens auf makroökonomischer Ebene .....	311
5.2	Bestehende Ansätze zur Operationalisierung des nicht-energetischen Nutzens auf mikroökonomischer Ebene aus der Perspektive von Vermietern.....	314
5.3	Bestehende Ansätze zur Operationalisierung des nicht-energetischen Nutzens auf mikroökonomischer Ebene aus der Perspektive von selbstnutzenden Eigentümern und Mietern .....	316
5.4	Konzeptvorschlag für eine Bewertung des thermischen Komforts als Ergänzung zum Energieausweis .....	325
5.5	Zusammenfassung und Fazit .....	332
	Literaturverzeichnis zum Kapitel 5.....	333
<b>6</b>	<b>Illustration durch Fallbeispiele.....</b>	<b>336</b>
6.1	Beschreibung der Fallbeispiele .....	336
6.2	Energetische Bilanzierung und Ermittlung des Intervalls für den erwarteten Energieverbrauch .....	349
6.3	Bewertung des nicht-energetischen Nutzens der Modernisierungen.....	351
6.4	Zusammenfassung .....	354
	Literaturverzeichnis zum Kapitel 6.....	354
<b>7</b>	<b>Weiterer Handlungs- und Forschungsbedarf.....</b>	<b>355</b>
7.1	Verankerung des Energieeffizienz-Monitorings in immobilien- und energiewirtschaftlichen Prozessen .....	355
7.2	Weitere Vorschläge zum Energieausweis und zur Energieberatung .....	360
7.3	Forschungsbedarf zum Grundlagenwissen .....	361
	Literaturverzeichnis zum Kapitel 7 .....	363
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>365</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>372</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>377</b>
	Anhang zu Kap. 2.1: (Empirische Daten zum Energieverbrauch von Wohngebäuden).....	378
	Anhang zu Kap 2.3 (Messdaten zum Nutzerverhalten und zu den Wohnbedingungen).....	389
	Anhang zu Kapitel 6 (Illustration durch Fallbeispiele).....	402

## Kurzfassung

### Kernpunkte der Studie

Gegenstand der vorliegenden Studie ist die Frage, inwieweit die standardisierte Ermittlung der Effekte energetischer Modernisierungen im Rahmen des Nachweises nach Energieeinsparverordnung (EnEV) der Wirklichkeit im Wohngebäudesektor gerecht wird, die durch eine Vielfalt des individuellen Verhaltens und des individuellen Energieverbrauchs geprägt ist. Im Fokus steht zum einen die Realitätsnähe der Energiekennwerte vor und nach Modernisierung. Zum anderen werden über die reine energiebezogene Betrachtung hinausgehende Vorteile von energetischen Modernisierungen diskutiert, die zusätzliche Anreize für die Umsetzung von Maßnahmen darstellen können.

Die Ergebnisse der Studie bestätigen die Vermutung, dass die für den Nachweis von Anforderungen konzipierten EnEV-Berechnungen eher für einen standardisierten Vergleich geeignet sind als für eine realistische Bilanzierung. Insbesondere ist die für die Beratungssituation wichtige Orientierung an der individuellen oder typischen Nutzung und dem gemessenen Energieverbrauch bisher nicht vorgesehen. Als Voraussetzung für eine realistische Bewertung individuell unterschiedlicher Fälle ist eine Unterscheidung zwischen EnEV-Nachweis und Verbrauchsprognose im Rahmen von Energieberatungen empfehlenswert. Mit einer separaten Betrachtung kann die Beratung auf die Situation der jeweiligen Gebäudeeigentümer sowie auf die jeweils angetroffene Datenlage passend zugeschnitten werden.

Die Studie liefert hierfür notwendige methodische Bausteine: Ausgehend von dem heute verfügbaren empirischen Wissen werden erste vorläufige Ansätze für typisches Nutzerverhalten inklusive der in der Praxis vorkommenden Variationsbreite vorgeschlagen. Weiterhin wird eine Zuordnung typischer Verbrauchswerte zum Gebäudezustand bzw. zum Normenergiebedarf nach EnEV vorgenommen. Zusätzlich wird zur Stärkung des Vertrauens in die Verbrauchsprognose deren Unsicherheit in Form einer typischen Spanne des geschätzten Verbrauchs angegeben.

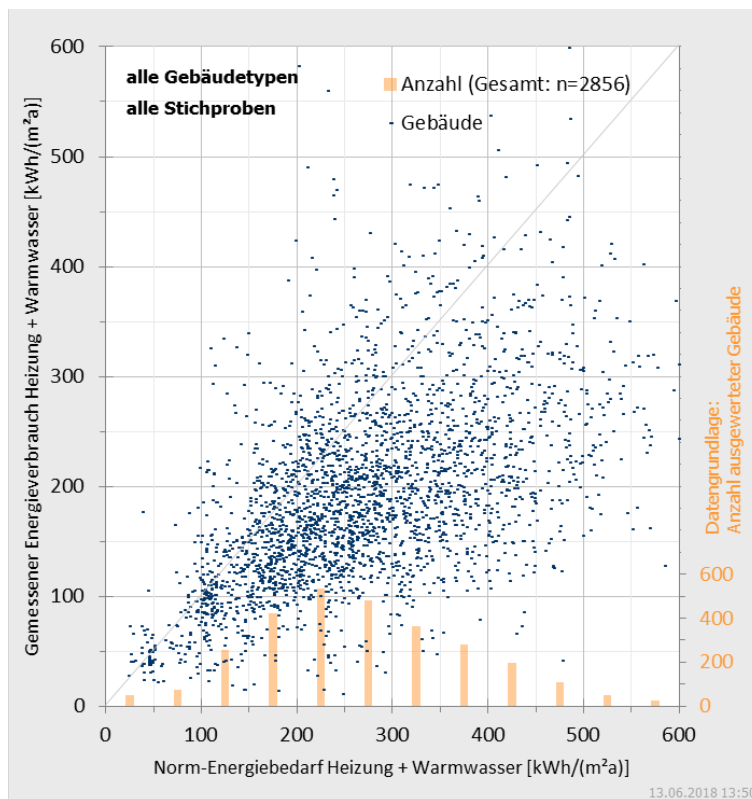
Eine Metaanalyse von verschiedenen wissenschaftlichen Studien fasst darüber hinaus auch Möglichkeiten für die Bewertung des über die Energieeinsparung hinausgehenden Nutzens energetischer Modernisierungen zusammen. Darauf aufbauend werden zusätzliche Indikatoren als Ergänzung zum Energieausweis vorgeschlagen. Mit diesen werden Gebäudeeigentümer und Mieter über die durch eine Modernisierung erreichten Verbesserungen der winterlichen und sommerlichen Komfortbedingungen sowie der Frischluftversorgung informiert.

Die Methodikvorschläge werden durch Fallbeispiele illustriert. Ferner werden Empfehlungen für die Umsetzung der Konzeptansätze und die Einbindung in energie- und immobilienwirtschaftliche Prozesse gegeben.

## Empirische Grundlagen der Studie

### Empirische Daten zum Energieverbrauch von Wohngebäuden (Kapitel 2.1)

Im Rahmen einer Metaanalyse wurden 22 Publikationen bezüglich ihres möglichen Beitrags zur Ableitung von Vergleichskennwerten für den Energieverbrauch von Wohngebäuden gesichtet. Es handelte sich vor allem um Studien zur Analyse von Verbrauchsausweis-Datenbanken von Abrechnungsunternehmen, um Daten, die im Rahmen der Begleitforschung von Modellprojekten energieeffizienten Bauens ermittelt wurden sowie um die Auswertung von Daten, die im Kontext von Energieberatungsaktivitäten erhoben wurden. Aus neun von diesen Studien konnten Zahlenwerte extrahiert und zusammengeführt werden. Bei den anderen fehlten wichtige Informationen, die für einen Vergleich und eine Aggregation nötig gewesen wären. In vielen Fällen waren auch Erhebungsgrößen nicht ausreichend genau oder unvollständig, da die Datenabfrage eigentlich für andere Zwecke konzipiert worden war. Ergebnis sind nach Baualter unterschiedene mittlere Verbrauchswerte unsanierter Gebäude sowie eine Zuordnung des Verbrauchs zum Normenergiebedarf für mehr als 2800 Wohngebäude (Abb. 1).



**Abb. 1:**  
Bild zu Kapitel 2.1 – Zuordnung des gemessenen Energieverbrauchs (y-Achse) zum Normenergiebedarf (x-Achse); Zusammenführung der Wertepaare von über 2800 Wohngebäuden aus 6 Studien

Flächenbezug: beheizte Wohnfläche  
Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser  
Energieträger: Erdgas und Fernwärme  
Brennwert-Bezug bei Brennstoffen  
Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger

## **Empirische Daten zum Nutzerverhalten und Modellanalysen zum Einfluss des Nutzers auf den Energieverbrauch (Kapitel 2.2 bis 2.4)**

In weiteren Metaanalysen wurden mehr als 50 wissenschaftliche Studien bezüglich empirischer Daten (messtechnisch bzw. sozialwissenschaftlich erhoben) zur Nutzung von Wohngebäuden, zu systematischen Abhängigkeiten und zur Auswirkung auf den Energieverbrauch gesichtet. Ziel war es, typische Werte und Spannen für die Nutzungsbedingungen einer realistischen Energiebilanzierung zu finden sowie Grundlagen für eine Zuordnung der praktisch vorkommenden Streuungen des Energieverbrauchs zum Nutzerverhalten innerhalb einer Fehlerbetrachtung vorzunehmen.

Generell konnte festgestellt werden, dass die Ergebnisse von Befragungen bei in der Regel kleinen Stichproben aus verschiedenen (aber zumeist energieeffizienten) Gebäudestandards und unterschiedlicher Operationalisierung der Befragungsinhalte nur äußerst eingeschränkt vergleichbar waren.

Bezüglich der Raumtemperaturen bzw. des Heizverhalten waren große Streuungen feststellbar, die auf individuelle Komfortansprüche der Befragten rückführbar sind. Beinahe übergreifend fand sich eine Häufung von Temperaturen um 20°C und mehr. Bezogen auf Altbauten zeigte sich tendenziell eine Diskrepanz zwischen realer Temperatur im Winter und (höherer) Wunschtemperatur. Eine Differenzierung nach (soziodemographischen) Haushaltsmerkmalen ist – insbesondere mangels ausreichend großer Datenbasis – nur in sehr wenigen Studien erfolgt. Demnach scheinen ältere Menschen tendenziell ein größeres Bedürfnis nach wärmeren Wohnzimmertemperaturen (22°C oder mehr) zu haben als jüngere. Dabei hängt die Erfüllung der Temperaturwünsche auch von der finanziellen Situation der Bewohner ab. Aussagekräftige Messdaten zu Raumtemperaturen liegen hauptsächlich für energieeffiziente Gebäude vor – für Niedrigenergiehäuser (etwa Niveau der EnEV 2014) liegen die Werte um 21°C, für Passivhäuser (vergleichbar mit Niveau Effizienzhaus 40) sind mehr als 22°C typisch. Insbesondere bei Geschosswohnbauten im Passivhausstandard sind die Temperaturunterschiede zwischen den Wohnungen sehr gering (Abweichung vom Mittelwert meist kleiner als 0,7°C).

Hinsichtlich des Fensteröffnungsverhaltens stellten die betrachteten Studien – in der Regel ebenfalls basierend auf kleinen Fallzahlen – weitgehend übereinstimmend fest, dass auch in Gebäuden mit maschineller Belüftung zumeist nicht vollständig auf das Fensteröffnen verzichtet wird. Dies hat im Allgemeinen situativ bedingte Gründe. Eine größere Übereinstimmung fand sich zudem hinsichtlich des Schlafens bei geöffnetem Fenster – tendenziell etwa ein Drittel der Haushalte schläft auch in der Heizperiode bei gekipptem Schlafzimmerfenster. Bezüglich des Wohnzimmers deuteten die Ergebnisse eher auf Stoßlüftung hin.

Der Wärmeinhalt des gezapften Warmwassers lag in den ausgewerteten Passivhaus-Projekten bei Mittelwerten von jährlich ca. 8 kWh (Einfamilienhäuser) bzw. ca. 16 kWh pro m<sup>2</sup> Wohnfläche (Mehrfamilienhäuser). Im Gebäudebestand liegen die Werte für Mehrfamilienhäuser bei ca. 11 kWh/(m<sup>2</sup>a) – eine Differenzierung nach Personenbelegung ist bei diesen Daten nicht möglich. In sozialwissenschaftlichen Arbeiten ist die Warmwassernutzung selten thematisiert worden. Typische, aus Befragungen abgeleitete Werte sind 36 Liter pro Bewohner und Tag bei sehr weit auseinanderliegenden Extremwerten (2 bis 171 Liter pro Bewohner und Tag). Der Pro-Kopf-Verbrauch war umso niedriger, je mehr Mitglieder der Haushalt hatte.

Bezüglich des Einflusses des Bewohnerverhaltens auf den Energieverbrauch zeigte sich, dass die meisten Aspekte recht gut vereinfacht modellierbar sind. Besondere Schwierigkeiten ergeben sich im Fall der Fensterlüftung, da der Einfluss der Öffnungsdauer auf die Wärmeverluste stark von der aktuellen Witterung (Temperatur und Wind), der Durchströmung des Gebäudes (z.B. offene Zimmertüren) und dem Öffnungsquerschnitt abhängen, für deren Häufigkeit und Korrelation keine empirischen Daten vorliegen.



**Tab. 1: Tabelle zu Kap. 2.3 – Aus den Parameterstudien abgeleitete und vereinfachte Aussagen zum Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch von Gebäuden („Daumenregeln“)**

Einflussgröße	Aktivität	Änderung des Parameters um	Altbau unsaniert	Altbau modernisiert / Niedrigenergiehaus**	Passivhaus
			Änderung des Endenergiebedarfs (Annahme: Zentralheizung mit Kombikessel)		
Raumtemperatur	Thermostat einstellen	+ 1 K	+ 29 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Luftwechsel	über Fensterlüftung	+ 0,1 1/h	+ 8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Anlagenluftwechsel einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	+ 0,1 1/h	+ 0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Fensteröffnung	Balkontür kippen	+ 1 h/d	+ 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Balkontür ganz öffnen	+ 1 h/d	+ 16 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 16 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 12 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Balkontür kippen	8 h/d, z.B. nachts	+ 23 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 23 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 16 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	(kleines) Fenster kippen	8 h/d, z.B. nachts	+ 10 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 10 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Teilbeheizung	Nachtabenkung gesamte Wohnung	- 3 K	- 30 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 12 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Teilbeheizung	30 % der Wohnfläche	- 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Wärmequellen	Personenbelegung	+ 1 Bewohner			- 1,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Verschattung/ Verschmutzung	Abminderungsfaktor: - 0,1	- 1,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 1,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 1,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Innere Wärmequellen	- 1 W/m <sup>2</sup>	+ 7 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Warmwasser	Personenbelegung EFH	+ 1 Bewohner	+ 898 kWh/a	+ 898 kWh/a	+ 898 kWh/a
	Personenbelegung MFH	+ 1 Bewohner	+ 793 kWh/a	+ 793 kWh/a	+ 793 kWh/a

\*) grobe Abschätzung/ Hochrechnung auf Basis von Vergleichswerten

\*\*) „Niedrigenergiehaus“: vergleichbar mit dem Neubaustandard nach EnEV 2009

### Verschiedene Dimensionen des nicht-energetischen Nutzens und Beleg durch Befragungen (Kapitel 3)

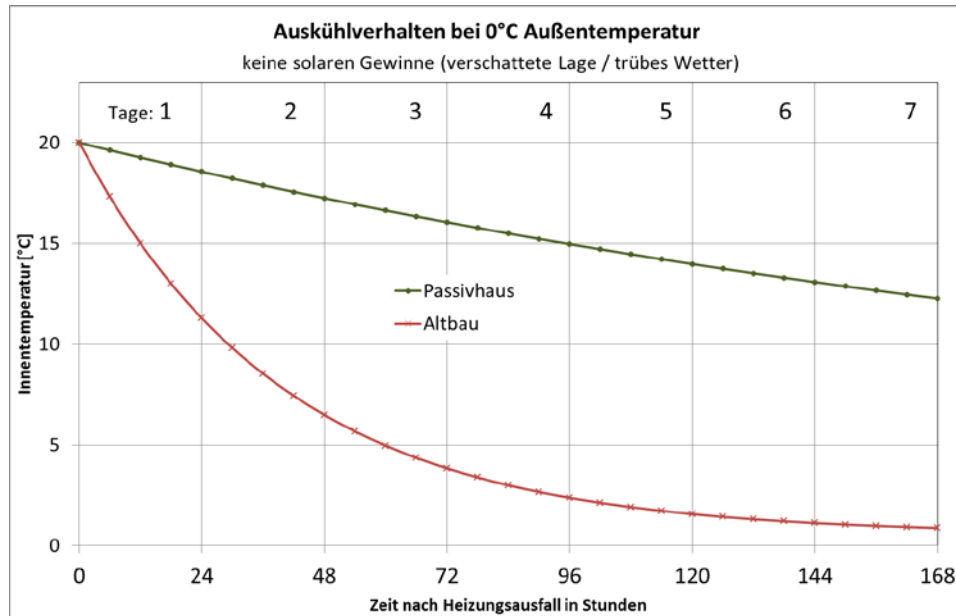
Die Bewertung des Nutzens energetischer Modernisierungen wird häufig auf den Vergleich der eingesparten Energiekosten mit den Kosten der Einsparmaßnahmen reduziert. Dieser Ansatz lässt andere relevante Vorteile außer Acht und unterschätzt den Gesamtnutzen, den die Modernisierungsmaßnahmen mit sich bringen können.

Auf der makroökonomischen Ebene tragen energetische Modernisierungen dazu bei, die Gesellschaft vor Risiken zu schützen, die durch den hohen Verbrauch an fossilen Ressourcen entstehen – insbesondere in Hinblick auf den Treibhauseffekt, aber auch bezüglich einer Abhängigkeit der Volkswirtschaft von Energieimporten. Darüber hinaus sind weitere positive Effekte zu beachten, etwa in Bezug auf Wertschöpfung, Beschäftigung und Produktivität.

Auf der mikroökonomischen Ebene können energetische Modernisierungen insbesondere das Behaglichkeitsempfinden und die Gesundheit der Bewohner positiv beeinflussen. Hierzu zählen gleichmäßig höhere Oberflächen- und Raumtemperaturen im Winter, eine damit verbundene Vermeidung von Schimmelproblemen, eine erheblich verbesserte Resilienz gegenüber einem Ausfall der Heizungsanlage, die Vermeidung von Überhitzung im Sommer sowie – bei Einbau einer Lüftungsanlage – eine nutzerunabhängige und bedarfsgerechte Zufuhr von Frischluft. Mit der energetischen Modernisierung können weitere Verbesserungen verbunden werden, u. a. ein verbesserter Schallschutz und Einbruchschutz oder die Aufwertung des Erscheinungsbilds, die insgesamt dann zu einer Wertsteigerung des Gebäudes beitragen.

**Abb. 2: Bild zu Kapitel 3 – Beispiel für einen nicht-energetischen Nutzen des verbesserten Wärmeschutzes – Resilienz gegenüber einem Heizungsausfall oder einem Versorgungsengpass im Winter**

Schematische Betrachtung mit fixen Randbedingungen; im Altbau ist die Temperatur nach drei Tagen auf unter 5°C abgesunken, während sie beim Passivhaus noch 16°C beträgt.



Die Relevanz dieser Punkte kann durch Ergebnisse von Befragungen von Bewohnern und Eigentümern belegt werden. Besonders hervorgehoben werden von den Befragten dabei die gleichmäßige Wärme aufgrund fehlender Strahlungskälte von Wänden, Fenstern und Böden und verminderte Zugerscheinungen im Winter sowie ein angenehmeres Innenklima im Sommer. Forschungsarbeiten, die Vergleiche zur (vorherigen) unsanierten Wohnsituation herstellen konnten, konstatierten Zufriedenheitszuwächse hinsichtlich des allgemeinen Wohnkomforts und insbesondere der Raumtemperaturen während der Heizperiode und strichen auch – wo erhoben – das bessere Erscheinungsbild der Gebäude heraus. In der Einschätzung selbstnutzender Einfamilienhausbesitzer erhöhte sich durch die Dämmmaßnahmen auch die bewohnbare Fläche, weil Keller und Dachböden danach besser nutzbar waren.

In Gebäuden mit Lüftungsanlagen (vor allem Passivhäuser) wird die Luftqualität zumeist als sehr gut beurteilt – mit positiven Auswirkungen auf die Wohngesundheit. Bei Anlagen mit Zuluftheizung wird zudem die bessere Nutzbarkeit der Räume aufgrund vermiedener Heizkörper geschätzt. Teilweise Kritik machte sich an einer zu geringen Luftfeuchte im Winter, der fehlenden raumweisen Regulierbarkeit (besonders bezogen auf gewünscht kühlere Schlafzimmer) und der anlagenbedingten Geräuschentwicklung fest. Hierzu ließen sich einerseits teilweise Gewöhnungseffekte feststellen. Andererseits stellten einzelne Befunde heraus, dass Nutzerinformation und ein Sicherstellen der Funktionsfähigkeit der Anlage eng mit der Nutzerzufriedenheit verwoben sind und insbesondere im Mietwohnbereich noch optimiert werden sollten.

Die Motivation von privaten Eigentümern für eine energetische Modernisierung ist von verschiedenen Themen beeinflusst, die sich zwischen selbstnutzenden und vermietenden Privateigentümern durchaus unterscheiden. Neben der von Selbstnutzern beabsichtigten Senkung des Energieverbrauchs bzw. der Energiekosten – z. T. mit Wunsch nach Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern – spielt die Erhöhung des Wohnkomforts und der Behaglichkeit eine prominente Rolle. Mit diesem Ziel werden häufig anstehende Instandhaltungs- oder Instandsetzungsarbeiten mit energetischen Maßnahmen gekoppelt. Energetische Modernisierungen dienen nach Meinung befragter Sanierer demnach dem langfristigen Werterhalt der Immobilie. Zudem sehen Teile der Befragten darin einen – persönlich wichtigen – Beitrag zum Klimaschutz. Für vermietende Privateigentümer haben die Senkung der Energiekosten und die Steigerung der Wohnqualität zwar keinen unmittelbaren persönlichen Nutzen, sie sehen in einer energetischen Modernisierung aber ein Instrument zur Sicherstellung der (besseren) Vermietbarkeit der Immobilie. Die Rahmenbedingungen dafür werden durch einen hohen Komfort und niedrige Energiekosten verbessert.

## Methodik-Vorschläge

Aufbauend auf den empirischen Informationen zum Energieverbrauch und zur Nutzung von Wohngebäuden wurden mehrere methodische Vorschläge erarbeitet.

### Bausteine für eine realistische Beurteilung des Energieverbrauchs vor und nach Modernisierung (Kapitel 4)

#### Baustein A: Vergleichswert-Tabellen Energieverbrauch

Aus der Analyse der in Studien verfügbaren Verbrauchsdaten des Kapitels 2.1 wurde ein Vorschlag für die Struktur von Vergleichswerten für Wohngebäude abgeleitet: Es handelt sich um drei Benchmark-Tabellen: eine Tabelle mit Verbrauchskennwerten unsanierter Altbauten (differenziert nach Baualter), eine Tabelle mit Verbrauchskennwerten für unterschiedliche Effizienzstandards (Neubau der letzten 10 Jahre) und eine Tabelle, differenziert nach Intervallen des Norm-Energiebedarfs nach EnEV. Teilweise konnten aus der Metaanalyse abgeleitete Anhaltswerte bereits eingetragen werden (siehe Tab. 2 und Tab. 3). Einige noch bestehende Datenlücken sollten in Zukunft durch umfassendere empirische Erhebungen gefüllt werden – dies betrifft insbesondere die Verbrauchswerte von elektrischen Heizsystemen (Wärmepumpen und direkt-elektrisch) sowie den Bereich der Neubauten gemäß EnEV und gemäß den verschiedenen Effizienzhaus-Standards (siehe Abschnitt „Weiterer Handlungs- und Forschungsbedarf“).

**Tab. 2: Tabelle zu Kapitel 4 – Vorgeschlagenes Schema für die Angabe von Vergleichswerten Energieverbrauch nach Baualtersklasse (unsanierte Gebäude) und provisorische Zahlenwerte (zusammengeführt aus zwei Untersuchungen)**

jährlicher Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser in kWh/(m <sup>2</sup> a)												
Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger												
	Erdgas / Heizöl (bez. auf Brennwert H <sub>s</sub> )						Fernwärme					
	1 bis 2 Wohneinheiten			≥ 3 Wohneinheiten			1 bis 2 Wohneinheiten			≥ 3 Wohneinheiten		
	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*
		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Baualtersklassen (Altbauten bis 1994: nicht energetisch modernisierte Gebäude)												
... 1978	n=13.017	<b>249</b>	± 81	n=78.402	<b>231</b>	± 71	n=312	<b>194</b>	± 72	n=7.016	<b>169</b>	± 58
1979 ... 1994	n=1.300	<b>216</b>	± 71	n=18.200	<b>199</b>	± 61	n=40	<b>184</b>	± 80	n=1.950	<b>133</b>	± 53
1995 ... 2001	n=2.576	<b>160</b>	± 49	n=21.706	<b>159</b>	± 53	n=65	<b>139</b>	± 80	n=3.851	<b>114</b>	± 62
2002 ... 2009	n=334	<b>125</b>	± 45	n=3.758	<b>127</b>	± 41				n=739	<b>96</b>	± 66
2010 ...												

\*) Die "Streubreite" entspricht den in den Quellen genannten Werten für die Standardabweichung

Daten-Grundlagen: (1) Brunata-Metrona 2009 / 2014; (2) IGS 2012

**Tab. 3: Tabelle zu Kapitel 4 – Vorgeschlagenes Schema für die Angabe von Vergleichswerten Energieverbrauch für Intervalle des Norm-Energiebedarfs**

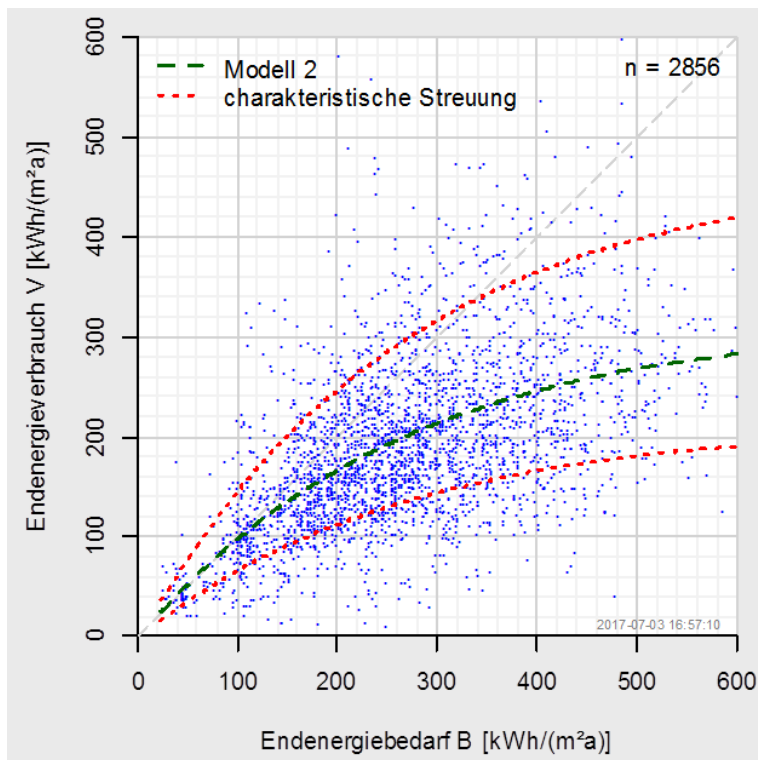
Auswertung von Analysen zum Verhältnis aus Verbrauch zu Bedarf								
Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser								
Verbrauch Erdgas / Heizöl / Fernwärme für Heizung und Warmwasser (bei Brennstoffen bezogen auf Brennwert H <sub>s</sub> )								
Norm-Energiebedarf**				Stich- probe	Mittel- wert	gemessener Verbrauch, bezogen auf beheizte Wohnfläche		Streubreite* zugeordneter Verbrauch
bezogen auf beheizte Wohnfläche		nach Energiebedarfsausweis (bezogen auf "Gebäude- nutzfläche" A <sub>N</sub> nach EnEV)				Kalibrierungsfaktor: Verhältnis Verbrauch zu Bedarf	relative Streubreite*	
Intervall	Mittel- wert	Intervall	Mittel- wert	Anzahl Gebäude	Mittel- wert	Mittelwert	relative Streubreite*	
kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	(gesamt: n=2849)	kWh/(m <sup>2</sup> a)			kWh/(m <sup>2</sup> a)
1 ... 50	41	1 ... 42	34	n=49	50	1,20	±57%	± 24
51 ... 100	83	43 ... 83	69	n=76	82	0,98	±42%	± 40
101 ... 150	123	84 ... 125	103	n=257	121	0,98	±48%	± 58
151 ... 200	176	126 ... 167	147	n=421	156	0,89	±37%	± 57
201 ... 250	225	168 ... 208	187	n=534	184	0,82	±39%	± 71
251 ... 300	274	209 ... 250	228	n=482	201	0,74	±34%	± 68
301 ... 350	324	251 ... 292	270	n=364	218	0,67	±37%	± 82
351 ... 400	374	293 ... 333	311	n=281	234	0,63	±33%	± 79
401 ... 450	424	334 ... 375	353	n=199	244	0,58	±36%	± 86
451 ... 500	475	376 ... 417	396	n=109	280	0,59	±35%	± 100
501 ... 550	519	418 ... 458	433	n=52	272	0,52	±23%	± 64
551 ... 600	568	459 ... 500	474	n=25	281	0,49	±33%	± 91

\*) „Streubreite“ = Standardabweichung

\*\*) Bedarf berechnet nach DIN V 4108-6 &amp; DIN V 4701-10 (bzw. ähnliche Verfahren)

### Baustein B: Kalibrierung des Norm-Endenergiebedarfs

Die aus verschiedenen Studien für mehr als 2800 Wohngebäude zusammengetragenen Wertepaare Verbrauch/Bedarf wurden dazu genutzt, funktionale Zusammenhänge für die Abhängigkeit des Verbrauchs vom Bedarf und für die typische Streuung herzuleiten bzw. zu prüfen. Die im individuellen Sanierungsfahrplan der Bundesregierung vorgesehene Formel konnte nochmals als passend bestätigt und durch Funktionen für die typische Bandbreite ergänzt werden (Abb. 3). Damit kann nun für einen gegebenen Norm-Endenergiebedarf nach EnEV (DIN V 4108-6 / 4701-10) ein Schätzwert für das mittlere Niveau des Energieverbrauchs und die typische Spanne angegeben werden. Weiterhin wird eine Systematik für die Anwendung im Kontext der Energieberatung vorgeschlagen, die gegebenenfalls vorliegende Jahresverbrauchswerte berücksichtigt. Infobox 1 (am Ende dieser Kurzfassung) zeigt anhand eines Beispiels, welchen Nutzen das Verfahren bei der Interpretation von Verbrauchswerten vor und nach Modernisierung bringen kann.



**Abb. 3:**  
Bild zu Kapitel 4 – Vorgeschlagenes Modell für die Abbildung des Zusammenhangs zwischen Energieverbrauch und Energiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10

- grün-gestrichelte Linie: Schätzwert des Verbrauchs
- rot-gepunktete Linien: Unsicherheit der Schätzung für ein einzelnes Gebäude

Flächenbezug: beheizte Wohnfläche

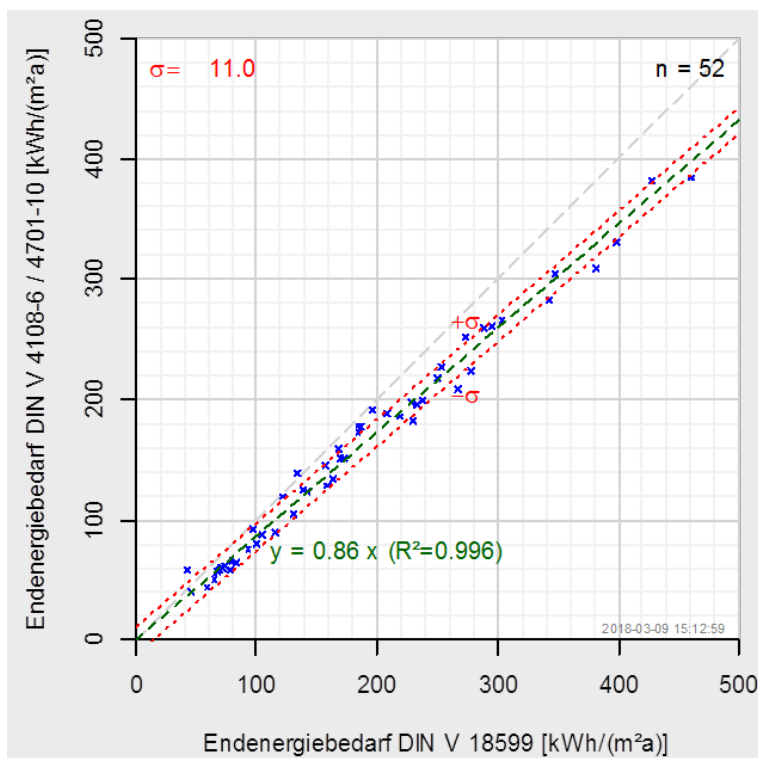
Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser

Energieträger: Erdgas und Fernwärme

Brennwert-Bezug bei Brennstoffen

Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger

Um die Kalibrierungsfunktion auch auf Wohngebäude anwenden zu können, deren Normenergiebedarf mit DIN V 18599 ermittelt wurde, wurde der Zusammenhang zwischen den beiden EnEV-Normverfahren mit Hilfe einer Parameterstudie untersucht (Abb. 4). Damit liegt auch für die DIN V 18599 ein erster provisorischer Ansatz für die Zuordnung realistischer Verbrauchswerte vor, der zur Überwindung der auch als „Energy Performance Gap“ bezeichneten Diskrepanz zwischen Verbrauch und Bedarf beitragen soll. Abb. 5 zeigt die resultierenden Kalibrierungsfunktionen für beide Normverfahren im Vergleich.



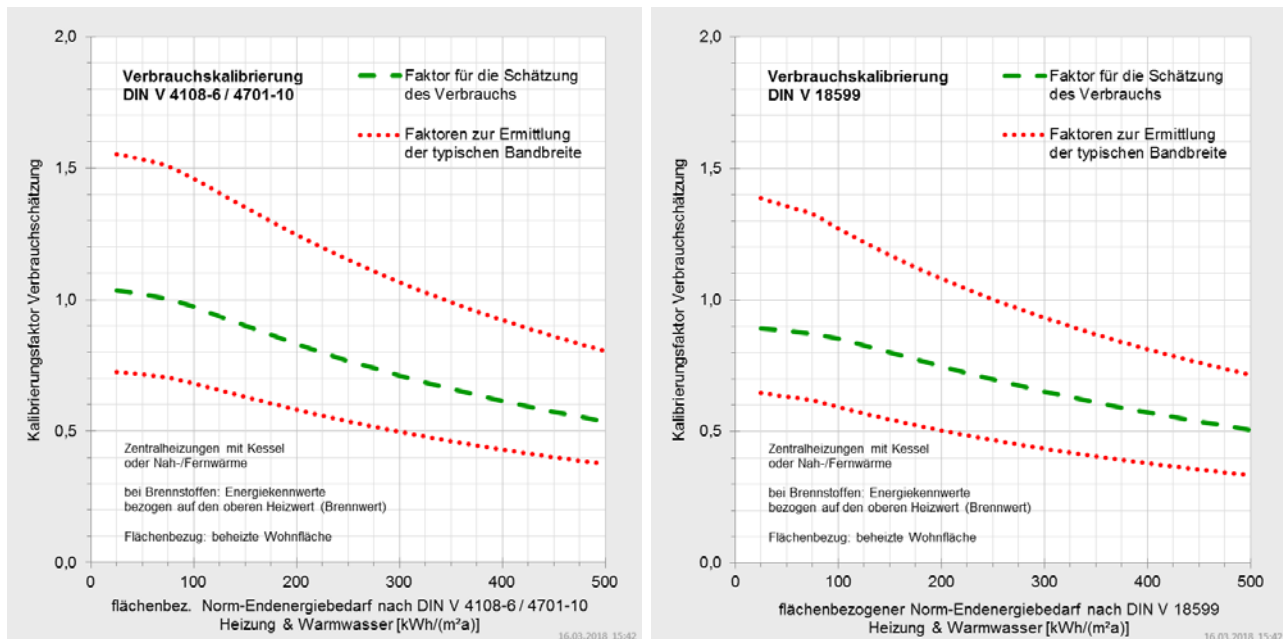
**Abb. 4:**  
Bild zu Kapitel 4 – Schätzfunktion für den Endenergiekennwert (H+W) nach DIN V 4108-6 / 4701-10 bei gegebenem Wert für DIN V 18599 für Kessel-Systeme, abgeleitet aus einer Parameterstudie mit 9 Beispielgebäuden

mit Angabe der Regressionsgleichung, des Bestimmtheitsmaßes  $R^2$  und der Standardabweichung  $\sigma$

Bezugsgrößen:

- Brennwert
- Gebäudenutzfläche  $A_N$

**Abb. 5: Bild zu Kapitel 4 – Vorgeschlagene Faktoren für die Schätzung des Verbrauchs auf der Basis des Normenergiebedarfs sowie Unsicherheit der jeweiligen Schätzung – zur Anwendung auf Endenergiekennwerte nach DIN V 4108-6 / 4701-10 (links) und nach DIN V 18599 (rechts)**



### Baustein C: Realistische Bilanzierung als Ergänzung zum Normnachweis

Um in Zukunft parallel zur Normberechnung von vornherein die Energieströme in Wohnhäusern unter den gegebenen Randbedingungen realitätsnah abbilden zu können, wurden auf Basis der am Anfang beschriebenen Metaanalyse von empirischen Studien Anhaltswerte für typisches Verhalten und praktisch vorkommende Spannen der Eingangsdaten der energetischen Bilanzierung ermittelt. Die meisten Werte beruhen dabei noch auf aus Einzelfällen abgeleiteten Expertenschätzungen, da – wie im Kapitel 2 dargestellt – eine ausreichende empirische Grundlage derzeit fehlt.

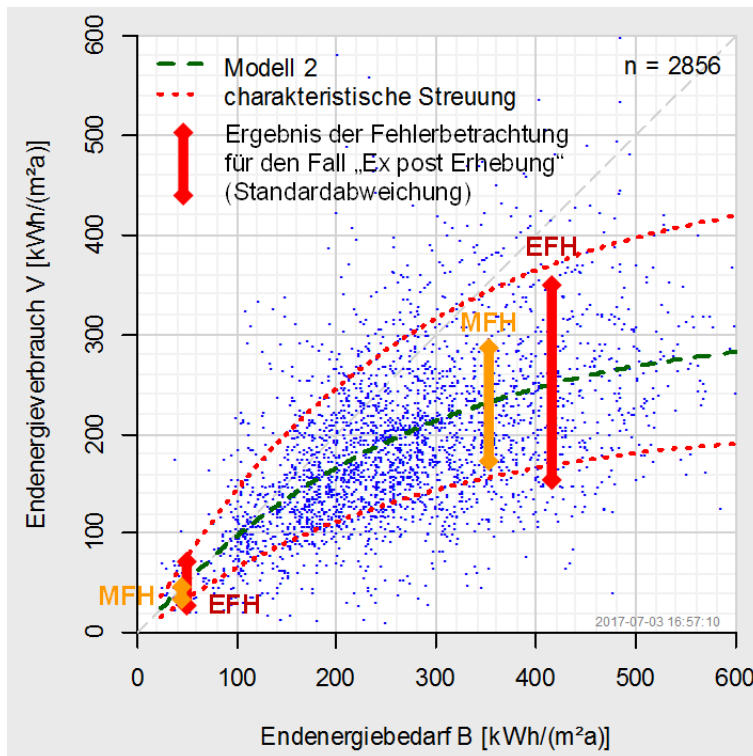
### Fehlerbetrachtung: Abschätzung des Einflusses der Bandbreiten der Nutzung und anderer Parameter auf den Energiebedarf

In einem weiteren Teil des Kapitels 4 wurde untersucht, wie sich die Unsicherheiten der Eingangsdaten der Nutzung sowie der baulichen und anlagentechnischen Daten auf die Unsicherheit des Endenergiebedarfs auswirken. Es zeigte sich, dass die empirisch vorgefundenen Streuungen der Verbrauchswerte recht gut durch die abgeschätzten Bandbreiten der Eingangsdaten der Bilanzierung erklärt werden können.

### Verbraucherorientierte Anschauliche Präsentation der Vergleichswerte

Es wurden Vorschläge zur Darstellung der Vergleichswerte in Form eines „Add-Ons“ zum Energieausweis entwickelt (Abb. 11).

Zu den Maßnahmen zur Energieeinsparung muss auch die Reduktion der Wohnfläche pro Kopf gezählt werden. Daher wurde die m<sup>2</sup>-bezogene energetische Bewertung noch durch eine Bewertung der CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf ergänzt (siehe Abschnitt „Weiterer Handlungs- und Forschungsbedarf“ und Abb. 12). Die Relevanz dieses Aspekts ist beispielhaft in Infobox 1 dargestellt.



**Abb. 6:**  
**Abschätzung der Unsicherheit der (kalibrierten) Energiebilanzberechnung**

- grün-gestrichelte und rot-gepunktete Linien: empirisch abgeleitetes Modell für die Schätzung des Verbrauchs (Schätzwert und Unsicherheit der Schätzung)
- eingetragene Pfeile: abgeschätzte Unsicherheit der rechnerischen Bilanzierung (bedingt durch unsichere U-Werte, Leitungslängen, Nutzereinfluss etc.) im Vergleich zur empirischen Streuung; entsprechend dieser Abschätzung wird beim Einfamilienhaus im Bestand etwa 50% der Streuung durch das Nutzerverhalten verursacht, beim Mehrfamilienhaus im Bestand etwa 20%.

Flächenbezug: beheizte Wohnfläche

Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser

Energieträger: Erdgas und Fernwärme

Brennwert-Bezug bei Brennstoffen

Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger


## Vorschlag für ein Schema zur Herausstellung und Bewertung des nicht-energetischen Nutzens energetischer Modernisierungen (Kapitel 5)

Für nahezu alle der in Kapitel 3 betrachteten nicht-energetischen Zusatznutzen energetischer Modernisierungen wurden bestehende Möglichkeiten zur Operationalisierung zusammengetragen und erläutert. Dabei wurde zwischen der makro- und der mikroökonomischen Ebene unterschieden. Letztere kann zudem aus der Perspektive von institutionellen oder privaten Vermietern oder der Perspektive von Mietern und selbstnutzenden Eigentümern betrachtet werden. Für die Gebäudenutzer spielt insbesondere der Zusatznutzen durch Verbesserung des (thermischen) Komforts eine wesentliche Rolle. Dieser ist jedoch erst nach Bezug der Immobilie erfahrbar. Deshalb wurde ein Konzeptvorschlag erarbeitet, der aufzeigt, wie potentiellen Mietern oder Käufern von Wohnimmobilien ergänzende Informationen zum Energieausweis bereitgestellt werden können (siehe Beispiel in Abb. 7). Der darin verwendeten Systematik folgend, können entsprechende Indikatoren auch in die Modernisierungsempfehlungen zum Energieausweis mit aufgenommen werden. Auch zusätzliche Angaben in Bezug auf den Klimaschutz könnten ergänzt werden. Die Darstellung von Emissionskennwerten und externen Kosten im Rahmen der Modernisierungsempfehlungen würde zudem einen Vergleich vor und nach Durchführung von Maßnahmen ermöglichen.

**Abb. 7: Bild zu Kapitel 5 – Konzeptvorschlag für die Bewertung des nicht-energetischen Nutzens, Beispiel für ein bereits saniertes Gebäude (Farbskala und Icons in Anlehnung an den Sanierungsfahrplan des BMWi)**

## Bewertung thermischer Komfort - Konzeptvorschlag

### Skala zur Bewertung







sehr schlecht sehr gut

### Überblick Winterlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Winter

Wärmebrücken wurden im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen detailliert nachgewiesen

Im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen wurde ein Luftdichtheitskonzept umgesetzt


 <b>Dach</b> <small>oberer Gebäudeabschluss</small>	<p>hochwertig saniert, hoher Komfort durch geringe Auskühlung der raumseitigen Flächen</p>	 <b>Fenster</b> <small>inklusive Dachflächenfenstern</small>	<p>hochwertig saniert, hoher Komfort durch geringe Auskühlung, dichte Fenster verhindern unangenehme Zugluft</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Schalldämmende Fenster vorhanden</p>
 <b>Boden</b> <small>unterer Gebäudeabschluss</small>	<p>moderat saniert, verbessertes Komfort durch weniger Fußkälte</p>	 <b>Wände</b> <small>inklusive Kellerwänden</small>	<p>hochwertig saniert, hoher Komfort durch geringe Auskühlung der raumseitigen Flächen</p>

Ergänzende Erläuterungen

### Überblick Sommerlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Sommer

Nachlüftung möglich  Anlage zur Kühlung vorhanden

Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz wurde rechnerisch nachgewiesen



20% Außenliegende Verschattung: Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen

70% Außenliegende Verschattung: drehbare Lamellen, hinterlüftet

Anteil Fensterfläche

hoher Komfort durch guten Hitzeschutz im Sommer

Ergänzende Erläuterungen


### Überblick Art und Komfort der Lüftung

Im Falle von Fensterlüftung: Querlüftung möglich

Bei Lüftungsanlagen mit Zuluft: Pollenfilter vorhanden

Lüftungskonzept vorhanden;

Einhaltung der Anforderungen an den notwendigen Luftwechsel wurde nachgewiesen




Sehr effiziente WRG-Lüftungsanlage mit sensorgestützter Bedarfsregelung

Passivhaus-taugliche Lüftungsanlage ohne sensorgestützte Bedarfsregelung

hoher Komfort, die Lüftungsanlage sorgt automatisch für frische Luft

Ergänzende Erläuterungen

### Gesamtbewertung





## Illustration der Methodikvorschläge durch Fallbeispiele (Kapitel 6)

Am Beispiel eines Ein- und eines Mehrfamilienhauses wurde die Anwendung der in den vorhergehenden Kapiteln entwickelten Methodik für die Ermittlung von Bandbreiten des erwarteten Energieverbrauchs sowie der ganzheitlichen Bewertung von Modernisierungen demonstriert. Zu diesem Zweck wurden für beide Gebäude das jeweils typische Verbrauchsniveau im Ausgangszustand bestimmt und Realbilanzen für verschiedene Sanierungszustände mit unterschiedlichen Nutzerprofilen berechnet.

Vergleicht man für die Fallbeispiele im Ausgangszustand die berechneten Kennwerte der Standardbilanzierung nach DIN V 18599 mit dem typischen Verbrauchsniveau, so überschreiten die Bedarfskennwerte das typische Niveau im Fall des Einfamilienhauses um 83 %, im Falle des Mehrfamilienhauses um 61 %. Werden in einem ersten Schritt zur Realbilanzierung die Nutzungsprofile der DIN V 18599 durch die im Rahmen dieses Berichtes zusammengetragenen Eingabegrößen für eine typische bzw. mittlere Nutzung ersetzt, so liegt der Kennwert des Einfamilienhauses um 49 %, der des Mehrfamilienhauses um 34 % über dem typischen Verbrauchsniveau. Die Verwendung der Profile für die mittlere Nutzung führt insofern zwar zu einer Verringerung des Endenergiebedarfs und damit zu einer Annäherung an das jeweils typische Verbrauchsniveau – die große Diskrepanz zwischen den Normbedarfskennwerten und dem Verbrauchsniveau lässt sich dadurch jedoch nur zum Teil erklären. Zur Abbildung des typischen Niveaus sind deshalb Anpassungen weiterer, mit größeren Unsicherheiten behafteter Eingangsgrößen (z. B. U-Werte, Wärmebrückenzuschlag) erforderlich (siehe Abb. 8).

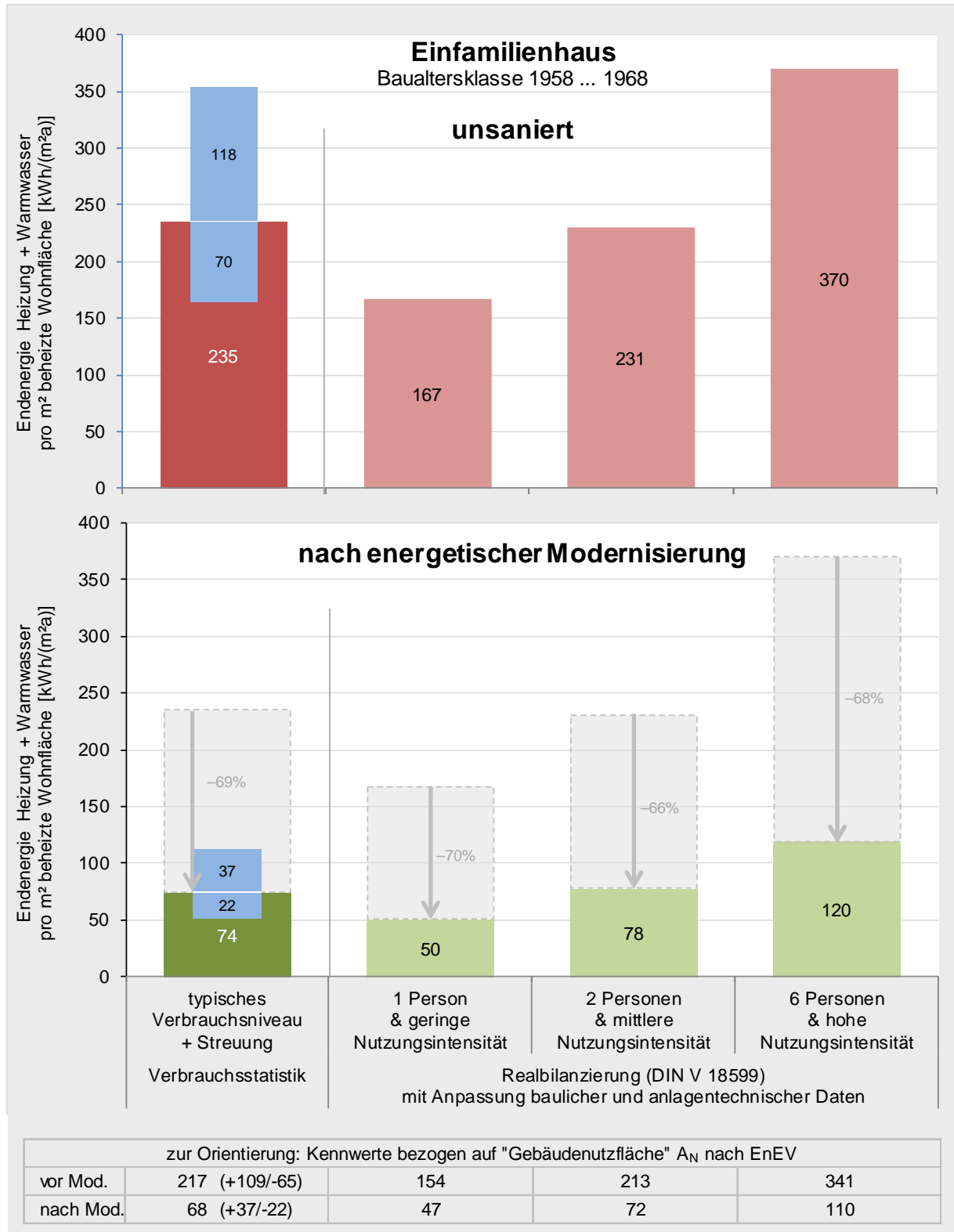
Im Hinblick auf die Einsparpotentiale durch Modernisierungsmaßnahmen wird bei gleichbleibender Nutzungsintensität ersichtlich, dass die relativen Einsparungen der für die Realbilanzierungen verwendeten Nutzungsprofile in der Regel niedriger als die nach Normbilanzierung errechnete Einsparung ausfallen. Die exemplarischen Berechnungen zeigen zudem, dass der realistisch berechnete Energiebedarf im Einfamilienhaus bei niedriger Nutzungsintensität im Ausgangszustand dem bei hoher Nutzungsintensität nach Durchführung von Modernisierungsmaßnahmen entsprechen kann. Umgekehrt bewirkt ein Wechsel von hoher zu mittlerer oder niedrigerer Nutzungsintensität eine Erhöhung der Energieeinsparung.

**Abb. 8: Bild zu Kapitel 6 – Vergleich des typischen Verbrauchsniveaus und der typischen Streuung für die Realbilanzen mit unterschiedlichen Gebäudenutzungen für zwei Modernisierungszustände**

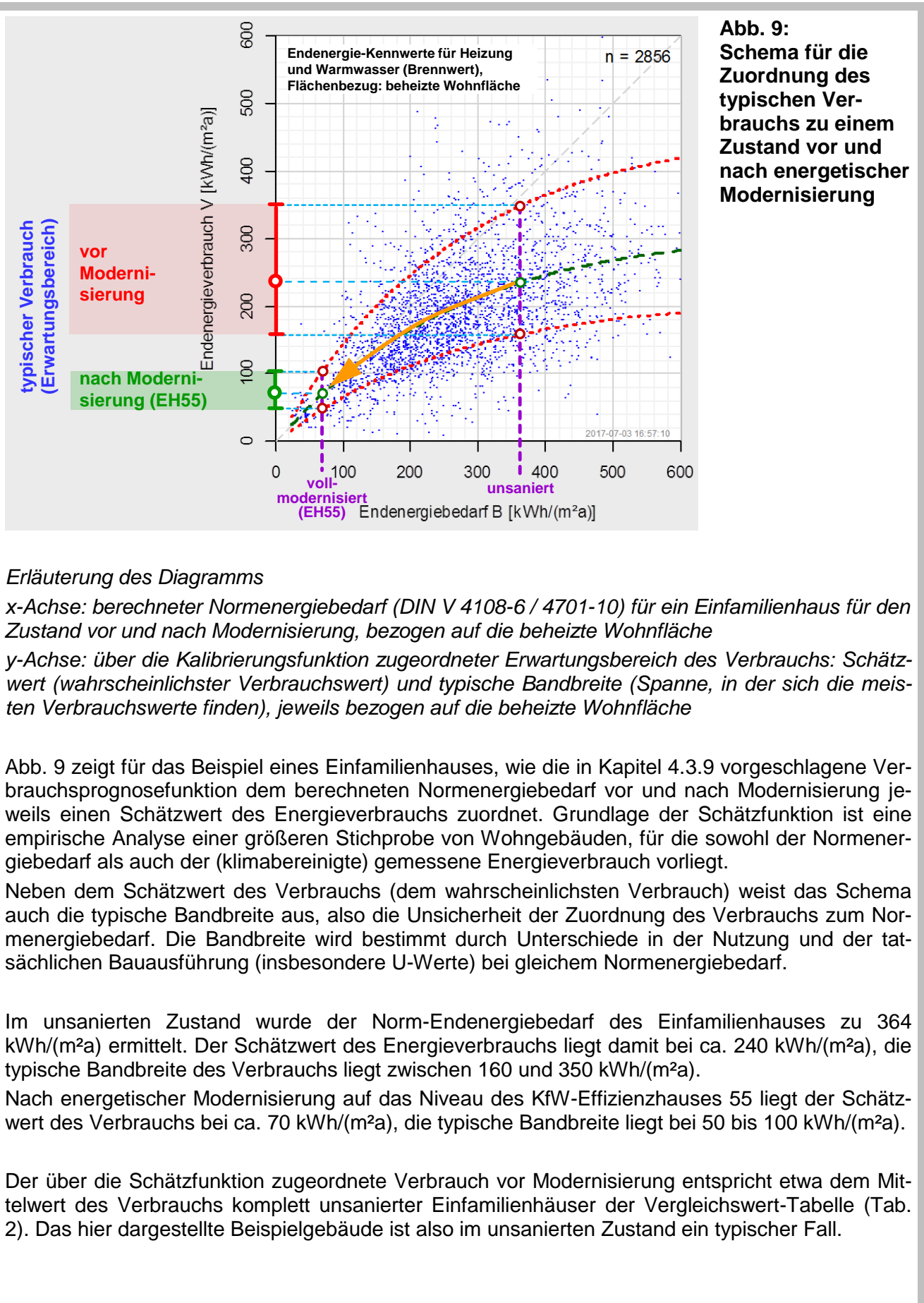
linke Säule: typisches Verbrauchsniveau gemäß Kalibrierungsfunktion + zugehörige Streuung

drei Säulen rechts: Bilanzierung gem. DIN V 18599 für drei unterschiedliche Bewohnerzahlen und Nutzungsintensitäten; bauliche und anlagentechnische Daten so abgeglichen, dass die mittlere der drei Säulen mit dem typischen Verbrauchsniveau grob übereinstimmt

Endenergiekennwerte Erdgas, bezogen auf Brennwert; der Flächenbezug in den Diagrammen ist die beheizte Wohnfläche, um den Vergleich mit den Kennwerten in Infobox 1 zu erleichtern; unter den Diagrammen finden sich darüber hinaus die auf die „Gebäudenutzfläche“  $A_N$  bezogenen Kennwerte entsprechend der Darstellung in Kap. 6.



### Infobox 1: Erläuterung des Nutzereinflusses bei Modernisierungen an einem Beispiel



#### Erläuterung des Diagramms

x-Achse: berechneter Normenergiebedarf (DIN V 4108-6 / 4701-10) für ein Einfamilienhaus für den Zustand vor und nach Modernisierung, bezogen auf die beheizte Wohnfläche

y-Achse: über die Kalibrierungsfunktion zugeordneter Erwartungsbereich des Verbrauchs: Schätzwert (wahrscheinlichster Verbrauchswert) und typische Bandbreite (Spanne, in der sich die meisten Verbrauchswerte finden), jeweils bezogen auf die beheizte Wohnfläche

Abb. 9 zeigt für das Beispiel eines Einfamilienhauses, wie die in Kapitel 4.3.9 vorgeschlagene Verbrauchsprognosefunktion dem berechneten Normenergiebedarf vor und nach Modernisierung jeweils einen Schätzwert des Energieverbrauchs zuordnet. Grundlage der Schätzfunktion ist eine empirische Analyse einer größeren Stichprobe von Wohngebäuden, für die sowohl der Normenergiebedarf als auch der (klimabereinigte) gemessene Energieverbrauch vorliegt.

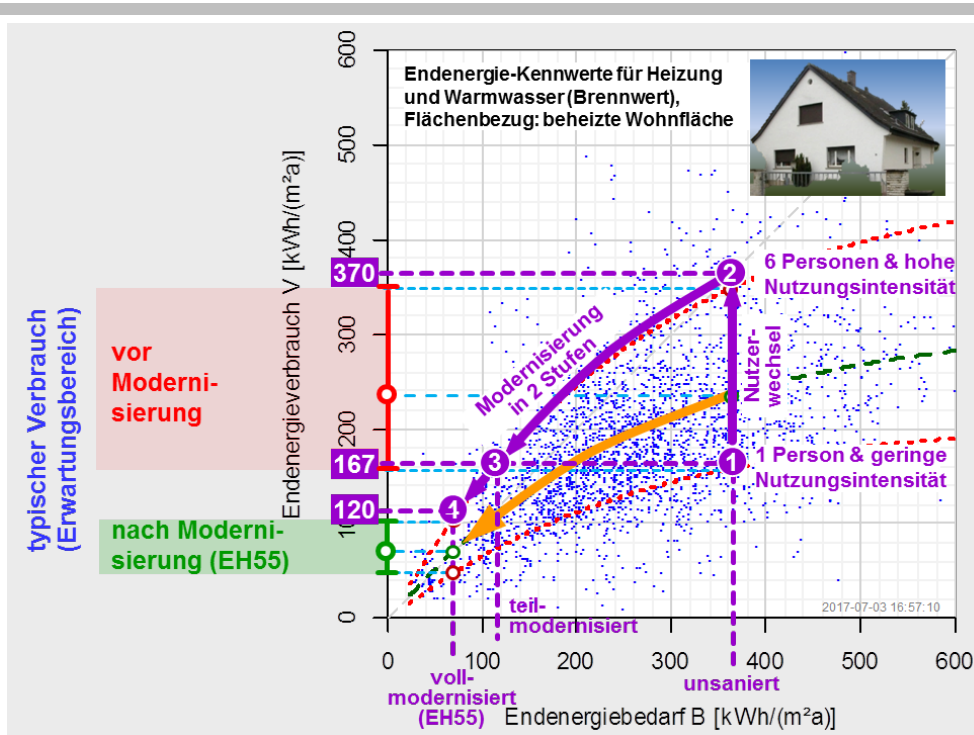
Neben dem Schätzwert des Verbrauchs (dem wahrscheinlichsten Verbrauch) weist das Schema auch die typische Bandbreite aus, also die Unsicherheit der Zuordnung des Verbrauchs zum Normenergiebedarf. Die Bandbreite wird bestimmt durch Unterschiede in der Nutzung und der tatsächlichen Bauausführung (insbesondere U-Werte) bei gleichem Normenergiebedarf.

Im unsanierten Zustand wurde der Norm-Endenergiebedarf des Einfamilienhauses zu 364 kWh/(m²a) ermittelt. Der Schätzwert des Energieverbrauchs liegt damit bei ca. 240 kWh/(m²a), die typische Bandbreite des Verbrauchs liegt zwischen 160 und 350 kWh/(m²a).

Nach energetischer Modernisierung auf das Niveau des KfW-Effizienzhauses 55 liegt der Schätzwert des Verbrauchs bei ca. 70 kWh/(m²a), die typische Bandbreite liegt bei 50 bis 100 kWh/(m²a).

Der über die Schätzfunktion zugeordnete Verbrauch vor Modernisierung entspricht etwa dem Mittelwert des Verbrauchs komplett unsanierter Einfamilienhäuser der Vergleichswert-Tabelle (Tab. 2). Das hier dargestellte Beispielgebäude ist also im unsanierten Zustand ein typischer Fall.

## Infobox 1 – Fortsetzung



**Abb. 10:**  
Illustration der Interpretation von gemessenen Verbrauchswerten

(Fiktives) Beispiel für gemessene Verbrauchswerte bei einem Nutzerwechsel und einer anschließenden zweistufigen energetischen Modernisierung in einem Einfamilienhaus

Das Schema entspricht Abb. 9. Für das Beispielgebäude liegen hier neben dem berechneten Normbedarf auch konkrete Verbrauchswerte vor.

Abb. 10 illustriert, wie das Schema aus Abb. 9 für die Interpretation von gemessenen Verbrauchswerten verwendet werden kann. Die im Diagramm dargestellten vier Punkte werden im Folgenden erläutert:

- (1) In dem komplett unsanierten Gebäude lebt eine Person, die sich sehr sparsam verhält. Der gemessene Erdgas-Verbrauch für Heizung und Warmwasser liegt bei 167 kWh/(m<sup>2</sup>a) - bezogen auf die Wohnfläche von 155 m<sup>2</sup>.
- (2) Es findet ein Bewohnerwechsel statt. Eine Familie mit 6 Personen zieht ein. Im Vergleich mit anderen 6-köpfigen Haushalten liegt eine eher hohe Nutzungsintensität vor. Der Verbrauch liegt mit 370 kWh/(m<sup>2</sup>a) um ca. 50% höher als beim Durchschnitt von Häusern mit gleichem energetischen Zustand.
- (3) Es wird die erste Stufe einer energetischen Modernisierung realisiert. Der Verbrauch wird auf etwa 167 kWh/(m<sup>2</sup>a) halbiert. Er liegt jetzt wieder bei dem Wert des früheren Bewohners vor energetischer Modernisierung.
- (4) Die zweite Stufe der Modernisierung auf Effizienzhaus-50-Standard wird umgesetzt. Der Verbrauch wird jetzt auf 120 kWh/(m<sup>2</sup>a) und damit auf ein Drittel des Ausgangswertes reduziert. Er liegt jedoch immer noch um 50% höher als beim Durchschnitt gleichartiger Gebäude.

Das vorliegende Schema hilft Eigentümern bzw. Bewohnern, den gemessenen Verbrauch einzuordnen. Für die Klimaschutzpolitik ist die im Einzelfall vorgefundene Überschreitung des erwarteten Energieverbrauchskennwertes dagegen nicht relevant. Hier ist primär sicherzustellen, dass im Mittel über alle Modernisierungen das angestrebte Verbrauchsziel erreicht wird. Um dies zu gewährleisten wird flächendeckend ein regelmäßiges, stichprobenartiges Verbrauchsmonitoring für modernisierte Gebäude aber auch für Neubauten benötigt.

Das Beispiel verdeutlicht auch, dass quadratmeterbezogene Aussagen für eine Beurteilung der Klimaschutzwirkung nicht ausreichen. Die Pro-Kopf-Emissionen für Heizung und Warmwasser liegen im Ausgangszustand bei dem 1-Personen-Haushalt trotz sparsamen Verhaltens bei jährlich 6,3 Tonnen CO<sub>2</sub>, bei dem 6-Personen-Haushalt bei 2,3 Tonnen CO<sub>2</sub>. Durch die energetischen Modernisierungsmaßnahmen konnten die Emissionen der Familie auf 0,7 Tonnen pro Kopf reduziert werden. Wäre die sparsame Einzelperson nicht ausgezogen und hätte die gleiche energetische Modernisierung durchgeführt, so hätte sie ihren Verbrauch für Heizung und Warmwasser auf etwa 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) abgesenkt – ein Wert der nur etwa halb so hoch wie bei der Familie nach Modernisierung. Die Pro-Kopf-Emissionen für Heizung und Warmwasser hätten jedoch auch nach Modernisierung immer noch jährlich 2,0 Tonnen CO<sub>2</sub> betragen (und lägen damit immer noch höher als im deutschen Durchschnitt).

## Weiterer Handlungs- und Forschungsbedarf (Kapitel 7)

### ► Ergänzung des Energiebedarfsausweises: Schätzwert Energieverbrauch nebst zugehöriger Spanne + Visualisierung der Erwartungsbreiten bei Modernisierungen

Aufbauend auf der im Kapitel 4 entwickelten Methodik wird vorgeschlagen, ergänzend zu den bisherigen Angaben im Energiebedarfsausweis auch den Schätzwert des Verbrauchs und die zugehörige Bandbreite anzugeben. Ein mögliches Schema für ein solches „Add-on“ zum Energieausweis zeigt Abb. 11. Damit kann insbesondere für den Modernisierungsfall klar kommuniziert werden, welche Reduktion des Energieverbrauchs im Mittel erwartet wird und welche Unsicherheit diese Prognose hat.

### ► Einführung einer Berichtspflicht Energieverbrauch als Ergänzung zum Energiebedarfsausweis bei Neubauten

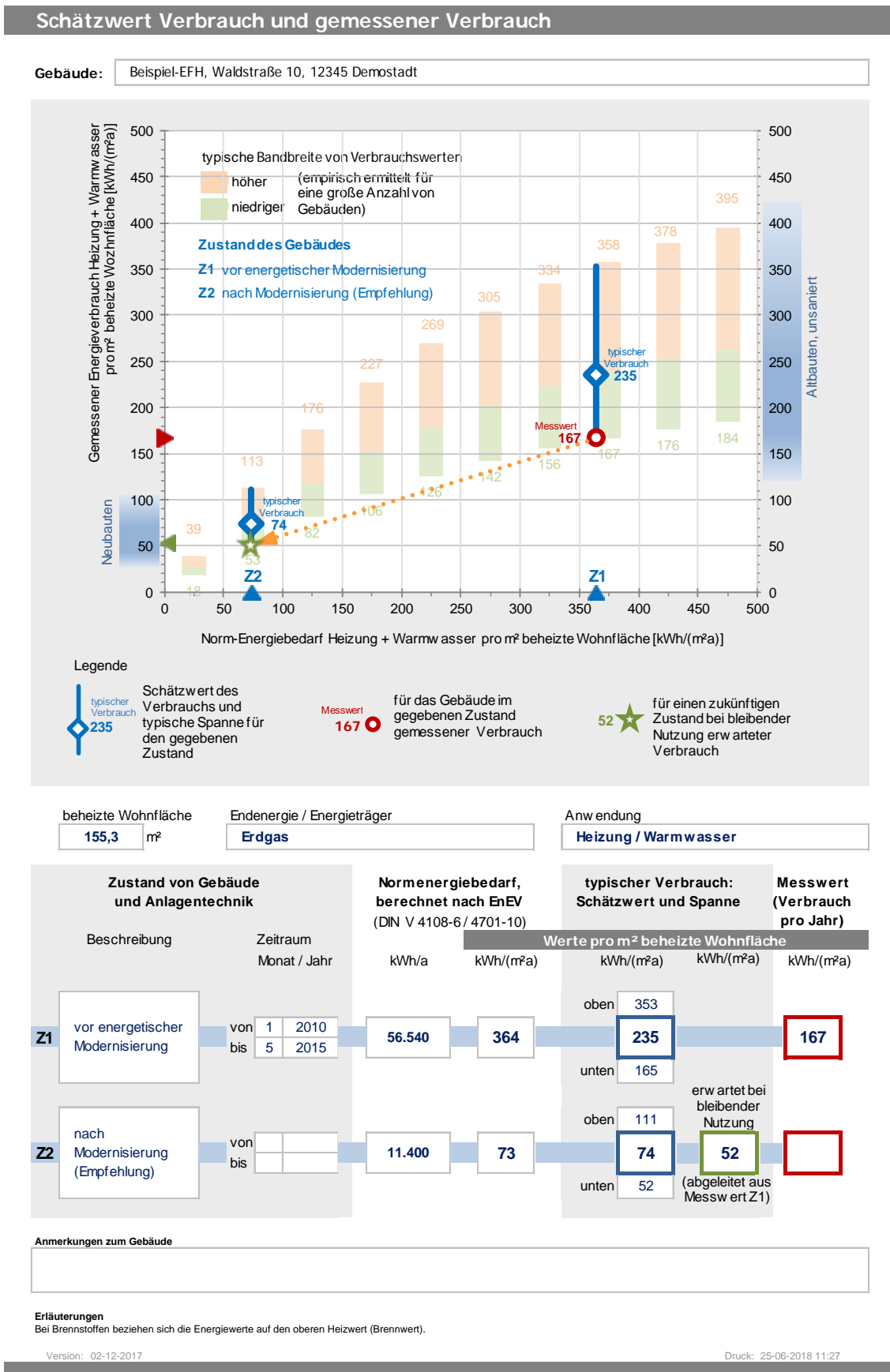
Als Grundlage für das Energieeffizienz-Monitoring empfehlen wir die Einführung einer Berichtspflicht für den Energieverbrauch als nachträgliche Ergänzung des Energiebedarfsausweises bei neu errichteten Wohngebäuden. Die Energieausweisersteller wären durch einen solchen Ansatz verpflichtet, drei bis vier Jahre nach Errichtung des Gebäudes den gemessenen Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser beim Gebäudeeigentümer abzufragen und in eine aktualisierte Fassung des Energieausweises einzutragen sowie die zugehörigen Daten in eine zentrale Datenbank zu transferieren. Ein solches Verfahren wird bereits in Luxemburg praktiziert.

Bei erfolgreicher Umsetzung im Neubaubereich wäre eine Erweiterung auf energetisch modernisierte Gebäude denkbar. Im Vorfeld hierzu könnte sich die Einführung eines zusätzlichen förderfähigen Bausteins „Verbrauchsmonitoring nach Modernisierung“ innerhalb des KfW-Förderprogramms als sinnvoll erweisen.

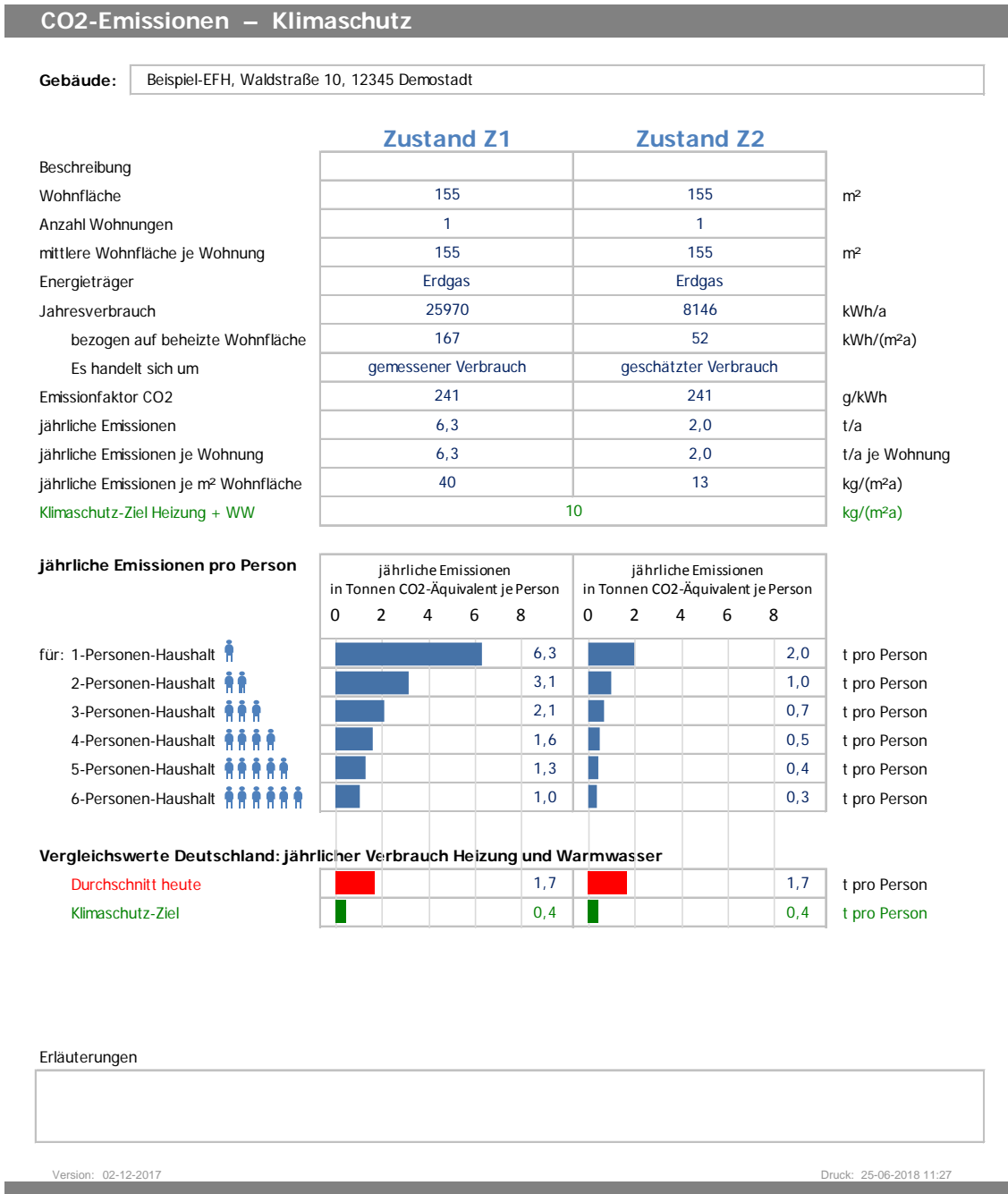
### ► Berücksichtigung der Bewohnerzahl ergänzend zur quadratmeterbezogenen Bewertung

Um die globalen Ziele des Klimaschutzes einzuhalten müssen die absoluten Emissionswerte an Kohlendioxid stark reduziert werden. Eine weltweit gerechte Verteilung dieser Aufgabe drückt sich in Zielgrößen aus, die auf die Einwohnerzahl bezogen sind. Wir empfehlen die Kommunikation dieser Klimaschutzziele im Kontext der Beratung und Bewertung energetischer Modernisierungen (siehe Schema in Abb. 12). Ansonsten bliebe eine wichtige durch die Bewohner beeinflussbare Stellschraube, nämlich die Reduktion der eigenen Wohnfläche, unberücksichtigt. Welche Rolle diese Größe spielen kann, ist beispielhaft in Infobox 1 demonstriert.

**Abb. 11: Mögliches Schema für eine verbraucherorientierte Darstellung der Schätzwerte des Verbrauchs als Ergänzung zum Energiebedarfsausweis**



**Abb. 12: Mögliches Schema für eine Integration des Aspektes der Bewohnerzahl bzw. Personenbelegung in die Klimaschutzmotivierte Bewertung des Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser im Ist-Zustand und nach einer möglichen Modernisierung**



### ► Einführung von Indikatoren für den thermischen Komfort zur Nutzung in der Energieberatung sowie als optionale Ergänzung zum Energieausweis

Es wird vorgeschlagen, den nicht-energetischen Nutzen energetischer Modernisierungen in einer Ergänzung zum Energieausweis aufzuzeigen (siehe Konzeptvorschlag in Abb. 7). Damit könnten potentiellen Mietern oder Käufern von Wohnimmobilien in einfacher und verständlicher Weise Informationen über die durch Modernisierung erreichten Qualitäten des Wohngebäudes gegeben werden. Der Vorschlag umfasst Angaben zum thermischen Komfort im Winter, zum thermischen Komfort im Sommer und zur Art und zum Komfort der Lüftung. Grundlage der Bewertungen sind Gebäudedaten, die bei der Erstellung des Energieausweises ohnehin vorhanden sind.

### ► Festlegung eines Basis-Satzes von Indikatoren für das Monitoring des Energieverbrauchs und die Zuordnung zum energetischen Zustand

Es wird vorgeschlagen, einen Basis-Satz von Monitoring-Indikatoren festzulegen, die in den verschiedensten Anwendungsfeldern (siehe unten) jeweils in gleicher Art genutzt werden. Für ein gegebenes Wohngebäude umfassen diese Monitoring-Indikatoren die folgenden Kategorien:

- Grunddaten (Wohnfläche, Anzahl Vollgeschosse, Beheizungssituation im Keller- und Dachgeschoss, Anzahl Nachbargebäude, Anzahl Wohnungen, Jahr der erfassten Grunddaten, ...);
- energetische Qualität der thermischen Hülle (Baujahr, Art der Konstruktion, Dämmstärken, Jahr der Dämmung, Jahr der erfassten energetischen Qualität, ...);
- Charakterisierung des Wärmeversorgungssystems (Typen der Wärmeerzeugung, -speicherung, -verteilung für Heizung und Warmwasser; Einsatz erneuerbarer Energien; Jahr der Installation / Erneuerung; Jahr des erfassten Versorgungssystems, ...);
- gemessener Energieverbrauch (Energieträger, Maßeinheit, Verbrauch, Verbrauchszeitraum, Zuordnung zum energetischen Zustand entsprechend der oben genannten Kriterien, ...);
- zusätzlich sofern vorhanden: Ergebnisse des Normnachweises nach EnEV (Transmissionswärmeverlust, Heizwärmebedarf, Endenergiebedarf differenziert nach Energieträger und Anwendung (Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie, Version des EnEV-Rechenverfahrens, ...).

Für die technische Umsetzung wäre ein verbraucherfreundlicher und verständlicher Papier-/PDF-Fragebogen mit ergänzenden Erläuterungen, ein dazu kompatibler elektronischer Fragebogen (Web-Applikation) sowie ein XML-Schema hilfreich. Weiterhin wäre es sinnvoll, ein maschinenlesbares Blatt mit den genannten Basis-Indikatoren zu entwickeln, das als (anonymisierte) Anlage zum Fragebogen eine einfache Erfassung durch Scannen aus den Akten eines Gebäudes heraus erlaubt (zum Beispiel im Kontext einer Stichprobenerhebung oder als Information für ein Abrechnungs- oder Versorgungsunternehmen).

### ► Verankerung des Energieeffizienz-Monitorings in immobilien- und energiewirtschaftlichen Prozessen

Sowohl für Einzelgebäude als auch für Gebäudebestände sollte das Monitoring der energetischen Qualität und des Energieverbrauchs entsprechend den oben dargestellten Basis-Indikatoren etabliert werden. Es wird vorgeschlagen, hierbei einen Fokus auf die Verankerung in ohnehin vorhandene immobilien- und energiewirtschaftlichen Prozesse zu legen. Hierzu gehören insbesondere die Abrechnung leitungsgebundener Energieträger (Erdgas, Fernwärme, Strom) sowie die Heizkostenabrechnung im Mietwohnungsbereich. Die Erfassung und Pflege der Basis-Indikatoren durch die Versorgungs- und Abrechnungsunternehmen wäre eine gute Grundlage für die Ermittlung von differenzierten Verbrauchsbenchmarks. Damit wäre zunächst ein unmittelbarer Nutzen für die Kunden der Unternehmen verbunden, die ihre eigenen Verbrauchswerte direkt mit denen der anderen Kunden differenziert nach der energetischen Gebäudequalität vergleichen können. Durch die Einheitlichkeit der Indikatoren wäre gewährleistet, dass eine Zusammenführung und Publikation der aggregierten Daten unternehmensübergreifend auf Bundesebene leicht möglich wäre.



### ► **Festlegung der Basis-Indikatoren als verbindliche Datengrundlage für die Ausstellung von Energieverbrauchsausweisen**

Als erster Schritt in diese Richtung wird empfohlen, die Angabe der oben dargestellten Basis-Indikatoren für das Energieeffizienz-Monitoring als verbindliche Voraussetzung für die Ausstellung des Energieverbrauchsausweises vorzuschreiben. Durch die einheitliche Definition der Indikatoren und einen zusätzlichen Leitfaden für die statistische Auswertung wären die Datenbanken der Verbrauchsausweisersteller eine valide Quelle für die differenzierte Verfolgung des Energieverbrauchs im Wohngebäudebestand.

### ► **Regelmäßige Publikation von Vergleichswerttabellen (Verbrauchsbenchmarks)**

Es wird vorgeschlagen auf einer eigens dafür geschaffenen Website bzw. Internet-Plattform in regelmäßigen Abständen die oben angeführten Vergleichskennwerte für den Energieverbrauch von Wohngebäuden zu veröffentlichen. Dies sollte unabhängig von den Regelungen der EnEV erfolgen, um jeden Verdacht einer Instrumentalisierung für Zwecke der Energiespargesetzgebung zu vermeiden. Die Daten sollten auf zwei Ebenen angeboten werden: eine einfache allgemeinverständliche Information für Verbraucher und eine Fachinformation für Experten. In letzterer sind die Datenquellen und die Algorithmen für die Zusammenführung dokumentiert.

### ► **Gesamtbestand: Stichprobenerhebung zu energetischen Merkmalen und zum Energieverbrauch von Wohngebäuden**

Vollerfassungen werden auf absehbare Zeit auf kleinere Teilbereiche des deutschen Gebäudebestands (z.B. Bestände von Wohnungsunternehmen) beschränkt bleiben, da es bisher keinen Ansatzpunkt für die Verankerung des Energieeffizienz-Monitorings bei Bestandsgebäuden ohne Heizkostenabrechnung (insbesondere Einfamilienhäuser) im Fall nicht-leitungsgebundener Energieträger (Heizöl, Flüssiggas und Pellets) gibt. Diskutiert wird derzeit auch die Möglichkeit der Einführung eines amtlichen Gebäuderegisters in Deutschland. Dieses könnte zwar im Prinzip die oben genannten Gebäudeindikatoren enthalten, allerdings müsste die Datenpflege entweder über eine regelmäßige Vollerhebung gesichert sein (also im Zensus, wofür der Fragenkatalog vermutlich zu lang ist) oder alle energierelevanten Änderungen an Gebäuden müssten meldepflichtig werden (was die Frage nach dem Vollzug aufwirft).

Aus diesen Gründen wird parallel zu den Aktivitäten in den oben genannten Teilsegmenten eine in regelmäßigen Abständen durchgeführte Stichprobenerhebung für den gesamten Wohngebäudebestand benötigt. Hierzu wären – so wie bei den beiden bisher schon realisierten Eigentümerbefragungen – die oben genannten Basis-Indikatoren mit den Grunddaten, dem energetischen Zustand der Hülle und der Art der Wärmeversorgung zu erfassen. Die Möglichkeiten die Befragung in Richtung Energieverbrauch auszuweiten sollten geprüft werden.

### ► **Verbesserung des Grundlagenwissens zum Wohnklima und zum Wohnverhalten in Abhängigkeit vom Gebäudezustand sowie zu den energietechnischen Eigenschaften des Gebäudebestands**

Aus sozialwissenschaftlicher Sicht liegt ein großer Forschungsbedarf in der Verbesserung der verfügbaren Datengrundlagen über das Energienutzungsverhalten und sonstige nutzerbedingte Einflüsse auf den Energieverbrauch, auch bezogen auf unterschiedliche energetische Gebäudestandards. Die bislang zum Thema durchgeführten Studien basieren zumeist auf (sehr) kleinen Fallzahlen und sind überwiegend im Kontext von modellhaften energetischen Modernisierungen oder Neubauten energieeffizienter Gebäude durchgeführt worden. Damit liefern sie – wenn überhaupt – nur wenig fundierte Hinweise darauf, ob beispielsweise soziodemographisch-/kulturell usw. unterschiedliche Haushaltskonstellationen zu unterschiedlichen Energieverbrauchsmustern führen oder wie gut der jeweilige energetische Zustand des Gebäudes den Komfortbedürfnissen der Bewohner gerecht wird.

Solche breit angelegten Bewohnerbefragungen sollten durch umfangreiche Messungen zu den Wohnbedingungen und zum Verhalten in Gebäuden unterschiedlichster energetischer Qualität ergänzt werden.

Als Grundlage für den Vergleich und die Aggregation von sozialwissenschaftlichen und messtechnischen Daten zum Nutzerverhalten ist eine Harmonisierung von Fragen und Datenstruktur erforderlich. Diese sollten in zukünftigen Forschungsprojekten, die ein begleitendes messtechnisches Monitoring des Verbrauchs und Nutzerverhaltens beinhalten, angewendet werden.

Auch für die weiteren Eingangsgrößen der energetischen Bilanzierung wie Klimadaten (Temperaturen, Solarstrahlungsdaten), bauliche Daten (Hüllfläche, U-Werte, Wärmebrückenverluste, etc.), anlagentechnische Daten (Leitungslängen, Wärmeverlustkoeffizienten, Erzeugeraufwandszahlen, etc.) und Daten zur Betriebsführung (Netztemperaturen, etc.) werden typische Werte und Spannen benötigt, die über eine entsprechend angelegte empirische Forschung ermittelt und der Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht werden sollten.

## Executive Summary

### **How to consider user aspects in the assessment of energy upgrades of residential buildings – The findings of the study in a nutshell**

Aim of the study is to consider user aspects in the assessment of residential buildings before and after energy upgrades. This includes a realistic estimate of the possible energy savings with the aim to strengthen the confidence in the German energy performance certificate (EPC) for residential buildings.

As a foundation the study gives an overview of the existing empirical information in Germany about energy consumption, user behaviour, and further benefits achieved by refurbishments apart from energy savings.

On this basis a three-stage concept is proposed to establish realistic assessments:

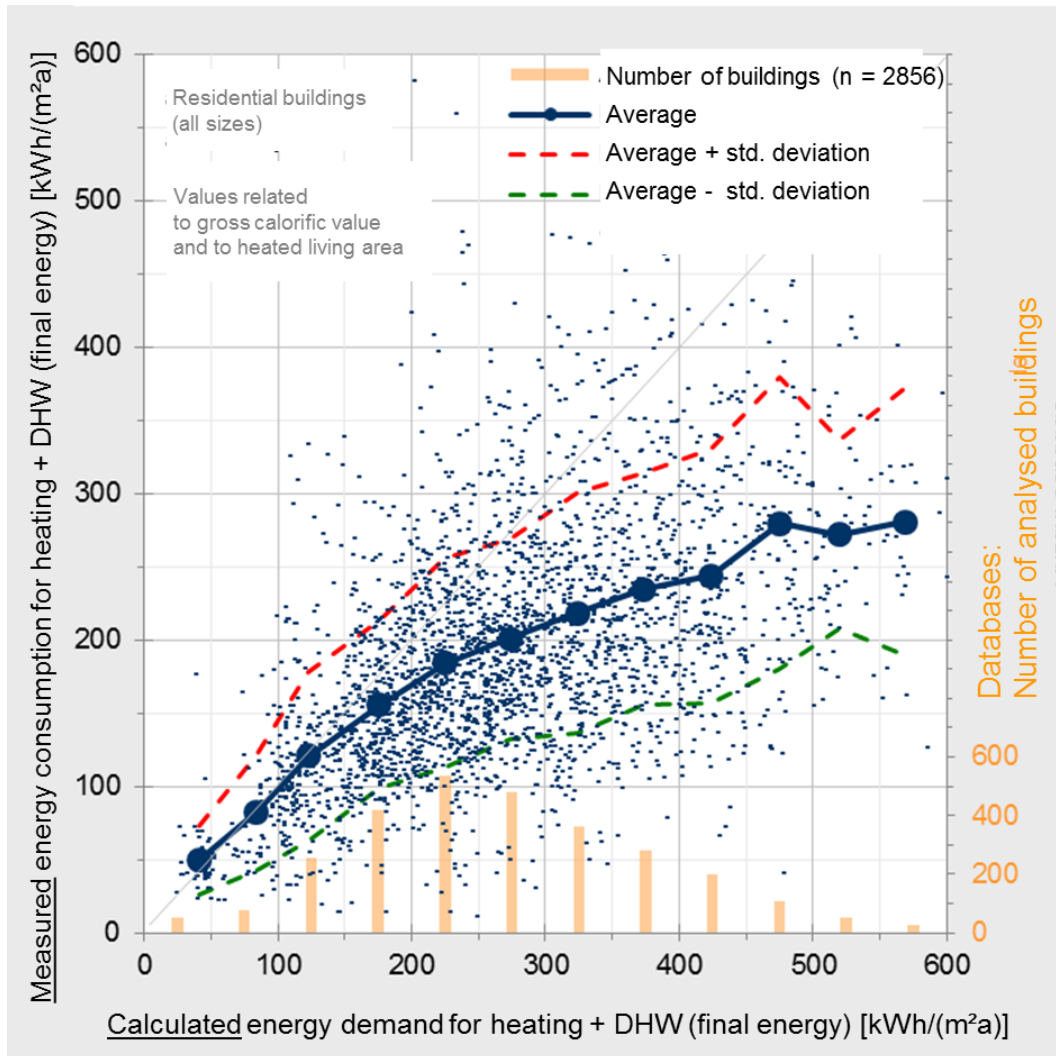
- (A) Publication of consumption benchmarks for the German housing stock, to be regularly updated;
- (B) Supplement of the EPC standard calculated rating by an estimate of the metered consumption and the related uncertainty (expected range of actual consumption);
- (C) Provision of additional sets of boundary conditions and building input data including averages and uncertainties to enable realistic calculated rating and recommendations in the context of energy consultancy.

Based on the compiled empirical data first suggestions for an implementation of the three stages are made including average consumption values by building age (unrefurbished buildings) and by calculated rating (Abb. 13), calibration factors and uncertainty spreads (Abb. 14), as well as tabled utilisation values representing ranges of typical user behaviour. The wide scattering of consumption values assigned to specific values of calculated rating could be explained by plausible assumptions about the variation of user behaviour as well as building and heat supply system data (Abb. 15).

Apart from the energy savings further positive aspects of refurbished buildings are being highlighted: The most important are the thermal comfort in winter and summer achieved by insulation measures as well as the air quality by ventilation systems. A proposal is made for indicating these advantages in a document supplementing the energy performance certificate.

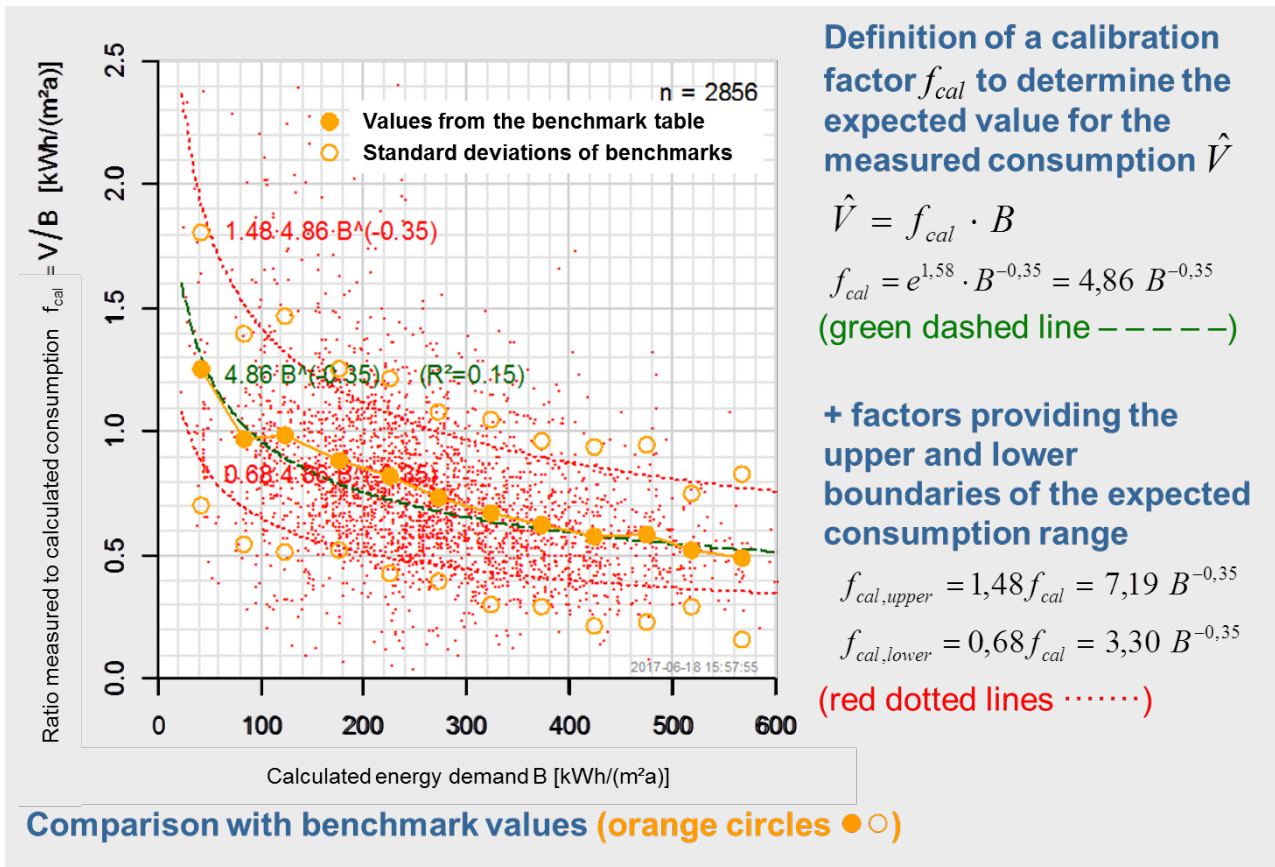
**Abb. 13: Relation of metered energy consumption and standard calculated rating for 2856 residential buildings + derived benchmarks (average and standard deviation for intervals of 50 kWh/(m²a) calculated energy demand)**

Combined values of 6 studies focusing on different building types and energy performance levels; metered and calculated delivered energy for heating and domestic hot water



**Abb. 14: Function for the calibration factor determined by a regression analysis of the data / formula for one of two proposed models including upper and lower boundary**

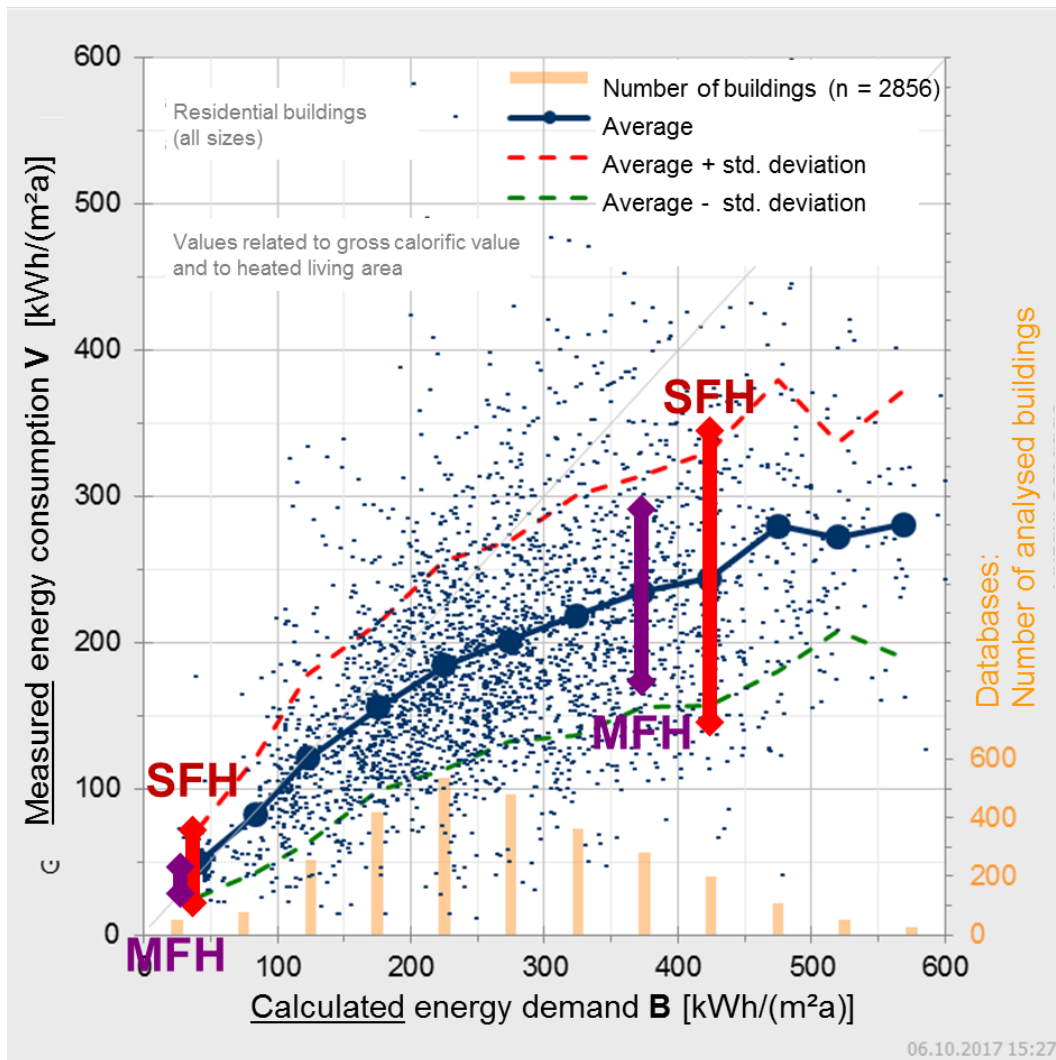
Also included: the ratio metered to calculated consumption of the benchmark values from the figure above (in Abb. 13)



**Abb. 15: Explanation for the observed large uncertainties**

Rough estimation of the uncertainties of the calculated rating (user behaviour, uncertainty of building data) compared to the standard deviation of the benchmark values from the figure above (Abb. 13).

"SFH" = single-family house; "MFH" = multi-family house



# 1 Vorwort und Einführung in die Problematik

Die primären Adressaten der Schwachstellenanalyse und der energetischen Bewertung von Wohnhäusern sowie der Modernisierungsberatung sind deren Eigentümer und Nutzer. Aufgrund der Größe und Heterogenität dieser Gruppe und ihrer Verortung in sehr unterschiedlichen Lebenszusammenhängen ist die Kommunikation mit diesen Akteuren eine recht komplexe Aufgabe. Informationsbedarf besteht zu verschiedensten Zeitpunkten und verschiedensten Anlässen, beim Kauf im Neuzustand, bei Verkauf und Vermietung von Bestandsgebäuden und bei der Beurteilung von möglichen, geplanten oder bereits durchgeführten Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen. Auch während der Nutzung sind Informationen nötig, die eine energieeffiziente Betriebsweise der Wärmeversorgung ermöglichen und Energieverschwendung durch Fehlverhalten vermeiden helfen. Ein einzelnes Informationsinstrument ist da schnell überfordert – besonders dann, wenn es zugleich auch einfach und verständlich sein soll.

## **Energieausweis wurde nicht für die Prognose von Verbrauchswerten konzipiert**

Der Energieausweis in Deutschland ist aus dem „Energiebedarfsausweis“ entstanden, einem behördlichen Nachweis der Einhaltung von gesetzlichen Anforderungen. Er wurde durch die Novelle der Energieeinsparverordnung 2007 um eine Bewertungsskala und die nach EU-Richtlinie geforderten Modernisierungsempfehlungen ergänzt, ohne dass das zu Grunde liegende Nachweis-Instrumentarium um diese neuen Funktionen erweitert wurde.

Das eigentliche Ziel des Energieausweises ist es, in vergleichbarer Art und Weise über den energetischen Zustand des Gebäudes zu informieren und die Einhaltung gesetzlich vorgeschriebener Grenzwerte nachzuweisen. Da dabei die energetische Gebäudequalität unabhängig vom Nutzerverhalten und regionalem Klima bewertet werden muss, sind einheitliche Randbedingungen erforderlich. Der Nachweis nach Energieeinsparverordnung (EnEV) stellt dafür eine Art „virtuellen Teststand“ zur Verfügung. Ähnlich wie beim Auto beantwortet der Test die Frage, welcher Verbrauch sich ergeben würde, wenn ein standardisierter Nutzer sich „normgerecht“ verhält und die klimatischen Verhältnisse dem Normklima entsprechen.

## **Abweichungen zwischen Norm-Bedarf und Verbrauch**

In der Praxis können jedoch sowohl die Klimabedingungen als auch das Verhalten der Bewohner stark von der Norm abweichen. Aus den vorliegenden empirischen Untersuchungen ist bekannt, dass unsanierte Altbauten bei deutlich tieferen mittleren Raumtemperaturen genutzt werden als energieeffiziente Neubauten. Das ist verständlich, da man in einem schlecht gedämmten Einfamilienhaus für ein zusätzliches Grad Celsius Raumtemperatur je Winter ca. 100 € zahlen muss, in einem Passivhaus nur 15 €.

Da es einen Teststand für Gebäude in der Praxis nicht geben kann, müssen die Eigenschaften des Gebäudes in einem physikalischen Modell abgebildet werden, das den Test in virtueller Form durchläuft. Insbesondere bei Altbauten sind aber viele thermische Eigenschaften nicht genau bekannt. Für die Berechnung nach EnEV wird – wie es sich für einen „Prüfstand“ gehört – von den ungünstigsten Annahmen ausgegangen. Die dadurch entstehende Überschätzung der Wärmeverluste von Bauteilen und Anlagenkomponenten führt zusammen mit dem oben beschriebenen Ansatz einer normgerechten Nutzung zu dem seit langem bekannten Effekt: Die Norm-Energiekennwerte liegen bei schlecht gedämmten Altbauten typischerweise um mehr als 50 % über dem mittleren realen Verbrauchsniveau dieser Gebäude.

Das Problem liegt also nicht darin, dass das EnEV-Rechenverfahren falsch wäre, sondern dass es für die erweiterten Aufgaben einer Beratung und Verbrauchsprognose ursprünglich gar nicht konzipiert worden ist. Dem Verbraucher ist durchaus bewusst, dass zwischen Verbrauch unter Normbedingungen und realem Verbrauch je nach tatsächlicher Nutzung große Unterschiede liegen können. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Kraftstoffverbrauch beim Auto: Jedem Fahrzeugnutzer ist klar, dass Stadtverkehr einen deutlich höheren Verbrauch mit sich bringt als ruhiges Dahingleiten auf einer Landstraße.

### **Einsparberatung erfordert Aufbereitung der Energieausweiskennwerte**

*Aussagekräftige Energieberatungen orientieren sich immer schon an dem realen Gebäudeenergieverbrauch. Schon seit Mitte der 1980er Jahre ist es in der Beratungspraxis üblich, zur Bestimmung der Einsparpotenziale eines Gebäudes die Eingaben in die rechnerischen Modelle durch Kalibrierung auf den tatsächlichen Verbrauch an die realen Bedingungen anzupassen. Dies erfolgt durch einen realistischen Ansatz des Nutzerverhaltens und durch Nachjustierung von Daten zu den thermischen Eigenschaften von Bauteilen innerhalb des Unsicherheitsbereichs. Eine solche an der Realität orientierte energetische Bilanzierung wurde und wird auch bei der Entwicklung von Gebäudebestandsmodellen praktiziert. Die von „Bedarfswert“-Kritikern zu hörende Behauptung, die von der EnEV für Bestandsgebäude berechneten hohen Norm-Bedarfswerte hätten generell zu einer Überbewertung der Einsparpotenziale im Gebäudebestand geführt, ist daher falsch. In seriösen Potenzialabschätzungen und Szenarienberechnungen fand und findet immer soweit wie möglich eine Kalibrierung auf den sektoralen Energieverbrauch bzw. auf ein typisches Verbrauchsniveau statt.*

### **Rebound-Effekte**

*Dass reale Energieeinsparungen systematisch niedriger liegen als dies die Normbedarfsberechnung vorhersagt, wird häufig dem „Rebound-Effekt“ zugeordnet. Wenn man anstelle des Normbedarfs nun die für die an der Realität kalibrierte Energiebilanzberechnung verwendet, kann es eigentlich keinen Rebound-Effekt mehr geben. Was bleibt, ist die in der Praxis beobachtete Anhebung des Komfortniveaus durch die Modernisierung, die ebenfalls im vorliegenden Bericht im Fokus steht. Ob damit nun mehr Komfort in Anspruch genommen wird, als eigentlich nötig, oder ob durch einen hochwertigen Wärmeschutz endlich das Grundbedürfnis nach einem durchgängig behaglichen Wohnumfeld befriedigt wird, kann an anderer Stelle diskutiert werden. Daher benutzt die vorliegende Studie auch nicht die Begriffe Rebound- oder Prebound-Effekt. Im Fokus stehen stattdessen rein deskriptive Modelle und Indikatoren, die auf Transparenz und Nachvollziehbarkeit der komplexen Realität abzielen.*

### **Verankerung in ohnehin ablaufenden Prozessen**

*Die in dieser Studie dargestellten Erkenntnisse über Zusammenhänge von Bedarf und Verbrauch können in neue Informationsinstrumente fließen, die eine Reduktion des Energieverbrauchs unterstützen. Ein geeigneter Zeitpunkt, um Verbraucher für das Thema Energieeinsparung zu sensibilisieren ist der Eingang der jährlichen Verbrauchsabrechnung. Mieter wie selbstnutzende Gebäudeeigentümer sollten die eigenen Verbrauchswerte unkompliziert mit typischen Werten in Gebäuden ähnlicher energetischer Qualität vergleichen können. Dies ermöglicht ihnen, den Einfluss ihres eigenen Verhaltens zu beurteilen. Werden darüber hinaus empirisch ermittelte Vergleichswerte für energetisch modernisierte Gebäude ausgewiesen, wird bei jeder Abrechnung auch die Botschaft der durch Maßnahmen erreichbaren niedrigeren Verbräuche transportiert. Eine zuverlässige Zuordnung von Verbrauchskennwerten zum vorliegenden Gebäude kann aber nur gelingen, wenn Messdienstleister und Energieversorger entsprechende Informationen über den Zustand der Gebäude beim Kunden abfragen.*

*Die Auftrennung und separate Optimierung des gesetzlichen Nachweises, der Gebäudeklassifizierung, der Energieabrechnung und Beratung bei Verwendung gemeinsamer Module für die Erfassung der energetischen Qualität individueller Gebäude (Monitoring-Indikatoren) und für die Einordnung des Verbrauchs (empirisch ermittelte Verbrauchs-Benchmarks) und der offensive Umgang mit empirisch belegten Unsicherheiten und Streuungen würde nach unserer Einschätzung helfen, das Vertrauen in die Wirksamkeit der energetischen Modernisierung zu verbessern und damit eine Voraussetzung für die Erreichung der Klimaschutzziele im Gebäudesektor zu erreichen.*

*Der vorliegende Forschungsbericht soll durch Aufbereitung und Darstellung des aktuellen Wissensstands und durch Vorschläge zur Erweiterung der bisherigen Konzepte einen Beitrag für diese Entwicklung liefern.*



## 2 Nutzerverhalten und -einfluss auf den Energieverbrauch

### 2.1 Empirische Daten zum Energieverbrauch von Wohngebäuden

Es gibt in Deutschland eine Reihe von messtechnischen bzw. empirischen Untersuchungen, in denen der Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser für eine größere Anzahl von Wohngebäuden analysiert wird. Im Folgenden werden Ergebnisse von solchen Studien dargestellt, die in nachvollziehbarer Weise zwischen Gebäuden unterschiedlichen Baualters differenzieren bzw. für die ein quantitativer Indikator für die energetische Qualität der Gebäude vorliegt. Ziel ist die Verwendung als Grundlage für die Herleitung von energetisch oder zumindest nach Baualter differenzierten Verbrauchsbenchmarks sowie für die Kalibrierung des EnEV-Rechenverfahrens auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4). Jeweils am Ende der Darstellung findet sich eine entsprechende Bewertung der Daten hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für diesen Zweck. Dabei werden die in vielen Fällen notwendige Umrechnungen zwischen Heizwert und Brennwert und zwischen unterschiedlichen Flächenbezügen nicht gesondert erwähnt.

Meta-Analysen zu der Fragestellung der durch Modernisierung real erzielbaren Verbrauchsreduktion mit umfassenden Literaturverweisen sind z.B. in [Sunikka-Blank / Galvin 2012] oder [Hoffmann et al. 2015] zu finden.

#### 2.1.1 Meta-Analyse von Modellprojekten des energieeffizienten Bauens [Loga et al. 2003]

Im Rahmen einer Analyse der Auswirkungen des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten wurden in [Loga et al. 2003] verschiedene Forschungs- und Projektberichte bezüglich der Abhängigkeit des Energieverbrauchs von der energetischen Qualität der Gebäude untersucht. In Abb. 16 ist als Ergebnis der Untersuchung der wohnflächenbezogene Energieverbrauch für Heizung aufgetragen über dem auf die Wohnfläche bezogenen Wärmetransferkoeffizienten Transmission – getrennt für verschiedene Arten der Lüftung. Man erkennt eine deutliche Abhängigkeit des Verbrauchs vom rechnerischen Transmissionswärmeverlust. Im Fall der Gebäude ohne Lüftungsanlage findet man eine deutliche Streuung der Einzelwerte. Im Fall der Gebäude mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist die Streuung spürbar kleiner. Für das damals als „Niedrigenergiehaus“<sup>1</sup> definierte Wärmeschutzniveau (Jahresheizwärmebedarf  $\leq 70$  bzw.  $55$  kWh pro  $m^2$  Wohnfläche, das entspricht einem  $h_T$  im Bereich  $0,7$  bis  $0,8$   $W/(m^2K)$ ) ergibt sich für Gebäude ohne Wärmerückgewinnung im Mittel ein wohnflächenbezogener Heizwärmeverbrauch von ca.  $60$   $kWh/(m^2a)$ , für Gebäude mit Wärmerückgewinnung ca.  $30$   $kWh/(m^2a)$ . Die Differenz ist durch die mit der Lüftungsanlage zurückgewonnene Wärme gut zu erklären.

<sup>1</sup> „Niedrigenergiehaus“: vergleichbar mit dem Neubaustandard nach EnEV 2009

**Abb. 16: Zusammenhang zwischen dem gemessenen Heizwärmeverbrauch und (a) dem Transmissionswärmeverlust sowie (b) dem rechnerischen Heizwärmebedarf bei Modellprojekten des energieeffizienten Bauens [Loga et al. 2003]**

Art der Erhebung	Anzahl Gebäude Gebäudetyp	Differenzierung energetische Qualität	Energieträger	Fläche	Energieinhalt Brennstoffe	Anwendung	Bereinigung
Meta-Analyse von Forschungsberichten	91 Wohngebäude (vorwiegend Neubauten)	wohnflächenbezogener Wärmetransferkoeffizient Trans-mission $h_T$	größtenteils Erzeugerwärmeabgabe, im Einzelfall Brennstoffe	beheizte Wohnfläche	Heizwert $H_i$	Heizung	keine, Berechnung teilweise mit lokalen Klimadaten

**(a) Gemessener Heizwärmeverbrauch in Abhängigkeit vom Transmissionswärmeverlust**

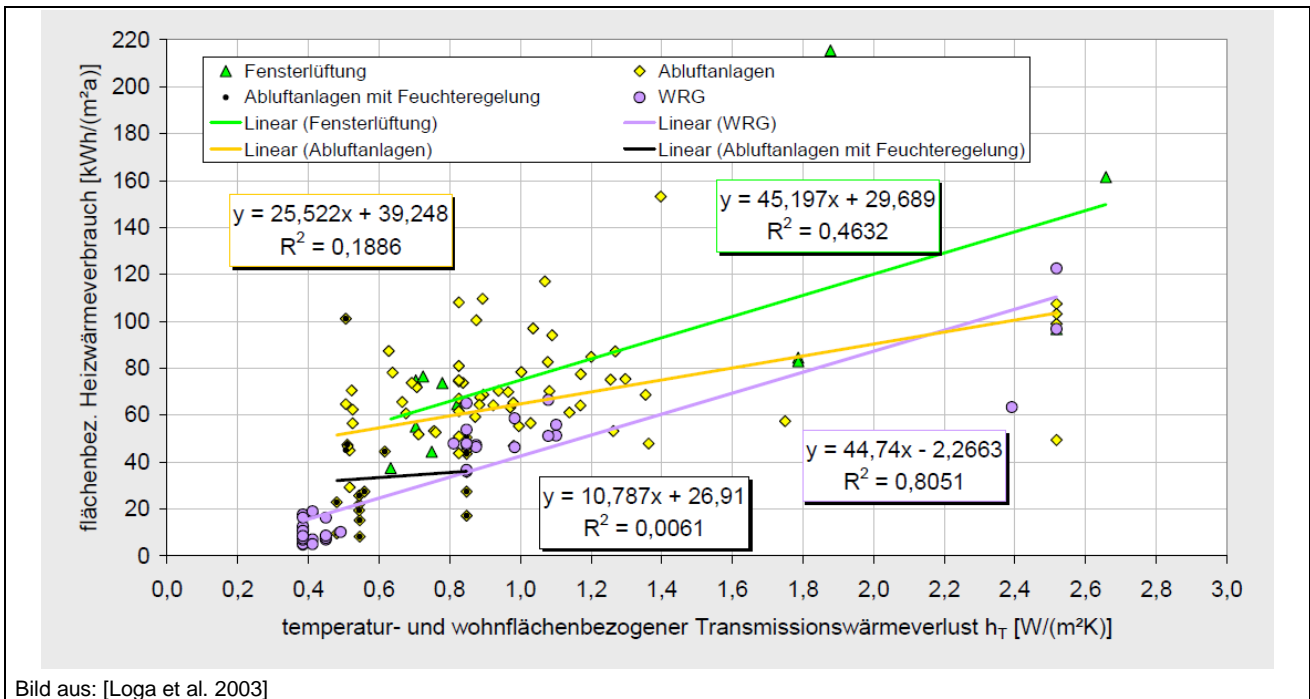


Bild aus: [Loga et al. 2003]

**(b) Gemessener Heizwärmeverbrauch in Abhängigkeit vom berechnetem Heizwärmebedarf (ohne Berücksichtigung der Anlagentechnik)**

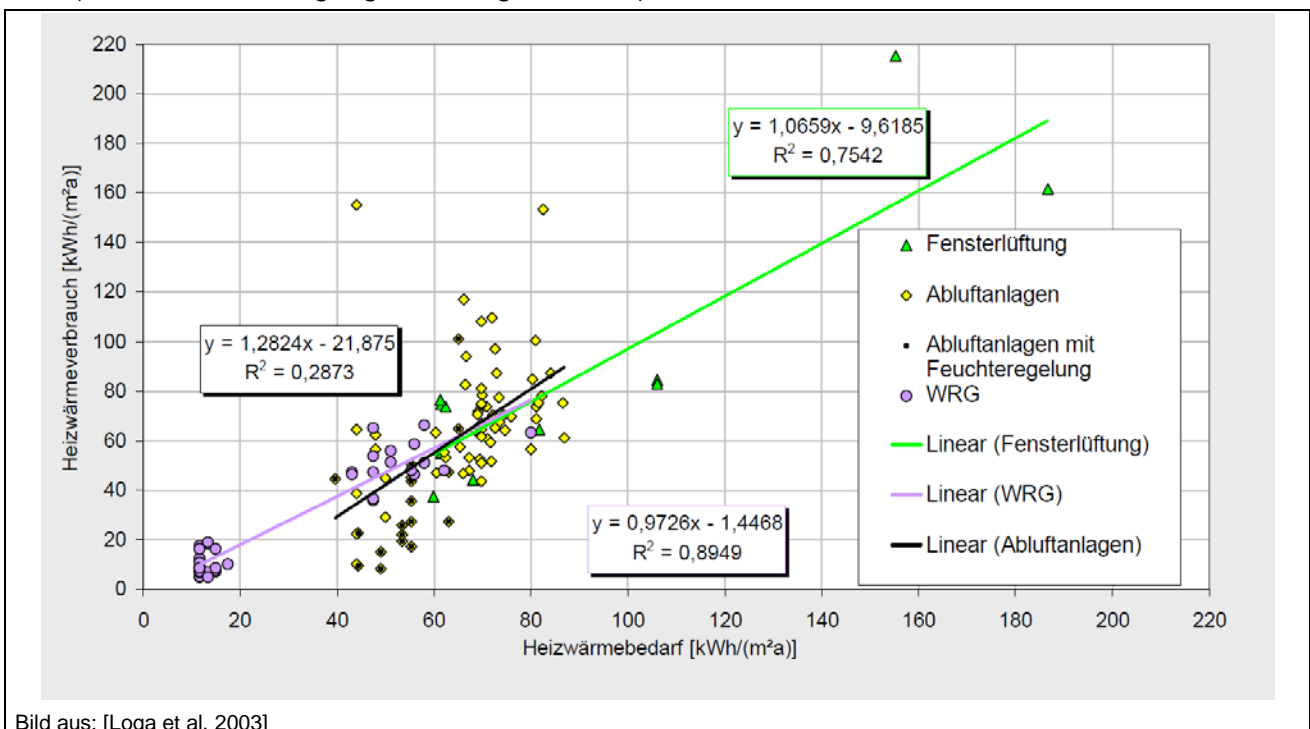


Bild aus: [Loga et al. 2003]

## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

### Datenqualität

- Da es sich überwiegend um in Forschungsberichten dokumentierte Gebäude handelt, ist die Datenqualität als sehr gut einzuschätzen, sowohl was den energetischen Zustand der Gebäude als auch was die Verbrauchswerte anbelangt.

### Übertragbarkeit

- Es sind fast nur energetisch hochwertige Häuser enthalten. Die Daten geben also nur ein Segment des Wohngebäudebestands wieder.
- Die Gruppe der selbstnutzenden Gebäudeeigentümer kann u.U. nicht als repräsentativ eingestuft werden, da die Gebäude teilweise als Pilotvorhaben bzw. Modellprojekte realisiert wurden. Eine Verallgemeinerung ist auch deshalb nicht ohne weiteres möglich, weil bei den Gebäuden während der Nutzung in der Regel auch ein Verbrauchsmonitoring durch Dritte stattgefunden hat. Die Datensätze sollten dennoch in die Benchmarks aufgenommen werden, weil sie belegen, was unter günstigen Umständen erreichbar ist.
- Beachtet werden muss auf der anderen Seite, dass sich die Qualität der baulichen Ausführung sowie der Anlagenkomponenten in den letzten 15 Jahren eventuell verbessert hat.
- Für einen Vergleich mit anderen Daten und mit der Kalibrierungsfunktion inklusive Warmwasser müssen zu den Kennwerten Verbrauch und Bedarf jeweils Warmwasser-Anteile hinzugefügt werden.

Resümee: Die Daten werden für eine vorläufige, exemplarische Bestimmung einer Kalibrierungsfunktion für die Normberechnung mit herangezogen. In Zukunft werden jedoch geeignetere Datenquellen benötigt.

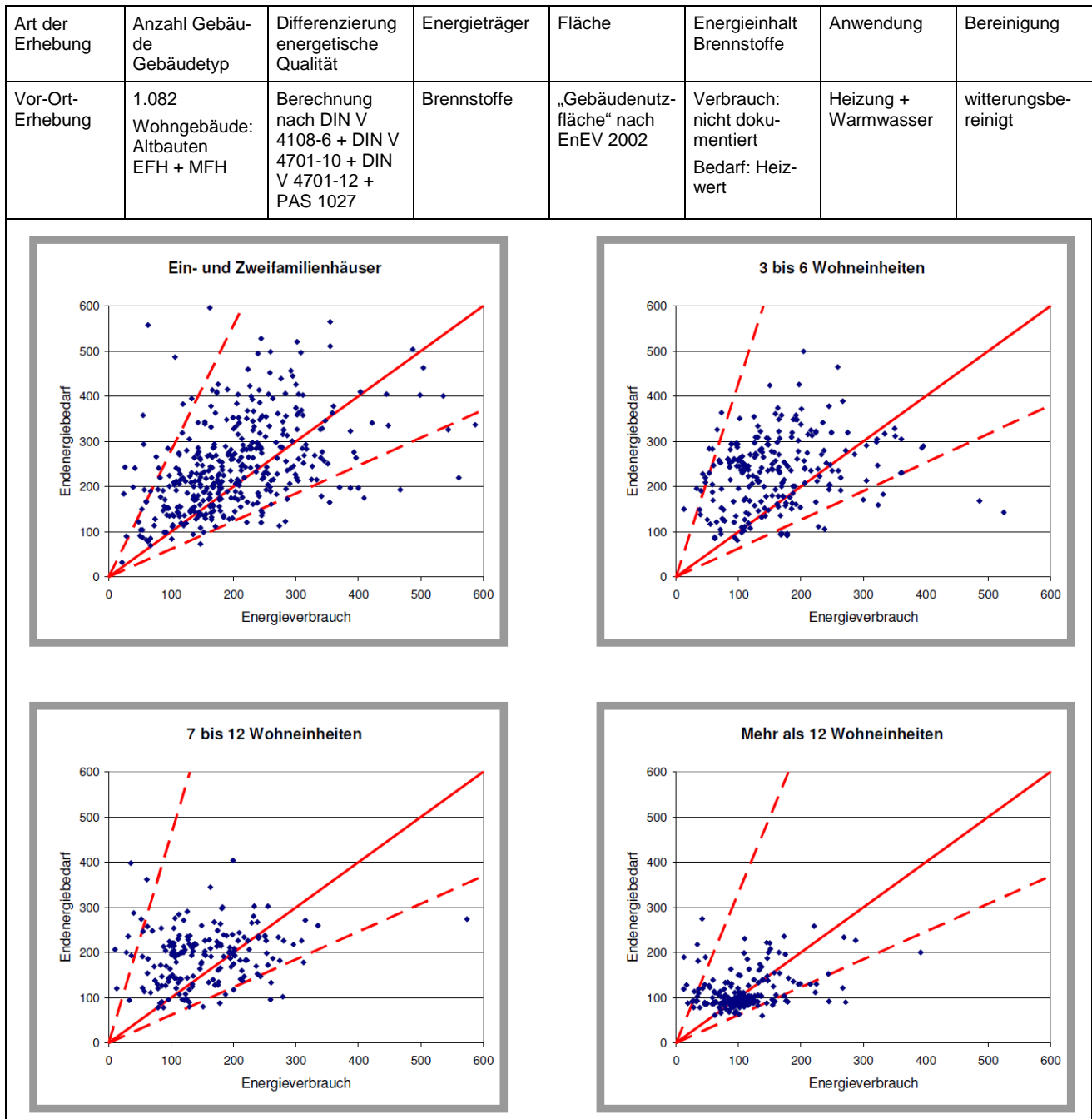
### 2.1.2 Energiepass-Feldversuch der dena – Auswertungen durch ISI, IBP und Öko-Institut [Gruber et al. 2005]

Die im Jahr 2002 beschlossene EU-Gebäuderichtlinie [EPBD 2002] verpflichtete die EU-Mitgliedsstaaten zur Einführung von Energieausweisen für Gebäude. Um die Umsetzung in Deutschland vorzubereiten, führte die Deutsche Energie-Agentur (dena) von Herbst 2003 bis Ende 2004 einen Feldversuch durch, innerhalb dessen Energiepässe für eine größere Zahl von Wohngebäuden ausgestellt wurden. Insgesamt wurden die Energiepass-Daten von 3925 Gebäuden in einer Datenbank gesammelt. Im Jahr 2005 führte das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) zusammen mit dem Öko-Institut und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) eine Evaluierung dieses Feldversuchs durch [Gruber et al. 2005]. Hier wurde auch der Zusammenhang zwischen dem nach der damaligen Energiepass-Methode (DIN V 4108-6 + DIN V 4701-10 + DIN V 4701-12 + PAS 1027) ermittelten Norm-Energiebedarf und dem gemessenen Verbrauch untersucht. In diese Auswertung konnten insgesamt 1.082 Fälle einbezogen werden.

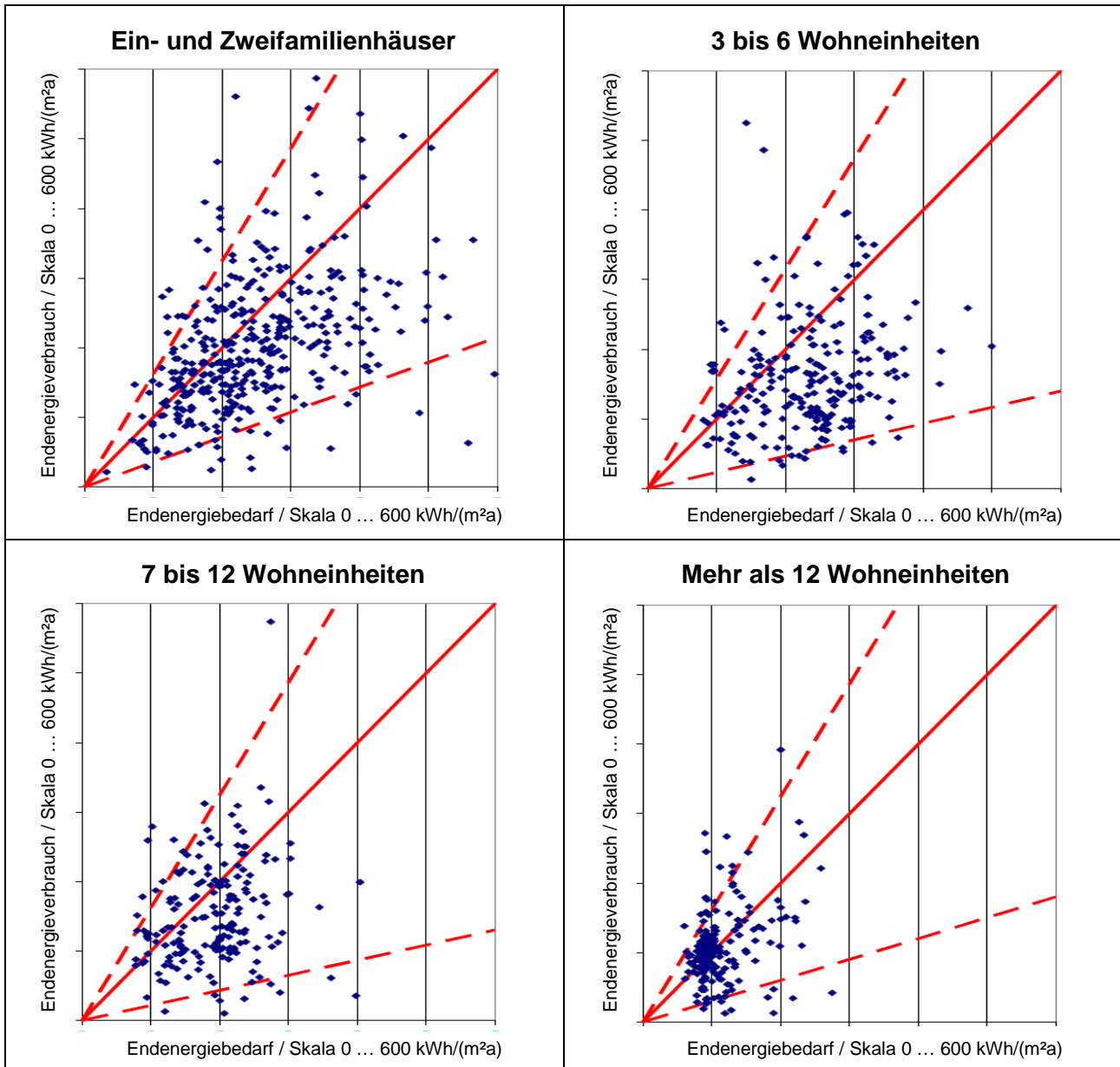
Das Ergebnis zeigt Abb. 17 für vier unterschiedliche Größenklassen (gewohnte Darstellung Verbrauch über Bedarf in Abb. 18). Die Diagramme sind durch starke Streuungen geprägt. Dennoch ist der Zusammenhang zwischen Bedarf und Verbrauch deutlich erkennbar: Gegenüber der Winkelhalbierenden (durchgezogene Linie) gibt es eine deutliche Verschiebung in Richtung Bedarfs-Achse. Es fand im Rahmen der Studie keine quantitative Analyse des Zusammenhangs der beiden Größen und der Streuung statt.

Es gibt noch eine andere Darstellung des Zusammenhangs zwischen Verbrauch und Bedarf für die Gebäude des Energiepass-Feldversuchs [Erhorn 2007], die sich deutlich von der oben genannten unterscheidet (Abb. 19). Gründe für die Unterschiede werden jedoch nicht genannt.

**Abb. 17: Energiepass-Feldversuch der dena / Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Verbrauch und Bedarf (Darstellung aus [Gruber et al. 2005])**

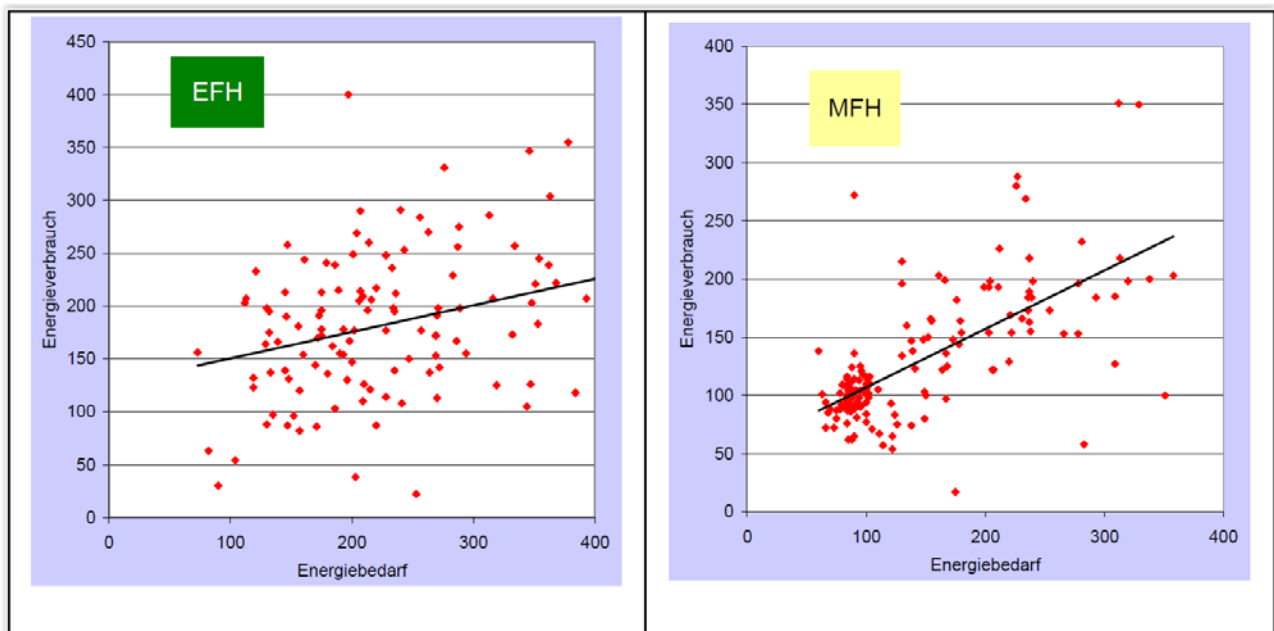


**Abb. 18: Darstellung Verbrauch über Bedarf / gegenüber Abb. 17: vertauschte Achsen gespiegelte Diagrammflächen aus [Gruber et al. 2005]**



veränderte Darstellung der Originalbilder: Grafiken ohne Beschriftung aus [Gruber et al. 2005] entnommen und gespiegelt (Vertauschung der Achsen); Beschriftungen nachträglich eingefügt entsprechend den Angaben der Quelle (vgl. Abb. 17)

**Abb. 19: Zusammenhang Energieverbrauch und Energiebedarf Heizung und Warmwasser im Energiepass-Feldversuch der dena (Darstellung aus: [Erhorn 2007])**  
(nähere Angaben zu den Feldversuchsdaten siehe Abb. 17)



(2 Bilder aus [Erhorn 2007])

### Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

- Datenqualität: Die Daten wurden von geschulten Energieberatern aufgenommen. Bereits früher durchgeführte Modernisierungen wurden detailliert ermittelt.
- Übertragbarkeit: Soweit bekannt, handelte es sich nicht um besondere Nutzergruppen.

Resümee: Die Daten werden für eine vorläufige, exemplarische Bestimmung einer Kalibrierungsfunktion für die Normberechnung mit herangezogen.

### 2.1.3 Analysen von Datensätzen aus der Energieberatung [Knissel et al. 2006a]

Im Zusammenhang mit der Entwicklung eines Mietspiegelkonzepts, das auch Kriterien für die energetische Qualität der Gebäude enthält, wurde in [Knissel et al. 2006a] bzw. [Knissel et al. 2006b] eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Verbrauch und Bedarf bei Wohngebäuden durchgeführt. Grundlage waren im Rahmen von Energieberatungsaktionen erhobene und in einer Datenbank zusammengetragene Datensätze.

Neben der Normberechnung wurde in vielen Fällen vom Energieberater auch eine realistische Bilanzierung durchgeführt, die mit gemessenen Verbrauchswerten abgeglichen wurde. Diese ist jedoch nicht Gegenstand der hier dargestellten Analyse.

Das folgende Bild zeigt beispielhaft die im Fragebogen vorgenommene Abfrage von Modernisierungszuständen.

**Abb. 20: Beispiel für die Abfrage der energetischen Qualität im Rahmen der Energieberatungsaktionen: Hessischer Energiepass (Stand 2003) (Bild aus: [Eicke-Hennig 2005])**

**Die Wärmedämmung**  
Nur bei nachträglich ausgeführter Dämmung ausfüllen.

21. Welche Bauteile wurden nach Fertigstellung des Hauses zusätzlich wärmegeklämt?

	Dämmstoffstärke	Flächenanteil
<input type="checkbox"/> Außenwände		
<input type="checkbox"/> Innendämmung	cm	%
<input type="checkbox"/> Außendämmung	cm	%
<input type="checkbox"/> Kerndämmung von zweischal. Mauerwerk	cm	%
<input type="checkbox"/> Kellerdecke	cm	%
<input type="checkbox"/> Dachschräge	cm	%
<input type="checkbox"/> Decke über letztem beheizten Geschoss	cm	%
<input type="checkbox"/> Flachdach	cm	%

In Abb. 21 ist der Zusammenhang zwischen gemessenem Verbrauch und Normenergiebedarf für ca. 1.400 Einfamilienhäuser und ca. 300 Mehrfamilienhäuser dargestellt. Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei [Gruber et al. 2005], allerdings ist bei den Mehrfamilienhäusern der Zusammenhang zwischen Verbrauch und Bedarf etwas deutlicher zu erkennen. Die Trendkurven (mit fixiertem Nulldurchgang) haben eine Steigung von etwa 0,6.

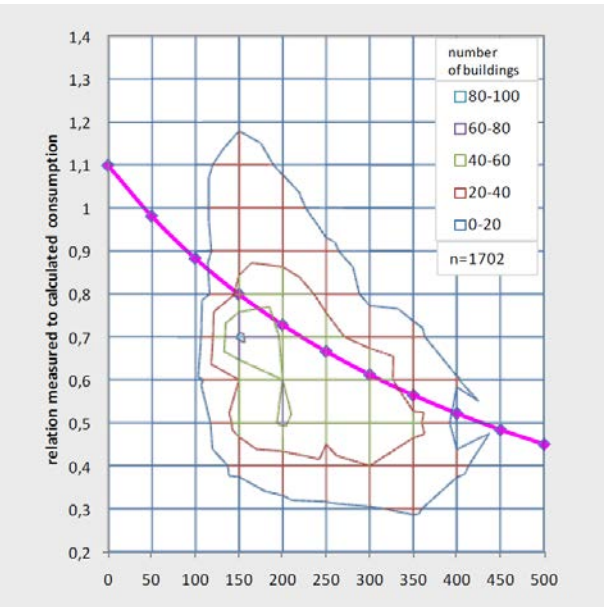
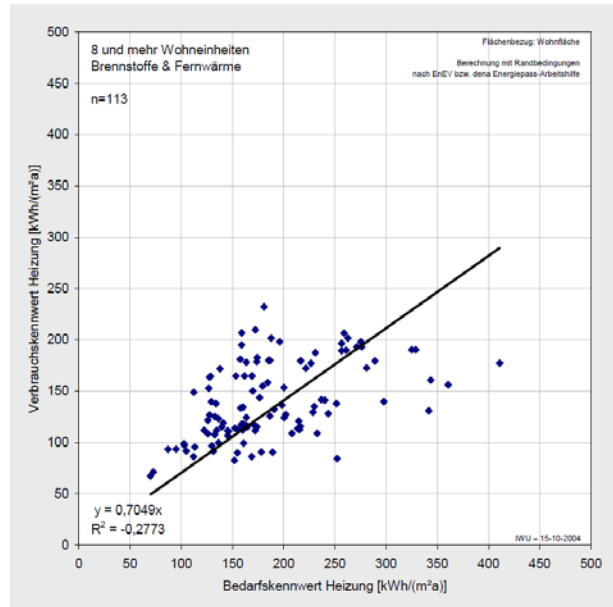
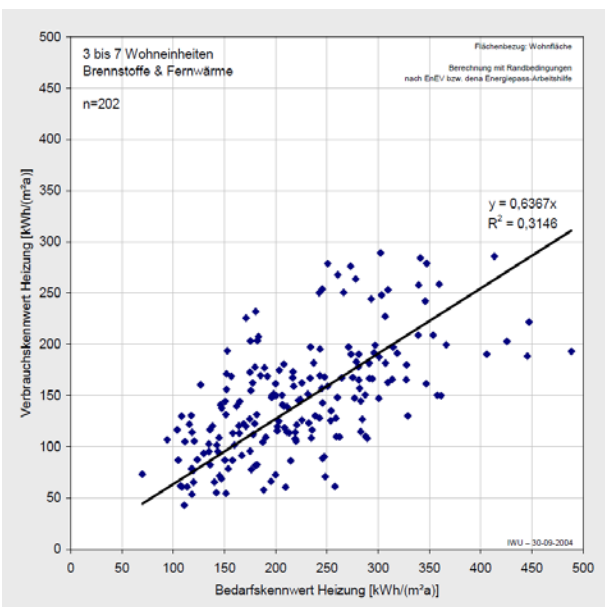
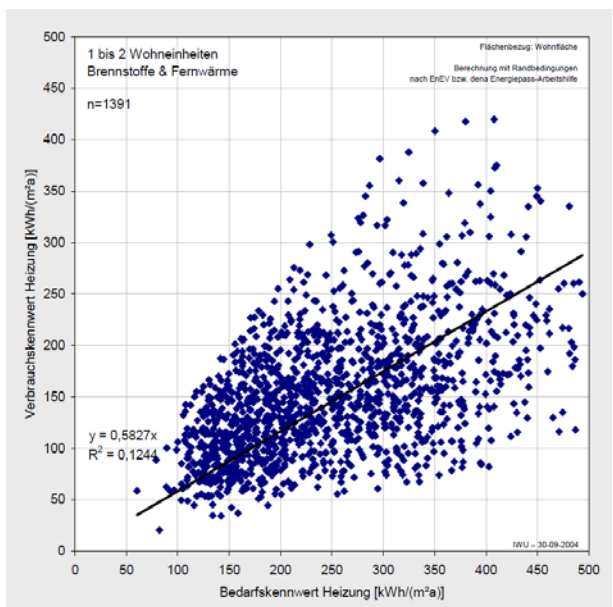
Auf Basis dieser Daten wurde eine Funktion definiert, die die Mittelwerte des Verhältnisses Verbrauch/Bedarf in Abhängigkeit vom energetischen Standard wiedergibt. Den Verlauf der Funktion zeigt Abb. 21d. Als Parameter für den energetischen Standard dient dabei der auf die Wohnfläche bezogene Endenergiebedarf Heizung.

Auf der Basis dieser für die Anpassung des Endenergiebedarfs Heizung ermittelten Funktion wurden auch die Anpassungsfaktoren für das TABULA-Verfahrens bestimmt [Loga et al. 2013]. Dabei wurde die Warmwasserbereitung berücksichtigt, eine Umrechnung auf den oberen Heizwert vorgenommen und der Flächenbezug auf die Netto-Grundfläche geändert [Loga et al. 2015].

Die empirischen Daten waren bei Gebäuden mit Zentralheizung auf Basis Erdgas, Heizöl und Fernwärme gewonnen worden. Kalibrierungsfaktoren für Zentralheizungen mit Elektrowärmepumpen und für Einzelöfen wurden unter Zugrundelegung verschiedener Annahmen geschätzt. Die auf diese Weise bestimmten Kalibrierungsfaktoren für Deutschland und ihre Abhängigkeit vom jeweiligen Endenergiebedarf gibt Abb. 22 wieder. Auf Grund der in der Studie beschriebenen schwierigen Datenlage werden diese Faktoren als vorläufig angesehen.

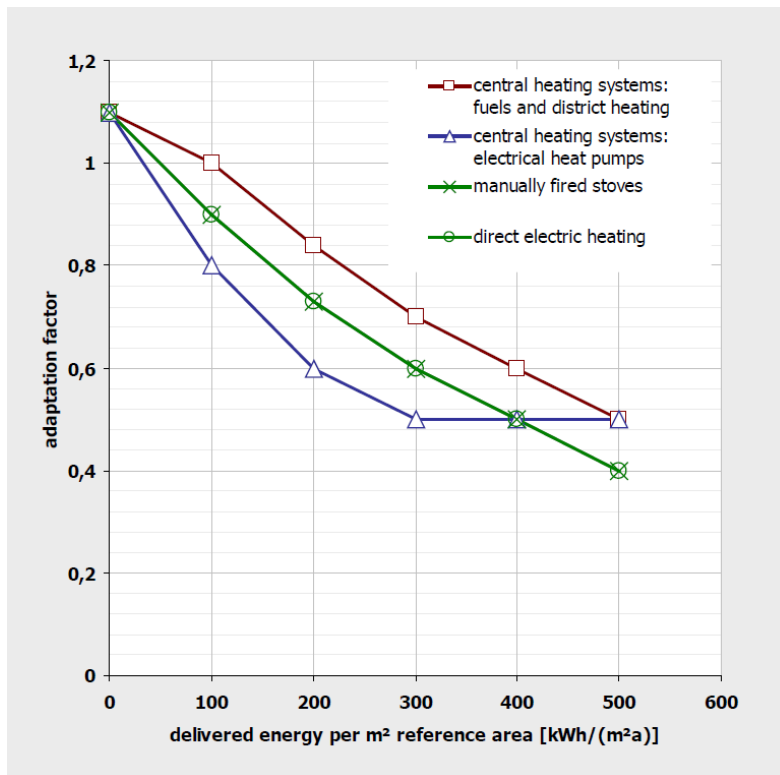
**Abb. 21: Zusammenhang Energieverbrauch und Energiebedarf für Heizung / Gebäude aus der Datenbank der Bially-Energieberatungssoftware**  
**Bilder a, b, c: verschiedene Gebäudegrößen** (drei Bilder aus: [Knissel et al. 2006a])  
**Bild d (rechts unten): Verhältnis Verbrauch zu Bedarf für alle Gebäude; vorläufiger Ansatz einer Funktionsgleichung zur Anpassung von Bedarfswerten an das Niveau typischer Verbrauchswerte** (Formel für den Anpassungsfaktor:  
 $f_{adapt} = -0,2 + 1,3 / (1 + q_{del,h,c} / 500)$ , pinkfarbene Kurve) (Bild aus [Loga et al. 2015] S. 78)

Art der Erhebung	Anzahl Gebäude Gebäudetyp	Differenzierung energetische Qualität	Energieträger	Fläche	Energieinhalt Brennstoffe	Anwendung	Bereinigung
Fragebogen für Gebäudeeigentümer als Grundlage für Energieberatung	1702 Wohngebäude: unsanierte Altbau- mer (a) EFH und ZFH (b) kleine MFH (c) große MFH (d) alle	Berechnung nach DIN V 4108-6 + DIN V 4701-10 + DIN V 4701-12 + PAS 1027	Brennstoffe und Fernwärme; nur Gebäude mit einem einzigen Wärmeerzeuger für Heizung	beheizte Wohnflächen	Heizwert (Verbrauch + Bedarf)	Heizung (bei kombinierter Wärmeerzeugung für Heizung und WW Abzug des Rechenwertes für WW vom Verbrauch)	witterungs- bereinigt





**Abb. 22: Abgeleitete Kalibrierungsfaktoren für eine Anwendung auf den Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser gemäß TABULA-Bilanzverfahren**  
(Bild aus [Loga et al. 2015] S. 80)



### Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

#### Datenqualität

- Die Daten wurden im Kontext von Energieberatungsaktionen gewonnen, die Erfassung des Modernisierungszustandes erfolgte differenziert nach Tiefe und Umfang bereits durchgeführter Maßnahmen.
- Der im Fragebogen aufgenommene Verbrauch diente innerhalb der Energieberatung für den Abgleich der Energiebilanz. Es kann vermutet werden, dass Unstimmigkeiten im Zuge der Energieberatung in der Regel ausgeräumt wurden. Bei dem während der Ist-Analyse durchgeführten Verbrauchsabgleich kann der Energieberater neben den Nutzungsdaten aber auch U-Werte oder Effizienzwerte der Anlagentechnik anpassen. Innerhalb der Energieberatung ist dies ein sinnvolles Vorgehen. Die von den Standardwerten abweichenden baulichen und anlagentechnischen Eingangsdaten haben jedoch für die Gesamtanalyse die Folge, dass sich die hier dokumentierten Ergebnisse der Normberechnung (Ansatz standardisierter Nutzungs- und Klimadaten) systematisch von den mit Standard-Werten berechneten Werten unterscheiden können.
- Für einen Vergleich mit anderen Daten und mit der Kalibrierungsfunktion inklusive Warmwasser müssen zu den Kennwerten Verbrauch und Bedarf jeweils Warmwasser-Anteile hinzugefügt werden.

Übertragbarkeit

- Es sind keine energetisch modernisierten Objekte enthalten. Die Daten geben also nur ein Segment der Bestandsgebäude wieder.
- Für die Nutzergruppen sind keine Besonderheiten bekannt.

Resümee: Die Daten werden für eine vorläufige, exemplarische Bestimmung einer Kalibrierungsfunktion für die Normberechnung mit herangezogen.

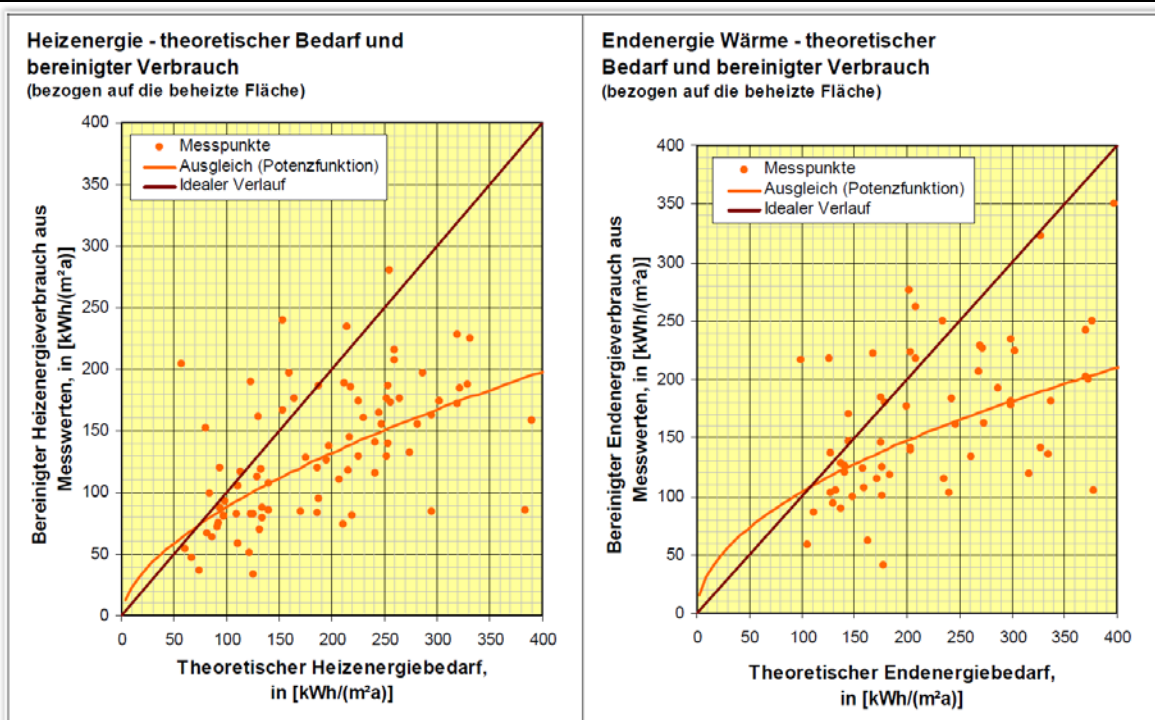
**2.1.4 OPTIMUS: Zusammenhang zwischen Verbrauch und Bedarf bei 59 Wohngebäuden [Jagnow et al. 2007]**

Gegenstand des Forschungs- und Qualifizierungsprojekts OPTIMUS war die Optimierung von bestehenden Heizungsanlagen mit ihren unterschiedlichen Einzelkomponenten (Kessel, Pumpen, Regler, Thermostate, Heizkörper, etc.) und die Erzielung von Energieeinsparungen auf einem praktisch nachvollziehbaren Weg [Jagnow et al. 2007].

Im Kontext dieses Projektes wurden für 59 unterschiedliche Wohngebäude die Gebäudedaten und der Energieverbrauch erhoben sowie der rechnerische Energiebedarf bestimmt. Der gemessene Heizenergieverbrauch liegt nach Angaben der Autoren für ältere Gebäude (Baujahr bis 1977) im Mittel 35% unter den berechneten Bedarfswerten. Für neuere Gebäude (Baujahr ab 1995) liegt er ca. 10% über dem rechnerischen Bedarf. Die folgende Abbildung zeigt die Analysen des Zusammenhangs Bedarf-Verbrauch für die einzelnen Gebäude.

**Abb. 23: Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Energiebedarf für 59 unterschiedliche Wohngebäude der OPTIMUS-Studie (aus: [Jagnow et al. 2007])**

Art der Erhebung	Anzahl Gebäude Gebäudetyp	Differenzierung energetische Qualität	Energieträger	Fläche	Energieinhalt Brennstoffe	Anwendung	Bereinigung
Vor-Ort-Erhebung	59 Wohngebäude: Alt- und Neubau EFH + MFH	Endenergiebedarf nach DIN V 4108-6 / DIN V 4701-10	Erdgas	beheizte Wohn- und Nutzflächen	Verbrauch: vermutlich Heizwert Bedarf: Heizwert	Heizung (linkes Bild) Heizung + Warmwasser (rechtes Bild)	witterungsbereinigt



(2 Bilder aus [Jagnow et al. 2007])

## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

- Datenqualität: Es handelt sich um eine detaillierte Datenaufnahme vor Ort, bei der sowohl Gebäude- und Anlagenmerkmale als auch der Energieverbrauch durch Fachleute erfasst wurde. Bereits früher durchgeführte Modernisierungen wurden detailliert ermittelt.
- Übertragbarkeit: Soweit bekannt, handelte es sich nicht um besondere Nutzergruppen.

Resümee: Die Daten werden für eine vorläufige, exemplarische Bestimmung einer Kalibrierungsfunktion für die Normberechnung mit herangezogen.

### 2.1.5 Ista/IWH – Energieeffizienzindex [Michelsen et al. 2010]

In dem Artikel „Energieeffizienz im Altbau: Werden die Sanierungspotenziale überschätzt? Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex“ wurden die Ergebnisse einer empirischen Analyse von Energieverbrauchsausweisen publiziert [Michelsen et al. 2010].

Die Analyse basiert nach Angaben der Autoren auf insgesamt 156.866 Energieverbrauchsausweisen aus vorwiegend größeren Mehrfamilienhäusern im vermieteten Wohngebäudebestand. Aus diesen Energieausweisen wurden die zur Auswertung erforderlichen Daten wie die „Gebäudenutzfläche“  $A_N$  nach EnEV, der Energieverbrauchskennwert (bezogen auf  $A_N$ ), das Baujahr, der Zeitpunkt der letzten Sanierung wesentlicher Bauteile (Außenwand, Fenster, Dach, Kellerdecke oder Heizanlage), die Wohn- und Nutzfläche sowie die Anzahl der Wohnungen entnommen.

Erstellt wurden die Energieverbrauchsausweise von der Firma ista Deutschland auf Basis eines standardisierten Fragebogens. Abb. 24 zeigt die Abfragen zum Modernisierungszustand von Dach, Außenwand, Fenster, Kellerdecke und der Heizungsanlage im Datenerhebungsbogen zum ista-Verbrauchsausweis.

**Abb. 24: Auszug aus dem Fragebogen „Energieausweis für Wohngebäude“**  
(Bildquelle: ISTA<sup>2</sup>)

D. Informationen zum Modernisierungszustand		
<b>Dach oder oberste Geschossdecke (nur eine Auswahl möglich):</b>		
<input type="checkbox"/> unsaniert	<input type="checkbox"/> Sanierung älter als 15 Jahre	<input type="checkbox"/> Sanierung jünger als 15 Jahre
<b>Außenwand (nur eine Auswahl möglich):</b>		
<input type="checkbox"/> unsaniert	<input type="checkbox"/> Sanierung älter als 15 Jahre	<input type="checkbox"/> Sanierung jünger als 15 Jahre
<b>Fenster (nur eine Auswahl möglich):</b>		
<input type="checkbox"/> unsaniert	<input type="checkbox"/> Sanierung älter als 15 Jahre	<input type="checkbox"/> Sanierung jünger als 15 Jahre
<b>Kellerdecke/unterer Gebäudeabschluss (nur eine Auswahl möglich):</b>		
<input type="checkbox"/> unsaniert	<input type="checkbox"/> Sanierung älter als 15 Jahre	<input type="checkbox"/> Sanierung jünger als 15 Jahre
<b>Heizungsanlage (nur eine Auswahl möglich):</b>		
<input type="checkbox"/> unsaniert	<input type="checkbox"/> Sanierung älter als 15 Jahre	<input type="checkbox"/> Sanierung jünger als 15 Jahre

<sup>2</sup> [www.ista.com](http://www.ista.com) - Download des Fragebogens im Jahr 2011. Inzwischen hat sich der Fragebogen geändert.

Für verschiedene Größen- und Altersklassen werden die Mediane der Energiekennwerte in Abhängigkeit von Gebäudealter und Gebäudegröße für zwei Sanierungszustände dargestellt (siehe folgende Abbildung). Die beiden Sanierungszustände sind wie folgt definiert:

- „unsaniert“ seit der Erbauung keine Sanierung der äußeren Gebäudehülle und/oder Sanierung maximal eines Bauteils vor 1995
- „vollsaniert“ vollständige Sanierung der äußeren Gebäudehülle (Dach, Fassade, Fenster) innerhalb der letzten 15 Jahre zuzüglich Sanierung der Kellerdecke und/oder Heizungstechnik innerhalb der letzten 15 Jahre

**Abb. 25: Mediane der Energiekennwerte (Heizung ohne Warmwasser) nach Sanierungsgrad, Gebäudegröße und Gebäudealter [kWh/(m²a)]** (Quelle: [Michelsen et al. 2010])

Art der Erhebung	Anzahl Gebäude Gebäude- typ	Differenzierung energetische Qualität	Energieträger	Fläche	Energieinhalt Brennstoffe	Anwendung	Bereinigung

		Altersklasse							
		1900 bis 1918	1919 bis 1948	1949 bis 1957	1958 bis 1968	1969 bis 1978	1979 bis 1983	1984 bis 1994	Neubau ab 1995
kleine Mehrfamilienhäuser bis 6 Wohneinheiten	unsaniert	159	162	160	161	151	143	136	108
	vollsaniert	137	136	134	128	131	137	125	
mittlere Mehrfamilienhäuser 7 bis 12 Wohneinheiten	unsaniert	141	152	148	150	146	137	133	103
	vollsaniert	126	118	116	110	121.5	117	112	
Mehrfamilienhäuser 13 bis 21 Wohneinheiten	unsaniert	140,5	141,5	134	150	151	136	131	101
	vollsaniert	120	109	106	100	105	102.5	91	
große Mehrfamilienhäuser > 21 Wohneinheiten	unsaniert	135	141	126	144	140	134	123	98
	vollsaniert	122	104	91	85	89	90	82	

(Bild aus: [Michelsen et al. 2010])

**Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren**

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

**Datenqualität**

- Im Fragebogen wird unter dem Titel "Informationen zum Modernisierungszustand" nach "Sanierungen" gefragt. Definitionsgemäß sind dies jedoch unterschiedliche Dinge: Sanierung bedeutet im engeren Sinne die Wiederherstellung eines Gebäudes oder Bauteils im Sinne einer Werterhaltung. Modernisierungen hingegen sind Maßnahmen, die über eine Sanierung hinaus auch zur Wertsteigerung eines Gebäudes oder Bauteils führen. Dies ist z. B. die nachträgliche Wärmedämmung einer Fassade. Damit ist der Fragebogen an dieser zentralen Stelle unklar. Zum Beispiel könnten im Fall der Außenwand durchgeführte Putzsanierungen oder Betonsanierungen mit erfasst werden. In der Folge ist es nicht unwahrscheinlich, dass energietechnisch nicht oder nur teilweise modernisierte Gebäude in die unten dargestellte Klasse der "vollsanierten" Gebäude eingeordnet werden mit der Konsequenz, dass die ermittelten Ver-

brauchskennwerte deutlich verfälscht werden. Da die Kategorie „vollsaniiert“ nicht gleichzusetzen ist mit einer vollständigen energetischen Modernisierung, könnte nur die Kategorie „unsaniiert“ in Benchmark-Betrachtungen einbezogen werden.

- Es ist unklar, inwieweit die Energieträger Fernwärme und Strom in den Verbrauchskennwerten enthalten sind. Aus dieser Sicht erscheint eine Einbeziehung in die Benchmark-Ermittlung nicht sinnvoll.

#### Übertragbarkeit

- Es handelt sich nach den vorliegenden Erkenntnissen um keine spezielle Nutzergruppe.

Resümee: Auf Grund der bezüglich Datenqualität genannten Punkte wird diese Analyse in den Datengrundlagen für Kapitel 4 nicht berücksichtigt.

### 2.1.6 Verbrauchsanalysen der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen [Walberg et al. 2011]

In einer Studie mit dem Titel „Wohnungsbau in Deutschland - 2011 Modernisierung oder Bestandsersatz“ der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen wurden Endenergieverbrauchskennwerte in Wohngebäuden publiziert [Walberg et al. 2011]. Nach Angaben der Autoren stammen die Primärdaten aus eigenen Erhebungen bzw. Datenbanken sowie aus Erhebungen der gewerblichen Wohnungswirtschaft und aus dem Fördercontrolling der Investitionsbank Schleswig-Holstein.

Die Gebäude wurden bezüglich ihres Modernisierungszustands wie folgt eingeordnet [Walberg et al. 2011]:

Nicht modernisiert:	keine wesentlichen Modernisierungen, d.h. maximal eine Maßnahme an der Gebäudehülle und/oder der Anlagentechnik im Standard nach WSchV 1977 / 1984 bzw. maximal eine Maßnahme an der Gebäudehülle im Flächenumfang von 50% des Bauteils oder der Anlagentechnik im Standard nach WSchV 1995
Gering modernisiert:	an wesentlichen Bauteilen oder Komponenten teilweise durchgeführte Modernisierungen, d.h. maximal zwei Maßnahmen an der Gebäudehülle und/oder der Anlagentechnik im Standard nach WSchV 1977 / 1984 bzw. maximal eine Maßnahme an der Gebäudehülle und / oder der Anlagentechnik im Standard nach WSchV 1995.
Mittel/größtenteils modernisiert:	an wesentlichen Bauteilen oder Komponenten größtenteils durchgeführte Modernisierungen, d.h. mehr als zwei Maßnahmen an der Gebäudehülle und/oder der Anlagentechnik im Standard nach WSchV 1977 / 1984 bzw. mehr als eine Maßnahme an der Gebäudehülle und/oder der Anlagentechnik im Standard nach WSchV 1995.

**Abb. 26: Mittlere Energieverbrauchskennwerte nach Baualtersklasse und Modernisierungszustand für EFH/ZFH und MFH (aus: [Walberg et al. 2011])**

Art der Erhebung	Anzahl Gebäude Gebäudetyp	Differenzierung energetische Qualität	Energieträger	Fläche	Energieinhalt Brennstoffe	Anwendung	Bereinigung
Erhebungen bei Gebäudeeigentümern	für Tabellen nicht angegeben Wohngebäude: EFH+ZFH MFH	Kategorien: nicht modernisiert, gering modernisiert, mittel/größtenteils modernisiert (siehe Definition im Text)	keine Angabe, keine Differenzierung	„Gebäudenutzfläche“ nach EnEV 2002	nicht dokumentiert	Heizung + Warmwasser	witterungsbereinigt gemäß Bekanntmachung zum Energieverbrauchsausweis

**Ein- und Zweifamilienhäuser**

EFH/ZFH	vor 1918		von 1918 bis 1948		von 1949 bis 1957		von 1958 bis 1968		von 1969 bis 1978		von 1979 bis 1987		von 1988 bis 1993		von 1994 bis 2001		von 2002 bis 2008	
	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil
IST-Zustand	188,2	100%	199,0	100%	202,3	100%	196,6	100%	185,5	100%	155,7	100%	144,1	100%	114,5	100%	91,4	100%
nicht modernisiert	226,6	3%	237,5	2%	235,2	3%	231,9	5%	213,5	11%	168,9	29%	148,5	75%	116,0	85%	91,8	95%
gering modernisiert	197,1	64%	208,8	67%	209,8	73%	203,1	74%	187,6	74%	152,9	64%	135,7	20%	105,8	15%	84,9	5%
mittel/größtenteils modernisiert	167,4	33%	175,3	31%	175,4	24%	165,3	21%	154,7	15%	127,1	7%	111,1	5%				

mittel/größtenteils modernisiert      gering modernisiert      nicht modernisiert

**Mehrfamilienhäuser**

MFH	vor 1918		von 1918 bis 1948		von 1949 bis 1957		von 1958 bis 1968		von 1969 bis 1978		von 1979 bis 1987		von 1988 bis 1993		von 1994 bis 2001		von 2002 bis 2008	
	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil	Verbrauchskennwert [kWh/m²a]	Prozentualer Anteil
IST-Zustand	155,0	100%	159,0	100%	156,8	100%	154,4	100%	147,9	100%	129,6	100%	122,5	100%	115,3	100%	96,1	100%
nicht modernisiert	189,4	2%	194,4	2%	193,0	3%	182,6	4%	171,2	10%	140,8	36%	126,3	72%	116,3	88%	96,3	97%
gering modernisiert	163,0	61%	165,5	67%	163,1	64%	159,4	69%	148,5	74%	125,5	54%	115,7	21%	107,5	12%	90,1	3%
mittel/größtenteils modernisiert	139,8	37%	142,7	31%	141,3	33%	137,4	27%	131,0	16%	111,5	10%	103,6	7%				

mittel/größtenteils modernisiert      gering modernisiert      nicht modernisiert

zwei Bilder aus: [Walberg et al. 2011]

## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

Datenqualität:

- Die nach Beschreibung der Autoren vorgenommenen ingenieurtechnischen Einzelfall-Prüfungen der Daten deuten auf eine gute Datenqualität hin. Allerdings ist manches aus den Angaben des Berichts nicht nachvollziehbar. Beispielsweise wären eine detaillierte Darstellung der Informationen zum Modernisierungszustand und die Angabe der untersuchten Fälle je Einzel-Kategorie hilfreich für die Beurteilung der empirischen Grundlage.
- Die Kategorie „mittel/größtenteils modernisiert“ kann für die Auswertungen im Rahmen der vorliegenden Studie nicht verwendet werden, da sie deutlich zu schwach definiert ist. Beispielsweise würde nach der vorliegenden Definition eine erfolgte Modernisierung der Fenster und des Kessels bereits zu einer Einstufung in die beste Kategorie führen.
- Es ist unklar, inwieweit Fernwärme und Strom in den Verbrauchskennwerten enthalten ist. Aus dieser Sicht erscheint eine Einbeziehung in die Benchmark-Ermittlung eher problematisch.

Übertragbarkeit:

- Es handelt sich nach den vorliegenden Angaben um keine spezielle Nutzergruppe.

Resümee: Auf Grund der bezüglich Datenqualität genannten Punkte wird diese Analyse in den Datengrundlagen für Kapitel 4 nicht berücksichtigt.

### 2.1.7 Vergleichswerte für den Verbrauch bei Wohngebäuden [Fisch et al. 2012]

In der im Auftrag des BMVBS erarbeiteten Studie „Vergleichskennwerte für den Verbrauch bei Wohngebäuden“ wurden Verbrauchskennwerte für Wohngebäude ermittelt. Basis der abgeleiteten Kennzahlen sind verwendbare Datensätze von etwa 64.000 Wohngebäuden, deren Daten im Zuge der Erstellung von Energieverbrauchsausweisen ermittelt wurden. Die Auswertung bezieht sich explizit auf Gebäude, die zentral und monovalent versorgt werden. Die Daten wurden über Klimafaktoren des Deutschen Wetterdienstes klimabereinigt.

In den zu Grunde liegenden Fragebögen wird nach dem Baujahr der Anlagentechnik Heizung und dem Endenergieträger, der Art der Lüftung (Fenster / Abluftanlage/ Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung), nach der Gebäudehülle und nach der Nutzung erneuerbarer Energien gefragt.

#### Datenbasis BRUNATA-METRONA-Gruppe

Von der BRUNATA-METRONA-Gruppe wurden 93.000 Original-Jahresdatensätze von 2004 bis 2007 zur Verfügung gestellt, wie sie zur Erstellung eines Verbrauchsausweises über einen Fragebogen ermittelt wurden. Dabei lagen in der Regel drei (Jahres-)Datensätze für ein Gebäude vor.

Abb. 27 zeigt als Auszug die Fragen aus dem Fragebogen zur nachträglichen Dämmung einzelner Bauteile, der Art der Lüftung sowie der Nutzung erneuerbarer Energien. Diese Informationen zum bautechnischen Zustand des Gebäudes werden standardisiert mit dem Ziel abgefragt, im Verbrauchsausweis Modernisierungsempfehlungen aufnehmen zu können. Werden unterschiedliche Gegebenheiten vorgefunden, so war die für den überwiegenden Teil zutreffende Angabe zu machen. Dämmstärken oder Flächenanteile der nachträglichen Dämmung wurden nicht abgefragt.

**Abb. 27: Auszug aus dem Fragebogen „Energieverbrauchsausweis Wohngebäude“**  
(Quelle: BRUNATA -METRONA<sup>3</sup>)

5.6 Angaben zum Gebäude

**Wärmedämmung der Außenwände**  
 noch nicht verbessert  vor 1995 nachträglich verbessert  Gebäudebaujahr > 1995 bzw. ab 1995 nachträglich verbessert

**Wärmedämmung des Daches**  
 noch nicht verbessert  vor 1995 nachträglich verbessert  Gebäudebaujahr > 1995 bzw. ab 1995 nachträglich verbessert

**Wärmedämmung der Kellerdecken**  
 noch nicht verbessert  vor 1995 nachträglich verbessert  Gebäudebaujahr > 1995 bzw. ab 1995 nachträglich verbessert

**Fenster**  
 überwiegend Einfachverglasung  besser, z.B. Zweifachverglasung  Stand der Technik, z.B. Wärmeschutzverglasung

5.7 Art der Lüftung (Angaben freiwillig):  
 Freie Lüftung, z.B. Fensterlüftung  
 Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung  
 Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

5.8 Nutzung folgender erneuerbarer Energien (Angaben freiwillig):  
 Solaranlage zur Warmwassergewinnung (Solarthermie)  
 Biomassenutzung (Holz, Pellets etc.)  
 Nutzung von Umweltwärme aus Luft oder Wasser  
 Nutzung von Erdwärme (Geothermie)  
 \_\_\_\_\_

Die ausgewerteten Datensätze beziehen sich ausschließlich auf Gebäude, die zu mindestens 90 % Flächenanteil zu Wohnzwecken genutzt werden, wobei auch Praxisräume von Ärzten, Rechtsanwälten etc. im Sinne der EnEV als wohnraumähnlich gelten. Der Leerstand im jeweiligen Abrechnungszeitraum wird im Fragebogen erfasst. Die im Rahmen der Studie ausgewerteten Gebäude werden ausschließlich von einer zentralen Heizanlage versorgt, die wiederum nur dieses eine Gebäude versorgt und nicht mehrere Gebäude z. B. im Sinne eines kleinen Nahwärmenetzes. Die Datensätze stammen im Wesentlichen aus Mietwohnungen in Mehrfamilienhäusern. 20 % der Datensätze beziehen sich auf Gebäude mit mehr als 1000 m<sup>2</sup> Wohnfläche. In den Datensätzen fehlende Angaben zum Warmwasserverbrauch wurden pauschal mit 18 % des Heizenergiebedarfs berechnet. Die Kennwerte beziehen sich auf die „Gebäudenutzfläche“ nach EnEV. Bei fehlenden Angaben wurden diese pauschal über die Wohnfläche mit dem Faktor 1,2 berechnet. Heizkostenabrechnungen für die Gebäude lagen für mindestens drei aufeinanderfolgende Abrechnungszeiträume vor.

## Datenbasis delta-GmbH

Durch die delta GmbH Leipzig wurden weitere 36.000 Datensätze mit Verbrauchskennwerten von 2003 bis 2007 zur Verfügung gestellt. In der Regel lagen drei Jahresdatensätze für ein Gebäude vor. Darunter waren vorwiegend Objekte aus dem ländlichen Raum. Der Anteil von Mehrfamilienhäusern lag bei 60 %. Abb. 28 zeigt die standardisierten Abfragen zur energietechnischen Bewertung der Gebäude. Diese sind im Vergleich zum Fragebogen von BRUNATA-METRONA deutlich differenzierter. Es wird explizit nach der Qualität der Fensterverglasung, Material, Dicke und gegebenenfalls nach dem U-Wert nachträglicher Dämmung der Außenbauteile gefragt. Angaben zur nachträglichen Dämmung im Keller sowie zu den Flächenanteilen sind nicht enthalten.

<sup>3</sup> Download von [www.brunata-metrona.de](http://www.brunata-metrona.de) am 30.07.2012



**Abb. 28: Auszug aus dem Fragebogen „Gebäude-Energieausweis“ [ASUE 2007]**

Angaben zur energetischen Bewertung des Gebäudes	
<b>Art der Fensterverglasung</b> <input type="radio"/> Einfach <input type="radio"/> Verbundfenster <input type="radio"/> Isolierglas <input type="radio"/> Wärmeschutzisolierglas ggf. U-Wert <input type="text"/>	
<b>Lüftungsart</b> <input type="radio"/> Fenster <input type="radio"/> Lüftungsanlage <input type="radio"/> Sonstige <input type="text"/>	
<b>Art der Heizung</b> <input type="radio"/> Heizkörper <input type="radio"/> Fußbodenheizung <input type="radio"/> Sonstige <input type="text"/>	
<b>Außenwände</b> Material <input type="text"/> Wandstärke <input type="text"/> cm    ggf. U-Wert <input type="text"/> <i>(Hinweis: früher k-Wert)</i>	
<b>Wärmedämmung</b> <input type="radio"/> keine <input type="radio"/> innen <input type="radio"/> außen Material <input type="text"/> Stärke <input type="text"/> cm	
<b>Dach</b> <b>Wärmedämmung</b> <input type="radio"/> keine <input type="radio"/> innen <input type="radio"/> außen Material <input type="text"/> Stärke <input type="text"/> cm	

Für die Studie wurde der Gasverbrauch auf Grundlage originärer Verbrauchsabrechnungen der Energieversorger ermittelt, die nach [DVGW 2008] auf den Brennwert von Gas bezogen sind. Die brennwertbezogenen Verbrauchswerte wurden daher für die Auswertungen mit einem Faktor 0,9 auf den Heizwert umgerechnet. Die Auswertung erfolgte getrennt nach den Endenergieträgern Gas/Öl, Fernwärme und Strom. Da sich Kennzahlen gas- und heizölversorgter Gebäude nicht signifikant unterscheiden, wurden diese in einer Klasse zusammengefasst. Fehlende Angaben zum Warmwasserverbrauch wurden pauschal mit 18 % des Heizenergiebedarfs berechnet. Fehlende „Gebäudenutzflächen“ nach EnEV in EFH und MFH wurden pauschal über die Wohnfläche mit dem Faktor 1,2 berechnet. Es wurden Verbrauchskennwerte mit und ohne Warmwasser als arithmetisches Mittel bzw. Mediane angegeben.

## Klassenbildung

In der Studie wurden die Gebäudeklassen so gewählt, dass sie üblichen Einfamilienhäusern (kleiner 200 m<sup>2</sup> Wohnfläche), kleinen Mehrfamilienhäusern mit bis zu fünf Wohneinheiten (201 bis 500 m<sup>2</sup>), mittleren Mehrfamilienhäusern bis 20 Wohneinheiten (501 bis 2000 m<sup>2</sup>) und großen Mehrfamilienhäusern (über 2000 m<sup>2</sup>) entsprechen. Die energietechnischen Eigenschaften der Gebäudehülle wurden nach dem folgenden Schema zusammengefasst:

„Neubau 02“	Standard gemäß Energieeinsparverordnung 2002
„Neubau 95“	Standard gemäß Wärmeschutzverordnung 1995
„komplett saniert“	Isolierverglasung, gedämmte Außenwände und Dach, Baujahr vor 1995
„vorwiegend unsaniert“	Isolierverglasung, mäßig gedämmte Außenwände oder Dach
„komplett unsaniert“	Isolier- oder Einfachverglasung, keine Dämmung Außenwände und Dach

Im Gegensatz zu der ARGE-Studie (Abschnitt 2.1.6) ist die energetische Qualität der Bestandsgebäude damit nur über die Bauteilmodernisierung definiert.

**Tab. 4: Beispielhafte Ergebnisse der Vergleichswerte-Studie für mit Gas und Öl beheizte Gebäude [Fisch et al. 2012]**

Art der Erhebung	Anzahl Gebäude Gebäude- typ	Differenzierung energetische Qualität	Energieträger	Fläche	Energieinhalt Brennstoffe	Anwen- dung	Bereinigung
Ausstellung von Energie- verbrauchs- ausweisen	57.562 Wohnge- bäude	Neubau 02; Neubau 95 / kompl. saniert; Vorw. unsaniert; Kompl. unsaniert (siehe Definition)	Gas / Öl und Fernwärme (zwei Tabellen)	„Gebäude- nutzfläche“ nach EnEV 2002	aus den Rechnungen umgerechnet in H <sub>i</sub> (Faktor 0,9)	Heizung + Warm- wasser	witterungsberei- nigt gemäß Be- kanntmachung zum Energiever- brauchsausweis
Endenergieverbrauch		Gebäude- anzahl	Mittelwert [kWh/m <sup>2</sup> a]	Median [kWh/m <sup>2</sup> a]	Standard- abweichung		
<b>Gas / Öl</b>							
<b>≤200 m<sup>2</sup></b>		<b>9322</b>					
Neubau 02		214	85	83	25		
Neubau 95 / kompl. saniert		1676	111	105	38		
Vorw. unsaniert		6115	155	149	52		
Kompl. unsaniert		1317	176	167	61		
<b>200-500 m<sup>2</sup></b>		<b>28113</b>					
Neubau 02		445	87	85	25		
Neubau 95 / kompl. saniert		521	114	108	36		
Vorw. unsaniert		20719	141	136	41		
Kompl. unsaniert		1739	156	149	50		
<b>500-2000 m<sup>2</sup></b>		<b>17755</b>					
Neubau 02		511	84	81	22		
Neubau 95 / kompl. saniert		4251	102	98	30		
Vorw. unsaniert		11934	133	129	38		
Kompl. unsaniert		1059	139	134	42		
<b>&gt;2000 m<sup>2</sup></b>		<b>2372</b>					
Neubau 02		62	87	87	20		
Neubau 95 / kompl. saniert		534	99	95	32		
Vorw. unsaniert		1672	128	125	35		
Kompl. unsaniert		104	137	133	39		
<b>Fernwärme</b>							
<b>≤200 m<sup>2</sup></b>		<b>116</b>					
Neubau 02		1	58	58	-		
Neubau 95 / kompl. saniert		25	118	114	53		
Vorw. unsaniert		78	142	136	76		
Kompl. unsaniert		12	144	143	36		
<b>200-500 m<sup>2</sup></b>		<b>993</b>					
Neubau 02		16	81	75	25		
Neubau 95 / kompl. saniert		182	100	92	37		
Vorw. unsaniert		754	123	115	48		
Kompl. unsaniert		41	158	147	40		
<b>500-2000 m<sup>2</sup></b>		<b>2908</b>					
Neubau 02		77	77	76	27		
Neubau 95 / kompl. saniert		835	85	80	24		
Vorw. unsaniert		1902	116	109	49		
Kompl. unsaniert		94	138	126	73		
<b>&gt;2000 m<sup>2</sup></b>		<b>2303</b>					
Neubau 02		26	82	83	15		
Neubau 95 / kompl. saniert		894	83	81	21		
Vorw. unsaniert		1302	102	98	35		
Kompl. unsaniert		81	111	104	34		

(Tabelle aus [Fisch et al. 2012])

Im Verlauf der Analysen zeigte sich nach Angaben der Autoren, dass sich die Kategorien "komplett saniert" und "Neubau 95" in der Höhe der Kennwerte nur geringfügig unterscheiden: Diese wurden daher in der Studie zusammengefasst.

## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

### Datenqualität

- Es ist unklar, wie viele teilsanierte Gebäude in der Kategorie „komplett saniert“ mit enthalten sind, da lediglich nach einer Sanierung / Modernisierung gefragt wird, aber nicht nach dem Anteil an der jeweiligen Hüllfläche. Das gleiche gilt auch für Fenster. Darüber hinaus fehlen im Fall BRUNATA-METRONA Angaben zur Dicke der nachträglichen Dämmung. Bei Delta wurde keine Kellerdeckendämmung abgefragt.
- Da die Kategorie „Neubau 95“ mit „komplett saniert“ zusammengelegt wurde, ist eine separate Angabe der in der Baualtersklasse 1995...2001 enthaltenen Gebäude nicht direkt möglich. Es kann nur die Gesamtzahl für die zusammengelegte Klasse angegeben werden, versehen mit einer entsprechenden Fußnote.
- Die Quellen und die Umrechnungen sind insgesamt ausreichend dokumentiert.
- Eine Verwendung der Vergleichswerte für unsanierte Gebäude, differenziert nach Baualtersklassen scheint möglich.

### Übertragbarkeit

- Die Datenmengen, die hinter den Energiekennzahlen der einzelnen Gebäudeklassen stehen, weisen teils große Unterschiede auf. Insbesondere in den Randbereichen wie „Neubau 02“ oder „komplett unsaniert“ stehen bei den Einfamilienhäusern teilweise deutlich weniger als 100, teilweise nur einzelne Gebäude zur Verfügung.
- Bezüglich der Einfamilienhäuser muss beachtet werden, dass durch Messdienstleister ausgestellte Energieverbrauchsausweise sicherlich besondere Fälle darstellen, die u.U. mit typischen selbstgenutzten Einfamilienhäusern nicht vergleichbar sind.
- Auch bezüglich der ab 2002 errichteten Neubau-Mehrfamilienhäuser ist die Frage nach der Repräsentativität zu stellen. Für diese Häuser sollte im Zuge der Errichtung eigentlich schon ein Energiebedarfsausweis ausgestellt worden sein, so dass die Ausstellung eines Verbrauchsausweises nicht nötig ist. Es ist nicht auszuschließen, dass besondere Gründe für die Ausstellung des Verbrauchsausweises vorliegen und die Häuser damit nicht vergleichbar mit der großen Masse von Neubauten sind.

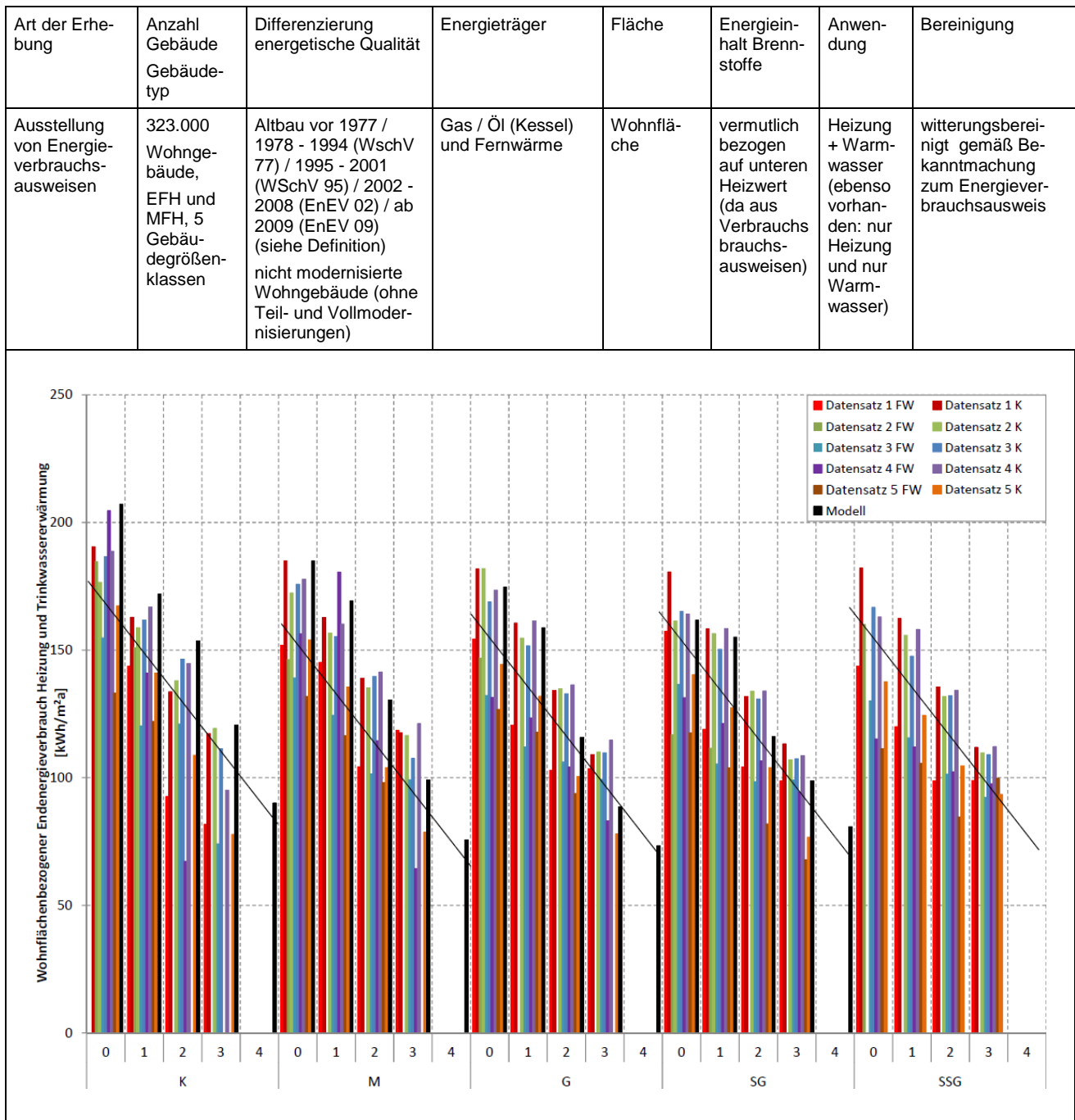
Resümee: Die Daten können für eine vorläufige, exemplarische Bestimmung einer Kalibrierungsfunktion für die Normberechnung mit herangezogen werden, wobei auf die genannten Einschränkungen hinzuweisen ist.

### 2.1.8 Auswertungen von Energieverbrauchsausweisen unsanierter Gebäude aus verschiedenen Datenbanken von Messdienstleistern [Felsmann 2013]

In der Studie „Auswirkungen der verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität“ [Felsmann 2013] wurden Messdatensätze verwendet, die von in der Arbeitsgemeinschaft Heiz- und Wasserkostenverteilung vertretenen Messdienstunternehmen in komprimierter und anonymisierter Form zur Verfügung gestellt worden waren. Nach Angaben der Autoren wurden Datensätze aus insgesamt 323.000 Gebäuden zusammengeführt. Es wurden

dabei nicht Abrechnungsdaten sondern Energieverbrauchsausweise ausgewertet, bei deren Datenaufnahme auch das Baualter und der Modernisierungszustand erfasst worden waren. Die Details der Datenzusammenführung der eventuell unterschiedlichen Erfassungssysteme für den Energieverbrauchsausweis sind nicht dokumentiert. Auch die Abrechnungsunternehmen, die Daten zur Verfügung gestellt haben, werden nicht namentlich erwähnt. Die Ergebnisse wurden in der Studie für die Validierung eines Gebäude-Modells verwendet.

**Abb. 29: Auswertungen von Energieverbrauchsausweisen von nicht modernisierten Wohngebäuden aus Datenbanken von verschiedenen Messdienstleistern**  
(aus: [Felsmann et al. 2013])



(Bild aus: [Felsmann et al. 2013])

**Abb. 30: Erläuterung der Klassen für Energieträger, Gebäudebualter und -größe**

Zeichen	Bedeutung	
FW	<b>Energieform</b> Fernwärme	
K	Kessel	
	<b>Bualter</b>	
0	Altbau vor 1977 (unmodernisiert)	BAK 1-7
1	1978 - 1994 (WSchVO 77)	BAK 8
2	1995 - 2001 (WSchVO 95)	BAK 9
3	2002 - 2008 (EnEV 02)	BAK 10
4	ab 2009 (EnEV 09)	BAK 10
	<b>Anzahl der Nutzeinheiten im Gebäude</b>	
K	2	
M	3 - 4	
G	5 - 7	
SG	8 - 16	
SSG	17 - 60	

(Bild aus: [Felsmann et al. 2013])

### Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

#### Datenqualität

- Es fehlen Angaben zu den Messdienstleistern, die die Daten bereitgestellt haben, zu deren Art der Erfassung und zur Aufbereitung und Zusammenführung der Daten. Die Nachvollziehbarkeit der Kennwerte ist dadurch nicht gewährleistet.
- Weiterhin fehlen Angaben zur Fallzahl je Kategorie und zur Streuung.

#### Übertragbarkeit

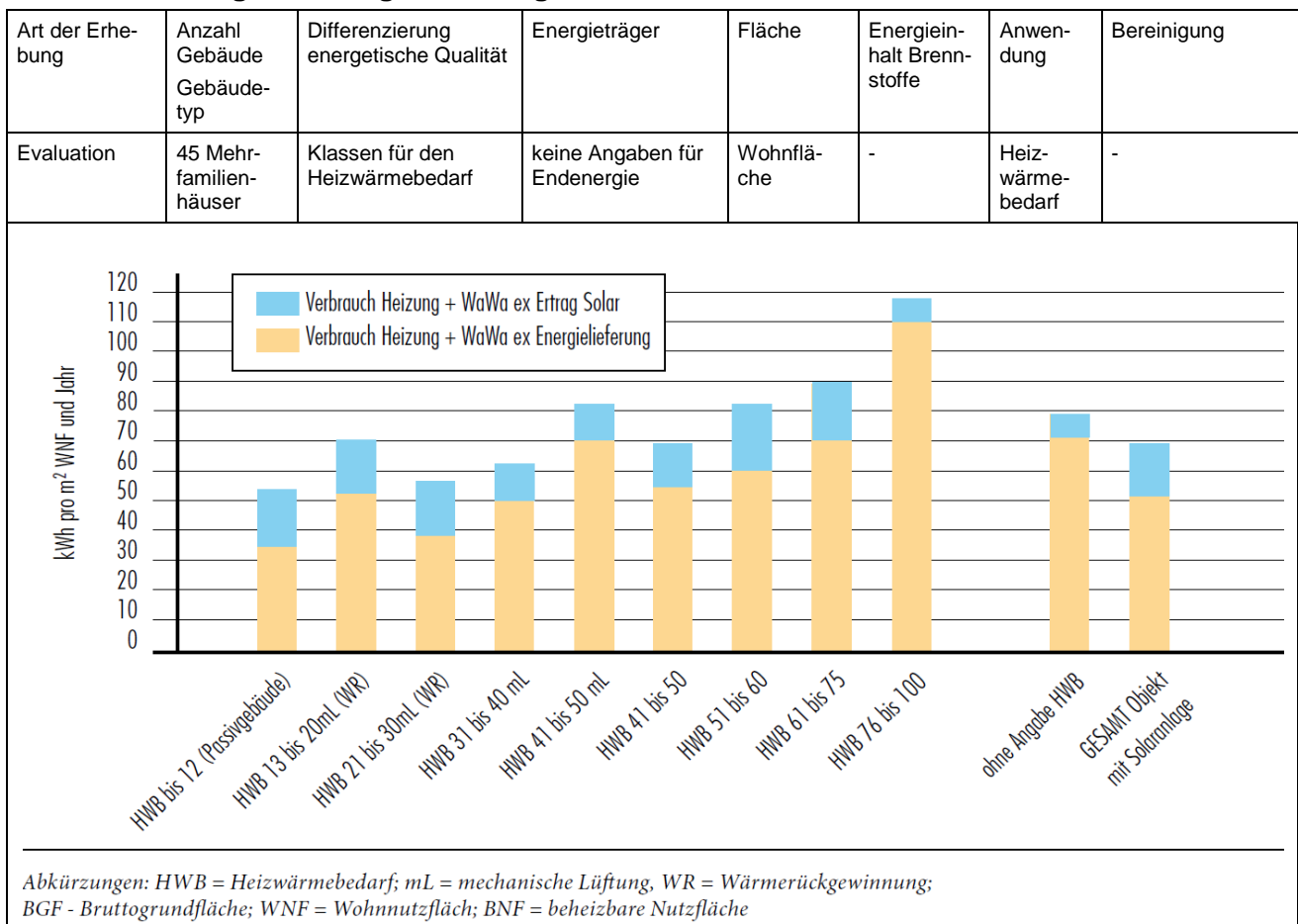
- Bezüglich der Einfamilienhäuser muss beachtet werden, dass durch Messdienstleister ausgestellte Energieverbrauchsausweise sicherlich besondere Fälle darstellen, die u.U. mit typischen selbstgenutzten Einfamilienhäusern nicht vergleichbar sind.
- Bei den Mehrfamilienhäusern sind keine Einschränkungen der Übertragbarkeit festzustellen.

Resümee: Auf Grund der bezüglich Datenqualität genannten Punkte wird diese Analyse in den Datengrundlagen für Kapitel 4 nicht berücksichtigt.

### 2.1.9 Verbrauchsanalyse von Mehrfamilienhäusern durch den Österreichischen Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen [Bauer 2013]

Der „Österreichische Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen“ hat zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Baustandards die Verbrauchswerte von 45 Objekten bzw. 1423 Wohnungen mit den berechneten Energiekennwerten verglichen. Das folgende Diagramm zeigt die für verschiedene Klassen des Heizwärmebedarfs erzielten Verbrauchskennwerte. Gemäß den in der Studie dargestellten Tabellenwerten (Tabelle 4 der Studie) gibt die Gesamthöhe der Säulen den Bezug an Wärme aus Energielieferung von außen an. Bei den besten 4 Kategorien mit 26 Mehrfamilienhäusern (über 700 Wohnungen) ergibt sich ein Wert von ca. 60 kWh/(m²a) an Energielieferung für Heizung und Warmwasser (bezogen auf die „Wohn-Nutzfläche“ WNF, was der deutschen Wohnfläche entspricht).

**Abb. 31: Objekte mit Solaranlagen gemäß [Bauer 2013]: Verbrauch Wärmeenergie aus Energielieferung und Erträgen Solar**



(Bild aus: [Bauer 2013])

**Tab. 5: Anzahl der in [Bauer 2013] untersuchten Gebäude bzw. Wohnungen**

Klassen des Heizwärmebedarfs	HWB bis 12 (Passivgebäude)	HWB 13 bis 20 mL (WR)	HWB 21 bis 30 mL (WR)	HWB 31 bis 40 mL	HWB 41 bis 50 mL	HWB 41 bis 50	HWB 51 bis 60	HWB 61 bis 75	HWB 76 bis 100	Gesamt
Anzahl Objekte	11	4	1	10	3	7	3	5	1	45
Anzahl Wohnungen	487	242	12	267	46	241	56	58	14	1423

(eigene Darstellung, Zahlenwerte abgelesen aus Tabelle 4 der Studie: Objekte mit Solaranlage und Angabe Verbrauch Heizung)

## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

- Außer dem Heizwärmebedarf wurden keine weitergehenden Ergebnisse von Energiebilanzberechnungen angegeben, also auch nicht der rechnerische Endenergiebedarf. Daher können die Ergebnisse hier nicht weiter bewertet oder genutzt werden.

Resümee: Die Kennwerte werden in den Datengrundlagen für Kapitel 4 nicht berücksichtigt.

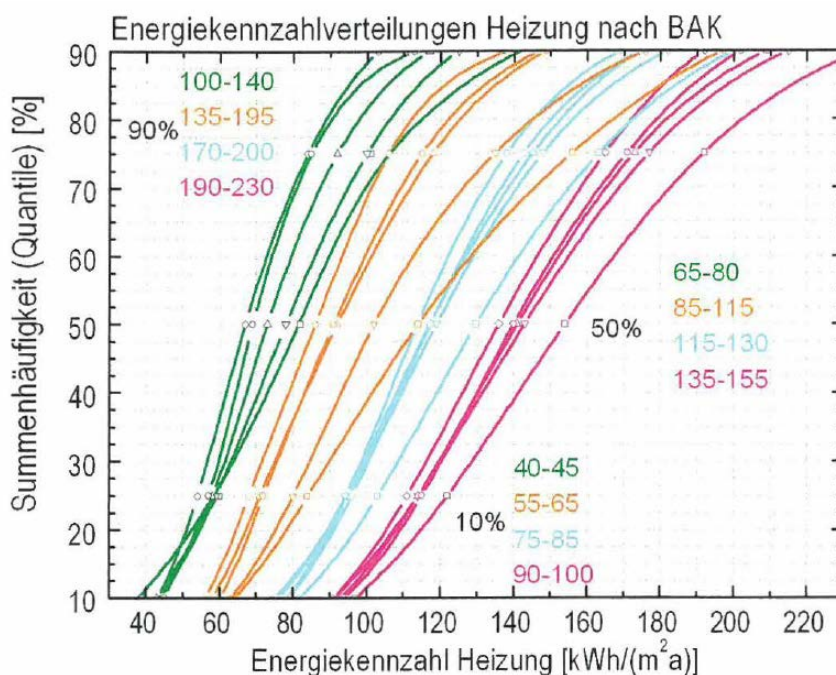
### 2.1.10 Analysen von Verbrauchsausweisdaten des Messdienstleisters BRUNATA-METRONA [Schröder et al. 2014]

Grundlage der Studie „Reale Trends des spezifischen Energieverbrauchs und repräsentativer Wohnraumtemperierung bei steigendem Modernisierungsgrad im Wohnungsbestand“ [Schröder et al. 2014] sind Daten, die für die Erstellung von Verbrauchsausweisen des Messdienstleisters BRUNATA-METRONA verwendet wurden. Daten dieser Quelle wurden auch für die Analysen in [Fisch et al. 2012] (siehe Abschnitt 2.1.7) verwendet sowie bereits in [Schröder et al. 2009] in anderer Form publiziert. Die Verbrauchsdatenanalyse bezieht sich allein auf nicht-modernisierte Gebäude entsprechend den Angaben im Fragebogen. Gemäß [Schröder et al. 2009] gelten Gebäude als "unsaniert", wenn bei Ihnen nominell "nicht saniert gemäß Baustandard 1995" für die gesamte Außenhülle angegeben wurde (vgl. Auszug aus dem Fragebogen von BRUNATA in Abb. 27 von Abschnitt 2.1.7).

Dargestellt werden Ergebnisse in Diagrammform als Summenhäufigkeitsverteilungen (Beispiel siehe Abb. 32) sowie in Tabellenform (Q10, Median, Q90, Mittel, Standardabweichung, Stichprobengröße; siehe Tab. 6), jeweils separat für Heizung und Warmwasser.

#### Abb. 32: Summenhäufigkeitsverteilungen der Energiekennwerte für Raumheizung von Kesselheizungen (Gas, Öl) in Deutschland

nichtmodernisierte Gebäude, errichtet bis 1977 (rot) und bis 1994 (hellblau), Gebäude gemäß WSchV 1995 (orange), Neubauten gemäß EnEV 2002 (grün). Gleichfarbige Kurven repräsentieren 5 von rechts nach links zunehmende Gebäudegrößen



(Bild aus: [Schröder et al. 2014])

**Tab. 6: Ergebnisse der Auswertung von Energieverbrauchsausweisen in [Schröder et al. 2014]**

Art der Erhebung	Anzahl Gebäude Gebäude- typ	Differenzierung energetische Qualität	Energieträger	Fläche	Energieein- halt Brenn- stoffe	Anwen- dung	Bereinigung
Ausstellung von Energieverbrauchsausweisen	138.550 Wohngebäude 5 Größenklassen	4 Baualtersklassen, nur unsanierte Gebäude gemäß Definition in [Schröder et al. 2009]	Kesselheizungen (Gas / Öl) und Fernwärme	„Gebäude-nutzfläche“ A <sub>N</sub> nach EnEV	H <sub>i</sub>	getrennte Tabellen für Heizung und Warmwasser	witterungsbereinigt gemäß Bekanntmachung zum Energieverbrauchsausweis

**(a) Heizung**

BAK & Größe	KESSELHEIZUNGEN						FERNWÄRME					
	Q10	Median	Q90	Mittel	Stabw	N	Q10	Median	Q90	Mittel	STABW	N
<b>OLD_77</b>												
< 200 m <sup>2</sup>	97	154	235	162	60	11700	80	129	198	140	60	300
200-400 m <sup>2</sup>	91	143	215	150	54	37800	81	124	184	129	46	1300
400-700 m <sup>2</sup>	93	141	209	148	53	21400	78	117	179	125	49	1700
700-1500 m <sup>2</sup>	94	140	202	146	50	11800	77	113	168	122	56	1900
> 1500 m <sup>2</sup>	91	136	192	141	44	4500	67	106	154	108	36	1900
<b>78_94</b>												
< 200 m <sup>2</sup>	82	130	200	137	52	1300	62	103	239	130	66	40
200-400 m <sup>2</sup>	75	119	182	126	46	6700	61	91	149	107	80	200
400-700 m <sup>2</sup>	78	117	175	124	47	5700	53	88	158	98	45	250
700-1500 m <sup>2</sup>	79	117	174	123	41	3900	55	86	134	93	52	400
> 1500 m <sup>2</sup>	76	114	169	119	40	1900	50	86	121	87	33	1100
<b>WSVO_95</b>												
< 200 m <sup>2</sup>	62	107	186	115	47	900	55	80	127	91	41	40
200-400 m <sup>2</sup>	62	100	167	108	44	4700	38	80	128	82	36	240
400-700 m <sup>2</sup>	58	92	149	99	40	6100	44	75	137	83	38	400
700-1500 m <sup>2</sup>	60	91	147	98	38	3900	43	71	122	78	36	600
> 1500 m <sup>2</sup>	56	86	138	94	48	1700	40	63	109	70	34	700
<b>ENEV_02</b>												
< 200 m <sup>2</sup>	39	82	137	88	47	120	no data	no data	no data	no data	no data	no data
200-400 m <sup>2</sup>	44	78	125	83	35	640	25	63	106	64	33	50
400-700 m <sup>2</sup>	43	73	117	78	31	950	38	58	92	64	23	130
700-1500 m <sup>2</sup>	43	67	103	72	29	830	38	54	85	59	20	240
> 1500 m <sup>2</sup>	45	69	113	77	37	320	34	55	85	57	22	200

**(b) Warmwasser**

BAK & Größe	KESSELHEIZUNGEN						FERNWÄRME					
	Q10	Median	Q90	Mittel	Stabw	N	Q10	Median	Q90	Mittel	Stabw	N
<b>OLD_77</b>												
< 200 m <sup>2</sup>	14	26	43	28	12,5	7100	12	22	36	24	10,8	100
200-400 m <sup>2</sup>	14	25	41	27	11,7	22300	14	22	34	24	10,1	450
400-700 m <sup>2</sup>	15	26	41	27	12,1	9700	12	21	35	22	9	650
700-1500 m <sup>2</sup>	16	27	43	29	13	5000	13	21	34	23	9,2	750
> 1500 m <sup>2</sup>	18	28	41	29	14,4	2100	14	20	34	22	9	1100
<b>78_94</b>												
< 200 m <sup>2</sup>	14	25	42	27	12,2	950	15	23	31,8	25	8,9	20
200-400 m <sup>2</sup>	13	24	40	26	11,2	4800	13	21	33	24	13,3	120
400-700 m <sup>2</sup>	15	26	39	27	10,9	3600	11	20	33	22	11,9	130
700-1500 m <sup>2</sup>	16	26	40	27	10,3	2300	11	20	32	21	8,7	230
> 1500 m <sup>2</sup>	19	28	40	29	9,7	1200	12	19	27,5	20	7,9	940
<b>WSVO_95</b>												
< 200 m <sup>2</sup>	11	23	41	25	12,9	630	7	16	22	16	8,3	30
200-400 m <sup>2</sup>	13	23	39	25	11	3600	11	19	28	20	8	140
400-700 m <sup>2</sup>	14	24	39	26	10,7	4200	11	17	32	20	9	290
700-1500 m <sup>2</sup>	14	24	37	25	9,7	2900	11	19	32	20	7,9	500
> 1500 m <sup>2</sup>	14	24	38	25	10,1	1200	11	19	32	20	8,7	550
<b>ENEV_02</b>												
< 200 m <sup>2</sup>	9	23	44	25	14,9	80	no data	no data	no data	no data	no data	no data
< 400 m <sup>2</sup>	12	22	38	24	10,6	500	7	16	23	16	6	40
400-700 m <sup>2</sup>	13	22	37	23	9,7	800	10	14	29	17	9,3	130
700-1500 m <sup>2</sup>	12	22	35	23	9,7	700	9	17	26	17	7,2	150
> 1500 m <sup>2</sup>	14	25	38	25	9,2	280	10	24	40	24	10,6	100

(zwei Tabellen aus [Schröder et al. 2014])



## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

### Datenqualität

- Die wichtigsten Informationen zur Erhebung und zur Aufbereitung der Daten sind dokumentiert. Ideal wäre es, wenn zusammen mit der Analyse auch der verwendete Fragebogen publiziert worden wäre.
- Entsprechend den in [Schröder et al. 2009] angegebenen Kriterien sind im Gebäudezustand „unsaniert“ auch Gebäude enthalten, die vor 1995 modernisiert wurden. Es können also durchaus ganz- oder teilmodernisierte Gebäude in der Stichprobe enthalten sein.

### Übertragbarkeit:

- Bezüglich der Einfamilienhäuser muss beachtet werden, dass durch Messdienstleister ausgestellte Energieverbrauchsausweise sicherlich besondere Fälle darstellen, die u.U. mit typischen selbstgenutzten Einfamilienhäusern nicht vergleichbar sind.
- Auch bezüglich der ab 2002 errichteten Neubau-Mehrfamilienhäuser ist die Frage nach der Repräsentativität zu stellen. Für diese Häuser sollte im Zuge der Errichtung eigentlich schon ein Energiebedarfsausweis ausgestellt worden sein, so dass die Ausstellung eines Verbrauchsausweises nicht nötig ist. Es ist nicht auszuschließen, dass besondere Gründe für die Ausstellung des Verbrauchsausweises vorliegen und die Häuser damit nicht vergleichbar mit der großen Masse von Neubauten sind.

Resümee: Die Daten können für eine vorläufige, exemplarische Bestimmung einer Kalibrierungsfunktion für die Normberechnung mit herangezogen werden, wobei auf die genannten Einschränkungen hingewiesen werden sollte.


### 2.1.11 Energiekennwerte von 322 energetisch hocheffizienten Wohngebäuden [Zeine et al. 2015]

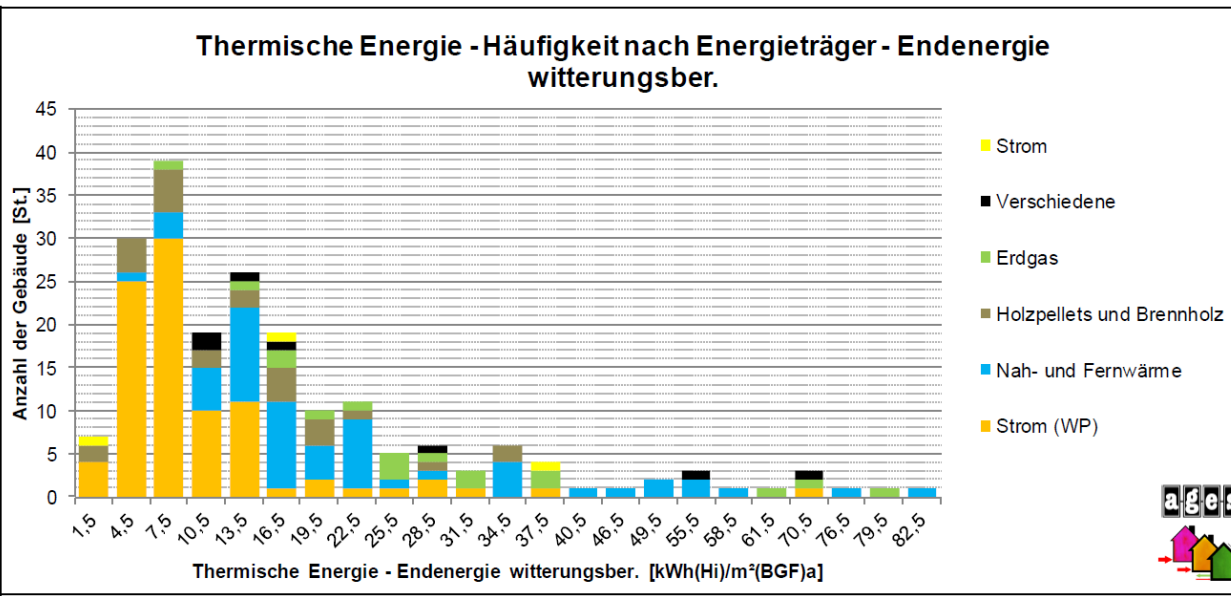
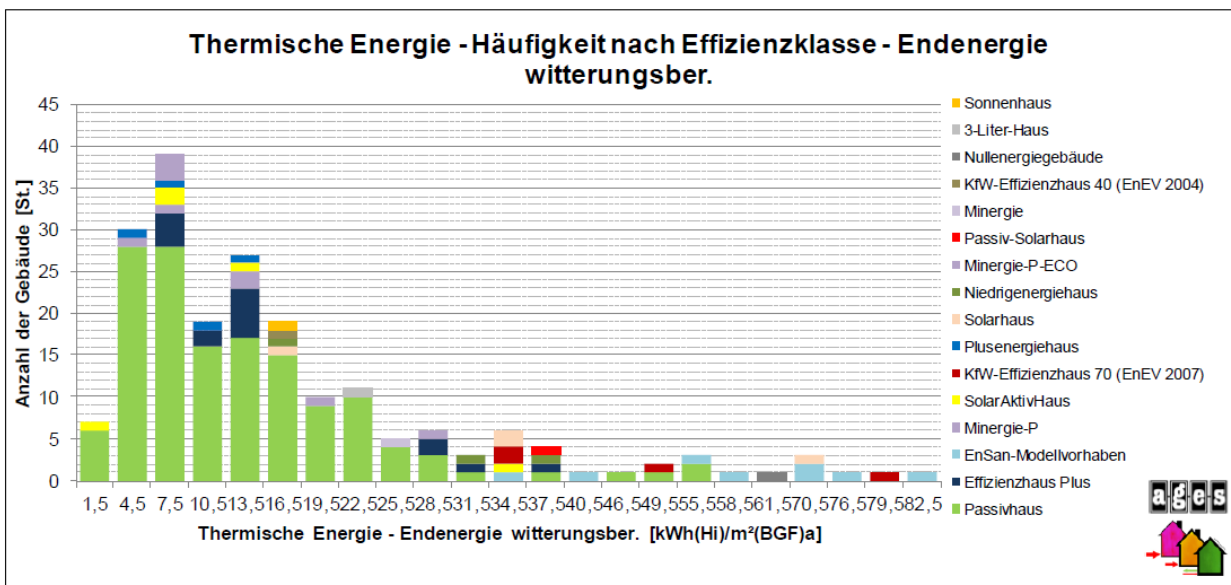
In der Studie „KWEFF2015 – Energieverbrauchskennwerte energetisch hocheffizienter Gebäude“ der Gesellschaft für Energieplanung und Systemanalyse (AGES) wurden aus verschiedenen Quellen Verbrauchskennwerte von energetisch hocheffizienten Wohngebäuden zusammengetragen. Zum einen wurde eine eigene Primärdatenerhebung durchgeführt, zum anderen wurden aus verschiedenen Studien Sekundärdaten in eine gemeinsame Struktur überführt und ausgewertet. Gemäß den Ausführungen in [Zeine et al. 2015] erwies sich die Beschaffung von Primärdaten als sehr schwierig, da nach der Fertigstellung hocheffizienter Gebäude in der Regel kein Verbrauchsscontrolling vorgesehen sei.

Insgesamt konnten die Daten von 446 Gebäuden, darunter 320 Wohngebäuden, ausgewertet werden. Abb. 33 gibt einen Überblick der Ergebnisse, in Tab. 7 und Tab. 8 werden die Ergebnisse in unterschiedlicher Weise strukturiert wiedergegeben.

**Abb. 33: Endenergieverbrauch von energieeffizienten Gebäuden (Bild aus: [Zeine et al. 2015])**

Art der Datenerhebung	Anzahl Gebäude Gebäudetyp	Differenzierung energetische Qualität	Energieträger	Fläche	Brennstoffe	Anwendung	Bereinigung
vorwiegend Auswertung von Forschungsberichten, ergänzt um eigene Erhebung	199 Wohngebäude: Neubau + mod. Altbau	Einhaltung der jeweils definierten Anforderungen	siehe Legende	Bruttogrundfläche (BGF)	Heizwert	Heizung + WW	Standardjahr Standard- Standort DE

 <p><b>Energieverbrauchskennwerte</b> <b>Thermische Energie</b> <b>Endenergie witterungsbereinigt</b> <b>Gebäudetyp: Wohngebäude</b></p> <p>Ergebnisse vom 30.09.2015</p>	Bezugsfläche	BGF	WF	Einheit
	Anzahl Gebäude	199	199	[St.]
	Arithmetisches Mittel	17	33	[kWh/m <sup>2</sup> a]
	Standardabweichung	16	28	[kWh/m <sup>2</sup> a]
	Modus	8	15	[kWh/m <sup>2</sup> a]
	Median	14	24	[kWh/m <sup>2</sup> a]
	Unteres Quartilmittel	7	14	[kWh/m <sup>2</sup> a]
	Mittlere Fläche	1.252	690	[m <sup>2</sup> ]
	Klassenbreite	3	3	[kWh/m <sup>2</sup> a]



(eine Tabelle und zwei Diagramme aus [Zeine et al. 2015])

**Tab. 7: Verbrauchskennwerte für Heizung und Warmwasser energetisch hocheffizienter Wohngebäude differenziert nach Energieträger, Gebäudeart und Effizienzstandard (aus: [Zeine et al. 2015])**

BWZ, Effizienzklasse	Anzahl Gebäude	Mittlere BGF [m <sup>2</sup> ]	Verbrauchskennwert Endener- gie Warmwasserverbrauch arithmetisches Mittel [kWh/m <sup>2</sup> (BGF)ja]	Verbrauchskennwert Endener- gie Heizwärmeverbrauche arithmetisches Mittel [kWh/m <sup>2</sup> (BGF)ja]	Verbrauchskennwert Endener- gie Wärmeverbrauch arithmeti- sches Mittel witterungsbereinigt [kWh/m <sup>2</sup> (BGF)ja]
<b>Erdgas</b>	<b>8</b>	<b>3.270</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>29</b>
<b>60000 Wohnbauten/Gemeinschaftsstätten</b>	<b>8</b>	<b>3.270</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>29</b>
61210 MFH nur fuer Wohnzwecke	7	3.446	12	16	28
3-Liter-Haus	1	1.770	9	12	21
EnSan-Modellvorhaben	1	1.285	27	44	71
Niedrigenergiehaus	1	1.486	14	17	30
Passivhaus	4	4.896	8	9	18
61220 MFH mit zusaetzl. Nutzung	1	2.040	8	29	38
Passiv-Solarhaus	1	2.040	8	29	38
<b>Holzpellets und Brennholz</b>	<b>4</b>	<b>993</b>	<b>9</b>	<b>56</b>	<b>66</b>
<b>60000 Wohnbauten/Gemeinschaftsstätten</b>	<b>4</b>	<b>993</b>	<b>9</b>	<b>56</b>	<b>66</b>
61110 EFH nur fuer Wohnzwecke	2	224	9	101	110
EnSan-Modellvorhaben	2	224	9	101	110
61210 MFH nur fuer Wohnzwecke	2	1.762	10	12	22
Passivhaus	2	1.762	10	12	22
<b>Nah- und Fernwärme</b>	<b>52</b>	<b>606</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>24</b>
<b>60000 Wohnbauten/Gemeinschaftsstätten</b>	<b>52</b>	<b>606</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>24</b>
61110 EFH nur fuer Wohnzwecke	1	74	10	69	79
EnBau-Modellvorhaben	1	74	10	69	79
61130 EFH Reihenhaeuser	44	223	7	9	16
Passivhaus	44	223	7	9	16
61210 MFH nur fuer Wohnzwecke	7	3.087	18	52	62
EnSan-Modellvorhaben	6	2.655	17	56	64
Passivhaus	1	5.677	19	28	47
<b>Strom (WP)</b>	<b>56</b>	<b>321</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
<b>60000 Wohnbauten/Gemeinschaftsstätten</b>	<b>56</b>	<b>321</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
61110 EFH nur fuer Wohnzwecke	3	391	4	11	8
EnBau-Modellvorhaben	1	72	7	26	15
Passivhaus	2	551	2	3	5
61130 EFH Reihenhaeuser	50	242	4	3	7
Passivhaus	50	242	4	3	7
61210 MFH nur fuer Wohnzwecke	3	1.571	4	4	8
Effizienzhaus Plus	1	768	8	5	13
Passivhaus	2	1.973	2	4	5
<b>Verschiedene</b>	<b>3</b>	<b>1.772</b>	<b>14</b>	<b>32</b>	<b>46</b>
<b>60000 Wohnbauten/Gemeinschaftsstätten</b>	<b>3</b>	<b>1.772</b>	<b>14</b>	<b>32</b>	<b>46</b>
61210 MFH nur fuer Wohnzwecke	3	1.772	14	32	46
EnSan-Modellvorhaben	2	2.281	19	44	63
Passivhaus	1	756	3	7	11
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>123</b>	<b>691</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>18</b>

(Quelle: [Zeine et al. 2015] Tabelle 42)

**Tab. 8: Verbrauchskennwerte für Heizung und Warmwasser energetisch hocheffizienter Wohngebäude differenziert nach Gebäudeart, Effizienzstandard und Energieträger (aus: [Zeine et al. 2015])**

BWZ, Effizienzklasse	Anzahl Gebäude	Mittlere BGF [m <sup>2</sup> ]	Verbrauchskennwert Endener- gie Warmwasserverbrauch arithmetisches Mittel [kWh/m <sup>2</sup> a]	Verbrauchskennwert Endener- gie Heizwärmeverbräuche arithmetisches Mittel [kWh/m <sup>2</sup> a]	Verbrauchskennwert Endener- gie Wärmeverbrauch arithmeti- sches Mittel witterungsbereinig t [kWh/m <sup>2</sup> a]
<b>60000 Wohnbauten/Gemeinschaftsstaetten</b>	<b>123</b>	<b>691</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>18</b>
<b>61110 EFH nur fuer Wohnzwecke</b>	<b>6</b>	<b>283</b>	<b>7</b>	<b>50</b>	<b>54</b>
EnBau-Modellvorhaben	2	73	9	48	47
<i>Nah- und Fernwärme</i>	1	74	10	69	79
<i>Strom (WP)</i>	1	72	7	26	15
EnSan-Modellvorhaben	2	224	9	101	110
<i>Holzpellets und Brennholz</i>	2	224	9	101	110
Passivhaus	2	551	2	3	5
<i>Strom (WP)</i>	2	551	2	3	5
<b>61130 EFH Reihenhaeuser</b>	<b>94</b>	<b>233</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>11</b>
Passivhaus	94	233	5	6	11
<i>Nah- und Fernwärme</i>	44	223	7	9	16
<i>Strom (WP)</i>	50	242	4	3	7
<b>61210 MFH nur fuer Wohnzwecke</b>	<b>22</b>	<b>2.695</b>	<b>13</b>	<b>27</b>	<b>38</b>
3-Liter-Haus	1	1.770	9	12	21
<i>Erdgas</i>	1	1.770	9	12	21
Effizienzhaus Plus	1	768	8	5	13
<i>Strom (WP)</i>	1	768	8	5	13
EnSan-Modellvorhaben	9	2.420	19	52	65
<i>Erdgas</i>	1	1.285	27	44	71
<i>Nah- und Fernwärme</i>	6	2.655	17	56	64
<i>Verschiedene</i>	2	2.281	19	44	63
Niedrigenergiehaus	1	1.486	14	17	30
<i>Erdgas</i>	1	1.486	14	17	30
Passivhaus	10	3.348	8	10	18
<i>Erdgas</i>	4	4.896	8	9	18
<i>Holzpellets und Brennholz</i>	2	1.762	10	12	22
<i>Nah- und Fernwärme</i>	1	5.677	19	28	47
<i>Strom (WP)</i>	2	1.973	2	4	5
<i>Verschiedene</i>	1	756	3	7	11
<b>61220 MFH mit zusaetzl. Nutzung</b>	<b>1</b>	<b>2.040</b>	<b>8</b>	<b>29</b>	<b>38</b>
Passiv-Solarhaus	1	2.040	8	29	38
<i>Erdgas</i>	1	2.040	8	29	38
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>123</b>	<b>691</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>18</b>

(Quelle: [Zeine et al. 2015] Tabelle 43)

## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

### Datenqualität

- Es handelt sich vorwiegend um im Rahmen von Forschungsprojekten analysierte Modellprojekte, wobei es bezüglich der Gebäude Schnittmengen mit der Meta-Analyse [Loga et al. 2003] gibt (Abschnitt 2.1.1). Mit Ausnahme der Kategorie „Passivhaus“ sind die unterschiedlichen Energieeffizienzstandards sehr schwach vertreten, so dass keine repräsentativen Aussagen möglich sind.
- Die systematische Gliederung und Gruppierung der Tabellen mit Angabe der jeweiligen Fallzahl ist für Vergleichswertbildung im Grundsatz sehr gut geeignet und nachvollziehbar.

### Übertragbarkeit

- Es sind nur energetisch hochwertige Häuser enthalten. Die Daten geben also ein spezielles Segment des Wohngebäudebestands wieder.
- Die Gruppe der selbstnutzenden Gebäudeeigentümer kann u.U. nicht als repräsentativ eingestuft werden, da die Gebäude teilweise als Pilotvorhaben bzw. Modellprojekte realisiert wurden. Eine Verallgemeinerung ist auch deshalb nicht ohne weiteres möglich, weil bei den Gebäuden während der Nutzung in der Regel auch ein Verbrauchsmonitoring durch Dritte stattgefunden hat.

Resümee: Die Verbrauchskennwerte sind nicht Bedarfskennwerten sondern bestimmten, gut definierten Gebäudestandards zugeordnet. Auswertungen dieser Art könnten im Prinzip direkt als Benchmarks entsprechend Kapitel 4.2.2 verwendet werden. Allerdings ist bei dieser Untersuchung die Fallzahl zu klein um je Kategorie ausreichend empirisch abgesicherte Verbrauchskennwerte zu liefern. Aus diesem Grund werden die Kennwerte in den Datengrundlagen für Kapitel 4 nicht berücksichtigt.

### 2.1.12 Auswertung des Verbrauchs von Modellvorhaben mit Effizienzhaus-Plus-Standard und Elektrowärmepumpen [Erhorn / Bergmann 2015]

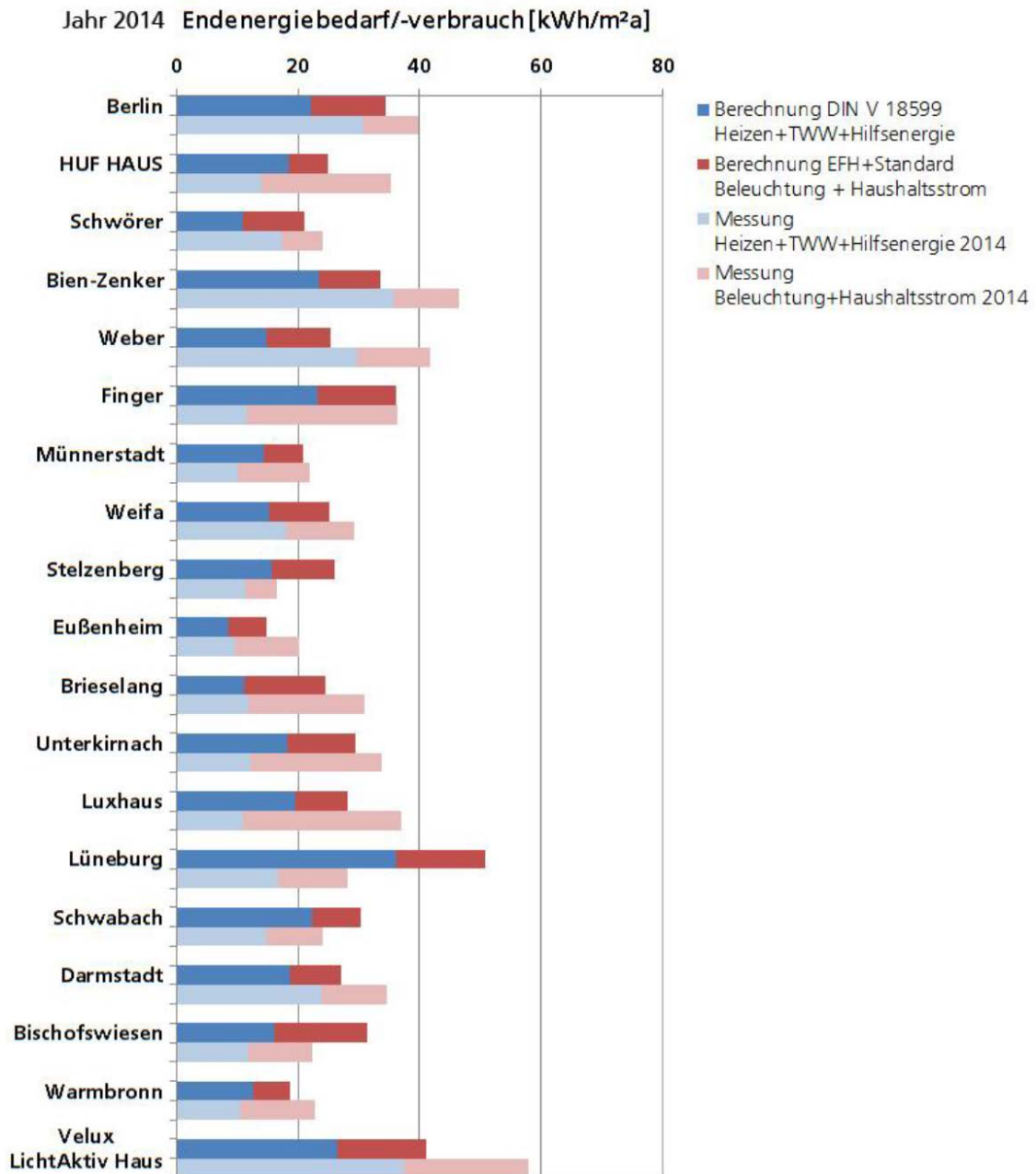
Gegenstand der Studie „Energieeffizienter Neubau von Wohngebäuden - Begleitforschung und Querauswertung von Modellvorhaben (Phase 2)“ [Erhorn / Bergmann 2015] sind gebaute Beispiel von Plus-Energie-Häusern, die im Rahmen des vom ehemaligen Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) aufgelegten und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) fortgeführten Förderprogramms „Modellprojekte im Effizienzhaus Plus Standard“ realisiert wurden. Die Modellprojekte wurden jeweils einzeln evaluiert und zusätzlich im Rahmen eines wissenschaftlichen Begleitprogramms querausgewertet.<sup>4</sup> Der Normbedarf wurde in Anlehnung an die Energieeinsparverordnung (EnEV) nach der DIN V 18599 ermittelt, wobei die Wohnungsbeleuchtung sowie Haushaltsgeräte und -prozesse sowie die Deckung des Strombedarfs durch Eigenerzeugung einbezogen wurden. Hier sollen jedoch nur der Stromverbrauch für Heizung und Warmwasser betrachtet werden.

Eine Gegenüberstellung des Verbrauchs und des Bedarfs für das Messjahr 2014 zeigt das folgende aus [Erhorn / Bergmann 2015] entnommene Balkendiagramm der Stromkennwerte für Heizung, Warmwasser und Hilfsenergie. Bei 12 der 19 Wohngebäude handelt es sich gemäß [Erhorn / Bergmann 2015] um das zweite Messjahr, bei dem der Energieverbrauch durch eine Reihe von Optimierungen gegenüber dem ersten Jahr reduziert werden konnte. Der über alle 19 Gebäude gemittelte (klimabereinigte) Verbrauchskennwert von 17,9 kWh/(m<sup>2</sup>a) entspricht ziemlich genau dem nach DIN V 18599 ermittelten mittleren Bedarfskennwert von 18,1 kWh/(m<sup>2</sup>a).

<sup>4</sup> Detailinformationen zu den Modellvorhaben (Beschreibung + energetische Kenndaten und Verbrauchsdaten) finden sich auf dem Webportal der Forschungsinitiative Zukunft Bau: [www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/](http://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/)

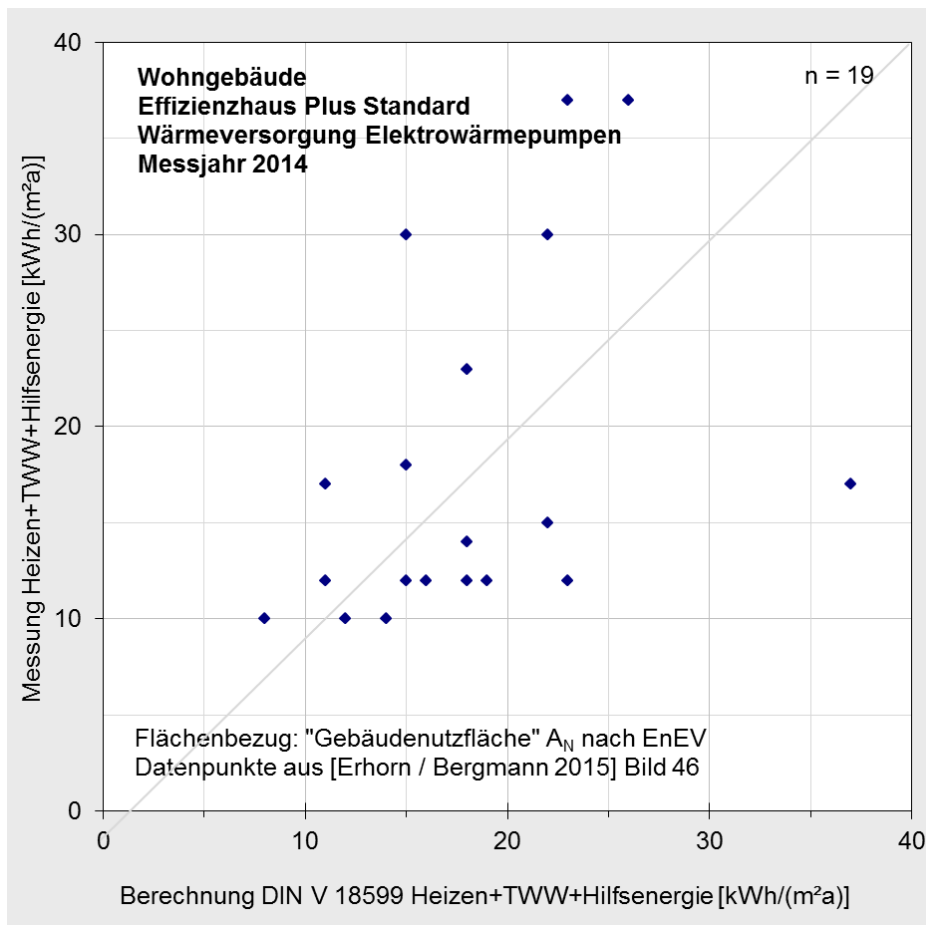
**Abb. 34: Vergleich der Verbrauchskennwerte von 19 Wohngebäuden im Effizienzhaus Plus Standard (Jahr 2014) mit dem rechnerischen Endenergiebedarf nach DIN V 18599, differenziert nach Heizung/Warmwasser und Haushaltsstrom**  
(Quelle: [Erhorn / Bergmann 2015])

Art der Datenerhebung	Anzahl Gebäude Gebäudetyp	Differenzierung energetische Qualität	Energieträger	Fläche	Brennstoffe	Anwendung	Bereinigung
Evaluierung	19 Wohngebäude / Neubau	Normkennwert nach DIN V18599	Strom (Elektro-Wärmepumpen)	„Gebäudenutzfläche“ A <sub>N</sub> nach EnEV	-	Heizung + WW + Hilfsstrom	Verbrauchswerte sind klimabereinigt



(Bild aus: [Erhorn / Bergmann 2015])

**Abb. 35: 19 Wohngebäude im Effizienzhaus Plus Standard, Wärmeversorgung mit Elektrowärmepumpen, Verbrauchskennwerte 2014 aufgetragen über dem rechnerischen Endenergiebedarf nach DIN V 18599, jeweils für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom (Zahlenwerte aus [Erhorn / Bergmann 2015])**



(eigene Darstellung; Datenpunkte abgelesen aus: [Erhorn / Bergmann 2015] Bild 46)

### Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

#### Datenqualität:

- Die wichtigsten Informationen zur Erhebung und zur Aufbereitung der Daten sind dokumentiert.
- Die auf der Basis der Temperaturdaten (Gradtagszahlen) vorgenommene Witterungsbereinigung erscheint wenig sinnvoll, da der Heizenergiebedarf bei diesen sehr gut gedämmten Gebäuden stärker durch die je nach Heizperiode auftretenden Unterschiede in der Solarstrahlung als durch die der Außentemperatur beeinflusst wird.

#### Übertragbarkeit:

- Die Gebäude wurden jeweils intensiv wissenschaftlich begleitet. Nach dem ersten Verbrauchsjahr wurden verschiedene Optimierungen vorgenommen. Eine Übertragbarkeit in die Breite ist daher nicht unbedingt gegeben. Allerdings belegen die Verbrauchsdaten, was unter günstigen Umständen erreichbar ist.

Resümee: Es handelt sich hier um eine kleine Zahl von Gebäuden ähnlicher energetischer Qualität, so dass eine Abhängigkeit vom energetischen Standard nicht ermittelt werden kann. Die Daten können dennoch exemplarisch für die Kalibrierung der Normberechnung nach DIN V 18599 bei mit Wärmepumpen versorgten Wohngebäuden mit herangezogen werden. Wie oben beschrieben ist das Verhältnis aus Verbrauchskennwert und Bedarfskennwert im Mittel gleich 1,0.

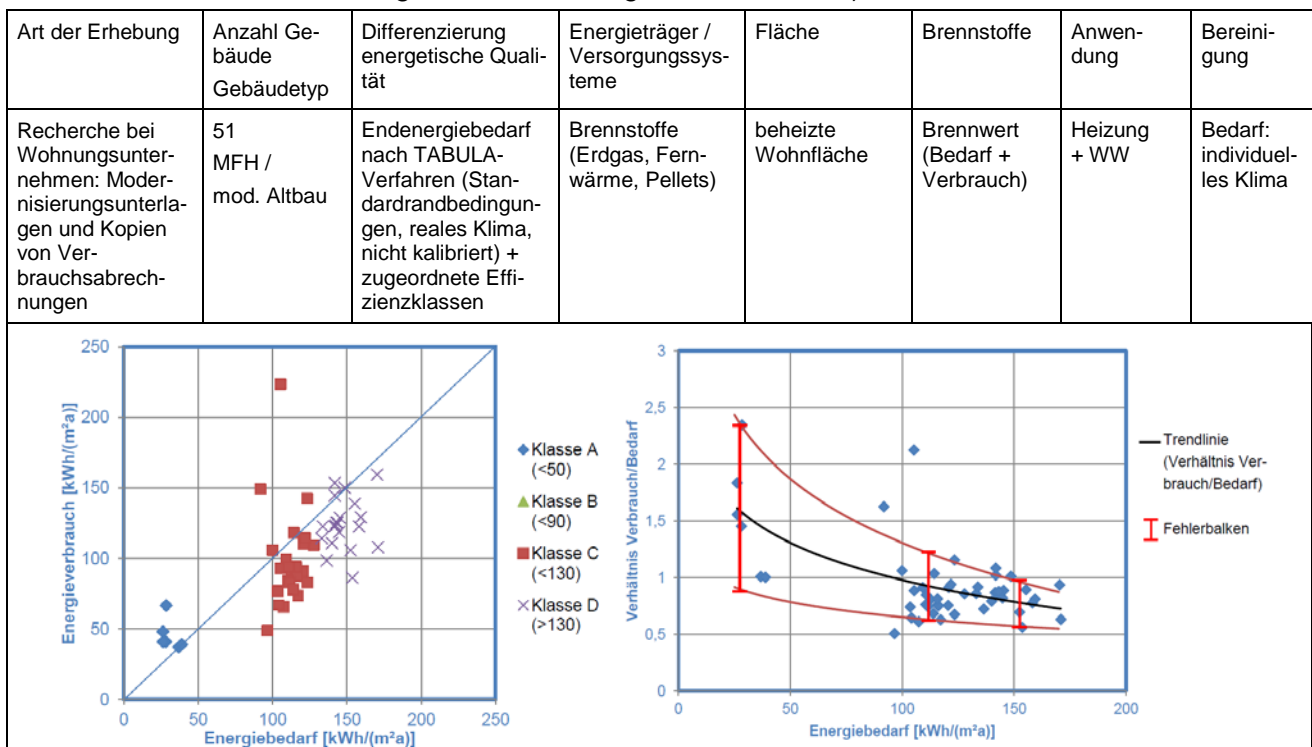
### 2.1.13 Masterarbeit an der TU Darmstadt zum Verbrauch modernisierter Mehrfamilienhäuser [Graf 2016]

In einer an der TU Darmstadt in Kooperation mit dem Institut Wohnen und Umwelt durchgeführten Masterthesis wurden Verbrauchswerte von Mehrfamilienhäusern bei mehreren Wohnungsunternehmen an verschiedenen Standorten in Deutschland erhoben und in Bezug zu den jeweiligen Bedarfswerten gesetzt [Graf 2016]. Insgesamt liegen für 51 energetisch modernisierte Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 1.170 Wohneinheiten die vollständigen Gebäude- und Verbrauchsdaten vor.

Auf der Basis der Gebäudedaten wurde darüber hinaus der Endenergiebedarf gemäß dem TABULA-Berechnungsverfahren ermittelt - einem Bilanzierungsverfahren für größere Gebäudebestände. Hierfür wurde das real vorliegende Klima angesetzt. Aus den Ergebnissen wurden Kalibrierungsfaktoren für die Ermittlung von Erwartungswerten des Energieverbrauchs aus dem rechnerischen Energiebedarf abgeleitet. Hierbei wurde auch eine Abschätzung vorgenommen, wie sich nutzungsbedingte Einflüsse auf die Unsicherheit des Kalibrierungsfaktors auswirken.

**Abb. 36: Zusammenhang von Verbrauchskennwerten und Bedarfskennwerten für 51 Mehrfamilienhäuser [Graf 2016]**

Links: Verbrauch über Bedarf / Rechts: Quotient Verbrauch/Bedarf über Bedarf (mit einer Abschätzung der nutzerbedingten Unsicherheit)





## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

### Datenqualität

- Die Datenrecherche und Umformungen sind ausreichend dokumentiert.
- Das TABULA-Berechnungsverfahren liefert für diese Gebäudegruppe im Mittel ähnliche Ergebnisse wie die DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 (siehe [Loga et al. 2015] Anhang B.1 Bild 42a).

### Übertragbarkeit:

- Da es sich um eine zufällige Stichprobe von modernisierten Mehrfamilienhäusern aus den Beständen von Wohnungsunternehmen handelt und in der Regel auch mangels Verbrauchsmonitoring keine Vorinformation bei den Unternehmen über die Zielerreichung der Modernisierung vorlag, können die Ergebnisse als übertragbar angesehen werden.

Resümee: Die Daten können für eine vorläufige, exemplarische Bestimmung einer Kalibrierungsfunktion für die Normberechnung mit herangezogen werden.

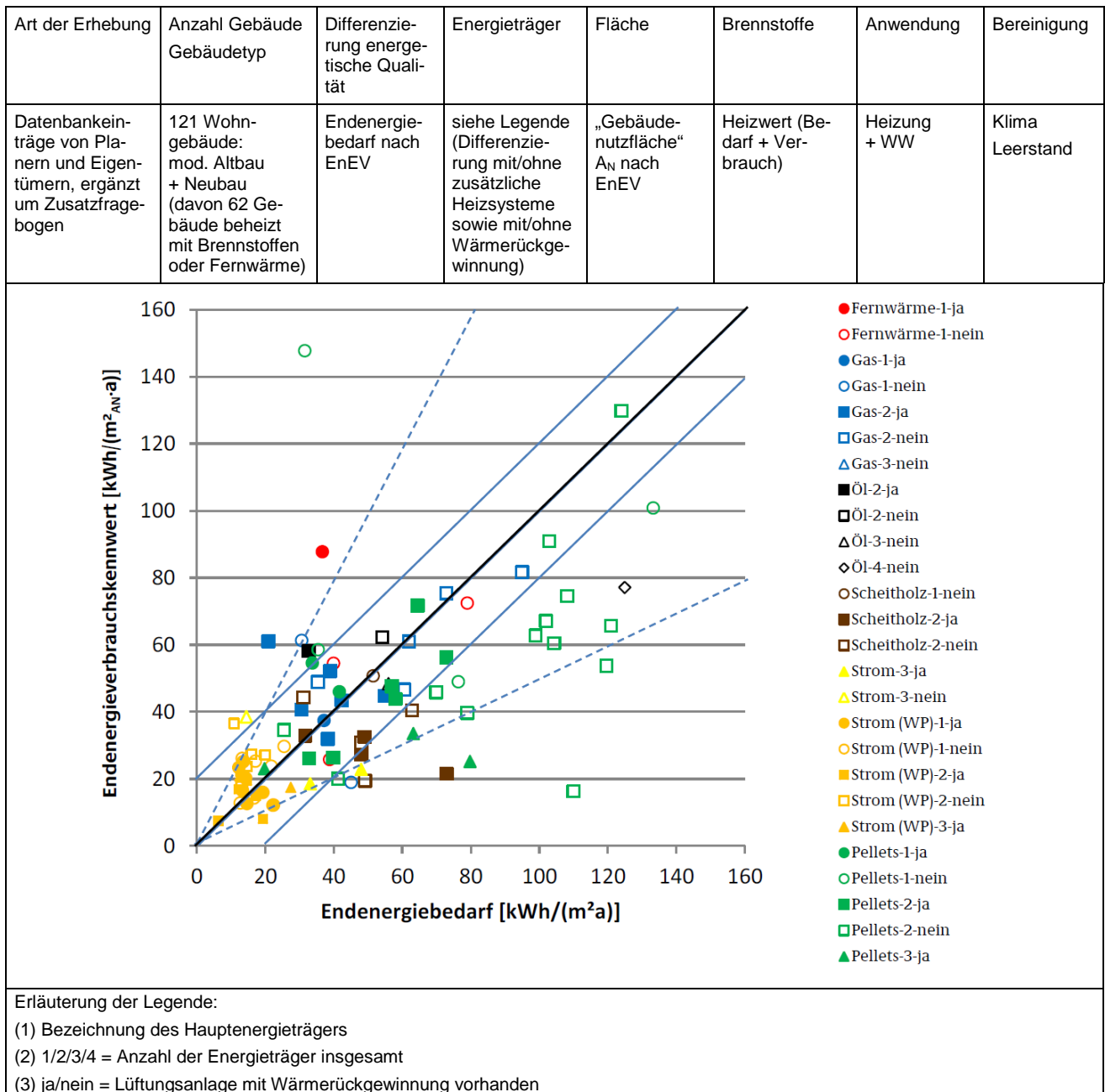
### 2.1.14 Auswertung von 121 dena-Effizienzhäusern: Verbrauchskennwerte [Bigalke et al. 2016]

Im Rahmen der Studie „Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizienter Wohngebäude“ der dena [Bigalke et al. 2016] wurden durch eine Nacherhebung Energieverbrauchsdaten von in der Effizienzhaus-Datenbank vertretenen Wohngebäuden (Neubau und Sanierung) zusammengetragen und analysiert. Bei den 121 Gebäuden, für die verwertbare Datensätze vorliegen, handelt es sich zum kleineren Teil um Leuchtturmprojekte des dena-Modellvorhabens und zum größeren Teil um Gebäude, deren Daten von Gebäudeeigentümern oder Architekten in die dena-Effizienzhausdatenbank eingetragen wurden.

Abb. 37 gibt einen Überblick über den Zusammenhang zwischen Verbrauch und Bedarf bei den Gebäuden, wobei nach Energieträger bzw. Anlagentechnik differenziert wird.

Tab. 9 stellt für alle Kesselheizungen und alle Elektrowärmepumpenanlagen die mittleren Verbrauchskennwerte den mittleren Bedarfskennwerten gegenüber.

**Abb. 37: Zusammenhang von Verbrauchskennwerten mit den Bedarfskennwerten für 121 dena-Effizienzhäuser (Datenbank + Zusatzfragebogen + Scan Abrechnung) [Bigalke et al. 2016]**



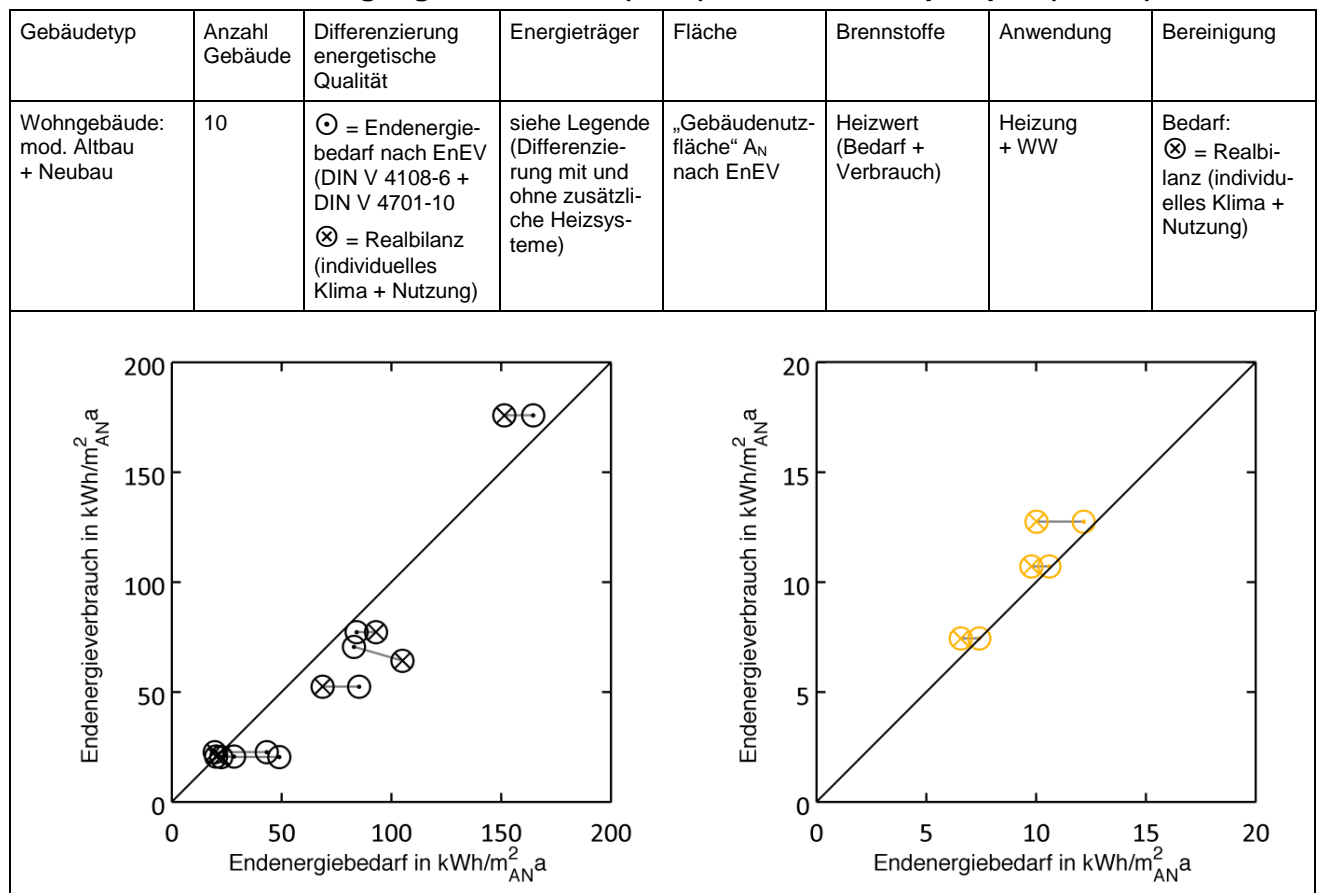
(Bild aus: [Bigalke et al. 2016])

**Tab. 9: Gegenüberstellung der gemäß [Bigalke et al. 2016] berechneten und gemessenen mittleren Energiekennwerte ([Bigalke et al. 2016] Abbildung 14 und 15)**

Art der Wärmeversorgung	Anzahl Gebäude	Norm-Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser (DIN V 4108-6/4701-10)	gemessener Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser (witterungsbereinigt)	Faktor Verbrauch zu Bedarf
		kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	
Kessel	71	52,9	47,8	0,90
Elektrowärmepumpen	50	19,0	18,2	0,96

In einer nachgeordneten Untersuchung wurden die auffälligsten Ausreißer einer genaueren Betrachtung unterzogen, die eine Begehung und eine Analyse der Abrechnungskopien einschloss [Grafe et al. 2016]. Bei der detaillierten Analyse wurde eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Verbrauch und Bedarf festgestellt. Die Ursachen der bei den Ausreißer-Datensätzen zunächst beobachteten starken Abweichungen waren durchweg Datenerfassungs- oder Eingabefehler unterschiedlichster Art.

**Abb. 38: Zusammenhang von Verbrauchskennwerten mit den Bedarfskennwerten für 10 dena-Effizienzhäuser (Ausreißer-Analyse mit Begehung) [Grafe et al. 2016] Wärmeversorgung: Brennstoffe (links) / Elektrowärmepumpen (rechts)**



## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

Datenqualität:

- Die wichtigsten Informationen zur Erhebung und zur Aufbereitung der Daten sind dokumentiert.
- Die auf der Basis der Temperaturdaten (Gradtagszahlen) vorgenommene Witterungsbereinigung erscheint wenig sinnvoll, da der Heizenergiebedarf bei diesen sehr gut gedämmten Gebäuden stärker durch die je nach Heizperiode auftretenden Unterschiede in der Solarstrahlung als durch die der Außentemperatur beeinflusst wird.

Übertragbarkeit:

- Die Gebäude stammen nur zu einem kleinen Teil von den Leuchtturmprojekten des dena-Modellvorhabens – zu einem größeren Teil sind sie in üblicher Baupraxis entstanden. Damit wird die Übertragbarkeit der Aussagen in der Breite gestärkt.

Resümee: Die Daten werden für eine vorläufige, exemplarische Bestimmung einer Kalibrierungsfunktion für die Normberechnung mit herangezogen.

### 2.1.15 Empirisch ermittelte Erwartungsintervalle des Energieverbrauchs im Energiepass Luxemburg [Hörner et al. 2016])

2014 wurde in Luxemburg ein Energiepassregister eingeführt. Hierzu werden alle neuen und möglichst alle bisher erstellten Energiepässe in einem zentralen Register gespeichert. Experten müssen ihre erstellten Energiepässe innerhalb einer bestimmten Frist dort ablegen. Das Energiepassregister ermöglicht einen besseren Überblick über den Gebäudebestand, dient zur Qualitätsverbesserung der Energiepässe und kann für statistische Analysen genutzt werden. Darüber hinaus lassen sich auch zielgerichtet Fördermaßnahmen ableiten. Ende 2015 umfasst die Datenbank etwa 20.000 Energiepässe [Hörner et al. 2016]. Die Datensatzstruktur der Speicherdateien umfasst 174 Variablen, die die thermische Hülle und die Anlagentechnik sowie Ergebnisse der Berechnung wiedergeben.

Gemäß der gesetzlichen Regelung [PE-Lux 2007] ist im Fall der Erstellung eines Energiepasses für ein bestehendes Gebäude neben dem berechneten Energiebedarf auch der gemessene Verbrauch mit anzugeben. Bei einem neu zu errichtenden Gebäude ist der Energiepass spätestens nach vier Jahren um den gemessenen Verbrauchswert zu ergänzen. Diese Daten werden in der Datenbank den Eingangs- und Ausgangsdaten der rechnerischen Bilanz zugeordnet. Aus diesem Grund liegen mittlerweile für eine große Anzahl von Gebäuden gemessene Verbräuche und berechnete Bedarfswerte vor.

In einer für das Wirtschaftsministerium Luxemburg durchgeführten Studie „Analyse der Diskrepanz von Energiebedarf und -verbrauch bei Energiepässen von Wohngebäuden in Luxemburg“ wurde der Zusammenhang zwischen Bedarfs- und Verbrauchswerten analysiert [Hörner et al. 2015]. Die Ergebnisse zeigt Abb. 39. In einer Regressionsanalyse wurde ein Modell für die Schätzung des Verbrauchs auf der Basis des Bedarfs und verschiedener anderer Parameter durchgeführt [Hörner et al. 2016]. Die Methodik dieser Analyse wird in Kapitel 4 der vorliegenden Studie dargestellt und für eine Stichprobe deutscher Wohngebäude exemplarisch angewendet.

## Abb. 39: Energiepass Luxemburg

### (a) Bisherige Version des Energiepasses

**Energiepass**  
Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz eines Wohngebäudes 4/5

Passnummer keine Nummer  
Nr. Aussteller keine Nummer  
Erstellt am 08.03.2016  
Gültig bis 08.03.2026

**Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser (gemessen)**

Jahr	Menge	Bezug Hs, Hi	Energieträger	Einheit	Heizwert, Hi	Endenergie Hi-Bezug
2012	650	Brennwert Hs	Erdgas H	m <sup>3</sup>	10,2 kWh/m <sup>3</sup>	5.969 kWh/a
2013	580	Brennwert Hs	Erdgas H	m <sup>3</sup>	10,2 kWh/m <sup>3</sup>	5.326 kWh/a
2014	610	Brennwert Hs	Erdgas H	m <sup>3</sup>	10,2 kWh/m <sup>3</sup>	5.601 kWh/a

Verwendung der gemessenen Energieverbräuche  
 Heizen  Warmwasser  Kochen mit Gas

Endenergiebedarf (berechnet) **29,1** kWh / (m<sup>2</sup> a)  
 Endenergieverbrauch (gemessen) **33,1** kWh / (m<sup>2</sup> a)

Nachtrag des gemessenen Endenergieverbrauchs  
 Name ..... Datum Eintrag .....  
 Adresse .....  
 Ort, PLZ ..... Unterschrift .....

**Erläuterungen**  
 Nach einer Betriebszeit von 4 Jahren ist ein Abgleich des berechneten Endenergiebedarfs und des gemessenen Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasserbereitung durchzuführen. Abweichungen zwischen dem bei dem Gebäude gemessenen Verbrauch und dem berechneten Bedarf können entstehen durch:  
 - eine von der Normnutzung abweichende Nutzung des Gebäudes (Nutzerverhalten),  
 - ein vom Normklima abweichendes reales Klima oder Unsicherheiten  
 - und Vereinfachungen bei der Datenaufnahme (Flächen, U-Werte, etc.)  
 Bei gleichzeitiger Nutzung eines Energieträgers zum Heizen, zur Warmwasserbereitung und zum Kochen, wird der Anteil, welcher nicht zu Heizzwecken und/oder zur Warmwasserbereitung verwendet wird vom ermittelten Verbrauchswert abgezogen.

Unterschrift Aussteller ..... Ort, Datum .....

### (b) Auf der Grundlage der Verbrauchs-Bedarfs-Analyse um einen Schätzwert mit Bandbreite erweiterte Version

**Energiepass**  
Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz eines Wohngebäudes 4/5

Passnummer keine Nummer  
Nr. Aussteller CHEF-CPE  
Erstellt am 10.05.2016  
Gültig bis 10.05.2026

**Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser (gemessen)**

Jahr	Menge	Bezug Hs, Hi	Energieträger	Einheit	Heizwert, Hi	Endenergie Hi-Bezug
2012	1.245		Heizöl EL	Liter	9,9 kWh/Liter	12.326 kWh/a
2013	1.806		Heizöl EL	Liter	9,9 kWh/Liter	17.879 kWh/a
2014	1.479		Heizöl EL	Liter	9,9 kWh/Liter	14.642 kWh/a
2015	1.512		Heizöl EL	Liter	9,9 kWh/Liter	14.969 kWh/a

Verwendung der gemessenen Energieverbräuche  
 Heizen  Warmwasser  Kochen mit Gas

Schätzung Endenergieverbrauch (berechnet) **66,4 ± 23,9** kWh / (m<sup>2</sup> a)  
 Endenergieverbrauch (gemessen) **74,8** kWh / (m<sup>2</sup> a)

Nachtrag des gemessenen Endenergieverbrauchs  
 Name ..... Datum Eintrag .....  
 Adresse .....  
 Ort, PLZ ..... Unterschrift .....

**Erläuterungen**  
 Nach einer Betriebszeit von 4 Jahren ist ein Abgleich des berechneten Endenergiebedarfs und des gemessenen Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasserbereitung durchzuführen. Abweichungen zwischen dem bei dem Gebäude gemessenen Verbrauch und dem berechneten Bedarf können entstehen durch:  
 - eine von der Normnutzung abweichende Nutzung des Gebäudes (Nutzerverhalten),  
 - ein vom Normklima abweichendes reales Klima oder Unsicherheiten  
 - und Vereinfachungen bei der Datenaufnahme (Flächen, U-Werte, etc.)  
 Bei gleichzeitiger Nutzung eines Energieträgers zum Heizen, zur Warmwasserbereitung und zum Kochen, wird der Anteil, welcher nicht zu Heizzwecken und/oder zur Warmwasserbereitung verwendet wird vom ermittelten Verbrauchswert abgezogen.

Unterschrift Aussteller ..... Ort, Datum .....

## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

- **Datenqualität:** Es handelt sich um ingenieurtechnisch ermittelte und mit einer einheitlichen Datenstruktur zusammengeführte Daten. Die Zuordnung des Energieverbrauchs zur Berechnung erfolgt durch den Energiepass-Aussteller selbst, der die Ergebnisse dem Gebäudeeigentümer mitteilen muss. Daher ist die Datenqualität als hoch anzusehen.
- **Übertragbarkeit:** Das luxemburgische und das deutsche Rechenverfahren sind recht ähnlich aber nicht identisch. Derzeit gibt es keine Anhaltspunkte für den Zusammenhang der beiden Verfahren.

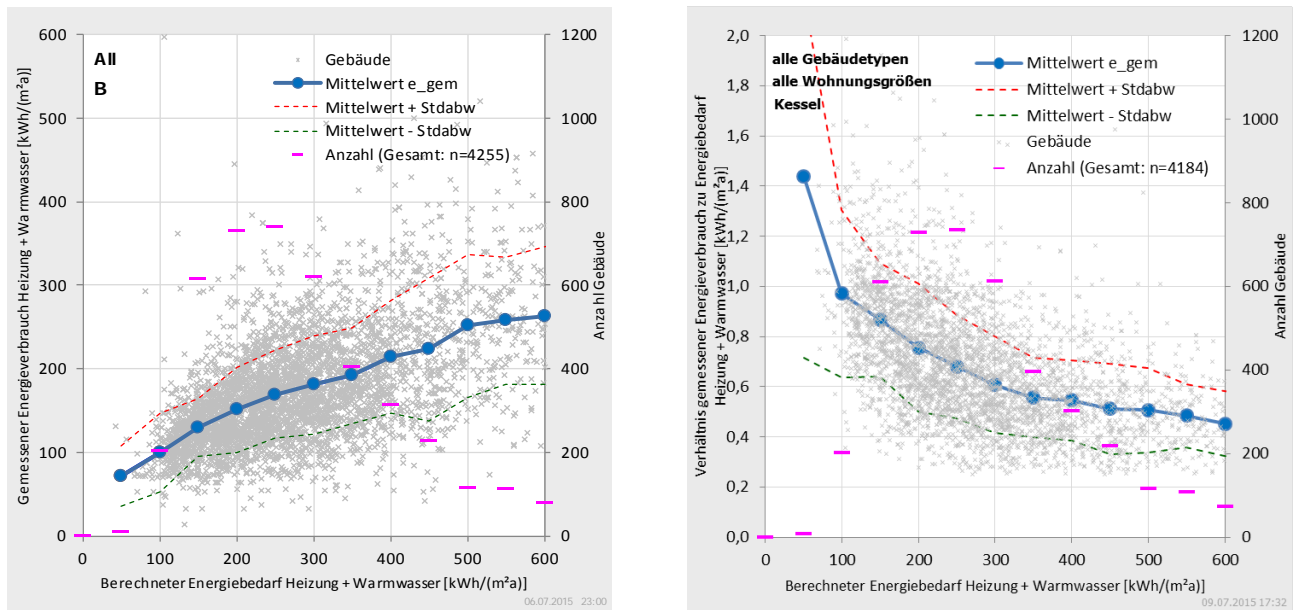
Resümee: Die Ergebnisse der Studie können mit der Verbrauchs-Bedarfs-Analyse in Kapitel 4 verglichen werden, sollten jedoch auf Grund eventuell bestehender systematischer Unterschiede in den Berechnungsverfahren nicht für die Kalibrierung der deutschen Normberechnung verwendet werden.

**Abb. 40: Auswertung der Datenbank des Luxemburger Energiepasses (Norm-Bilanzierung)**

Art der Erhebung	Anzahl Gebäude Gebäudetyp	Differenzierung energetische Qualität	Energieträger / Versorgungssysteme	Fläche	Brennstoffe	Anwendung	Bereinigung
Datenbank des offiziellen Energieausweises; Einträge durch Aussteller	4255 Wohngebäude: Altbau + Neubau	Endenergiebedarf nach Luxemburgischer Verordnung	Brennstoffe (Erdgas + Heizöl)	beheizte Nettogrundfläche	Heizwert (Bedarf + Verbrauch)	Heizung + WW	Klimabereinigung

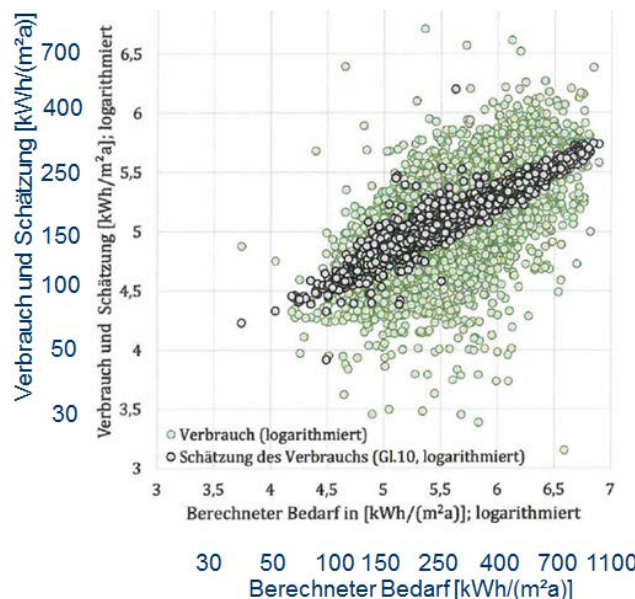
**(a) Basis-Analyse: „Verbrauchs-Benchmarks“ / Zuordnung von mittleren Verbrauchswerten zu Bedarfsintervallen von 50 kWh/(m²a)**

Links: Verbrauch über Bedarf / Rechts: Quotient Verbrauch/Bedarf über Bedarf (jeweils Mittelwerte und Standardabweichung + Häufigkeit je Bedarfsintervall)



(zwei Bilder aus: [Hörner et al. 2015])

**(b) Logarithmierter gemessener Endenergieverbrauch Wärme und zugehörige Schätzung, aufgetragen über dem berechneten Bedarf**



(Bild aus: [Hörner et al. 2016], ergänzt um Werte der nicht-transformierten Variablen)

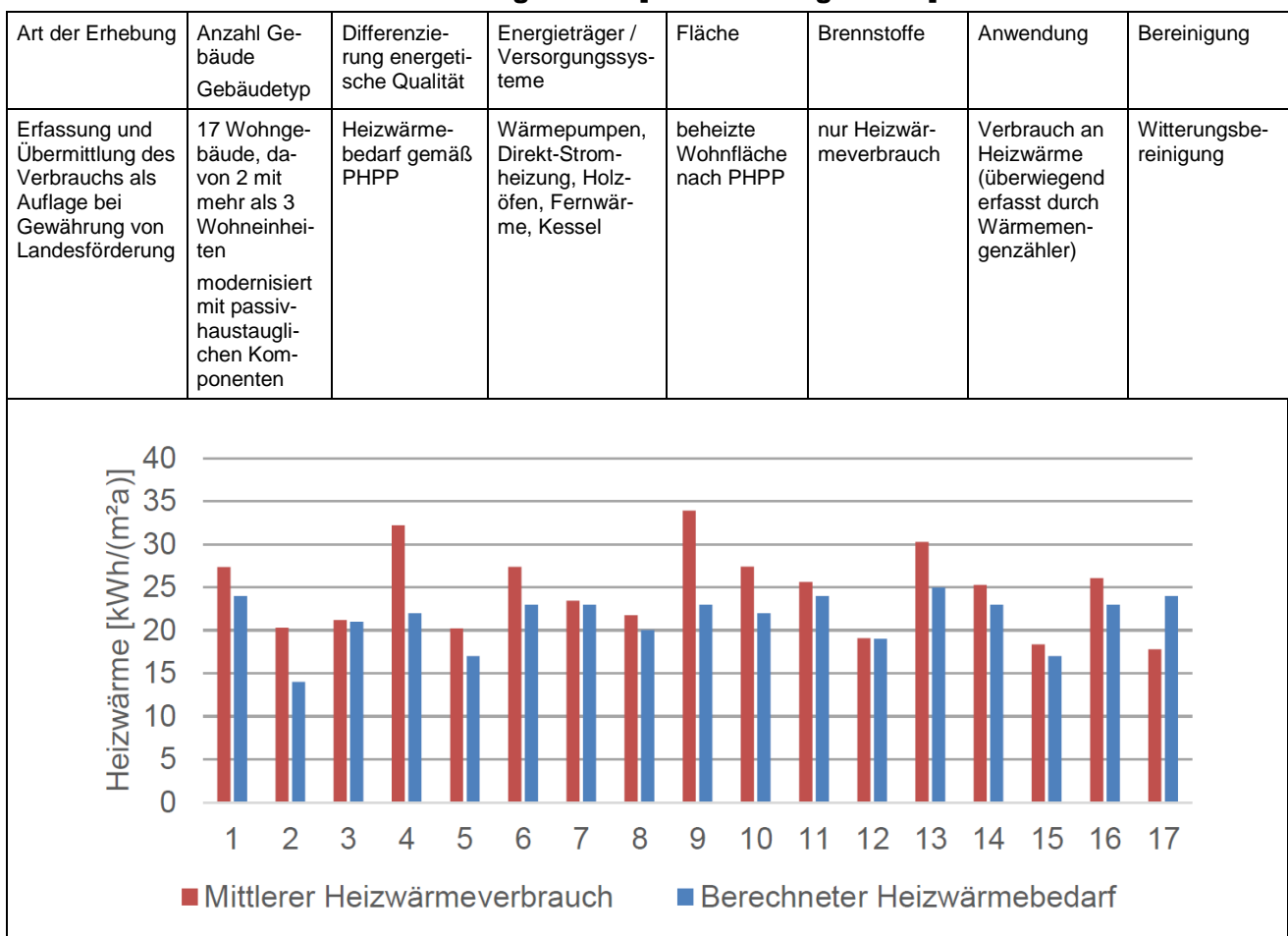
### 2.1.16 Auswertung „Passivhaus im Bestand“ des Hessischen Wirtschaftsministeriums [HessenEnergie 2016]

Das Land Hessen fördert seit Ende 2008 die umfassende energetisch optimierte Modernisierung mit passivhaustauglichen Komponenten. Mit der Modernisierung soll der Heizwärmebedarf von Gebäuden auf maximal 25 kWh/(m²a) verringert werden. Um die Wirkung der durch das Programm mitfinanzierten Maßnahmen zu überwachen, wurden die Zuwendungsempfänger verpflichtet, den Heizwärmeverbrauch des Gebäudes über einen Zeitraum von zwei Jahren zu erfassen und die Werte anschließend zur Verfügung zu stellen.

Von den angeschriebenen 26 Zuwendungsempfängern liegt ein Rücklauf auswertbarer Daten für 17 Vorhaben vor. Die Studie [HessenEnergie 2016] umfasst die Auswertung der Verbrauchsdaten und den Vergleich mit dem rechnerischen Heizwärmebedarf nach dem Passivhaus-Projektierungspaket PHPP [PHPP].

Im Mittel lag der gemessene Heizwärmeverbrauch bei 24,6 kWh/(m²a), die folgende Abbildung zeigt den Vergleich mit dem rechnerischen Heizwärmebedarf der einzelnen Gebäude.

**Abb. 41: Bedarf und Verbrauch an Heizwärme der mit passivhaustauglichen Komponenten modernisierten Wohngebäude [HessenEnergie 2016]**



(Bild aus [HessenEnergie 2016])

## Mögliche Verwendung der Daten als Grundlage für Kalibrierungsverfahren

Die Möglichkeiten einer Verwendung als Grundlage für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten und für die Kalibrierung der Normbilanzierung auf das typische Verbrauchsniveau (Kapitel 4) wurden geprüft:

Datenqualität:

- Es wurden ingenieurtechnische Berechnungen auf der Grundlage des Passivhaus-Projektierungspakets (PHPP) durchgeführt. Es liegen damit Bedarfsdaten hoher Qualität vor.
- Die auf der Basis der Temperaturdaten (Gradtagszahlen) vorgenommene Witterungsbereinigung erscheint wenig sinnvoll, da der Heizwärmebedarf bei diesen sehr gut gedämmten Gebäuden stärker durch die je nach Heizperiode auftretenden Unterschiede in der Solarstrahlung als durch die der Außentemperatur beeinflusst wird.
- Die Analyse beschränkt sich auf die Nutzwärme für Heizung, ein Vergleich von Verbrauch und Bedarf auf Endenergieebene wird nicht durchgeführt.

Übertragbarkeit:

- Es ist nicht von einer besonderen Bewohnerschaft auszugehen. Aus dieser Sicht ist also Übertragbarkeit gegeben.
- Es ist nicht klar, inwiefern PHPP-Berechnungen mit den EnEV-Normberechnungen (DIN V 4108-6 und 4701-10 oder DIN V 18599) korrelieren.

Resümee: Da der Zusammenhang zwischen PHPP und EnEV-Normberechnung nicht bekannt ist und keine Werte für Endenergie vorliegen, können die Kennwerte in den Datengrundlagen für Kapitel 4 nicht berücksichtigt werden.

### 2.1.17 Weitere Studien

#### Entwicklung des Energieverbrauchs bei Einfamilienhäusern [Clausnitzer 2008]

In der Studie „Entwicklung des Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser bei Einfamilienhäusern“ wurde durch Analyse von Daten des örtlichen Energieversorgers die Entwicklung des Verbrauchs von ca. 25.000 Gebäuden im Zeitraum zwischen 1997 und 2006 ermittelt. Zusätzlich wurden durch Befragung die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen festgestellt.

In der Publikation sind jedoch keine flächenbezogenen Energieverbrauchskennwerte differenziert nach Baualter oder Modernisierungszustand verfügbar, weshalb diese Studie für die Herleitung von Verbrauchsbenchmarks nicht genutzt werden kann.

#### Datenauswertung zum Energieverbrauch der privaten Haushalte differenziert nach Gebäudemerkmalen [Frondelet al. 2012]

Innerhalb der im Auftrag des BMWi durch das RWI durchgeführten Studie „Energieverbrauch der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2010“ [Frondelet et al. 2012] wurde eine Stichprobenerhebung durchgeführt, die auf einem repräsentativen Panel von rund 10.000 Haushalten des forsa-Instituts basiert. Die Befragung dieser Haushalte erfolgt regelmäßig zu verschiedenen Themen und wird nicht vergütet. Diese Haushalte wurden zum Energieverbrauch, den Wohnverhältnissen und den Charakteristika des bewohnten Gebäudes befragt. Ausgehend von einer Nettostichprobe mit 6.715 Haushalten für die Verbräuche der Jahre 2006 bis 2008 wurden die Verbrauchskennziffern nach



einzelnen Energieträgern getrennt auf die Grundgesamtheit aller privaten Haushalte in Deutschland für das jeweilige Kalenderjahr hochgerechnet.

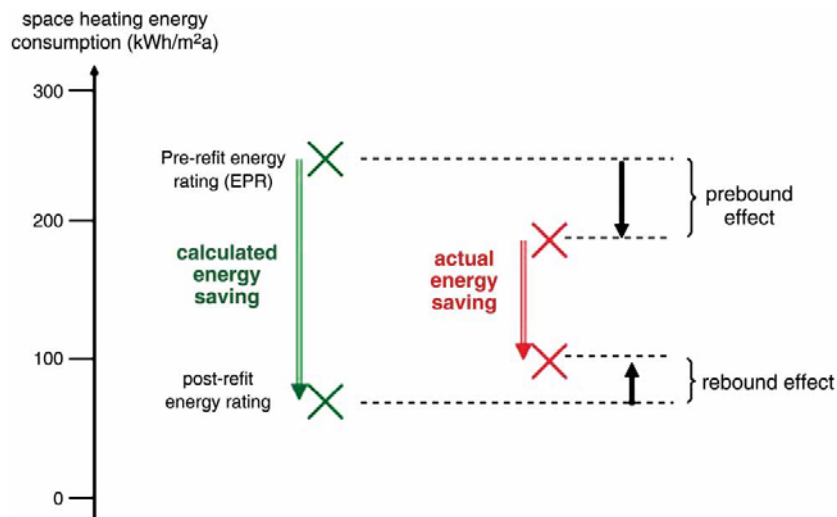
In der Publikation finden sich Ergebnisse zum Wärmeverbrauch der Haushalte und zur thermischen Qualität der Gebäude – jedoch wird der Zusammenhang nicht dargestellt. Es ist zu vermuten, dass Teile der Befragten (z. B. Mieter) keine ausreichenden bzw. zutreffenden Angaben zum tatsächlichen Sanierungszustand der Gebäude machen konnten.

### Meta-Analyse von Studien zum Zusammenhang von Verbrauch und Bedarf [Sunikka-Blank / Galvin 2012]

In dem Fachartikel “Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption” wird die Lücke zwischen Normenergiebedarf und gemessenem Energieverbrauch mit Hinweis auf Forschungsarbeiten in verschiedenen Ländern diskutiert [Sunikka-Blank / Galvin 2012]. Es wird herausgehoben, dass der Standardnachweis generell nicht den Betrieb und die Nutzung unter realen Bedingungen wiedergibt, außerdem könne sich die reale Ausführung von theoretischer Ausführung unterscheiden. Komplementär zum Rebound-Effekt wird der „Prebound-Effekt“ für den Fall vor der Modernisierung definiert: Je thermisch schlechter ein Gebäude ist, desto sparsamer verhalten sich seine Bewohner (Abb. 42).

Es werden Ergebnisse verschiedener Studien aus Deutschland vorgestellt und die Kennwerte für Verbrauch und Bedarf gezeigt (Abb. 43). Die meisten der genannten Studien wurden im vorangehenden Abschnitt dargestellt. Ähnliche Effekte wie in Deutschland können nach Angaben der Autoren auch in Belgien und den Niederlanden beobachtet werden. Zusammenfassend wird die Bedarfs-Verbrauchs-Lücke nicht als rein deutsches Phänomen betrachtet, sondern auf die allgemeine Methodik der Bedarfsberechnung zurückgeführt.

**Abb. 42: Erklärungsschema für einen Fall, bei dem die reale Einsparung geringer ist als durch das Normberechnungsverfahren beschrieben [Sunikka-Blank / Galvin 2012]**



(Bild aus: [Sunikka-Blank / Galvin 2012])

**Abb. 43: Quellen für die Analyse der Rebound- und Preboundeffekte in [Sunikka-Blank / Galvin 2012]**

Source	Type of data source	Type of dwellings	Number of dwellings in the sample	How the energy performance rating (EPR) is obtained	Average EPR (kWh/m <sup>2</sup> a)	Average measured consumption (kWh/m <sup>2</sup> a)	Heating factor: measured/ calculated consumption	Prebound effect (% by which measured consumption is calculated)	Space heating, water heating or both
Knissel and Loga (2006)	National random survey of 4670 dwellings	All types with fewer than eight apartments	1178	Calculated <sup>a</sup>	261	150	0.57	43	Both
		Blocks of eight or more apartments	113	Calculated <sup>a</sup>	184	135	0.73	27	Both
Loga <i>et al.</i> (2011)	National random sample	All types	1702	Calculated <sup>a</sup>	220	152	0.69	31	Both
Kaßner <i>et al.</i> (2010)	Mixed sample, scope unclear	All types	44	Calculated <sup>a</sup>	209	153	0.73	27	Both
Jagnow and Wolf (2008)	sample from the OPTIMUS national survey	Not stated	Approximately 100	Calculated <sup>a</sup>	220	135	0.61	39	Both
		Not stated	Approximately 100	Calculated <sup>a</sup>	200	148	0.74	26	Both
Schröder <i>et al.</i> (2010)	metered from Brunata-METRONA	Oil heated	250 000	not considered	141				Both
		Gas heated			156				
		District heating			109				
		All			148				
Schröder <i>et al.</i> (2010)	From heating energy metering	Rented accommodation built prior to the 1995 regulations	230 000	Not considered	145			Both	
		Rented accommodation built prior to the 1995 regulations	143 000	Not considered	118		Space heating only		
Schröder <i>et al.</i> (2011)	Metering from Brunata-METRONA in 2005–2010	All types, all cohorts, data weighted for proportions nationally	250 000	Not considered	148			Both	
Walberg <i>et al.</i> (2011)	National statistics from a range of surveys	Detached and semi-detached	Approximately 1 million	Not considered	172			Both	
		Three to seven apartment blocks	Approximately 1 million in various surveys	Not considered	145			Both	
Erhorn (2007)	Nationwide DENA study	Detached houses	50	Calculated	240	170	0.71	29	Both
		Multi-apartment blocks	70	Calculated	175	140	0.80	20	Both

Note: <sup>a</sup>EPR was calculated from building characteristics according to the German Institute of Standards DIN V 4108-6:2003.

(Bild aus: [Sunikka-Blank / Galvin 2012])

## Trendreport Energie von co2online [co2online 2014]

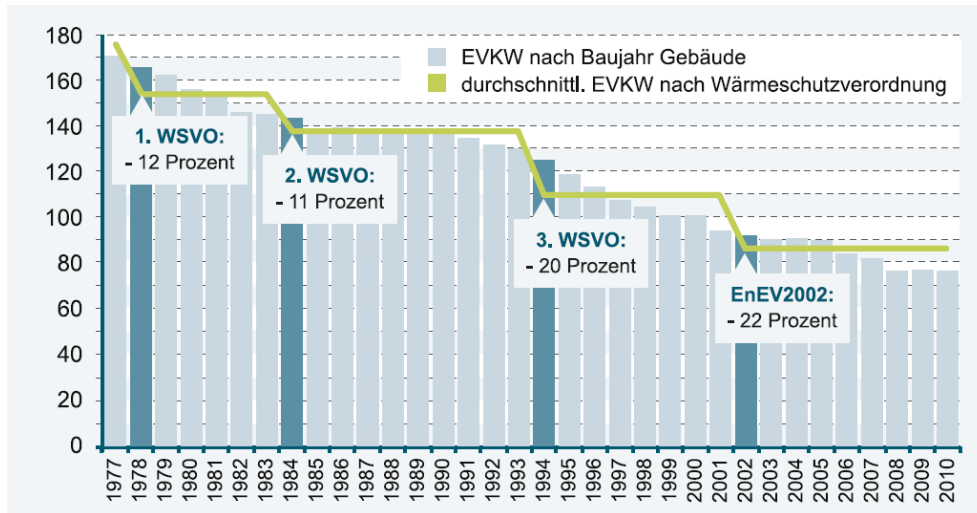
Seit einigen Jahren betreibt co2online zwei Online-Tools, den „EnergiesparCheck“ und das „Energiesparkonto“. Nutzer erhalten anhand weniger Eingaben zu Ihrem Gebäude und Energieverbrauch eine Einschätzung zur Angemessenheit im Vergleich zu Durchschnittswerten. Die Eingabedaten dieser Beratungstools werden von co2online in einer Datenbank gespeichert und für den „Trendreport Energie“ ausgewertet. Der in dieser Reihe 2011 erschienene und 2014 aktualisierte Bericht „Trendreport Energie 2 – Sanierung des Wohngebäudebestands ist entscheidend“ gibt Informationen über den Energieverbrauch differenziert nach Baualter und Umfang bereits durchgeführter Modernisierungen.

Leider gibt es in der Publikation keine Angaben zu der Art der Bezugsfläche, zu den enthaltenen Energieträgern, zum Brennwertbezug sowie zu der Frage, inwiefern Verbrauchskennwerte einschließlich Warmwasser enthalten sind und inwiefern ergänzende Heizsysteme (insbes. Holzöfen) verwendet werden. Auch Fallzahlen der Kategorien sind nicht angegeben.

Weiterhin findet sich in der Publikation keine Spezifikation der Angaben bzw. der genauen Abfragen, die zu einer Einstufung in „unsaniert“ in „neue Fenster und Dämmung der Außenhülle“ oder „vollsanziert“ führt (Abb. 48).

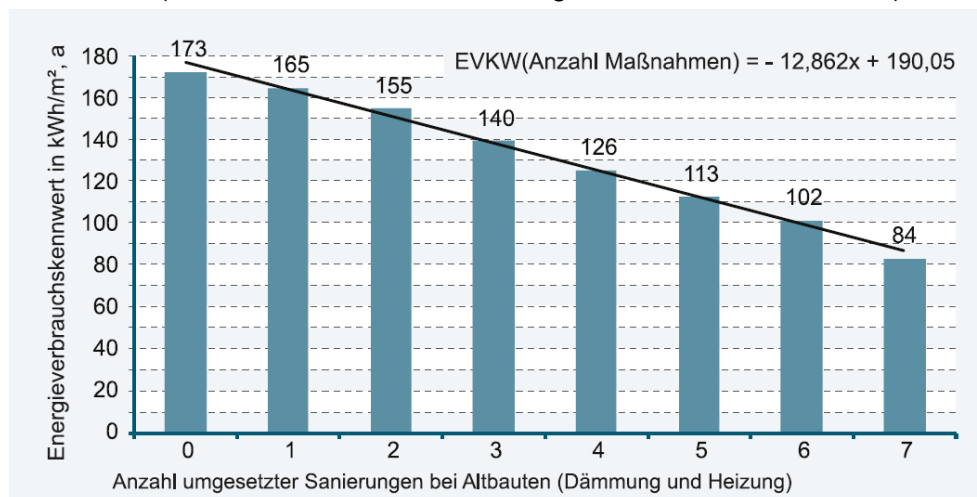
Der Vergleich mit anderen Verbrauchskennwerten oder eine Nutzung für die Aufbereitung von Verbrauchsbenchmarks in Kapitel 4 ist daher nicht möglich.

**Abb. 44: Verbrauchskennwerte für ab 1977 errichtete Gebäude, differenziert nach Baujahr [co2online 2014]** (in der Quelle ohne nähere Angaben zu den Kennwerten)



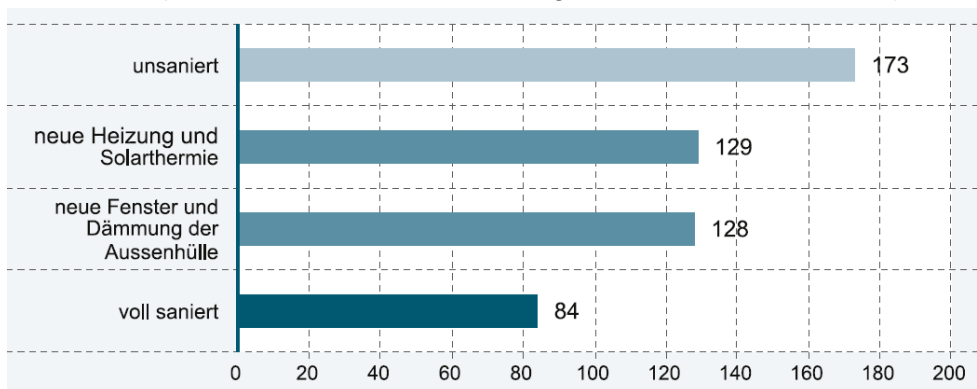
(Bild aus: [co2online 2014])

**Abb. 45: Verbrauchskennwerte für vor 1978 errichtete Gebäude, differenziert nach Anzahl umgesetzter Sanierungen [co2online 2014]** (in der Quelle ohne nähere Angaben zu den Kennwerten)



(Bild aus: [co2online 2014])

**Abb. 46: Verbrauchskennwerte für vor 1978 errichtete Ein- und Zweifamilienhäuser differenziert nach Umfang umgesetzter Sanierungen [co2online 2014]** (in der Quelle ohne nähere Angaben zu den Kennwerten)

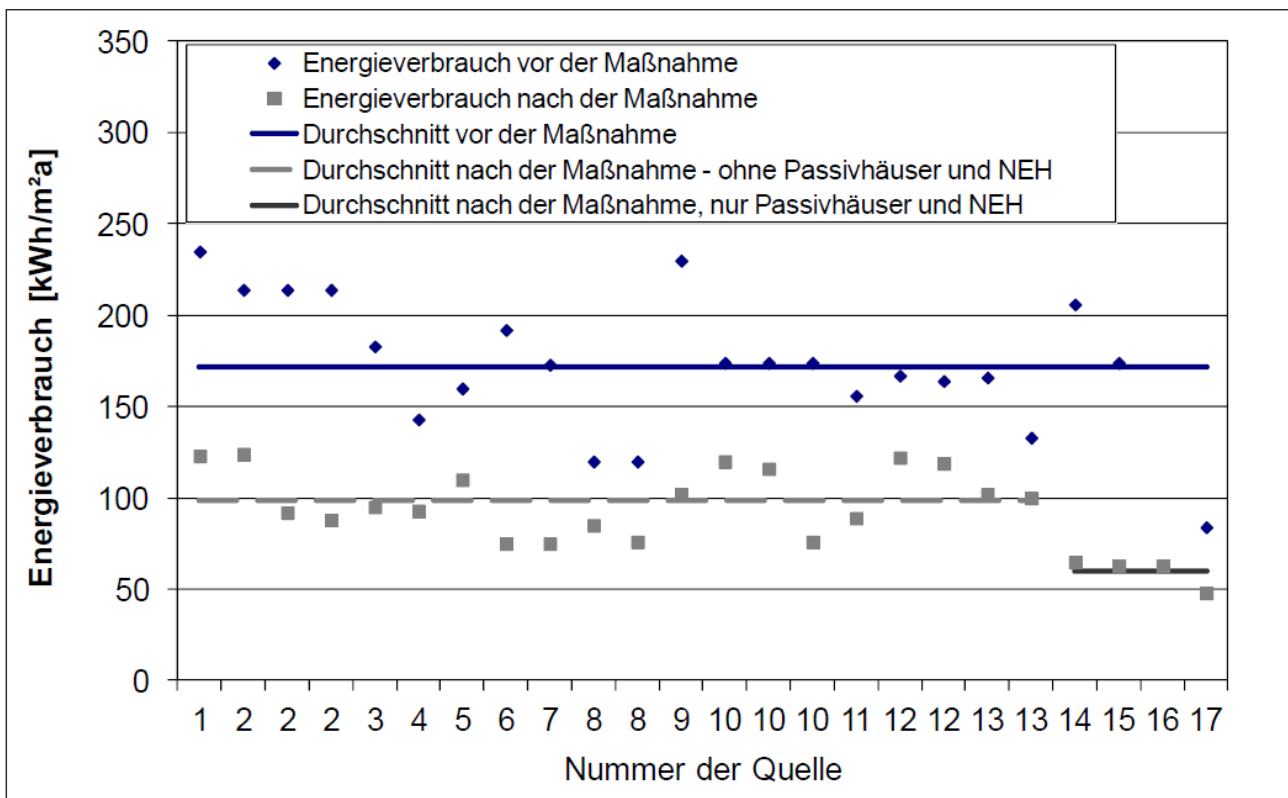


(Bild aus: [co2online 2014])

## Meta-Analyse Energieeinsparungen aus Modernisierungsprojekten im Rahmen einer Dissertation an der Universität Kassel [Vogler 2014]

In der Dissertation „Untersuchung von mittel- und langfristigen Auswirkungen verschiedener Energie-Einsparstrategien von Wohnungsunternehmen auf die Wohnkosten“ sind Verbrauchsangaben vor und nach Modernisierung aus verschiedenen Studien zusammengetragen (Abb. 47). Zum Teil handelt es sich um Einzelobjekte, zum Teil um größere Erhebungen. Beispielsweise ist die in Abschnitt 2.1.7 dargestellte Analyse [Fisch et al. 2012] hier mit enthalten, die dort angeführten Einschränkungen bezüglich der Einhaltung der Kriterien für „komplett unsaniert“ und „komplett saniert“ gelten damit auch für diese Meta-Studie.

**Abb. 47: Ergebnisse der in [Vogler 2014] durchgeführte Meta-Analyse von Studien zur Energieeinsparung durch energiesparende Maßnahmen; Energieverbrauch für Heizung und Warmwasserbereitung, Flächenbezug Wohnfläche, klimabereinigt.**



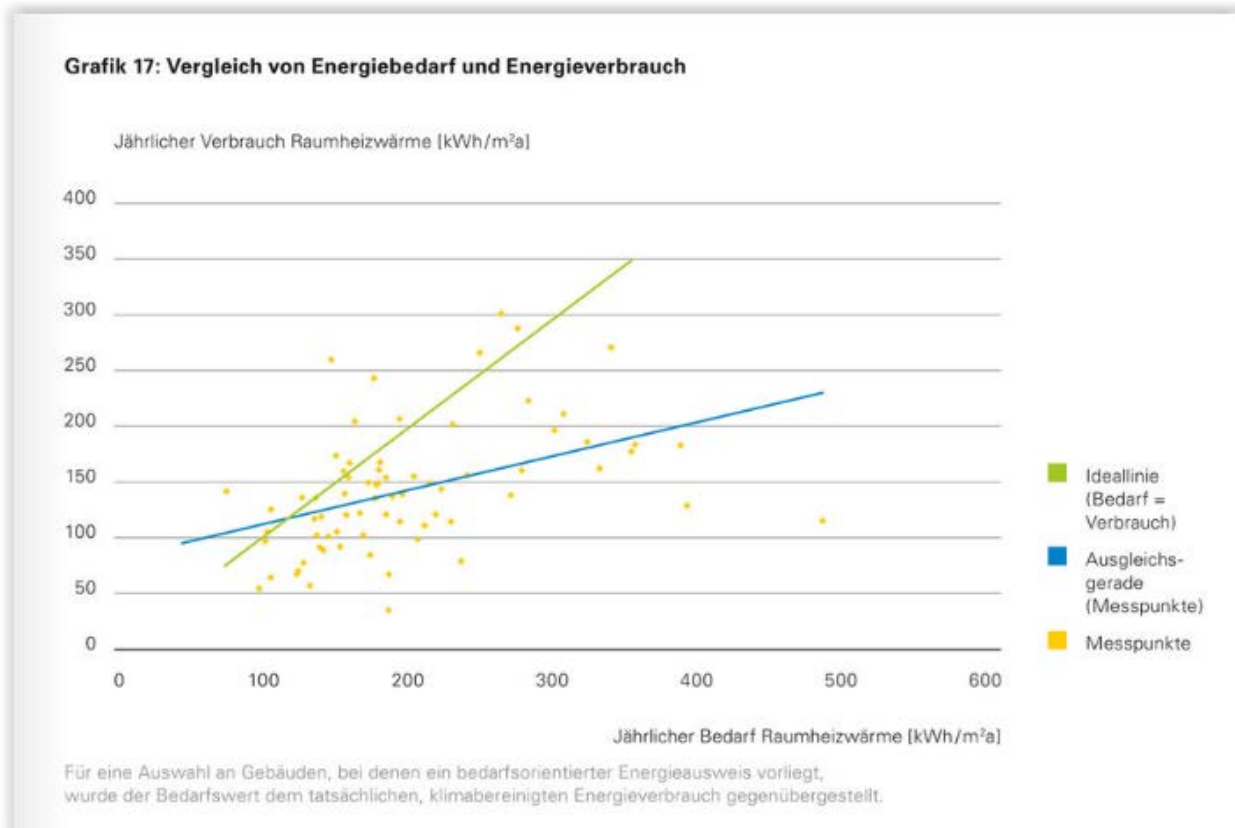
(Bild aus: [Vogler 2014] S. 67)

Da keine Zuordnung zu Baualter oder energetischer Qualität bzw. Normenergiebedarf vorgenommen wurde, kann diese Meta-Analyse für die Bildung von Vergleichswerten in Kapitel 4 nicht verwendet werden.

## Zusammenhang Verbrauch-Bedarf in den „Techem Energiekennwerten“ [Techem 2016]

In [Techem 2016] findet sich neben der jährlichen Analyse der Verbrauchsdaten aus der Abrechnungsdatenbank des Unternehmens auch eine Analyse des Zusammenhangs zwischen Verbrauch und Bedarf für eine Auswahl an Gebäuden. Details werden im Bericht nicht genannt. Ein ähnliches Diagramm ist auch schon in früheren Ausgaben abgedruckt, z.B. in [Techem 2012]. In [Techem 2016] finden sich die gleichen Datenpunkte, ergänzt um einzelne weitere Punkte.

**Abb. 48: Zusammenhang Energieverbrauch und Energiebedarf für Heizung in [Techem 2016]**



(Bild aus: [Techem 2016], Grafik 17)

Da sich in beiden genannten Publikationen keine Angaben zu der Datenquelle oder zur Auswertung der Daten findet, können die Daten für die Herleitung der Kalibrierungsfunktion in Kapitel 4 nicht verwendet werden.<sup>5</sup>

Die Publikation enthält auch eine Tabelle mit einer Zuordnung von Verbrauchskennwerten zu verschiedenen energetischen Standards: Altbau vor 1977 (unmodernisiert), WSchV 1977, WSchV 1995, EnEV 2002, EnEV 2009 ([Techem 2016] Tabelle 13). Da die Abrechnungsdatenbank anscheinend kein Baualter und keinen Modernisierungszustand enthält, ist die Herkunft dieser Darstellung unklar. Die direkt aneinander angrenzenden Kennwert-Spannen der fünf Baualterklassen deuten darauf hin, dass die Klassenbildung eher dazu dienen soll, um aus einem Verbrauchswert das vermutete Baualter abzuleiten. Dabei ist unklar, welche empirischen Analysen dieser Zuordnung zu Grunde liegen.

<sup>5</sup> Es sei an dieser Stelle auf die Problematik der „Ausgleichsgeraden“ (basierend auf linearer Regression) hingewiesen, die in Kapitel 4 behandelt wird

## 2.1.18 Zusammenfassung und Fazit

### Für die Bildung von Vergleichswerten verfügbare Verbrauchsdaten

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Studien und zeigt an, inwiefern die Daten für die Ermittlung und Zusammenführung von Energieverbrauchsbenchmarks geeignet erscheinen.

### Verfügbare Informationen zum Verbrauch nach Gebäudegröße und -alter (unsaniert) und Streuung der Verbrauchswerte

Von den Studien, in denen Verbrauchswerte nach Gebäudebualter und Gebäudegröße dargestellt sind, können auf Grund der zur Verfügung stehenden Informationen zwei für die exemplarische Bildung von Vergleichswert-Tabellen herangezogen werden. Die entsprechenden Daten wurden so umgerechnet, dass sie den in Kapitel 4 dargestellten Anforderungen an die Verbraucherefreundlichkeit genügen. Für die Umrechnung auf den Brennwert-Bezug wurde ein Faktor 1,1, für die Umrechnung auf den Wohnflächenbezug ein pauschaler Faktor 1,2 verwendet. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass nach Angaben der Autoren die Primärdaten teilweise bereits diese Bezüge aufwiesen, aber für die EnEV-konforme Darstellung auf EnEV-„Gebäudenutzfläche“  $A_N$  und auf unteren Heizwert umgerechnet worden waren [Fisch et al. 2012]. Dieses fehleranfällige „Hin-und Her-Rechnen“ sollte nach Möglichkeit in Zukunft vermieden werden, indem die Auswertung der Primärdaten ohne Transformation veröffentlicht werden (also direkt bezogen auf die in der Praxis der Energie- bzw. Heizkostenabrechnung gebräuchlichen Größen Wohnfläche und Brennwert).

Bei dem Schema konnten die Baualtersklassen weitgehend deckungsgleich definiert werden, allerdings ist bei [Fisch et al. 2012] keine weitere Differenzierung der vor 1995 errichteten Gebäude vorgenommen worden – daher gibt es für diese Altbauten nur eine zusammengefasste Zeile.

Weiterhin sei darauf hingewiesen, dass ein Teil der von [Fisch et al. 2012] ausgewerteten Rohdaten von BRUNATA-METRONA zur Verfügung gestellt wurden, es also vermutlich deutliche Überlappungen bei den Fällen gibt. Allerdings wurden die Plausibilitätsprüfungen und Umrechnungen jeweils eigenständig durchgeführt und es wurden auch weniger Datensätze in die Auswertung einbezogen als bei [Schröder et al. 2014].

**Tab. 10: Zusammenfassung der empirischen Studien zum Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser bei Wohngebäuden / Verwendbarkeit der Daten für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten bzw. für die Kalibrierung der EnEV-Berechnung**

Studie	Anzahl Gebäude	Differenzierung der Wohngebäude	vorliegende Verbrauchs-kennwerte	An-wen-dung	Besonderheiten / Berücksichtigung bei der quantitativen Analyse**
<b>Verbrauchsmittelwerte oder -mediane nach Gebäudekategorien</b>					
[Michelsen et al. 2010] Auswertung der Verbrauchsausweis-Datenbank des Messdienstleisters ista	156.866	nur MFH 4 Größenklassen nach WE 8 Baualtersklassen 2 Zustandsklassen	Tabelle mit Medianen	H	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kategorie „vollsaniert“ wegen unpräziser Abfrage nicht verwendbar</li> <li>• keine Angaben zur Fallzahl je Kategorie</li> <li>• Fernwärme nicht gesondert ausgewiesen</li> </ul> → Berücksichtigung in Kap. 4: nein
[Walberg et al. 2011] Auswertung von Daten der gewerblichen Wohnungswirtschaft	für die Tabellenwerte nicht nachvollziehbar	2 Größenklassen nach WE 9 Baualtersklassen 3 Zustandsklassen	Tabelle mit Mittelwerten	H+W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Kategorie für Vollsanierungen</li> <li>• keine Angaben zur Fallzahl je Kategorie</li> <li>• Fernwärme nicht gesondert ausgewiesen</li> </ul> → Berücksichtigung in Kap. 4: nein
[Fisch et al. 2012] Auswertung der Verbrauchsausweis-Datenbank der Messdienstleister BRUNATA-METRONA und Delta	64.000	4 Größenklassen nach m <sup>2</sup> 4 Zustandsklassen	Tabelle mit Mittelwerten, Medianen, Standardabweichungen und Häufigkeiten	H+W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kategorien „komplett saniert“ und „vorwiegend unsaniert“ nicht verwendbar wegen unpräziser Abfrage</li> <li>• Baualtersklasse 1995 bis 2001 ("Neubau 95 / kompl. saniert"): darin sind auch komplett modernisierte Bestandsgebäude enthalten</li> </ul> → Berücksichtigung in Kap. 4: ja
[Felsmann et al. 2013] Auswertung von 5 Verbrauchsausweis-Datenbanken von Messdienstleistern	323.000	5 Baualtersklassen 5 Größenklassen nur nicht modernisierte Gebäude	Säulen-Diagramm mit Mittelwerten	H+W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachvollziehbarkeit der Angaben nicht gewährleistet (keine näheren Angaben zu den Messdienstleistern und zu den Datensätzen)</li> <li>• keine Angaben zur Fallzahl je Kategorie</li> </ul> → Berücksichtigung in Kap. 4: nein
[Bauer 2013] Verbrauchsanalyse von Mehrfamilienhäusern durch den Österreichischen Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen	45	nur MFH Klassen für den Heizwärmebedarf	nur Heizwärmebedarf, keine Endenergie Säulen-Diagramm mit mittlerem Verbrauch je Bedarfsklasse	H+W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Endenergie</li> </ul> → Berücksichtigung in Kap. 4: nein
[Schröder et al. 2014] Auswertung der Verbrauchsausweis-Datenbank des Messdienstleisters BRUNATA-METRONA	94.300	4 Baualtersklassen 5 Größenklassen nur nicht modernisierte Gebäude	Tabelle mit Median, Q10, Q90, Mittelwert, Standardabweichung, Häufigkeit	H W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quelle enthält Auswertungen für Gebäude, die seit 1995 nicht modernisiert wurden</li> <li>• in „unsaniert“ sind auch Gebäude enthalten, die vor 1995 modernisiert wurden</li> </ul> → Berücksichtigung in Kap. 4: ja
[Zeine et al. 2015]	199	Wohngebäude Neubauten + modernisierte Altbauten	Tabelle mit Mittelwerten Endenergie	H W H+W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mit Ausnahme der Kategorie „Passivhaus“ sind die unterschiedlichen Energieeffizienzstandards sehr schwach vertreten, so dass keine repräsentativen Aussagen möglich sind (insbesondere für KfW-Effizienzhaus-Standards)</li> </ul> → Berücksichtigung in Kap. 4: nein

Studie	Anzahl Gebäude	Differenzierung der Wohngebäude	vorliegende Verbrauchs-kennwerte	An-wen-dung	Besonderheiten / Berücksichtigung bei der quantitativen Analyse**
<b>Verbrauch/Bedarf-Paare von Einzelgebäuden</b>					
[Loga et al. 2003] Meta-Analyse von Modellprojekten	91 vorwiegend Neubauten	Heizwärmebedarf und Wärmetransferkoeffizient Transmission pro m <sup>2</sup> Wohnfläche + Angaben zu Lüftungsanlagen	xy-Diagramm (Daten-Tabelle)	H	→ Berücksichtigung in Kap. 4: ja (Einbeziehung Warmwasserbereitung notwendig)
[Gruber et al. 2005] Evaluation des Energiepass-Feldversuchs der dena	1.082 Altbau EFH + MFH	Endenergiebedarf*	xy-Diagramm	H+W	→ Berücksichtigung in Kap. 4: ja
[Knissel et al. 2006] Analyse von Datensätzen aus der Energieberatung	1.702 unsanierter Altbau EFH + MFH	Endenergiebedarf*	xy-Diagramm (Daten-Tabelle)	H	→ Berücksichtigung in Kap. 4: ja Einbeziehung Warmwasserbereitung notwendig ggf. Ermittlung von h <sub>T</sub> als zusätzlichen Parameter möglich
[Jagnow et al. 2007] OPTIMUS-Projekt	59 Alt- und Neubau EFH + MFH	Endenergiebedarf*	xy-Diagramm	H+W	→ Berücksichtigung in Kap. 4: ja
[Erhorn / Bergmann 2015] Evaluierung von Wohngebäuden im „Effizienzhaus Plus“ Standard	19 Neubau		Balkendiagramm	H+W	→ Berücksichtigung in Kap. 4: ja (Anhaltspunkte für Elektro-Wärmepumpen)
[Graf 2016] Masterarbeit an der TU Darmstadt zum Verbrauch modernisierter Mehrfamilienhäuser	51 MFH mod. Altbau	Endenergiebedarf*	xy-Diagramm {Daten-Tabelle}	H+W	→ Berücksichtigung in Kap. 4: ja
[Bigalke et al. 2016] Nacherhebung und Auswertung des Verbrauchs von dena-Effizienzhäusern	121 mod. Altbau + Neubau	Endenergiebedarf* H <sub>T</sub> '	xy-Diagramm	H+W	→ Berücksichtigung in Kap. 4: ja (Brennstoffe oder Fernwärme, abhängig vom energetischen Standard; weiterhin Anhaltspunkte für Elektro-Wärmepumpen; ggf. Ermittlung von h <sub>T</sub> als zusätzlichen Parameter möglich)
[Hörner et al. 2016] Analyse der Datenbank des Energiepass Luxemburg	4255 Altbau + Neubau	Endenergiebedarf* H <sub>T</sub> '	xy-Diagramm (Daten-Tabelle)	H+W	Zusammenhang zwischen der luxemburgischen und des deutschen Normberechnung ist unbekannt; → Berücksichtigung in Kap. 4: nein
[HessenEnergie 2016] Auswertung „Passivhaus im Bestand“ des Hessischen Wirtschaftsministeriums	17 EFH + MFH mod. Altbau	Heizwärmebedarf	Säulendiagramm mit Heizwärmebedarf und Heizwärmeverbrauch	H	Zusammenhang zwischen PHPP und EnEV-Berechnung ist nicht bekannt; es liegen keine Endenergieverbrauchs-kennwerte vor: → Berücksichtigung in Kap. 4: nein

\*) ermittelt mit Normrandbedingungen nach EnEV unter Nutzung der DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 und der jeweils verfügbaren ergänzenden Regeln für die Bestandsbewertung

\*\*\*) über notwendige Umrechnungen (Heizwert-Brennwert, Flächen) hinausgehende Besonderheiten



**Tab. 11: Verbrauchskennwerte aus der Studie [Schröder et al. 2014], übertragen in das Schema der Vergleichswert-Tabellen aus Kapitel 4**

BRUNATA-METRONA 2009 / 2014												
jährlicher Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser in kWh/(m <sup>2</sup> a)												
Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger												
Erdgas / Heizöl (bezogen auf Brennwert H <sub>s</sub> )						Fernwärme						
1 bis 2 Wohneinheiten			≥ 3 Wohneinheiten			1 bis 2 Wohneinheiten			≥ 3 Wohneinheiten			
Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*	
	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Baualtersklassen (Altbauten bis 1994: nicht energetisch modernisierte Gebäude)												
... 1978	n=11.700	251	± 81	n=75.500	232	± 71	n=300	194	± 73	n=6.800	169	± 57
1979 ... 1994	n=1.300	216	± 71	n=18.200	199	± 61	n=40	184	± 80	n=1.950	133	± 53
1995 ... 2001	n=900	185	± 64	n=16.400	167	± 57	n=40	128	± 110	n=1.940	114	± 93
2002 ... 2009	n=120	149	± 65	n=2.740	133	± 44				n=620	94	± 73
2010 ...												

\*) Die "Streubreite" entspricht der in der Quelle genannten Standardabweichung  
Erläuterungen zu den Kategorien  
▶ 1 bis 2 Wohneinheiten: in der Quelle Kategorie "≤ 200 m<sup>2</sup>" ("Gebäudenutzfläche" nach EnEV); ≥ 3 Wohneinheiten: alle anderen Größenklassen  
▶ nicht energetisch modernisiert: gemäß der Quelle zusammengefasste Klassen "unsaniert" und "gänzlich unsaniert"; darin enthalten sind auch Gebäude, die vor 1995 modernisiert wurden

**Tab. 12: Verbrauchskennwerte aus der Studie [Fisch et al. 2012], übertragen in das Schema der Vergleichswert-Tabellen aus Kapitel 4**

IGS 2012												
jährlicher Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser in kWh/(m <sup>2</sup> a)												
Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger												
Erdgas / Heizöl (bezogen auf Brennwert H <sub>s</sub> )						Fernwärme						
1 bis 2 Wohneinheiten			≥ 3 Wohneinheiten			1 bis 2 Wohneinheiten			≥ 3 Wohneinheiten			
Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittel- wert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittel- wert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittel- wert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittel- wert	Streu- breite*	
	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Baualtersklassen nicht energetisch modernisierte Gebäude												
... 1978	n=1.317	232	± 81	n=2.902	197	± 62	n=12	190	± 48	n=216	174	± 69
1979 ... 1994												
1995 ... 2001	n=1.676	147	± 41	n=5.306	136	± 41	n=25	156	± 31	n=1.911	113	± 31
2002 ... 2009	n=214	112	± 33	n=1.018	113	± 31	n=1	77	-	n=119	104	± 32
2010 ...												

\*) Die "Streubreite" entspricht der in der Quelle genannten Standardabweichung  
Erläuterungen zu den Kategorien  
▶ 1 bis 2 Wohneinheiten: in der Quelle Kategorie "≤ 200 m<sup>2</sup>" ("Gebäudenutzfläche" nach EnEV); ≥ 3 Wohneinheiten: alle anderen Größenklassen  
▶ nicht energetisch modernisiert: Benennung in der Quelle "komplett unsaniert" (Gebäude bis Baujahr 1994, neben den unsanierten Altbauten sind darin auch Gebäude enthalten, die vor 1995 modernisiert wurden)  
▶ "1995 ... 2001": Benennung in der Quelle "Neubau 95 / kompl. saniert"; hier sind auch komplett modernisierte Bestandsgebäude enthalten.

## Nutzbare Daten für die Analyse des Zusammenhangs zwischen Verbrauch und Bedarf

Aus sechs der in Tab. 10 zusammengefassten Studien konnten Werte-Paare für Verbrauch und Bedarf herausgezogen werden – teils aus den von den Autoren bereitgestellten Originaldatentabellen, teils mit Hilfe der Digitalisierung aus den veröffentlichten Diagrammen. Die Ergebnisse je Studie sind in Abb. 49, die Zusammenführung aller Wertepaare in Abb. 50 dargestellt. Eine Differenzierung der Stichprobensammlung nach weiteren Merkmalen, wie Gebäudegröße, Baualter oder spezifischem Nutzerverhalten bzw. Nutzergruppen war nicht möglich.

Die Datenpunkte dieser Stichprobensammlung werden in Kap.4 für die exemplarische Darstellung der Ableitung von Funktionen für die Kalibrierung des Normenergiebedarfs auf das typische Verbrauchsniveau herangezogen.

### Verbrauchsdaten von Wohngebäuden mit Elektrowärmepumpen

Zwei der Studien befassen sich speziell mit Gebäuden, die mit Elektrowärmepumpen versorgt werden. In beiden Fällen handelt es sich um Wohngebäude mit besonders guten Wärmeschutzstandards. Das arithmetische Mittel der Energiekennwerte für Bedarf und Verbrauch sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tab. 13: Gegenüberstellung der gemäß [Bigalke et al. 2016] berechneten und gemessenen mittleren Energiekennwerte ([Bigalke et al. 2016] Abbildung 14 und 15)**

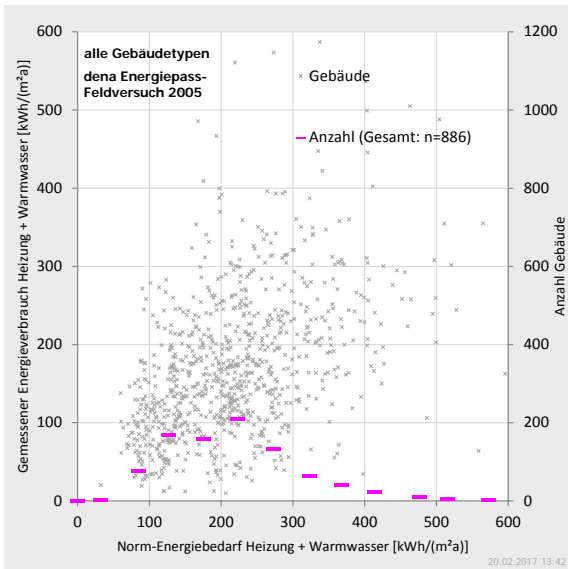
Studie	Anzahl Gebäude	Norm-Endenergiebedarf* für Heizung und Warmwasser	gemessener Endenergieverbrauch* für Heizung und Warmwasser (witterungsbereinigt)	Faktor Verbrauch zu Bedarf
		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Auswertung des Verbrauchs von Modellvorhaben mit Effizienzhaus-Plus-Standard und Elektrowärmepumpen [Erhorn / Bergmann 2015]	19	18,1 (DIN V 18599)	17,9	0,99
Auswertung von 121 dena-Effizienzhäusern: Verbrauchskennwerte [Bigalke et al. 2016]	50	19,0 (DIN V 4108-6/ 4701-10)	18,2	0,96

\*) Energiebezugsfläche: Gebäudenutzfläche  $A_N$  nach EnEV

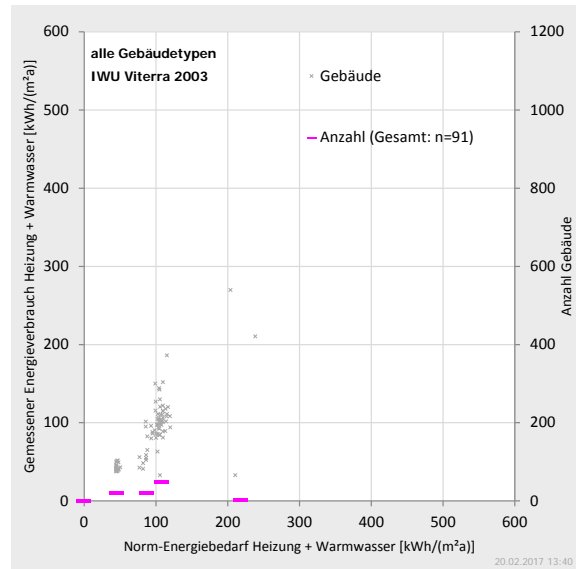
Eine Zusammenführung ist nicht ohne weiteres möglich, da beide Untersuchungen verschiedene Rechenverfahren verwenden. Dennoch können diese Ergebnisse als erste Anhaltspunkte dafür herangezogen werden, dass unter günstigen Bedingungen beide Verfahren im Mittel eine realistische Prognose für den Verbrauch abgeben können.

**Abb. 49: Zusammenhang Verbrauch-Bedarf / Auswertung der Datenpunkte aus sechs der in Kapitel 2.1 analysierten Studien**

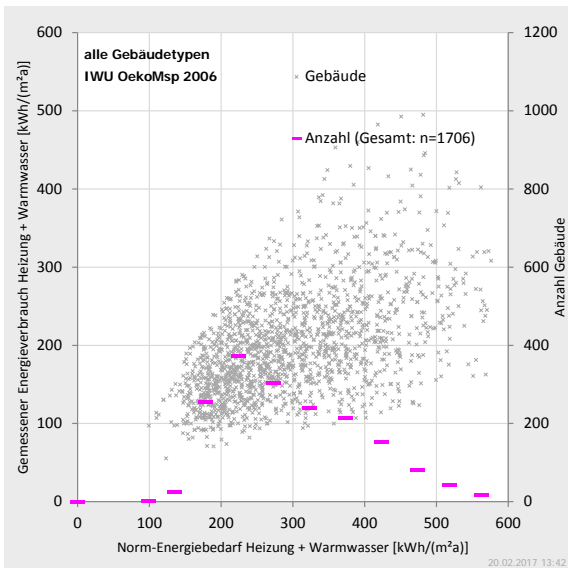
Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Brennwert-Bezug bei Brennstoffen / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger



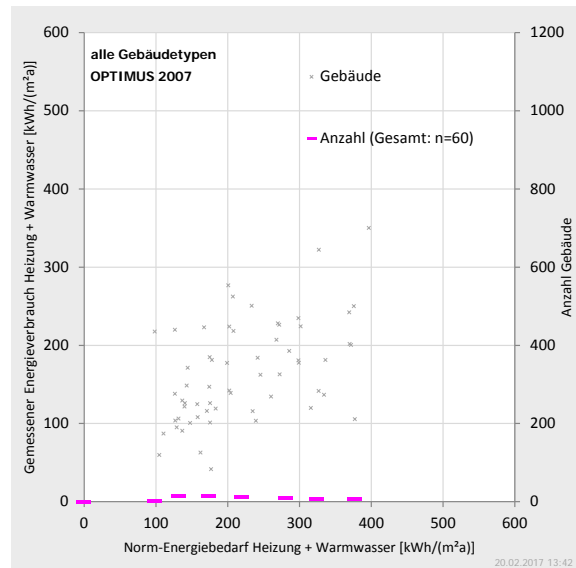
(Daten aus: [Gruber et al. 2005])



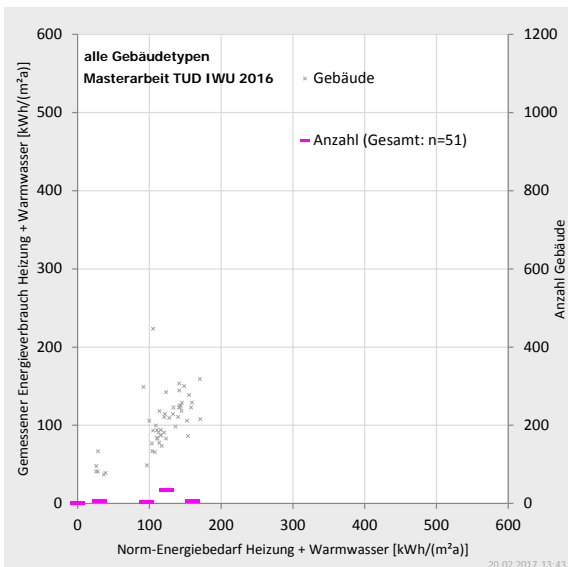
(Daten aus: [Loga et al. 2003])



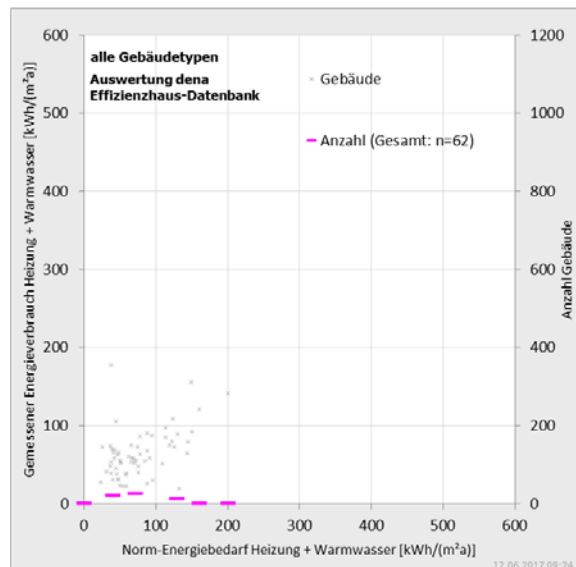
(Daten aus: [Knissel et al. 2006a])



(Daten aus: [Jagnow et al. 2007])

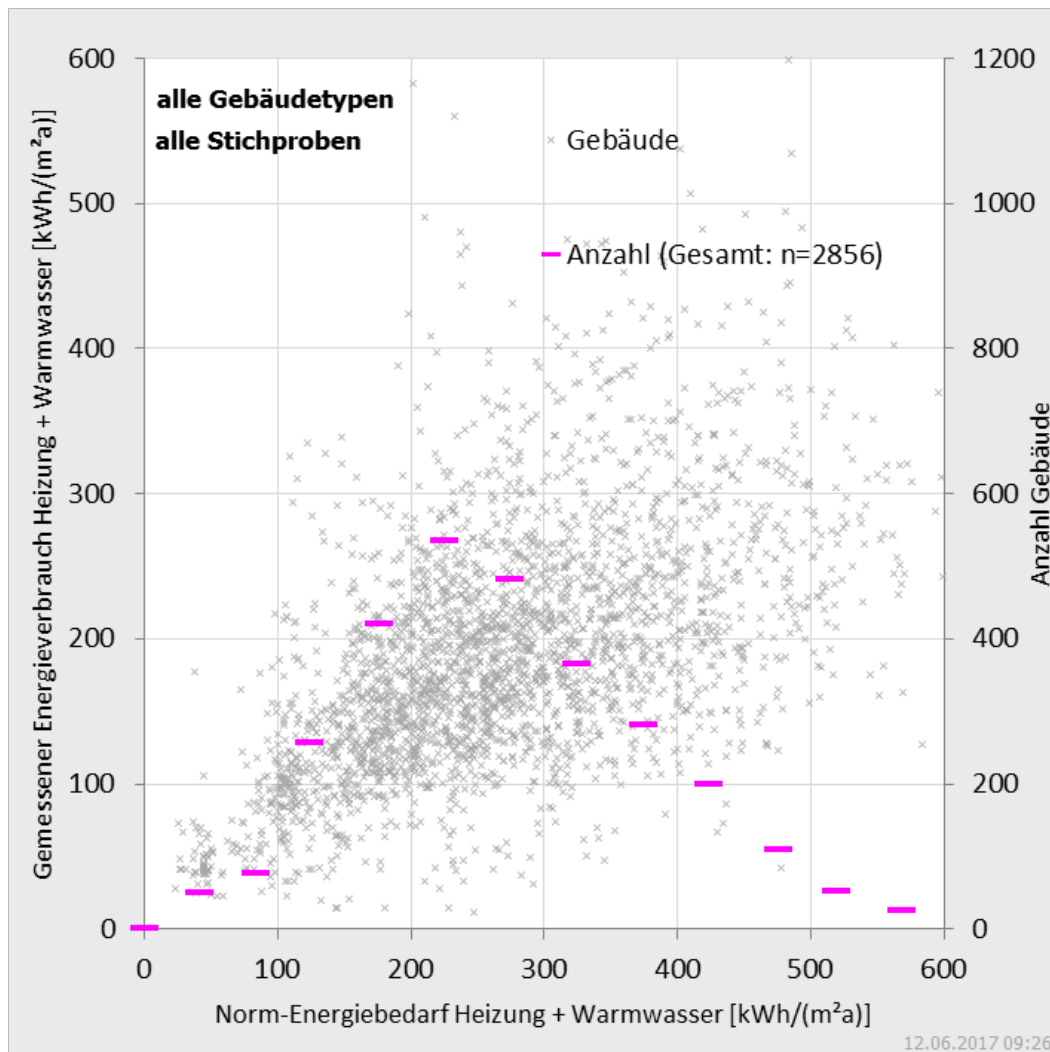


(Daten aus: [Graf 2016])



(Daten aus: [Bigalke et al. 2016])

**Abb. 50: Zusammenhang Verbrauch-Bedarf / Zusammenführung der Daten aus Abb. 49**  
 Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Brennwert-Bezug bei Brennstoffen / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger



### Zusammenfassung der Probleme bei der Ableitung von Vergleichswerten aus wissenschaftlichen Studien

Die Ableitung von Vergleichswerten für den Energieverbrauch war bei einigen der genannten Studien schwierig, bei einigen gar nicht möglich. Häufige Probleme für Einordnung und Vergleich der angegebenen Verbrauchsdaten waren:

- fehlende Angaben zur Art der Energiebezugsfläche bzw. zu vorgenommenen Konvertierungen;
- fehlende Angaben zu den Energieträgern;
- fehlende Angaben bezüglich des Heizwert- oder Brennwertbezugs bei Brennstoffen;
- fehlende Angaben bezüglich der Inklusion von Warmwasser in den Verbrauchswerten (nur Heizung inklusive Warmwasser; Mischung aus Fällen mit und ohne Warmwasser)
- fehlende Angaben zur Witterungsbereinigung der genannten Verbrauchsdaten;
- fehlende Information, inwiefern auch Gebäude mehr als einem Heizsystem oder Wärmeerzeuger enthalten sind und ob bei mehreren Energieträgern die Verbrauchswerte den Hauptenergieträger oder die Summe der Energieträger wiedergeben;
- fehlende Angaben, inwiefern Leerstand enthalten ist bzw. korrigiert wurde.

Weiterhin sei auf das Problem hingewiesen, dass in einigen Studien die Verbrauchskennwerte für die EnEV-konforme Darstellung von der beheizten Wohnfläche auf die „Gebäudenutzfläche“ nach EnEV  $A_N$  und vom Brennwertbezug in der Energieabrechnung auf den unteren Heizwert umgerechnet worden war. Um daraus für die Praxis verwendbare Vergleichswerte herzuleiten, müssen diese Verbrauchskennwerte wieder zurückgerechnet werden. Dieses fehleranfällige „Hin-und Her-Rechnen“ sollte nach Möglichkeit in Zukunft vermieden werden, indem die erhobenen Daten ohne Transformation veröffentlicht werden und damit vom Verbraucher direkt für den Vergleich mit seinen Abrechnungswerten herangezogen werden können.

Bezüglich der Charakterisierung von Gebäude und Anlagentechnik bestanden die folgenden Probleme:

- Es gab kein einheitliches Muster zur Abfrage bzw. zur Charakterisierung des energetischen Modernisierungszustands von Bestandsgebäuden.
- Die in den Fragebogen zur Erfassung der Daten zum Energieverbrauchsausweis verwendeten Abfragen zum Modernisierungszustand waren darüber hinaus mangelhaft formuliert (z.B. keine explizite Abfrage von nachträglicher Wärmedämmung) bzw. unvollständig (keine Dämmstärken, keine Flächenanteile).

Darüber hinaus ist auch klar, dass in den hier dokumentierten Daten noch fehlerhafte Daten enthalten sein müssen oder eventuell im Verbrauchszeitraum das Gebäude gar nicht oder sehr untypisch genutzt wurde (Beispiel Verbrauch unter 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei Normenergiebedarf größer 200 kWh/(m<sup>2</sup>a)).

Aufbauend auf diesen Erfahrungen werden in Kapitel 7 Hinweise für die Verbesserung der Qualität der Datenerhebung und -dokumentation durch Standardisierung bzw. Formalisierung gegeben.

## Literaturverzeichnis zum Kapitel 2.1

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| [ASUE 2007]           | ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.: Der Energieausweis für den Gebäudebestand; Kaiserslautern 2007   |
| [Bauer 2013]          | Bauer, Eva: Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit - Investitions- und Nutzungskosten in Wohngebäuden gemeinnütziger Bauvereinigungen unter besonderer Berücksichtigung energetischer Aspekte; gbv - Österreichischer Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen; Wien 2013   |
| [Bigalke et al. 2016] | Bigalke, Uwe; Marcinek, Heike: Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizienter Wohngebäude. Teil 1: Breitenanalyse; Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin 2016  |
| [BRUNATA 2013]        | BRUNATA Wärmemesser GmbH & Co. KG, „Energieverbrauchsausweis Wohngebäude – Fragebogen“ und zugehörige Ausfüllhilfe; München, 2013   |
| [Clausnitzer 2008]    | Clausnitzer, Klaus-Dieter; Hoffmann, Nadine; Wosniok, Werner; Wosniok, Julia: Entwicklung des Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser bei Einfamilienhäusern; gefördert mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung; Fraunhofer IRB-Verlag 2008   |
| [co2online 2014]      | co2online: „Trendreport Energie 2 – Sanierung des Wohngebäudebestands ist entscheidend“; Berlin 2011 (Aktualisiert: 2014)   |
| [DVGW 2008]           | Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) „Arbeitsblatt G 685 - Gasabrechnung“. Bonn 2008  |
| [Eicke-Hennig 2005]   | Eicke-Hennig, Werner: Der „Energiepass Hessen“ – Fragebogengestützte Energieberatung mit Aktionsbezug; in: Nachweis, Label und Beratung – der Energiepass auf dem Weg. Reader zur 43. Tagung des Arbeitskreises Energieberatung am 11. Mai 2005; IWU, Darmstadt 2005<br><a href="http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/ake43_energiepass_tagungsband.pdf">http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/ake43_energiepass_tagungsband.pdf</a> |

- [EPBD 2002] Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 4.1.2003
- [Erhorn / Bergmann 2015] Erhorn, Hans; Bergmann, Antje: Energieeffizienter Neubau von Wohngebäuden - Begleitforschung und Querauswertung von Modellvorhaben (Phase 2) -- Fraunhofer IBP 2015
- [Erhorn 2007] Erhorn, Hans: Ein Reizthema ohne Ende oder die Chance für sachliche Energieberatung? *gi Gesundheits-Ingenieur* Jg.: 128, Nr.5, 2007, Seite 233-240
- [Fisch et al. 2012] Fisch, Norbert; Altendorf, Lars; Kühl, Lars; Wilken, Thomas; Brandt, Edmund; Gawron, Thomas: Vergleichswerte für Verbrauch bei Wohngebäuden. BBSR / BMVBS-Online-Publikation 11/2012.
- [Felsmann et al. 2013] Felsmann, Clemens; Schmidt, Juliane: Auswirkungen der verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität; Institut für Energietechnik, TU Dresden 2013
- [Frondelet et al. 2012] Datenauswertung zum Energieverbrauch der privaten Haushalte differenziert nach Gebäudemerkmalen. Projektbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Essen 2012  
<http://www.rwi-essen.de/haushaltsenergieverbrauch>
- [Graf 2016] Graf, Alicia: Analyse des Energieverbrauchs wärmetechnisch modernisierter Mehrfamilienhäuser - Entwicklung von Verbrauchsbenchmarks zur Beurteilung der Energieeffizienz; Master-Thesis am Institut für Massivbau / Fachbereich Bauingenieurwesen der Technischen Universität Darmstadt (Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner), in Kooperation mit dem Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt 2016  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/sonstiges/2015-12\\_AliciaGraf\\_Masterarbeit\\_TUD\\_IWU\\_EnergieverbrauchModernisierteMFH.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/sonstiges/2015-12_AliciaGraf_Masterarbeit_TUD_IWU_EnergieverbrauchModernisierteMFH.pdf)
- [Grafe et al. 2016] Grafe, Michael; Großklos, Marc; Loga, Tobias; Born, Rolf: Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizienter Wohngebäude. Teil 2: Ausreißeranalyse; Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin 2016
- [Gruber et al. 2005] Gruber, Edelgard; Mannsbart, Wilhelm (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)); Erhorn, Hans; Erhorn-Kluttig, Heike (Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)); Brohmann, Bettina; Rausch, Lothar; Hünecke, Katja (Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie): Energiepass für Gebäude – Evaluation des Feldversuchs. Schlussbericht an die Deutsche Energie-Agentur; FhG ISI, Karlsruhe, 2005
- [HessenEnergie 2016] HessenEnergie: Passivhaus im Bestand – Vergleich des gemessenen Heizwärmeverbrauchs mit dem berechneten Heizwärmebedarf bei vom Land Hessen geförderten Vorhaben; Studie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden 2016
- [Hoffman et al. 2015] Hoffmann, Caroline; Geissler, Achim; Carisch, Lara: Warum stimmt das nie? Fragen beim Einsatz der SIA 380/1 als Prognoseinstrument bei Bestandsgebäuden (Wohnen); 19. Status-Seminar „Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt“; ETH Zürich 2016
- [Hörner et al. 2015] Hörner, Michael; Loga, Tobias; Cischinsky, Holger: Analyse der Energieausweis-Datenbank von Luxemburg mit den Methoden der multiplen linearen Regression und der Fehlerrechnung; Kurzbericht im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Luxemburg, 16. Juli 2015
- [Hörner et al. 2016] Hörner, Michael; Cischinsky, Holger; Lichtmeß, Markus: Analyse der Diskrepanz von Energiebedarf und -verbrauch bei Energiepässen von Wohngebäuden in Luxemburg. Teil I; Bauphysik 38 (2016). Heft 3
- [Jagnow et al. 2007] Jagnow, Kati; Wolff, Dieter: OPTIMUS – Optimal Energie Nutzen. Teil 2: Technische Optimierung und Energieeinsparung; Abschlussbericht; Studie gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU; Innung für Sanitär- und Heizungstechnik Wilhelmshaven; 2007  
<http://optimus-online.de/pdf/Endbericht%20Teil%202.pdf>  
<https://www.dbu.de/PDF-Files/A-18315.pdf>
- [Knissel et al. 2006a] Knissel, Jens; Alles, Roland; Born, Rolf; Loga, Tobias; Müller, Kornelia; Stercz, Verena: Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten – zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspie-

- geln; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2006  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/werkzeuge/Vereinfachte\\_Ermittlung\\_von\\_Primaerenergiekennwerten-1.0.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/Vereinfachte_Ermittlung_von_Primaerenergiekennwerten-1.0.pdf)
- [Knissel et al. 2006b] Knissel, Jens; Loga, Tobias: Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten; in: Bauphysik 28 (2006), Heft 4; S. 270-277
- [Loga et al. 2003] Loga, Tobias; Großklos, Marc; Knissel, Jens: Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten – Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung. Eine Untersuchung im Auftrag der Viterra Energy Services AG, Essen; IWU Darmstadt, Juli 2003  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/neh\\_ph/IWU\\_Viterra\\_Nutzerverhalten\\_Heizkostenabrechnung.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/neh_ph/IWU_Viterra_Nutzerverhalten_Heizkostenabrechnung.pdf)
- [Loga et al. 2013] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus: TABULA Calculation Method – Energy Use for Heating and Domestic Hot Water. Reference Calculation and Adaptation to the Typical Level of Measured Consumption; TABULA documentation; IWU, Darmstadt / Germany – January 2013  
[http://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA\\_CommonCalculationMethod.pdf](http://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA_CommonCalculationMethod.pdf)
- [Loga et al. 2015] Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf: Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden; Broschüre erarbeitet im Rahmen der EU-Projekte TABULA und EPISCOPE; 2. erweiterte Auflage; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2015  
[http://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE\\_TABULA\\_TypologyBrochure\\_IWU.pdf](http://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf)
- [Michelsen et al. 2010] Michelsen, C.; Müller-Michelsen, S. (2010): Energieeffizienz im Altbau: Werden die Sanierungspotenziale überschätzt? Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex. Wirtschaft im Wandel 16 (9), 447–455.
- [PE-Lux 2007] Le gouvernement du grand-duché de Luxembourg. Règlement grand-ducal du 30 novembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation (14.12.2007). Luxemburg: Service central de législation, 2007.
- [PHPP] Passivhaus Institut: Passivhaus-Projektierungspaket PHPP;  
[http://www.passiv.de/de/04\\_phpp/04\\_phpp.htm](http://www.passiv.de/de/04_phpp/04_phpp.htm)
- [Schröder et al. 2009] Schröder, Franz; Greller, Martin; Hundt, Volker; Mundry, Bernhard; Papert, Olaf: Universelle Energiekennzahlen für Deutschland - Teil 1: Differenzierte Kennzahlverteilungen nach Energieträger und wärmetechnischem Sanierungsstand; Bauphysik 31 (2009), Heft 6
- [Schröder et al. 2014] Schröder, Franz; Papert, Olaf; Boegelein, Tobias; Navarra, Hendrikus; Mundry, Bernhard: Reale Trends des spezifischen Energieverbrauchs und repräsentativer Wohnraumtemperierung bei steigendem Modernisierungsgrad im Wohnungsbestand; Bauphysik 36 (2014), Heft 6
- [Sunikka-Blank / Galvin 2012] Sunikka-Blank, Minna; Galvin, Ray: Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption, Building Research & Information 2012, 40:3, 260-273  
<http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2012.690952>
- [Techem 2012] Energiekennwerte 2011. Hilfen für den Wohnungswirt; Techem Energy Services GmbH; Eschborn, 2012
- [Techem 2016] Energiekennwerte 2016. Eine Studie von Techem zum Wärme- und Wasserverbrauch in Mehrfamilienhäusern; Techem Energy Services GmbH; Eschborn, November 2016  
[http://www.techem.de/ueber\\_techem/energiekennwerte.html](http://www.techem.de/ueber_techem/energiekennwerte.html)
- [Vogler 2014] Vogler, Ingrid: Untersuchung von mittel- und langfristigen Auswirkungen verschiedener Energie-Einsparstrategien von Wohnungsunternehmen auf die Wohnkosten; Dissertation, Universität Kassel 2014
- [Walberg et al. 2011] Walberg, Dietmar; Holz, Astrid; Gniechowitz, Timo; Schulze, Torsten: Wohnungsbau in Deutschland – 2011. Modernisierung oder Bestandsersatz; Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.; Kiel, 2011
- [Zeine et al. 2015] Zeine, Carl; Gausling, Stefan; Cassebaum, Christian; Gebhardt, Maren; Goldau, Niclas; Peters, Judith: Energieverbrauchskennwerte energetisch hocheffizienter Gebäude „KWEFF2015“; Abschlussbericht; AGES - Gesellschaft für Energieplanung und Systemanalyse m.b.H., Munster 2015  
[https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28343\\_01.pdf](https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28343_01.pdf)

## 2.2 Theoretischer Einfluss des Nutzers

Der theoretische Einfluss des Nutzers auf den Energiebedarf eines Gebäudes wurde in einer Reihe von Studien untersucht. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Betrachtungen, die den Bewohnereinfluss auf die Nutzenergie analysieren und Betrachtungen, die End- bzw. Primärenergie im Fokus haben.

Folgende wesentliche Einflussmöglichkeiten der Nutzer sind zu nennen:

- Raumtemperatur
- Lüftungsverhalten
- Raumnutzungsverhalten (Teilbeheizung, innere Verschattung, Fensterverschmutzung, ...)
- Innere Wärmequellen (Anwesenheiten, Stromverbrauch, Verschattung, ...)
- Warmwassernutzung/-zapfung
- Bedienung Anlagentechnik (Absenkung Temperaturen, Einstellung Lüftungsanlage, Heizzeiten/Abschaltzeiten saisonal, dynamische Änderungen der Nutzung: Anstieg der Heizlast durch Lüften und Absenken)
- Sonstige Aspekte: zusätzlich vom Nutzer angebrachte Schichten (Wand- oder Deckenvertäfelung, mehrlagige Tapetenschichten), Gardinen, Möbel etc., die den Strahlungsaustausch des Außenbauteils mit dem Raum beeinflussen.

In [Knissel, Loga 1997] wird zum Nutzerverhalten festgehalten: „Der quantitative Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch bestimmt sich aus der Sensitivität, mit der das Gebäude auf gewisse Nutzungssituationen reagiert und aus der Häufigkeit mit der diese Situationen eintreten.“

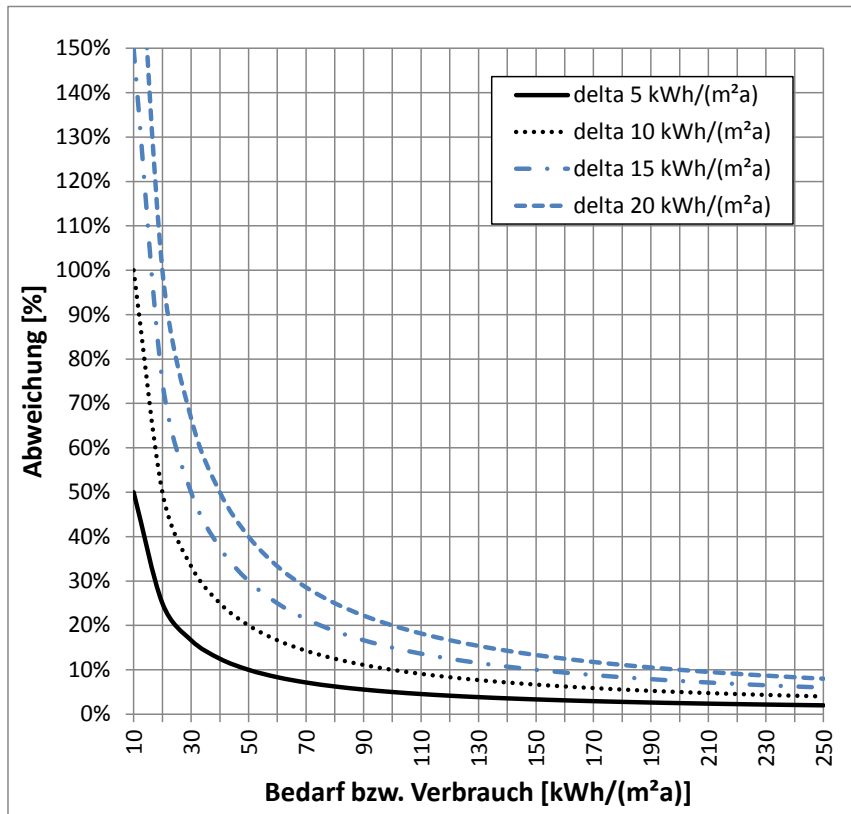
Grundsätzlich sind die Auswirkungen veränderter Raumtemperaturen, aber auch des Lüftungsverhaltens und weiterer Nutzereingriffen (siehe weiter unten) auch vom Außenklima abhängig. Dieser durch den Standort des Gebäudes bestimmte Parameter kann den Wärmeverlust erhöhen oder die Einsparung durch eine Teilbeheizung vergrößern. Dieser Einfluss wird im Folgenden jedoch nicht weiter berücksichtigt, da nur wenig Aussagen dazu im Zusammenhang mit dem Nutzerverhalten gefunden wurden.

Die Mehrzahl der Untersuchungen konzentriert sich auf hochgedämmte Niedrigenergie- oder Passivhäuser, Aussagen zum Nutzereinfluss bei ungedämmten Altbauten sind selten. Teilweise werden von den Autoren prozentuale Auswirkungen des Nutzerverhaltens angegeben. Dabei muss berücksichtigt werden, dass bei Gebäuden mit sehr niedrigem Bedarf bereits geringe absolute Erhöhungen des Bedarfs zu prozentual hohen Veränderungen führen. Abb. 51 zeigt exemplarisch die prozentuale Abweichung für vier verschiedene absolute Erhöhungen des Bedarfs (+5, +10, +15, +20 kWh/(m<sup>2</sup>a)) in Abhängigkeit des Ausgangs(bedarfs)wertes. Es zeigt sich, dass bereits kleine Erhöhungen von 5 kWh/(m<sup>2</sup>a), die teilweise im Bereich der Mess-/Berechnungsgenauigkeit liegen, bei hocheffizienten Gebäuden zu Erhöhungen von 25 % führen, während die gleiche Schwankungsbreite bei einem Bestandgebäude zu 2,5 % Erhöhung führt.

Im Folgenden werden die verschiedenen Einflussmöglichkeiten der Nutzer diskutiert.



**Abb. 51: Prozentuale Auswirkung einer Bedarfserhöhung in Abhängigkeit des ursprünglichen Bedarfswertes (eigene Darstellung)**



### 2.2.1 Raumtemperatur

Beim Einfluss der Raumtemperatur auf den Energiebedarf des Gebäudes wird im Allgemeinen von der Mitteltemperatur der Wohnung oder des Gebäude innerhalb der Heizperiode gesprochen. Kurzzeitige Änderungen der Raumtemperatur z. B. durch Absenkung werden weiter unten bei der Teilbeheizung sowie der Anlagentechnik betrachtet.

In [Richter et al. 2003] werden für ein Einfamilienhaus Werte für den Einfluss der Änderung der Raumtemperatur auf den Heizwärmemehrbedarf in Abhängigkeit vom energetischen Standard genannt. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe von dynamischen Gebäudesimulationen mit TRNSYS ermittelt. Eine Erhöhung der Raumtemperatur um 1 Kelvin verändert den Heizwärmebedarf absolut um +2,2 kWh/(m²a) bei einem Passivhaus und bis zu +14,9 kWh/(m²a) bei einem Gebäude nach WSchV 1977. Relativ liegen die Änderungen zwischen 15 % (Passivhaus) und 9 % (WSchV 1977).

In [Oschatz, Richter 2004] wurden für ein Reihenhaus und ein 12-Familienhaus ebenfalls unterschiedliche energetische Standards bezüglich der Auswirkung einer Temperaturänderung um 1 K untersucht. Für einen ungedämmten Altbau ergaben sich 28,6 kWh/(m²a) bzw. 10,2 % mehr Heizwärmebedarf bei einer Erhöhung der Raumtemperatur um ein Kelvin. Für die Standards in Tab. 14 liegen die Unterschiede im Nachkommabereich zur oben beschriebenen Auswertung für ein Einfamilienhaus, nur die WSchV77-Ausführung erreichte beim Reihenhaus mit 16,3 kWh/(m²a)/K eine etwas höhere Abhängigkeit von der Raumtemperatur.

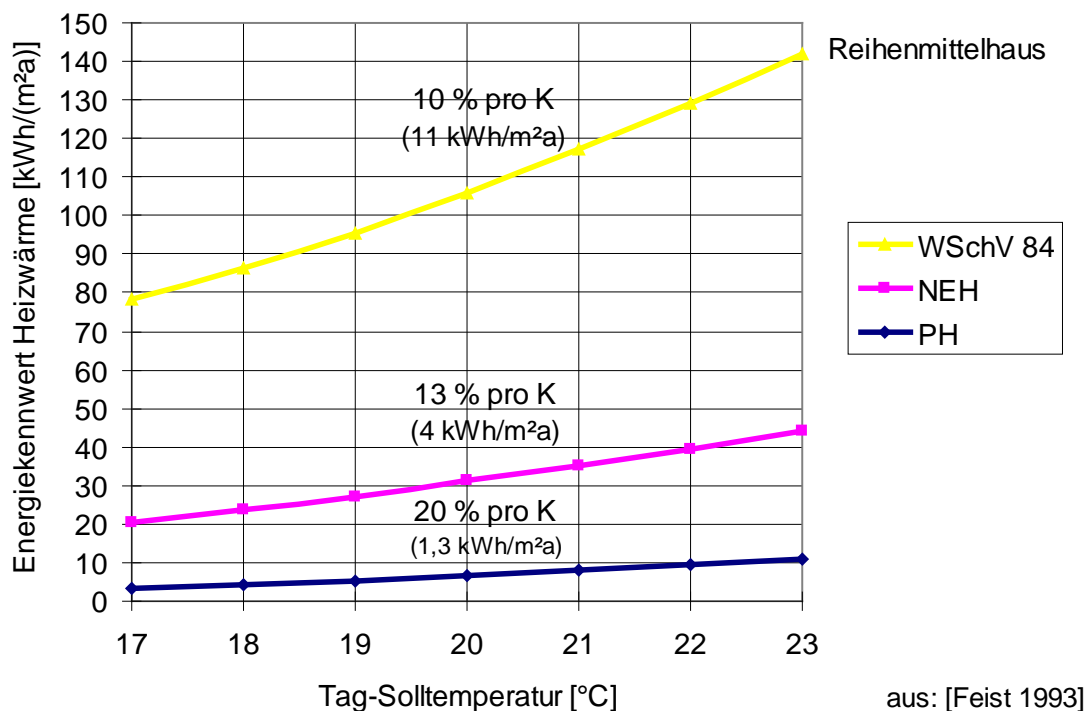
[Oschatz, Richter 2004] halten fest, dass mit einer Verbesserung des Transmissionswärmeschutzes der Einfluss einer Raumtemperaturveränderung sinkt, wobei die Art des Gebäudes von untergeordneter Bedeutung ist.

**Tab. 14: Änderung des Heizwärmehbedarfs bei einer um 1 K angehobenen Raumtemperatur in Abhängigkeit des Wärmeschutzniveaus für ein Reihenhaus und ein 12-Familienhaus [Oschatz, Richter 2004]**

	Reihenhaus		Mehrfamilienhaus	
	absolut [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	relativ [%]	absolut [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	relativ [%]
Altbau bis 1978, unsaniert	+ 28,6	+ 10,2	+ 23,2	+ 9,9
WschV 1977	+ 16,3	+ 10,5	+ 14,1	+ 10,1
WschV 1985	+ 13,3	+ 10,7	+ 11,1	+ 10,2
WschV 1995	+ 9,4	+ 10,9	+ 7,2	+ 10,5
Niedrigenergiehaus	+ 7,0	+ 11,2	+ 6,1	+ 10,7
Top-Niedrigenergiehaus	+ 5,2	+ 12,1	+ 4,4	+ 11,5
Passivhaus	+ 2,3	+ 17,5	+ 2,3	+ 15,5

Zu etwas niedrigeren Auswirkungen der Änderung der Raumtemperatur auf den Heizwärmebedarf bei unterschiedlichen energetischen Standards der Gebäudehülle kommen [Knissel, Loga 1997]. Für ein Reihenmittelhaus nach WSchV84 ergibt sich dort eine Änderung des Heizwärmebedarfs um 11 kWh/(m<sup>2</sup>a) pro Kelvin Temperaturänderung bzw. 10 %/K (Abb. 52). Ein Niedrigenergiehaus<sup>6</sup> besitzt eine Änderung von 4 kWh/(m<sup>2</sup>a)/K bzw. 13 %/K und ein Passivhaus von 1,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)/K bzw. 20 %/K. Die niedrigeren absoluten Änderungen können u.U. auf das untersuchte Reihenmittelhaus zurückgeführt werden, da dieses geringere absolute Wärmeverluste aufweist.

**Abb. 52: Änderung des Heizwärmehbedarfs in Abhängigkeit der Raumtemperatur bei unterschiedlichen energetischen Standards [Knissel, Loga 1997]**



<sup>6</sup> Für das Niedrigenergiehaus (NEH) existierten mehrere Definitionen. In [1] wird hierunter ein Heizwärmebedarf von 70 kWh/(m<sup>2</sup>a) nach [4] verstanden, was vergleichbar mit dem Neubaustandard nach EnEV 2009 ist. [2] und [Oschatz, Richter 2004] bezeichneten Gebäude nach der EnEV 2002 als Niedrigenergiehaus.

In [Klesse 2012] ergab sich für ein Einfamilienhaus nach EnEV2009 bei einer Temperaturänderung von einem Kelvin eine Änderung des Nutzwärmebedarfs um 7 % für das Referenzklima Würzburg (TRY13). Die Schwankungsbreite durch das Klima lag demgegenüber bei -12 % (TRY1) bis +13 % (TRY8). Eine anwesenheitsgesteuerte Einstellung der Raumlufttemperatur führte bei [Klesse 2012] zu einer Einsparung um 13 %.

Für ein auf Passivhaus-Standard modernisiertes Mehrfamilienhaus mit 21 Wohneinheiten ist in [Großklos 2013, S.44] ein Einfluss der Raumtemperatur von 2,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)/K bei Standardklima bzw. von 2,1 kWh/(m<sup>2</sup>a)/K im milden Klima des Jahres 2011/12 angegeben. In [Großklos, Schaede 2016, S.317] ist für ein Mehrfamilienhaus mit 20 Wohneinheiten im Passivhaus-Standard eine Änderung des Nutzenergiebedarfs von ca. 2,7 kWh/(m<sup>2</sup>a)/K angegeben.

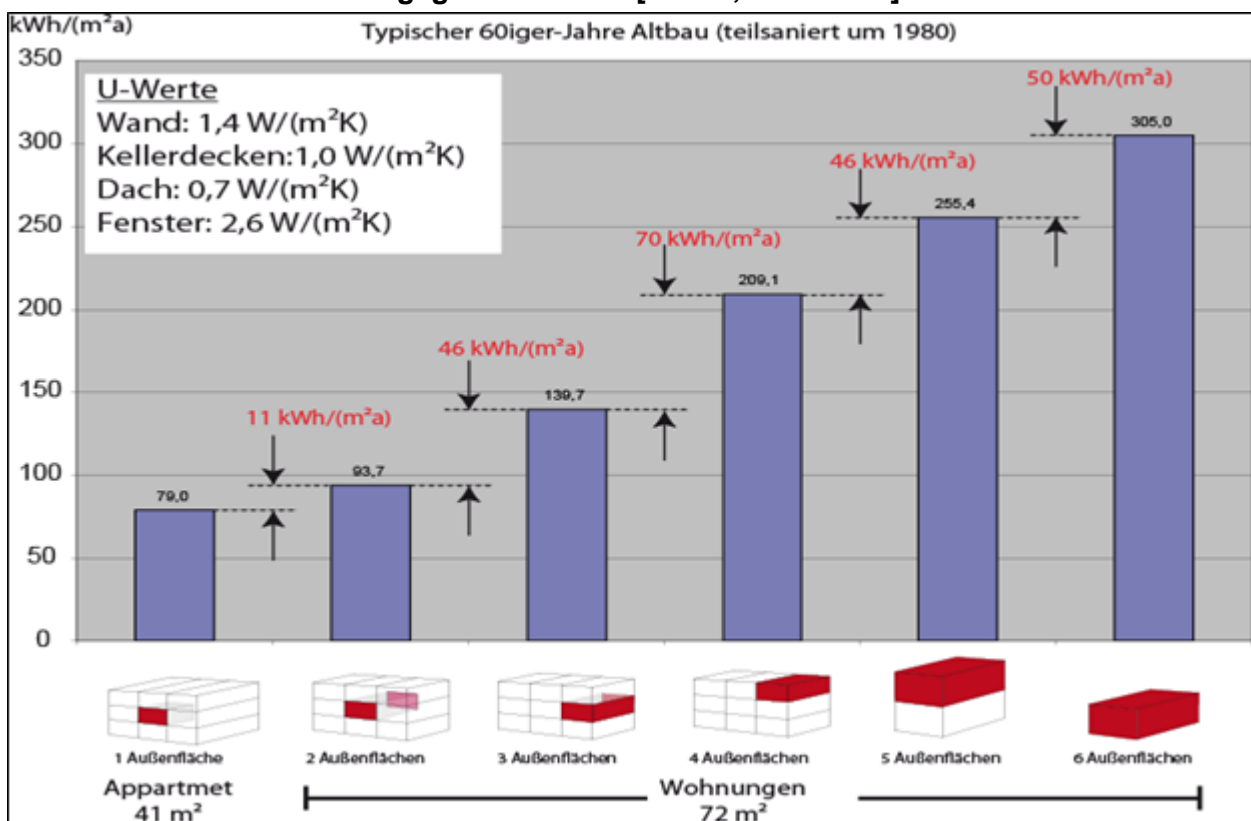
Dabei ist zu berücksichtigen, dass in einem Passivhaus der Einfluss der Nachtabsenkung aufgrund der hohen Zeitkonstanten nur minimal ist [Knissel, Loga 1997].

[Schnieders 2005] hat beim Vergleich eines Modellraumes eine Änderung des Heizwärmebedarfs je Grad Änderung der Raumtemperatur um ca. 23 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Altbau, um ca. 8 kWh/(m<sup>2</sup>a) beim EnEV2002-Gebäude und um ca. 2 kWh/(m<sup>2</sup>a) beim Passivhaus errechnet. [Bier 2002] berechnete für zwei Passivhäuser eine Änderung von ca. 3 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei 1 Kelvin Änderung der Raumtemperatur, wobei die Erhöhung von 21 °C auf 22 °C zu einer Steigerung des Heizwärmebedarfs um 3,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) führt, eine Absenkung von 19 °C auf 18 °C aber nur 2,4 kWh/(m<sup>2</sup>a) einspart.

## 2.2.2 Wärmefluss zwischen den Wohneinheiten

Bei jedem Mehrfamilienhaus unterscheidet sich der Heizwärmebedarf verschiedener Wohnungen in Abhängigkeit von der Lage im Gebäude. Je größer der Anteil der Außenflächen, desto höher sind die Wärmeverluste und damit auch der Heizwärmebedarf (siehe Abb. 53).

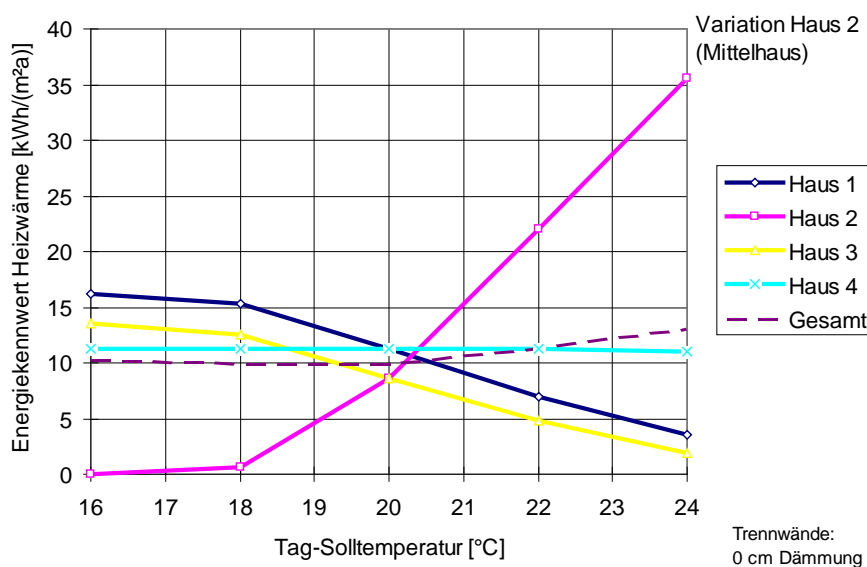
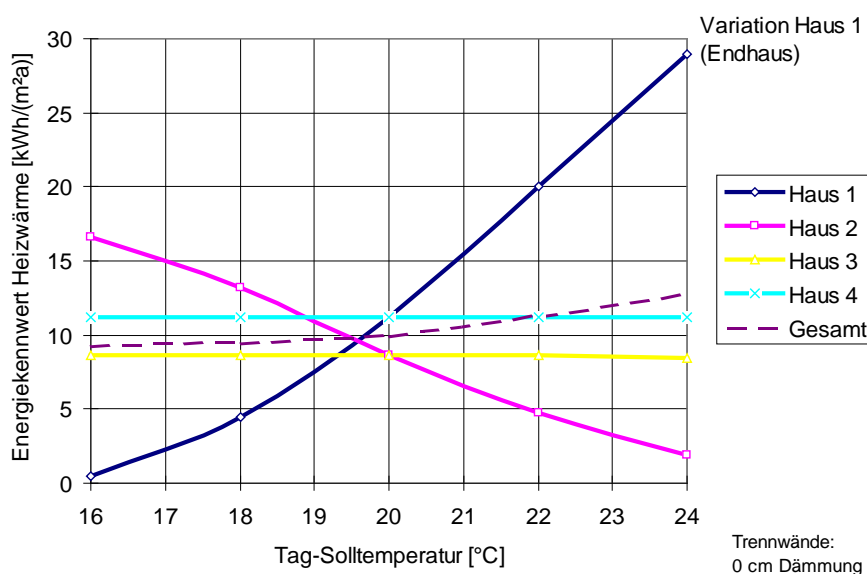
**Abb. 53: Veränderung des Heizwärmebedarfs aufgrund der Lage im Gebäude und der Anzahl der Flächen gegen Außenluft [Hacke, Born 2011]**



Bei Neubauten oder energetisch modernisierten Gebäuden liegt aufgrund der gedämmten Gebäudehülle der Wärmestrom nach außen u.U. deutlich unter dem Wärmestrom zwischen den Wohneinheiten, wenn die mittleren Raumtemperaturen der Wohnungen unterschiedlich hoch sind. [Knissel, Loga 1997] haben für eine Reihenhauseinheit von 4 Gebäuden im Passivhaus-Standard die Auswirkungen von differierenden Raumtemperaturen in den Wohnungen untersucht.

Wird im Endhaus die Raumtemperatur von 20 °C auf 18 °C abgesenkt, so reduziert sich der Heizwärmebedarf von 11,2 auf 4,6 kWh/(m²a). Gleichzeitig steigt der Heizwärmebedarf des Nachbarhauses von 8,6 auf 12,9 kWh/(m²a). Bei einer weiteren Absenkung der Raumtemperatur im Endhaus auf 16 °C fällt in diesem fast kein Heizwärmebedarf mehr an (0,6 kWh/(m²a)), im Nachbarhaus steigt er dagegen auf 16,3 kWh/(m²a). Wird im Endhaus die Raumtemperatur auf 22 °C erhöht und das Nachbarhaus besitzt 20 °C, so steigt der Heizenergiebedarf im Endhaus von 11,2 auf 19,8 kWh/(m²a), im Nachbarhaus sinkt er dagegen von 8,6 auf 4,9 kWh/(m²a).

**Abb. 54: Einfluss auf den Heizwärmebedarf von vier Wohneinheiten bei Variation der Soll-Temperatur für das Endhaus (oben) und das Mittelhaus (unten) [Knissel, Loga 1997]**



Werden die Raumtemperaturen aller Wohneinheiten gleichmäßig erhöht oder verändert, so ergibt sich die in Abb. 53 bereits gezeigte Abhängigkeit von 1,3 kWh/m²a/K. Wird nur im Endhaus (Haus 1) die Temperatur verändert, so muss ein Großteil der Heizwärmeeinsparung des abgesenkten

Gebäudes durch das Nachbarhaus aufgebracht werden. In der Folge sinkt der Kennwert für die gesamte Reihe kaum (siehe Abb. 54 oben, gestrichelte Linie), es ist jedoch ein nichtlinearer Zusammenhang vorhanden. Bei einer Erhöhung der Raumsolltemperatur im Mittelhaus (Haus 2) gegenüber den Nachbarn steigt der Energiebedarf auf das 2,5-fache. Bei einer Absenkung der Raumtemperatur auf 18 °C fällt in diesem praktisch kein Heizwärmebedarf mehr an. Die Auswirkungen auf den Gesamtenergiebedarf der Reihe sind bei einem einzelnen Gebäude mit erhöhter Temperatur gering, unabhängig von der Lage (Endhaus/Mittelhaus). Werden die Trennwände zwischen den Häusern mit 6 cm Wärmedämmung versehen, so halbieren sich etwa die Auswirkungen auf das Gebäude mit erhöhter Temperatur.

Die hohen Wärmeströme zwischen den Wohnungen haben auch Konsequenzen für die Dimensionierung der Heizungsanlage.

Die Ergebnisse sind grundsätzlich von Reihenhäusern auf Mehrfamilienhäuser übertragbar, jedoch sind dort die Abhängigkeiten durch die höhere Anzahl an Nachbarwohnungen komplexer. Aufgrund der größeren Wärmeübertragungsfläche sind die Wärmeströme über die Geschossdecken von höherer Bedeutung als von den Nachbarwohnungen [Osterhage et al. 2016].

### 2.2.3 Lüftungsverhalten

Das Öffnen von Fenstern beeinflusst abhängig von Lüftungszeit, Öffnungsstellung und Heizstrategie den zusätzlichen Wärmeverlust des Gebäudes [Knissel, Loga 1997].

In [Knissel, Loga 1997] wurde der Einfluss des Lüftungsverhaltens auf den Heizwärmebedarf eines Reihemittelhauses im Passivhaus-Standard untersucht. Dabei wurde unterstellt, dass eine Balkontür in ihrer Öffnungsstellung variiert. In Abb. 55 oben ist dargestellt, wie sich der Heizwärmebedarf ändert, wenn die Balkontür eine Stunde am Tag gekippt ist (+1,9 kWh/(m<sup>2</sup>a)), 8 Stunden in der Nacht gekippt wird (+9 kWh/(m<sup>2</sup>a), Nachtlüfter im Schlafzimmer), die Tür 16 Stunden tagsüber gekippt wird (+26,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)) und wenn sie 24 Stunden am Tag gekippt wird (+36,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)). Dabei wurde eine Nachtabsenkung auf 15 °C unterstellt.

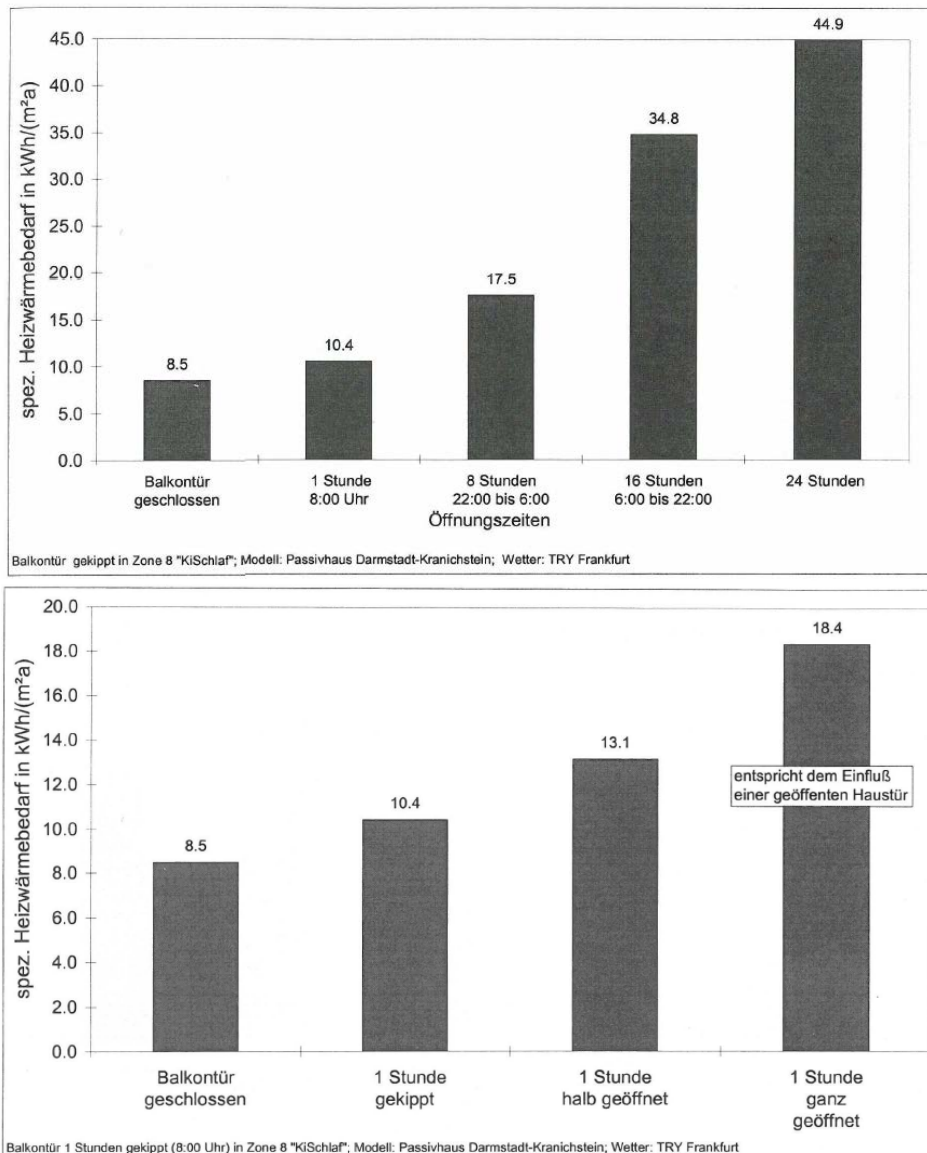
Für das gleiche Gebäude wurde eine Variation der Öffnungsstellung der Balkontür betrachtet. Wird die Balkontür halb geöffnet, so erhöht sich der Heizwärmebedarf um +4,6 kWh/(m<sup>2</sup>a), wird die Tür eine Stunde ganz geöffnet, erhöht er sich um +9,9 kWh/(m<sup>2</sup>a) (siehe Abb. 55 unten).

In Abb. 56 sind der Heizwärmebedarf und die maximale spezifische Heizlast des Reihemittelhauses bei einer ständig gekippten Balkontür abhängig von der maximalen zur Verfügung stehenden Heizlast (begrenzt/unbegrenzt) sowie dem Vorhandensein einer Nachtabsenkung/-abschaltung dargestellt. Ist die Heizlast begrenzt, so steigt der Heizwärmebedarf des Gebäudes um +19,9 kWh/(m<sup>2</sup>a) an. Ist die maximale Heizlast unbegrenzt, so liegt sie 36,4 kWh/(m<sup>2</sup>a) über der Basisvariante mit geschlossenem Fenster. Wird bei unbegrenzter Heizlast an Stelle der bisher angesetzten Nachtabsenkung auf minimal 15 °C eine Nachtabschaltung durchgeführt, so liegt der Mehrverbrauch gegenüber dem geschlossenen Fenster bei +34,9 kWh/(m<sup>2</sup>a). Betrachtet man die Auswirkungen des Kippens der Balkontür auf die Heizlast (helle Säulen), so verändert dies sich bei begrenzter Heizlast nur wenig (+0,2 W/m<sup>2</sup>). Bei unbegrenzter Heizlast erreicht diese 46,7 W/m<sup>2</sup> und steigt bei Nachtabschaltung bis auf 53,8 W/m<sup>2</sup> an.

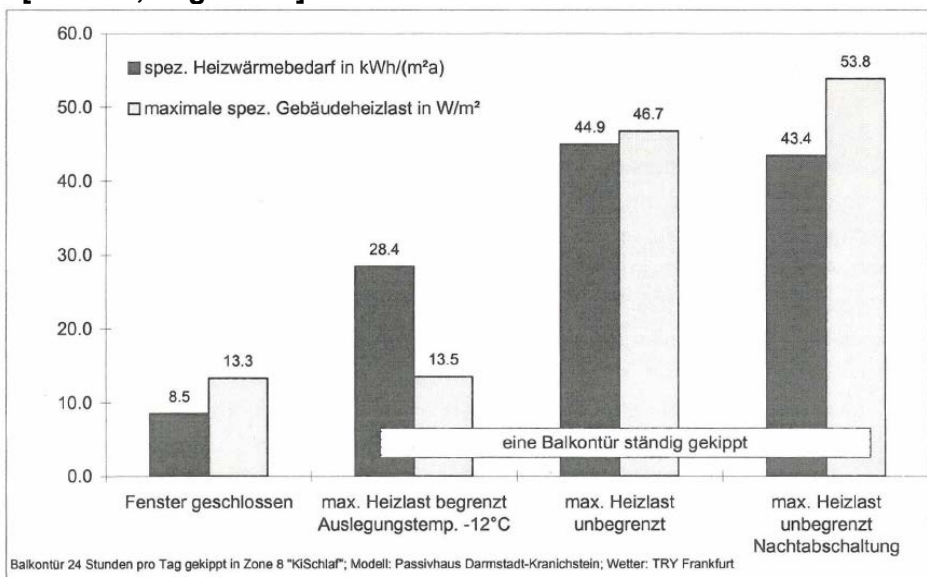
Als Fazit ist in [Knissel, Loga 1997] festgehalten, dass das Kippen eines Fensters für eine Stunde am Tag zu einem Anstieg des Heizwärmebedarfs um 2 kWh/(m<sup>2</sup>a) führt und somit ein gelegentliches kurzzeitiges Kippen oder Öffnen des Fensters auch im Passivhaus tolerierbar ist.

In [Ebel et al. 2003] wird auf Basis von Messungen in einer Passivhaus-Zeile ein Modell für den Luftaustausch über geöffnete Fenster erstellt. Dabei zeigt sich, dass der resultierende Luftwechsel nicht nur von Fensteröffnungsdauer, Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, Windgeschwindigkeit, Luftdichtheit des Gebäudes und Strömungswiderstand im Gebäude abhängt, sondern auch von Fenstergeometrie, Profil der Fensterfalz, Abstand zwischen Fensterflügel und Fensterlaibung sowie dem Neigungswinkel beim Kippen des Fensters.

**Abb. 55: Spezifischer Heizwärmebedarf bei unterschiedlich lang gekippter Balkontür [Knissel, Loga 1997] (oben); spezifischer Heizwärmebedarf bei unterschiedlichen Öffnungsstellungen [Knissel, Loga 1997] (unten)**



**Abb. 56: Einfluss unterschiedlicher Heizstrategien, wenn eine Balkontür dauerhaft gekippt ist [Knissel, Loga 1997]**



**Abb. 57:** oben: Einfluss der Fenstergröße auf den Heizwärmebedarf der Passivhäuser in [Ebel et al. 2003]; unten: berechneter Heizwärmebedarf bei den in [Ebel et al. 2003] gemessenen Fensteröffnungszeiten

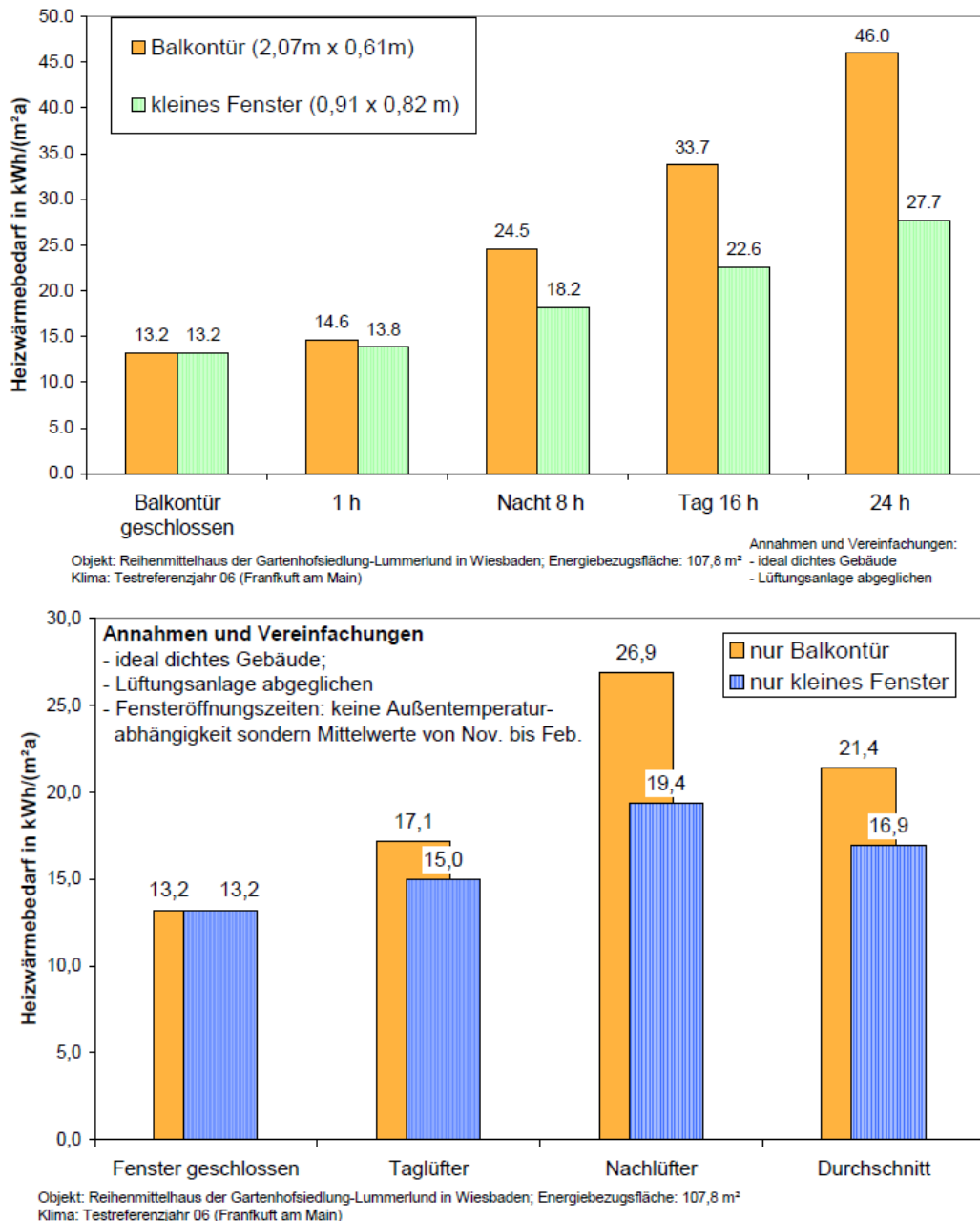
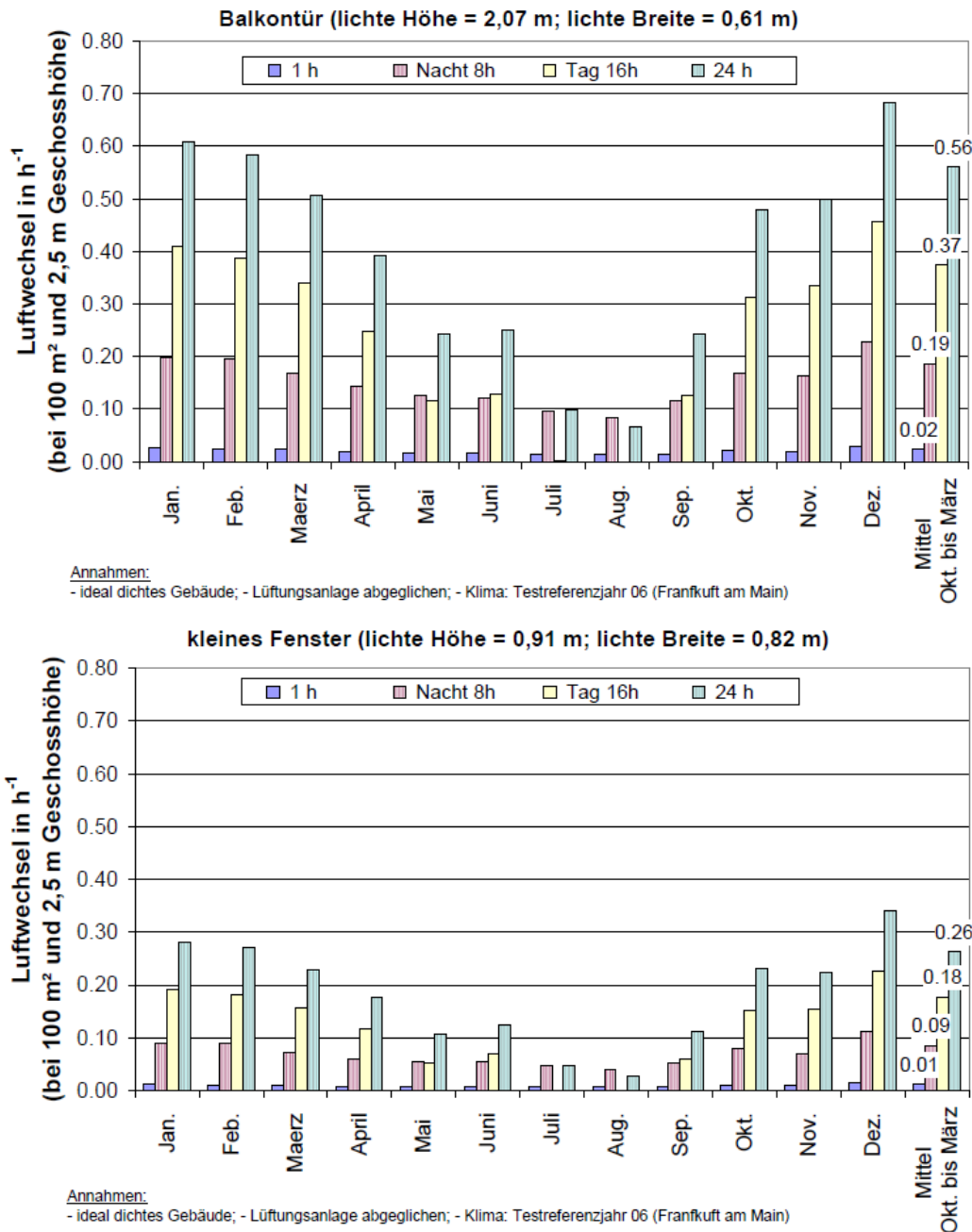


Abb. 57 oben zeigt für zwei unterschiedlich große Fenster die Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf eines Reihemittelhauses im Passivhaus-Standard. Insbesondere bei längerer Lüftung, z. B. in der Nacht, ergeben sich nennenswerte Unterschiede. Ein über 8 h in der Nacht gekipptes Fenster führt zu einem Mehrbedarf gegenüber dem geschlossenen Fenster von 5 kWh/(m²a), wird eine Balkontür gleich lang gekippt, erhöht sich der Heizwärmebedarf um 11,3 kWh/(m²a).

In Abb. 57 unten ist für die gemessenen Nutzergruppen Taglüfter (Weniglüfter) und Nachtlüfter (Viellüfter) der Mehrbedarf bei der Heizwärme in Abhängigkeit von der Fenstergröße dargestellt. Für die Taglüfter erhöht sich der Bedarfswert ohne Fensteröffnung um 2,8 kWh/(m²a), wenn ein kleines Fenster gekippt wurde und um 3,9 kWh/(m²a), wenn eine Balkontür gekippt wurde. Für die Nachtlüfter steigt der Heizwärmebedarf um 6,2 kWh/(m²a) bei einem kleinen Fenster und um 13,7 kWh/(m²a) bei einer gekippten Balkontür. Der zusätzliche Fensterluftwechsel im Jahresverlauf für ein großes (oben) und ein kleines (rechts) gekipptes Fenster sind in Abb. 58 zu sehen. Die großen Auswirkungen auf den zusätzlichen Luftwechsel sind deutlich zu erkennen. Im Winter steigt der Luftwechsel bedingt durch den größeren thermischen Antrieb deutlich stärker als im Sommer.

**Abb. 58: Zusätzlicher Luftwechsel durch ein großes (oben) bzw. ein kleines (unten) gekipptes Fenster bezogen auf ein Luftvolumen von 250 m<sup>3</sup> [Ebel et al. 2003]**



Betrachtet man an Stelle des Fensteröffnungsverhaltens den sich ergebenden Luftwechsel im Gebäude, so kommen [Richter et al. 2003] zum Ergebnis, dass bei Fensterlüftung und Abluftanlagen unabhängig vom energetischen Standard sich der Heizwärmebedarf um ca. 8 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf die Nutzfläche nach EnEV bezogen erhöht, wenn der Luftwechsel um 0,1 1/h erhöht wird. Beim Passivhaus mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung hängt die energetische Auswirkung davon ab, ob die Erhöhung des Luftwechsels über die Anlage erfolgt, dann steigt der Heizwärmebedarf nur um 0,8 kWh/(m<sup>2</sup>a), oder über zusätzliche Fensterlüftung, dann steigt der Heizwärmebedarf mit 7,6 kWh/(m<sup>2</sup>a) fast in der gleichen Größenordnung wie bei anderen energetischen Standards.

In [Oschatz, Richter 2004] werden die Auswirkungen zusätzlich für ein Reihenhaus und ein 12-Familienhaus untersucht (Tab. 15). Beim Reihenhaus liegen die Auswirkungen einer Erhöhung des Luftwechsels um 0,1 1/h bei ca. 7 kWh/(m<sup>2</sup>a), beim Reihenhaus leicht darunter. Bei einem Passivhaus hängt die Auswirkung eines erhöhten Luftaustauschs davon ab, ob über die Fenster gelüftet



wird (ca. + 5 kWh/(m<sup>2</sup>a)) oder über die Anlage (ca. + 0,5 kWh/(m<sup>2</sup>a)). Grundsätzlich sinkt der Einfluss des veränderten Luftwechsels leicht mit besser werdendem energetischem Standard.

[Richter et al. 2003] weisen im Zusammenhang mit dem Luftwechsel – aber auch bei der Raumtemperatur und weiteren Nutzerparametern – darauf hin, dass die relative Darstellung der Ergebnisse nur eine eingeschränkte Aussagekraft besitzt. Aufgrund des niedrigen absoluten Heizwärmebedarfs bei hocheffizienten Gebäuden führen geringe Verbrauchserhöhungen zu hohen prozentualen Veränderungen.

**Tab. 15: Änderung des Heizwärmeharfs bei einem um 0,1 1/h angehobenen Luftwechsel in Abhängigkeit des Wärmeschutzniveaus für ein Reihenhaus und ein 12-Familienhaus [Oschatz, Richter 2004]**

	Reihenhaus		Mehrfamilienhaus	
	absolut [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	relativ [%]	absolut [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	relativ [%]
Altbau bis 1978, unsaniert	+ 7,7	+ 2,7	+ 7,1	+ 3,1
WschV 1977	+ 7,5	+ 4,8	+ 6,9	+ 5,0
WschV 1985	+ 7,4	+ 5,9	+ 6,8	+ 6,0
WschV 1995	+ 7,1	+ 8,3	+ 6,5	+ 9,4
Niedrigenergiehaus	+ 6,9	+ 11,2	+ 6,3	+ 11,1
Top-Niedrigenergiehaus	+ 6,7	+ 15,7	+ 6,1	+ 15,8
Passivhaus zus. Fensterlüftung	+ 4,9	+ 37,9	+ 5,4	+ 37,0
zus. Anlagen-LW	+ 0,6	+ 4,3	+ 0,5	+ 3,6

Die Stoßlüftung mit einer Luftwechselrate von  $n = 6$  1/h für eine halbe Stunde wurde von [Bier 2002] für ein Einfamilienhaus im Passivhaus-Standard mit TRNSYS simuliert. Werden in 3 Schlafräumen die Fenster in der beschriebenen Weise jeden Tag geöffnet, so erhöht sich der Heizwärmebedarf um 2,6 kWh/(m<sup>2</sup>a).

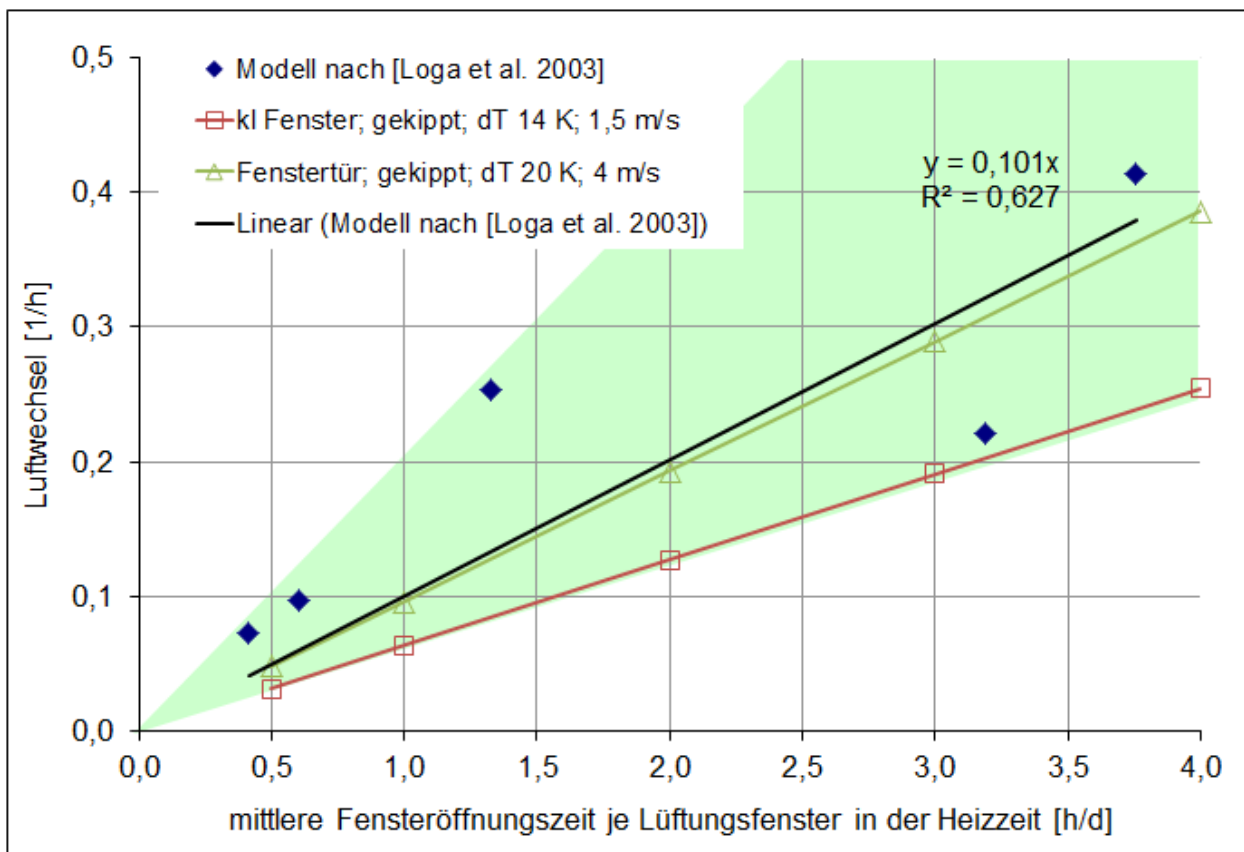
[Klesse 2012] variierte das Lüftungsverhalten für das Einfamilienhaus nach EnEV2009 für sparsames, mittleres und hohes Lüften. Gegenüber einem Referenzfall kann durch sparsames Kipplüften der Nutzwärmebedarf um 12 % verringert werden, durch intensives Nachtlüften um 32 % erhöht werden. Bei sparsamem Lüftungsverhalten ergab sich kaum ein Unterschied zwischen Stoß- und Kipplüftung, bei hohem Luftwechsel führt Kipplüftung zu 9,5 % Mehrverbrauch. Die Bedeutung der Fensterstellung nimmt somit bei höheren Luftwechselzahlen deutlich zu. Insgesamt liegt die Spanne zwischen sparsamem und hohem Luftwechsel bei 38,4 %. Mittleres Lüftungsverhalten war bei den Berechnungen mit einem verhaltensabhängigen Luftwechsel von 0,433 1/h verbunden, sparsames Lüftungsverhalten mit 0,183 1/h und hohes Lüftungsverhalten mit einem verhaltensabhängigen Luftwechsel von 0,783 1/h.

[Bier 2002] untersuchte die Auswirkungen unterschiedlicher Übertemperaturakzeptanz der Bewohner an sonnigen Wintertagen für ein Gebäude leichter und schwerer Bauart. Dabei wurde untersucht wie sich der Heizwärmebedarf ändert, wenn Raumtemperaturen bis 23 °C, 24 °C oder 25 °C im Vergleich zu einer Raumtemperatur von 22 °C akzeptiert werden. Im leichten Gebäude sinkt der Heizwärmebedarf gegenüber dem Vergleichsfall zwischen 1,2 % und 3,4 % bei einem milden Außenklima und zwischen 2,6 % und 4,2 % bei einem kühleren Außenklima. Im schweren Gebäude liegen die Auswirkungen bei maximal 1,1 % beim kalten Klima.

## Zusammenhang zwischen Fensteröffnungsdauer und Luftwechsel

Der Gesamtluftwechsel in Gebäuden ist nicht bekannt, es konnten auch keine Studien gefunden werden, in denen dieser in einem bewohnten Gebäude unter realen Bedingungen gemessen wurde. Bei Gebäuden mit Lüftungsanlagen kann der Anlagenluftwechsel messtechnisch erfasst werden, die Auswirkungen von Fensteröffnung sind unabhängig von der Belüftung bisher nur über Rechenmodelle ermittelt. Vergleichsweise einfach ist die Fensteröffnungsdauer zu messen. Der daraus resultierende Luftwechsel hängt jedoch ab von der Öffnungsstellung des Fenster (gekippt, teilweise, ganz offen) und damit der Öffnungsfläche, der Anzahl der offenen Fenster, der Lage der offenen Fenster im Gebäude (gleiche Seite, unterschiedliche Höhe), der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, der Windgeschwindigkeit und der Windanströmung sowie von der Stellung der Innentüren, der Nutzung von Vorhängen und Rollläden oder dem Vorhandensein von Heizkörpern [Kah et al. 2010]. Für einzelne definierte Randbedingungen wurde der sich daraus ergebende Luftwechsel mit Hilfe von Tracergas-Messungen untersucht. In [Loga et al. 2003] wurde auf Basis von Messergebnissen aus vier Untersuchungen ein vereinfachtes Modell mit einem linearen Zusammenhang zwischen Fensteröffnungsdauer und Fensterluftwechsel erstellt. In [Kah et al. 2010] wurden Messergebnisse aus einer Wohneinheit mit einem Berechnungsmodell verglichen, das in das PHPP integriert ist [Schnieders 2003]. In Abb. 59 sind beide Ansätze für ein Reihenmittelhaus überlagert dargestellt.

**Abb. 59: Vergleich des Luftaustauschmodells nach [Loga et al. 2003] mit dem Modell nach [Schnieders 2003] für ein Reihenmittelhaus mit 103 m<sup>3</sup>**



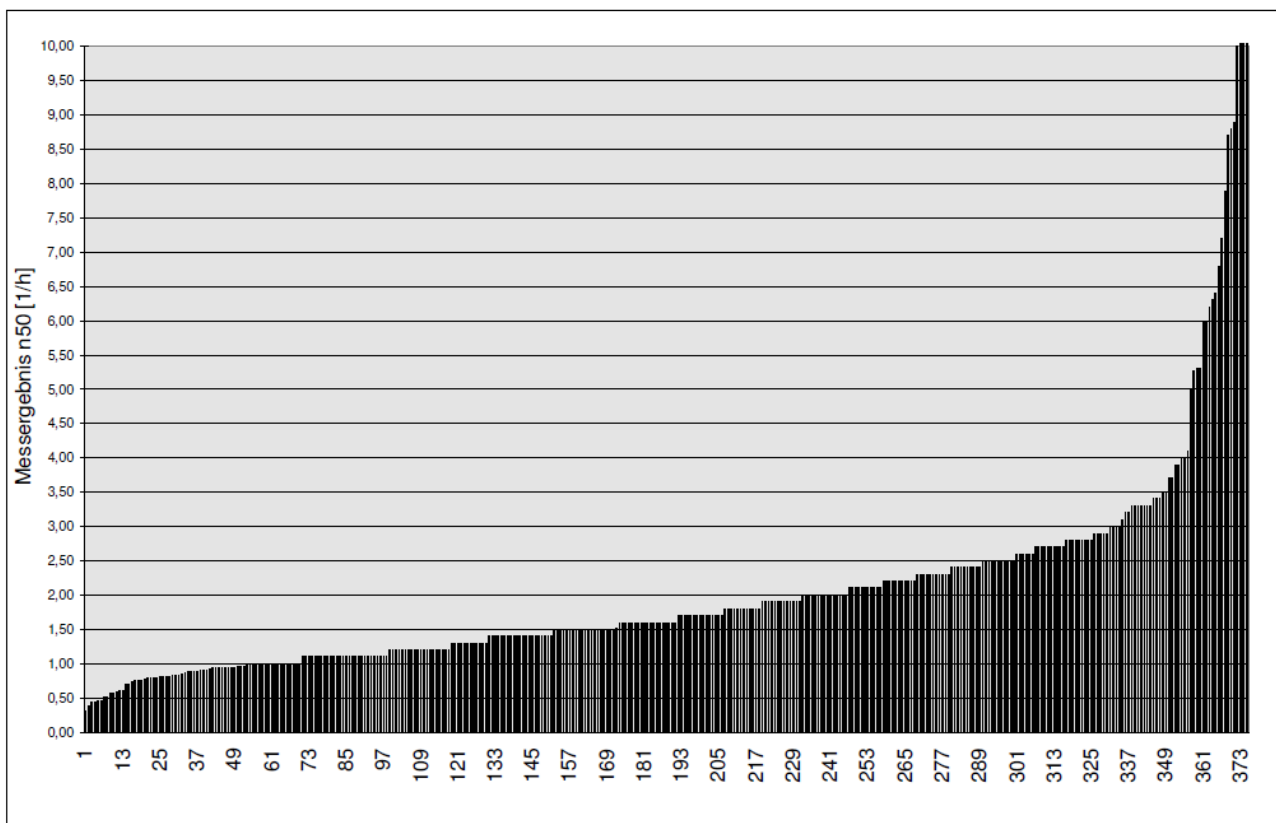
Es zeigt sich, dass die Spanne zwischen den verschiedenen Messpunkten in [Loga et al. 2003] hoch ist und die Ergebnisse aus dem PHPP-Modell im unteren Bereich der Schwankungsbreite des vereinfachten Modells liegen. Aus diesem Grund wird für die weitere Berechnung in dieser Untersuchung das vereinfachte Modell verwendet.

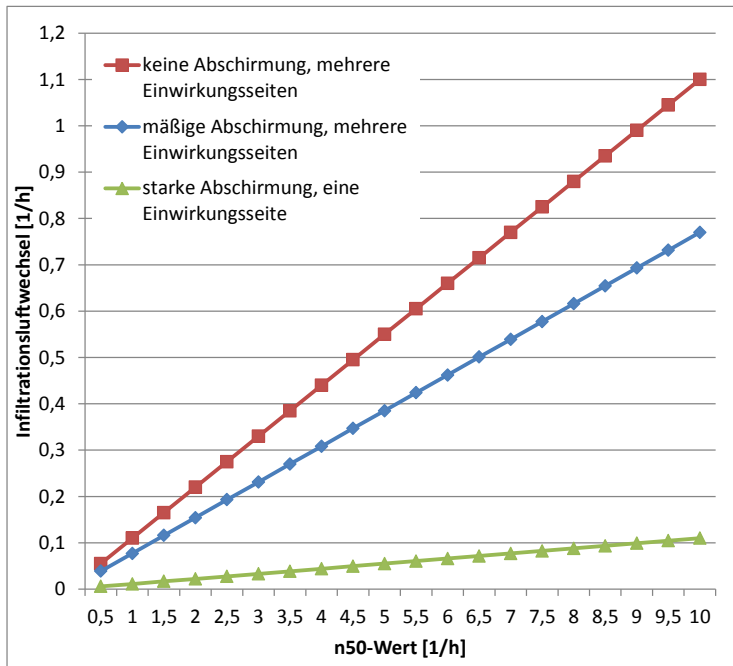
## Zusätzlicher Einfluss der Gebäudedichtheit auf den Luftwechsel

Der Luftaustausch im Gebäude wird nicht nur das Öffnen von Fenstern und Türen und den Anlagenluftwechsel, sondern auch durch den Infiltrationsluftwechsel bestimmt. Dieser ist nicht unmittelbar durch den Nutzer beeinflussbar, sondern hängt im Wesentlichen ab von der Luftdichtheit der Gebäudehülle (n50-Wert) sowie der Windanströmung des Gebäudes. Abb. 60 zeigt beispielhaft Drucktest-Messergebnisse von ca. 380 Gebäuden ohne Lüftungsanlage. Der Mittelwert liegt bei ca.  $2,3 \text{ h}^{-1}$ , die Spanne zwischen niedrigen und hohen Werten (Mittelwert +/- Standardabweichung) zwischen  $1,3$  und  $2,7 \text{ h}^{-1}$ . Ausreißer liegen jedoch deutlich über  $10 \text{ h}^{-1}$ . In Abb. 61 ist der Infiltrationsluftwechsel für ein Beispielgebäude (MFH) bei unterschiedlicher Abschirmung des Gebäudes und unterschiedlicher Anzahl von Einwirkseiten des Windes dargestellt. Bei luftdichten Gebäuden ergeben sich Infiltrationsluftwechsel unter  $0,1 \text{ h}^{-1}$ , bei undichten Altbauten liegt der Volumenstrom durch Infiltration bei geringer Abschirmung über  $0,3 \text{ h}^{-1}$ .

Beachtet werden muss jedoch der Umstand, dass vermutlich das Fensteröffnungsverhalten selbst von der Dichtheit des Gebäudes mitbestimmt wird: Das Bedürfnis die Fenster im Winter zu öffnen, wird in undichten Gebäude sicherlich bei den Witterungslagen deutlich zurückgehen, in denen Wind oder Thermik zu einem Luftaustausch in der Höhe des hygienisch notwendigen Luftwechsels führen.

**Abb. 60: Gemessene n50-Werte von Gebäuden ohne Lüftungsanlage, Stand 2004 [Trauernicht 2017]**



**Abb. 61: Zusammenhang zwischen  $n_{50}$ -Wert und Infiltrationsluftwechsel für ein Beispielgebäude (Berechnungsgrundlage: [PHPP Version 2009])**

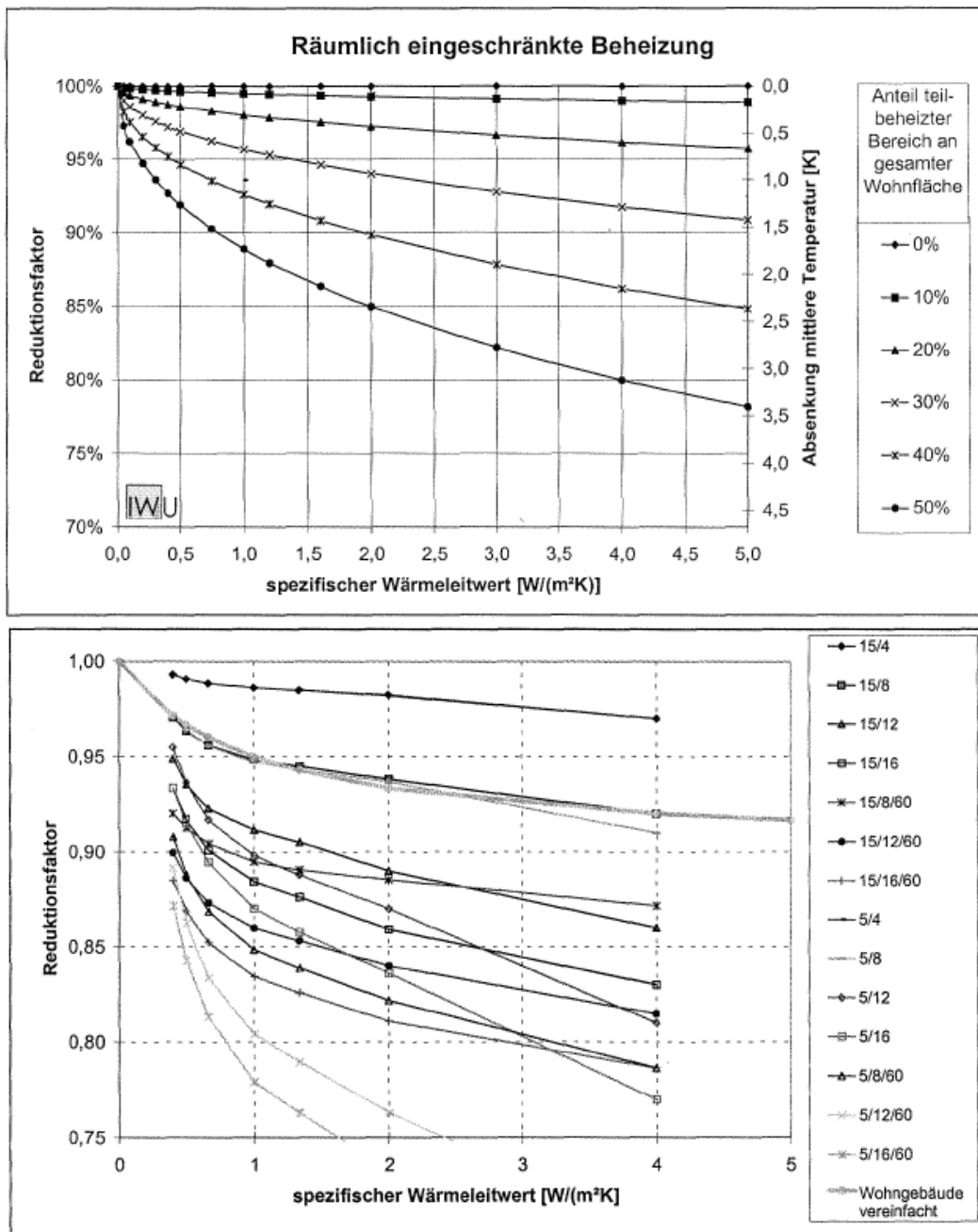
## 2.2.4 Teilbeheizung

In einer Wohneinheit werden abhängig von der Größe der Wohnung nicht immer alle Räume gleichzeitig und durchgehend beheizt. Die Teilbeheizung beeinflusst aber die mittlere Raumtemperatur im Gebäude und damit die Wärmeverluste über die Gebäudehülle und die Lüftung. Dabei spielt die energetische Qualität des Gebäudes bzw. das Auskühlverhalten des Baukörpers eine wichtige Rolle.

„Die Wirkung der räumlich eingeschränkten Beheizung hängt von der thermischen Kopplung zwischen der beheizten und unbeheizten Zone ab, sowie zwischen der unbeheizten Zone und der Umgebung.“ [Loga et al. 1999] Die thermische Kopplung wird durch die U-Werte und Größe der Trennflächen zwischen beheiztem und unbeheiztem Bereich sowie durch den Luftaustausch bestimmt.

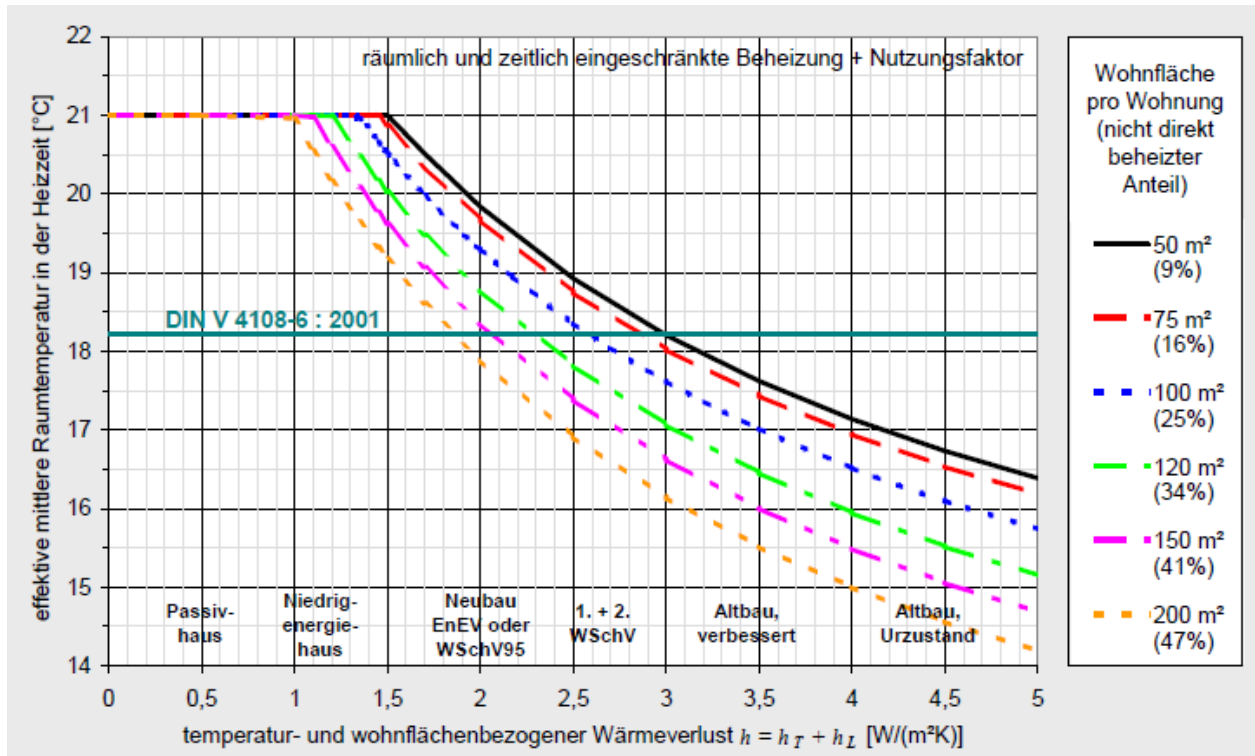
[Loga et al. 1999] entwickelten einen Korrekturfaktor für statische Energiebilanzverfahren. Die räumliche Teilbeheizung wird durch den flächenspezifischen Wärmeverlust sowie den Anteil der teilbeheizten Wohnfläche bestimmt, wobei nur für Wohneinheiten über 80 m<sup>2</sup> eine Korrektur durchgeführt wird. Durch die Teilbeheizung sinkt die mittlere Raumtemperatur des Gebäudes (Abb. 62 oben). Die zeitliche Teilbeheizung wird durch die spezifische Wärmespeicherfähigkeit und dem spezifischen Wärmeverlust des Gebäudes sowie der Absenkezeit bestimmt (Abb. 62 unten).

**Abb. 62:** Korrekturfaktor  $f_{re}$  in Abhängigkeit vom spezifischen Wärmeleitwert für verschiedene Stufen der Teilbeheizung (oben), Korrekturfaktor  $f_{ze}$  für Nacht- und Wochenendabsenkung in Abhängigkeit vom Wärmeleitwert für verschiedene Absenkenzeiten (unten) [Loga et al. 1999]



Fasst man beide Faktoren zusammen und berücksichtigt, dass Messdaten aus Niedrigenergie- und Passivhäusern zeigen, dass die Raumtemperatur im Bereich von 21 °C liegt (siehe auch Kapitel 2.3), so ergibt sich der in Abb. 63 dargestellte Verlauf für die mittlere Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Wohnungsgröße.

**Abb. 63: Effektive mittlere Raumtemperatur – Auswirkung der Nachtabsenkung, der räumlichen Teilbeheizung und des Nutzungsfaktors [Loga et al. 2003]**

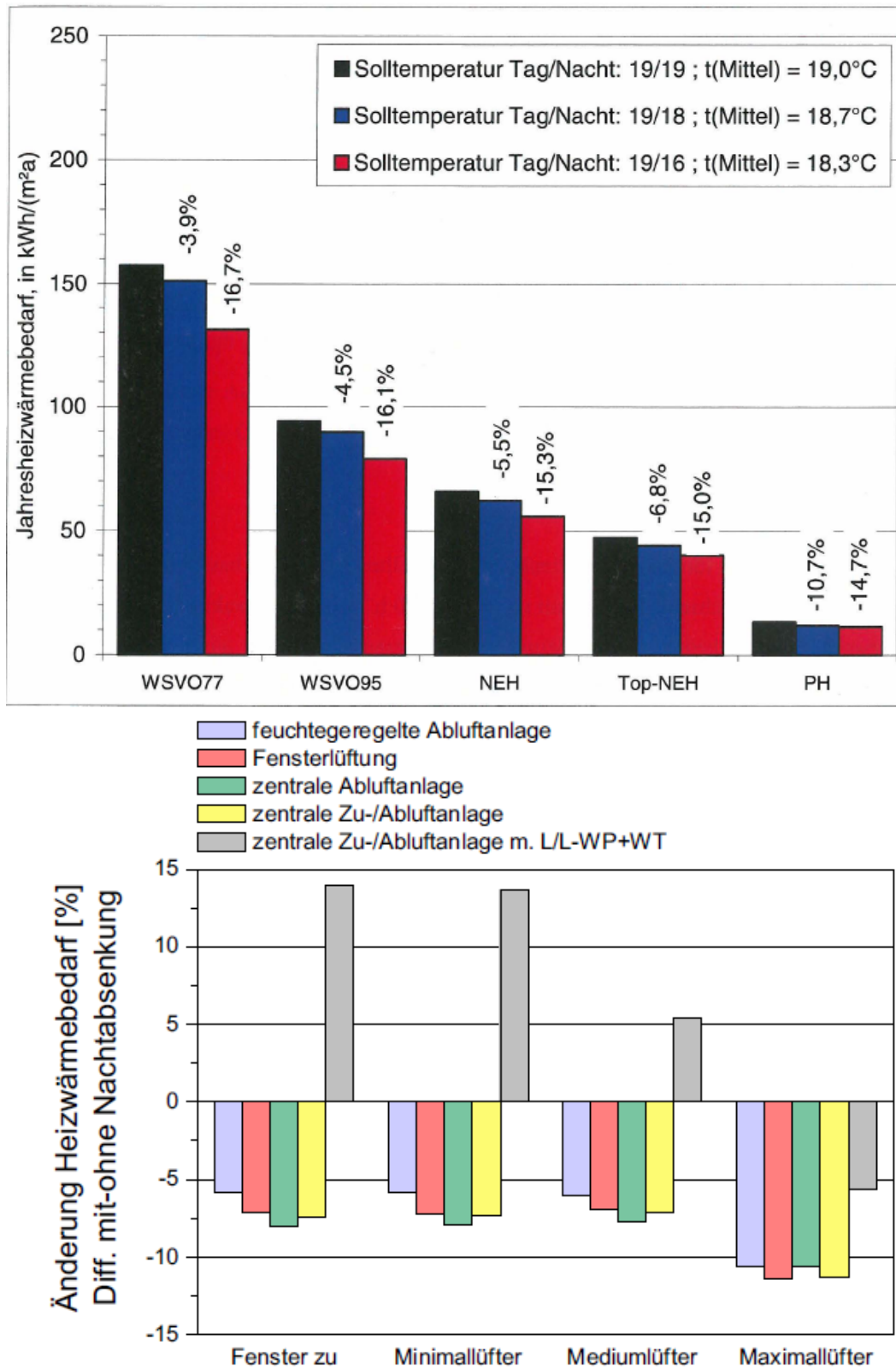


Der Einfluss der räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung wird auch in [DIN V 18599 2016, S.15] bei der Bilanzierung von Gebäuden berücksichtigt, allerdings unterscheidet sich die Bestimmung der Korrekturfaktoren von den oben beschriebenen Verfahren. Hierzu liegen aber keine Auswertungen zum exemplarischen Einfluss auf die mittlere Raumtemperatur bzw. die Energiebilanz des Gebäudes vor.

Bei [Klesse 2012] ergab sich bei einem Verzicht auf die Nachtabsenkung ein Mehrverbrauch von 4 % für ein Einfamilienhaus nach EnEV 2009.

[Richter et al. 2003] haben ebenfalls untersucht, wie sich eine Nachtabsenkung bei unterschiedlichem energetischem Standard auf den Heizwärmebedarf auswirkt. Ausgehend von einer Solltemperatur im Gebäude von 19 °C zeigte sich, dass das Wärmeschutzniveau einen deutlichen Einfluss auf die Reduktion des Jahresheizwärmebedarfs bei einer Nachtabsenkung über 8 h besitzt. Eine Absenkung der Solltemperatur um 3 Kelvin führte beim Gebäude nach WSchV77 zu einer Reduktion um 26,2 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei Jahresheizwärmebedarf, beim Passivhaus um 2,0 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Abb. 64). Neben der Reduzierung der Transmissionswärmeverluste spielt beim Passivhaus auch das nicht Erreichen der Absenkttemperatur eine Rolle. Umgekehrt kommen die Autoren zum Schluss, dass durch eine sinnvoll praktizierte Teilbeheizung der Mehrbedarf an Heizwärme gegenüber Passivhäusern reduziert werden kann.

**Abb. 64:** Flächenspezifischer Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit von Solltemperatur [Richter et al. 2003] (oben); relative Änderung des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit vom Anlagensystem und vom Fensterlüftungsverhalten bei Nachtabsenkung [Oppermann 2003] (unten)



„NEH“ = Niedrigenergiehaus / „PH“ = Passivhaus

Durch die Abschaltung der Heizung während eines einwöchigen Skiurlaubs ergaben sich bei [Richter et al. 2003] je nach energetischem Standard Einsparungen zwischen 2,4 und 3,1 %. Die Nachtabschaltung führte beim verbesserten Niedrigenergiehaus („Top-NEH“) zu einer Einsparung von 2,8 % und beim WschV77 von 9,3 %. Außerdem wurde eine Tag- und Wochenendabschaltung untersucht, die zu Einsparungen von bis zu 42 % führt, die jedoch eher bei Büronutzung genutzt werden kann.

Bei einer Nachtabsenkung auf 17 °C ergibt sich bei [Oppermann 2003] bei einer zentralen Abluftanlage die höchste relative Einsparung bei der Heizwärme, bei einer feuchtegeregelten Abluftanlage unabhängig von Lüftungsverhalten der Bewohner die geringste Einsparung (Abb. 64 unten). Der Unterschied zwischen den Systemen ist jedoch nicht besonders groß. Wird die Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung mit einer Luft-/Luft-Wärmepumpe kombiniert, so steigt bei einer Nachtabsenkung sogar der Heizwärmebedarf, da das System nicht in der Lage ist, ohne Einsatz des Zusatzwärmeerzeugers die Raumsolltemperatur zu erreichen. Erst bei sehr viel Fensterlüftung wird auch eine Einsparung erzielt.

[Bier 2002] hat für ein Passivhaus in leichter und massiver Bauweise die Auswirkungen einer Nachtabsenkung auf maximal 15 °C untersucht. Abhängig vom lokalen Klima lag die Einsparungen zwischen 3 % und 7 %, wobei jeweils mit doppelter Heizleistung gerechnet wurde. Allerdings traten bei der leichten Bauweise auch Stunden unter der Solltemperatur auf, so dass ein Teil der Einsparung auf die reduzierte Temperatur in der Nutzungszeit zurückzuführen ist. Generell werden die Einsparmöglichkeiten durch Nachabsenkung als gering eingestuft.

### 2.2.5 Verschmutzung und Verschattung von Fenstern

In [Knissel, Loga 1997] wurde für Passivhäuser der Einfluss einer innenliegenden Verschattung durch Gardinen untersucht. Dabei wurde die Transmission durch die Verschattung zwischen 0 % und 100 % variiert. Es zeigte sich, dass je nach Transmission und Reflektion der innenliegenden Verschattung der Heizwärmebedarf um +0,6 bis -0,4 kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. +7 % bis -5 % variiert. Bei den prozentualen Angaben muss beachtet werden, dass die Modellrechnungen für ein Mittelhaus des Passivhauses Darmstadt-Kranichstein durchgeführt wurden, das mit 8,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) einen extrem niedrigen Heizwärmebedarf besitzt, so dass Schwankungen im Bereich einer halben Kilowattstunde prozentual bereits nennenswerte Variationen ergeben.

Die Verschmutzung der Fenster reduziert den Strahlungsdurchgang durch die Scheiben. In der DIN V 18599 ist für Wohngebäude ein Abminderungsfaktor  $F_V$  für Verschmutzung von 1 (keine Verschmutzung) im Berechnungsverfahren berücksichtigt. In [Knissel, Loga 1997] wurde der Einfluss der Fensterverschmutzung für ein Passivhaus untersucht. Es handelt sich hiermit um einen indirekten Nutzereinfluss, der nicht sofort mit Energieeinsparung verbunden ist. Als Basisvariante wurde eine Verschmutzung von 5 % angesetzt, die auch im Passivhaus Projektierung-Paket berücksichtigt ist. Es ergab sich eine Schwankungsbreite von -0,5 (keinerlei Verschmutzung) bis +2,3 kWh/(m<sup>2</sup>a) (30 % Verschmutzung). Da die Verschmutzung vor allem auf der Außenseite des Fensters auftritt, sind die Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf größer als bei einer innenliegenden Verschattung.

Für den Nutzereinfluss auf die solaren Wärmegewinne im Gebäude durch Verschattung und Verschmutzung der Fenster gibt [Richter et al. 2003] in Tab. 16 je nach energetischem Standard für eine Reduktion des Abminderungsfaktors um -0,1 eine Erhöhung des Heizwärmebedarf zwischen 0,8 (Passivhaus) und 1,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) (WschV77) an. Somit sind die Auswirkungen zwischen den energetischen Standards gering. Gleichzeitig führt erst die Kombination von stark verschmutzten Fenstern mit einer außenliegenden Verschattung (hoher Abminderungsfaktor gegenüber dem Standardwert von ca. 0,7) zu einer deutlichen Erhöhung des Heizwärmebedarfs bei energieeffizienten Gebäuden.



**Tab. 16: Auswirkungen des Wärmeschutzniveau auf den Heizwärmebedarf bei gesenkten solaren Wärmegegewinnen [Richter et al. 2003]**

Wärmeschutzniveau	Heizwärmemehrbedarf bei Abminderungsfaktor – 0,1	
	absolut	relativ
WSVO 1977	≈ + 1,5 kWh/m <sup>2</sup> a	≈ + 1,0 %
WSVO 1995	≈ + 1,4 kWh/m <sup>2</sup> a	≈ + 1,5 %
Niedrigenergiehaus	≈ + 1,3 kWh/m <sup>2</sup> a	≈ + 1,5 %
Top-Niedrigenergiehaus	≈ + 1,2 kWh/m <sup>2</sup> a	≈ + 2,5 %
Passivhaus	≈ + 0,8 kWh/m <sup>2</sup> a	≈ + 5,8 %

[Klesse 2012] berechnete für ein Einfamilienhaus nach EnEV2009 eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs um 960 kWh/a bzw. 8 %, wenn ab einer Beleuchtungsstärke von 2000 lx eine außenliegende Verschattung genutzt wird. Gleichzeitig reduziert sich der Kühlbedarf im Sommer um 618 kWh/a.

### 2.2.6 Innere Wärmequellen

Als innere Wärmequellen stehen zur Deckung des Heizwärmebedarfs vor allem die Abwärme aus der Nutzung elektrischer Energie, dem Warmwasser sowie der anwesenden Personen zur Verfügung.

#### Elektroenergie

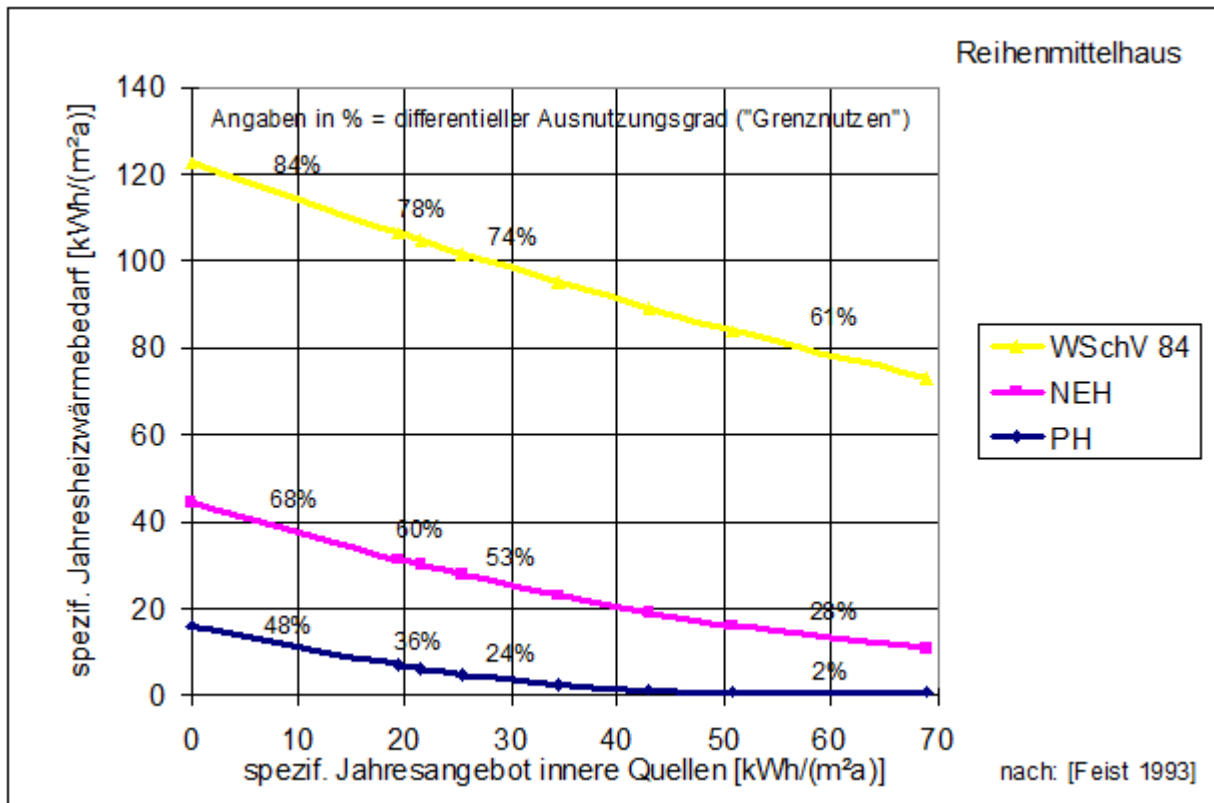
Der Energiebedarf für Haushaltsstrom ist im Wesentlichen durch die Geräteausstattung, die Energieeffizienz der Geräte, die Nutzungszeit sowie die Anzahl der Personen im Haushalt abhängig. In [Knissel, Loga 1997] wird für einen Haushalt mit mindestens 2 Personen und maximal 5 Personen eine Streubreite des Haushaltsstromverbrauchs ohne Kochen zwischen 6,5 und 12,1 kWh/(m<sup>2</sup>a) angegeben. Durch die Variation der Nutzungsintensität ergab sich bei 3 Personen eine Schwankung zwischen 5,5, und 11,1 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die Auswirkungen dieses variierenden Haushaltsstromverbrauchs auf den Heizwärmebedarf werden im nächsten Abschnitt dargestellt.

Bei [Klesse 2012] ergab sich für ein Einfamilienhaus als EnEV2009-Gebäude, dass eine sparsame Beleuchtung zu keiner Änderung und das Vermeiden von Standby zu einem um 3 % höheren Nutzwärmebedarf führen.

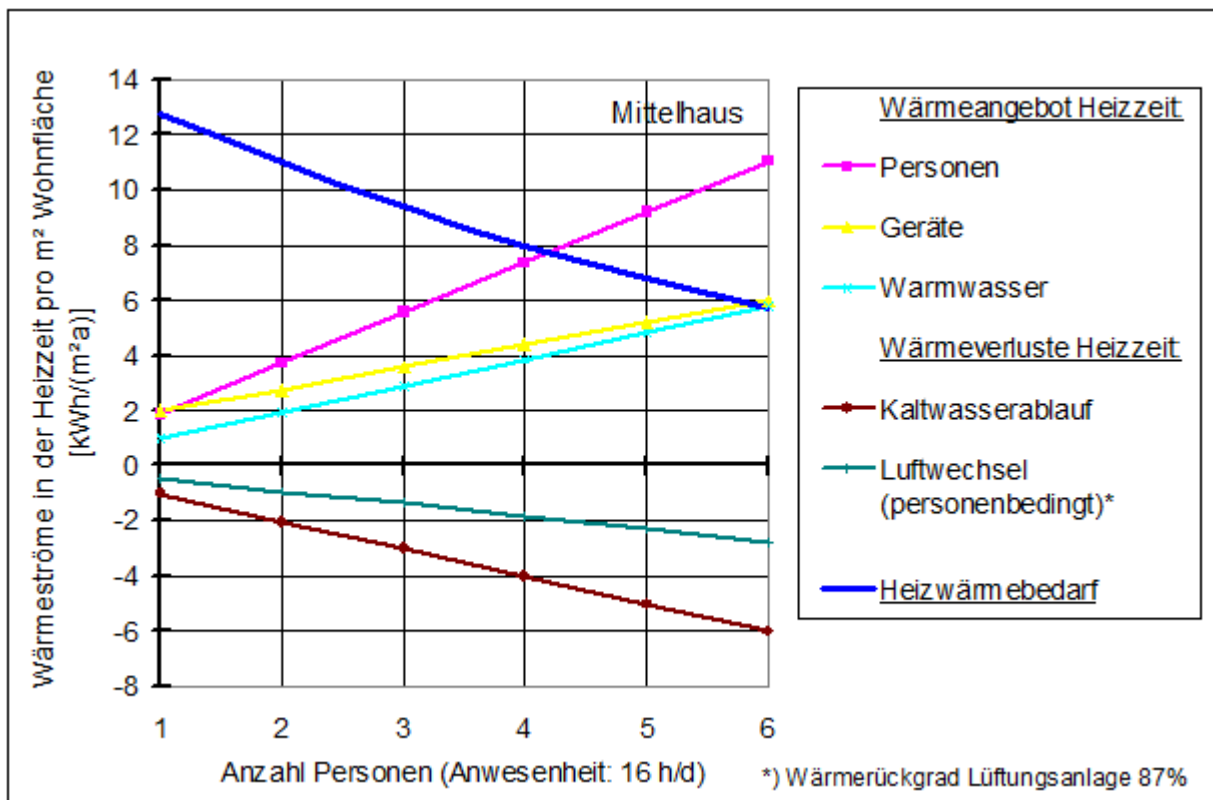
#### Innere Wärmequellen

Die Höhe des nutzbaren Anteils ist von dem Verhältnis aus Wärmeangebot und Wärmeverlusten abhängig [Knissel, Loga 1997]. Je höher die Verluste und je höher die inneren Wärmequellen, desto mehr kann von den inneren Wärmequellen genutzt werden. Abb. 65 zeigt diesen Zusammenhang für drei unterschiedliche energetische Standards. Bei einem Jahresangebot von 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) können in einem Passivhaus 7,2 kWh/(m<sup>2</sup>a) genutzt werden, im Niedrigenergiehaus sind es 15,9 kWh/(m<sup>2</sup>a) und bei einem Gebäude nach WSchV84 22,2 kWh/(m<sup>2</sup>a). Somit sind die Auswirkungen eines höheren (oder niedrigeren) Angebots an inneren Wärmequellen auf den Heizwärmebedarf je nach energetischem Standard sehr verschieden. Umgekehrt führt eine Verringerung der inneren Wärmegegewinne zu einem höheren Heizwärmebedarf.

**Abb. 65: Einfluss des Jahresangebots an inneren Wärmequellen auf den Jahresheizwärmebedarf bei drei verschiedenen energetischen Wärmeschutzstandards [Knissel, Loga 1997]**



**Abb. 66: Von der Bewohneranzahl abhängige Anteile vom Wärmeangebot und Wärmeverlust sowie resultierende Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs eines Passivhauses [Knissel, Loga 1997]**



Die Anzahl der Bewohner wirkt sich über die Körperabwärme, die Nutzung elektrischer Geräte aber auch über den erforderlichen hygienischen Luftwechsel sowie zusätzlichem Kaltwasserverbrauch aus (Wärmebedarf durch die Erwärmung des Wassers im Gebäude bis zur Zapfung). Die Einflüsse kompensieren sich teilweise, so dass sich für ein Passivhaus die Abhängigkeit aus Abb. 66 ergibt. Je zusätzlichem Bewohner sinkt der Heizwärmebedarf um ca. 1,4 kWh/(m<sup>2</sup>a) ([Knissel, Loga 1997]).

In [Richter et al. 2003] wurde eine Veränderung der inneren Wärmegewinne im Bereich von 3 W/m<sup>2</sup> bis 8 W/m<sup>2</sup> untersucht. Außer beim Passivhaus sind die Auswirkungen veränderter innerer Wärmequellen kaum vom Gebäudestandard abhängig und liegen im Bereich eines Mehrverbrauchs von +5 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei einer Reduktion der inneren Wärmequellen um -1 W/m<sup>2</sup> (Tab. 17). Beim Passivhaus sinkt der Ausnutzungsgrad innerer Wärmequellen, aber der Heizwärmebedarf steigt nur um 2 bis 3 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei einer Absenkung der inneren Quellen um 1 W/m<sup>2</sup>.

**Tab. 17: Auswirkungen des Wärmeschutzniveaus auf den Heizwärmebedarf bei verminderten inneren Wärmegewinnen [Richter et al. 2003]**

Wärmeschutzniveau	Heizwärmemehrbedarf bei - 1 W/m <sup>2</sup>	
	absolut	Relativ
WSVO 1977	≈ + 5,6 kWh/m <sup>2</sup> a	≈ + 4 %
WSVO 1995	≈ + 5,4 kWh/m <sup>2</sup> a	≈ + 6...7 %
Niedrigenergiehaus	≈ + 5,1 kWh/m <sup>2</sup> a	≈ + 8...10 %
Top-Niedrigenergiehaus	≈ + 4,6 kWh/m <sup>2</sup> a	≈ + 10...13 %
Passivhaus	≈ + 2...3 kWh/m <sup>2</sup> a	≈ + 46..188 %

Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die inneren Wärmequellen nur bedingt vom Nutzer aktiv beeinflusst werden können [Richter et al. 2003], vielmehr ergeben sie sich durch die Personenanwesenheit und den Haushaltsstromverbrauch.

Eine Verschiebung der Anwesenheit der Bewohner um 1 Stunde (früher oder später) führte bei [Klesse 2012] zu einer vernachlässigbaren Veränderung des Nutzenergiebedarfs.

### 2.2.7 Weitere Einflussgrößen auf den Heizwärmebedarf

Eine weitere Einflussgröße des Nutzers, die besonders bei Altbauten eine Rolle spielen kann, ist die Veränderung des U-Wertes der Außenwände durch Möbel, Einbauten oder Vorhänge. Diese verändern den Wärmeübergang vom Raum an die Außenluft durch zusätzliche, teilweise ruhende Luftschichten bzw. verändern sie den Strahlungsaustausch zwischen Raum- und Außenwandflächen. Genauerer Untersuchungen sind dazu nicht bekannt.

### 2.2.8 Warmwasserverbrauch

Der Warmwasserverbrauch wird in Wohngebäuden durch den Verbrauch pro Person sowie die Anzahl der Personen in der Wohnung bzw. dem Gebäude bestimmt. Bauseitige Vorkehrungen zur Begrenzung des Verbrauchs sind durch die Installation von Wasserspareinrichtungen an Zapfstellen möglich, die den Durchfluss begrenzen (siehe z. B. [Hasper 2015]). In allen gängigen Bilanzverfahren wird jedoch mit Standardannahmen für den Warmwasserbedarf gerechnet, die entweder auf die Gebäudenutzfläche oder die Anzahl der Personen im Gebäude bezogen sind (siehe Tab. 18). Allerdings schwankt die Personenbelegung pro Wohnfläche deutlich oder sie ist nicht bekannt.

Bei sinkendem Heizwärmebedarf steigt der relative Anteil des Warmwasserbedarfs und kann bei Mehrfamilienhäusern im Passivhaus-Standard die gleiche Größenordnung annehmen.

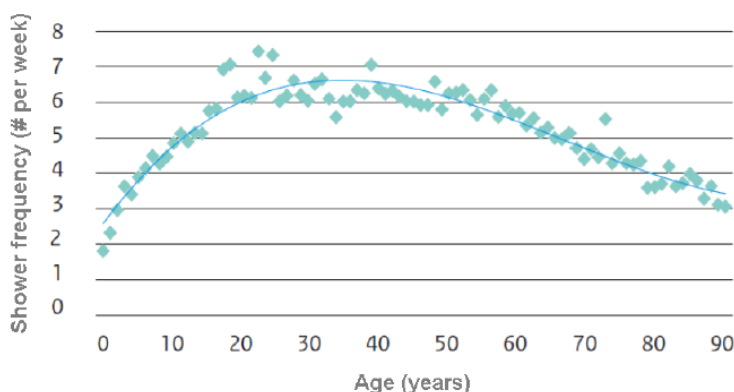
**Tab. 18: Planungsgrößen für den Warmwasserbedarf bzw. den Energieaufwand für die Warmwasserbereitung (eigene Darstellung nach [Großklos, Schaede 2016, S.119])**

	Planungswert flächenbezogen [kWh/(m <sup>2</sup> A <sub>N</sub> a)]	Planungswert personenbezogen [Liter/(Person d)]
EnEV nach DIN V 4701-10: 2003-08	12,5	ca. 22 - 26
EnEV nach DIN V 18599- 10:2011-12	EFH: 11 MFH: 15	EFH: 19 MFH: 26
Passivhaus Projektierungs- Paket (PHPP)	ca. 14	25
Leitfaden energiebewußte Ge- bäudeplanung [IWU 1999]	EFH: 17 MFH: 15	EFH: 34 MFH: 30
VDI 2067		niedrig: 10-20 mittel: 20-40 hoch: 40-80

Das Verfahren [DIN V 18599 2016] legt den Warmwasserbedarf in Abhängigkeit mittleren Wohnfläche je Wohneinheit zwischen 16,5 und 8,5 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) (> 160 m<sup>2</sup> WF) fest. Damit werden die früheren Ansätze sowohl für das EFH als auch das MFH nach unten korrigiert.

Der Warmwasserverbrauch ist von den individuellen Präferenzen der einzelnen Bewohner, ihren Lebensgewohnheiten und ihrer Anwesenheit im Gebäude abhängig. Exemplarisch soll hier eine Untersuchung aus den Niederlanden dargestellt werden, die die Häufigkeit erhoben hat, mit der die Bewohner je Woche geduscht haben (zitiert aus [Polinder et al. 2013]). Abb. 67 zeigt, dass vor allem junge und ältere Menschen weniger duschen, in der Altersklasse 20 bis 50 Jahre nahezu täglich geduscht wurde. Dies wirkt sich auf den Energiebedarf des Hauses aus.

**Abb. 67: Duschhäufigkeit pro Woche in Abhängigkeit des Alters der Bewohner in den Niederlanden [Polinder et al. 2013]**

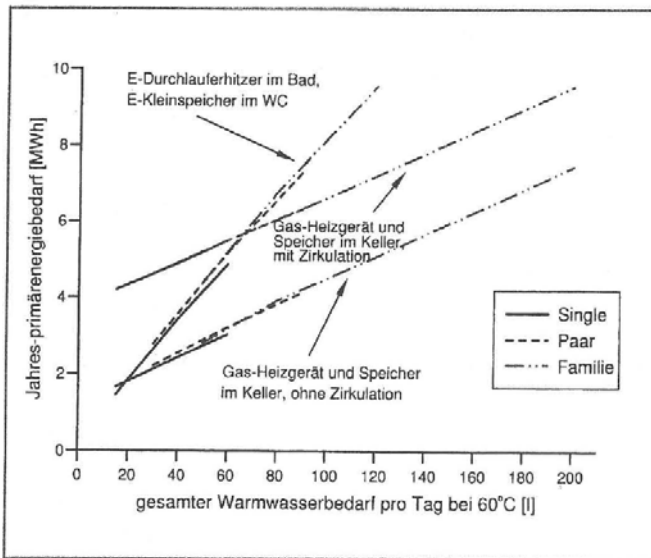


In [Felsmann, Schmidt 2013] wurde aus Daten von Messdienstleistern unabhängig von der Gebäudequalität ein mittlerer Energieaufwand für die Warmwasserbereitung von 26 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WFA</sub> a) in den abgerechneten Mehrfamilienhäusern angegeben.

[Klesse 2012] errechnete mit typischen Warmwasserverbräuchen aus der Literatur, dass zwischen minimalem und maximalem Warmwasserverbrauch der Nutzwärmebedarf um 31 % bei einem Einfamilienhaus nach EnEV2009 ansteigt (bzw. 3282 kWh).

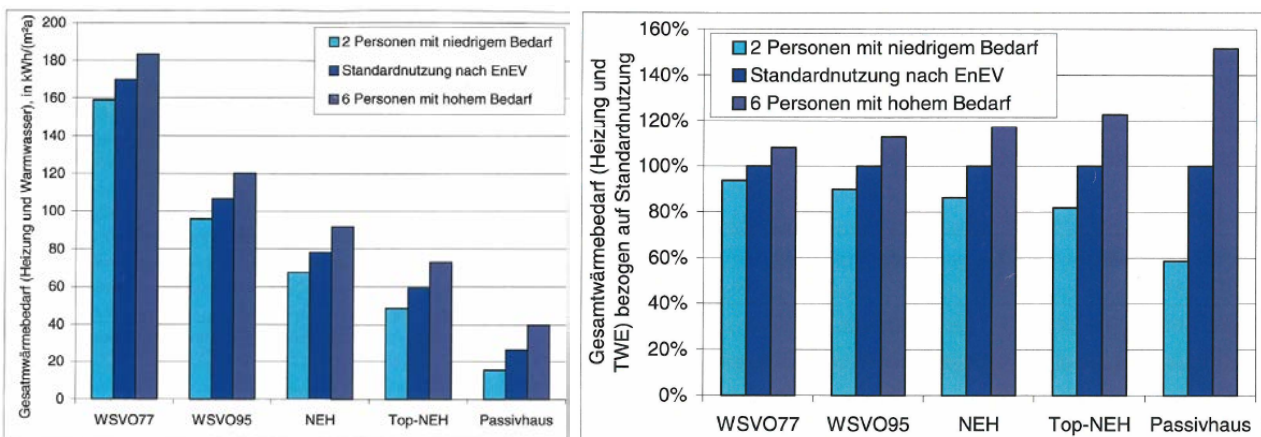
Den Primärenergiebedarf für die Warmwasserbereitung in Abhängigkeit der Haushaltsgröße wurde von [Lüdemann, Schmitz 2003] untersucht (Abb. 68). Es zeigt sich, dass für einen Single zwar eine ähnliche Spreizung in Abhängigkeit von Anlagentechnik (Energieträger, Zirkulation, Speicherung) ergibt, wie bei einem Paar oder einer Familie, die mögliche Schwankungsbreite unterscheidet sich jedoch durch die Anzahl der Personen.

**Abb. 68: Einfluss des Nutzerverhaltens (Zapfprofile) auf den Primärenergiebedarf [Lüdemann, Schmitz 2003]**



[Richter et al. 2003] berechneten neben einer Standardnutzung mit 4 Personen und gehobener Ausstattung (12,5 kWh/(m²a) auch den Warmwasserbedarf für eine Belegung des Einfamilienhauses mit 2 Personen und sparsamer Warmwassernutzung (1,6 kWh/(m²a) sowie eine Belegung mit 6 Personen und hohem personenbezogenem Warmwasserbedarf (26 kWh/(m²a)). Abb. 69 links zeigt für unterschiedliche energetische Standards, dass die Differenz zwischen geringem und hohem Bedarf über alle Ausführungen der Gebäudehülle gleich hoch ist (ca. 25 kWh/(m²a)). Das rechte Bild in Abb. 69 zeigt die relative Veränderung gegenüber der Standardnutzung. Diese fällt mit ca. 10 % beim Haus nach WSchV77 gering aus, beim Passivhaus liegt relativ der Faktor 3 zwischen niedrigem und hohem Bedarf.

**Abb. 69: Flächenspezifischer Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit von Gesamt-Nutzerverhalten und Wärmeschutzniveau (links) und relative Änderung des Gesamtwärmebedarfs des Gebäudes für Heizung und Trinkwarmwasser (rechts) [Richter et al. 2003]**



„NEH“ = Niedrigenergiehaus

Zur Frage des Einflusses des Zapfprofils auf den Wärmebedarf halten [Richter et al. 2003] fest, dass das Zapfprofil nur einen marginalen Einfluss besitzt, auch wenn man den anlagentechnischen Aufwand berücksichtigt. Nur für Anlagenkonzepte, bei denen sich der Anlagenverlust bzw. -aufwand mit dem Zapfprofil verändert, sind Auswirkungen möglich. Dies kann bei überwiegend solarer Warmwasserbereitung auftreten.

[Richter et al. 2003] weisen jedoch darauf hin, dass es eine Vielzahl von baulichen Randbedingungen bei der Warmwasserbereitung gibt (z. B. Länge und Dämmung der Leitungen), die nicht vom Nutzer beeinflusst werden und im Rahmen einer Untersuchung kaum umfassend abgebildet werden können.

### 2.2.9 Zusammenwirken unterschiedlicher Nutzereinflüsse

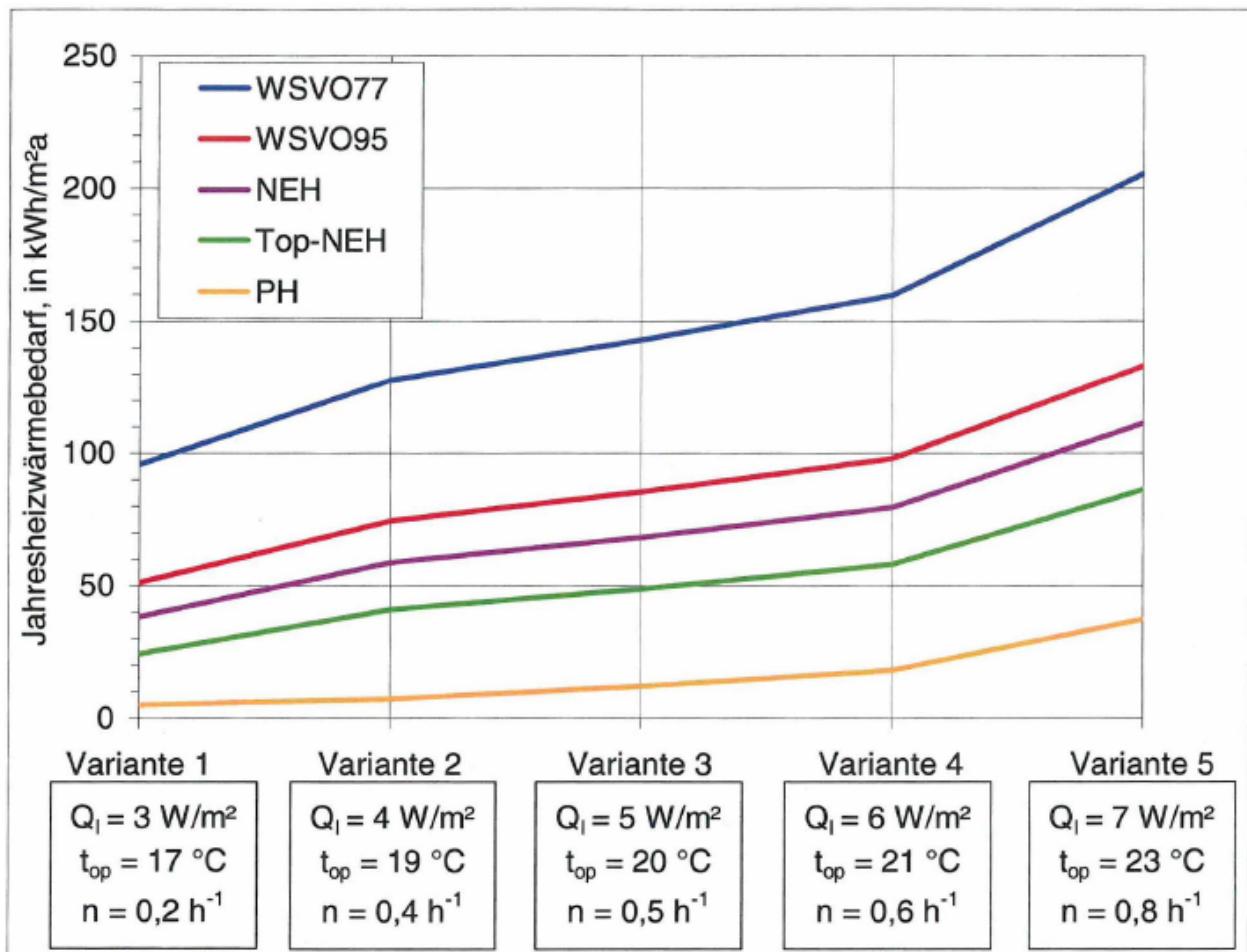
Bei den bisher dargestellten Einflussmöglichkeiten muss berücksichtigt werden, dass die unterschiedlichen Parameter wie z. B. Raumtemperatur und Teilbeheizung miteinander vernetzt sind. Unterschiedliche Abhängigkeiten sind von [Jagnow 2004] grafisch dargestellt worden (siehe Abb. 70).

**Abb. 70: Matrix der gegenseitigen Beeinflussung von Faktoren auf den Energieverbrauch eines Hauses [Jagnow 2004]**

Aktion	Reaktion																					
	Transmission, Lüftung	Fremdwärmenutzung	Innentemperatur	Teilbeheizung	Erzeugertyp, -leistung	Mindestvolumenstrom	Heizkurveneinstellung	Heizgrenztemperatur	Pumpenregelung	Netzvolumenstrom	Pumpendruckerhöhung	Netztyp, Druckverluste	Heizflächenbemessung	Bemessung THKV	Art und Einstellung THKV	P-Bereich	Ventilautorität	Wärmeübertragerkennwert	Regelstrecken Kennlinie	Hydraulischer Abgleich	Rücklauftemperaturen	
Transmission, Lüftung		+			○			+		+	○	○										+
Fremdwärme	+		+					○		○		○					○	○	○	○	○	+
Innentemperatur	+	○		○	○		○	+		○			+	○			○		+	○		○
Teilbeheizung	+	○	+		+		○	○		○	○	○	+					○			+	○
Erzeugertyp, -leistung	+			○		+	○			○	○		○									○
Mindestvolumenstrom	○						○		○	+	+		○	○	○						○	+
Heizkurveneinstellung	○	○	+	+			○			+			+	○	○	○		+	○	○	○	+
Heizgrenztemperatur	+	+	○				○															
Pumpenregelung	○	○	○	○		○	○			+	+			○	+	+	○		○	○	○	
Netzvolumenstrom	○			+	○	○	○				○	+		○	○	○	○		○	○	+	+
Pumpendruckerhöhung	○			○		○	○			+		○		+	+	○	+		○	+	○	○
Netztyp, -druckverluste									○	+	+			+	+	○	+		○	+		
Heizflächenbemessung	○	+	○	○	○		+			+	○	○		○	○			○	○			+
Bemessung THKV	○	+	○	+						○	○	○			+	+	+	○	+	+	○	
Art u. Einstellung THKV	○	+	○	+						○	○	○				+	+	○	+	+	○	
P-Bereich	○	+	○																			○
Ventilautorität	○	○	○	○						○	○					○				+	○	
Wärmeübertr.kennwert	○	○																		+		
Regelstrecken Kennlinie	+	+	+																			○
Hydraulischer Abgleich	○	○	○	+	○		+	○	+	+	+	+				○	+	○	○			+
Rücklauftemperaturen					○													+				
	+	Abhängigkeit vorhanden																				
	○	indirekte Abhängigkeit vorhanden																				
		keine/geringe Abhängigkeit vorhanden																				

Werden mehrere Größen gemeinsam variiert und die Nutzer bezüglich ihrer generellen Lebensgewohnheiten typisiert, so ergeben sich Kategorien wie „Energiesparer“, „mittlerer Nutzer“ oder „Verschwender“. In [Richter et al. 2003] wurden insgesamt 5 Nutzertypen bezüglich mittlerer Raumtemperatur, Luftwechsel sowie inneren Wärmequellen betrachtet. Abb. 71 zeigt für unterschiedliche energetische Gebäudestandards die Ergebnisse. Gegenüber mittlerem Verhalten (Variante 3) reduziert sich der Heizwärmebedarf bei einem sparsamen Haushalt (Variante 1) um ca. 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Niedrigenergiehaus und um 7 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Passivhaus. Bei Nutzerverhalten „Hoch“ (Variante 5) steigt der Heizwärmebedarf gegenüber mittlerem Verhalten um 43 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Niedrigenergiehaus und um 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Passivhaus.

**Abb. 71: Flächenspezifischer Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit von Gesamt-Nutzerverhalten und Wärmeschutzniveau [Richter et al. 2003]**

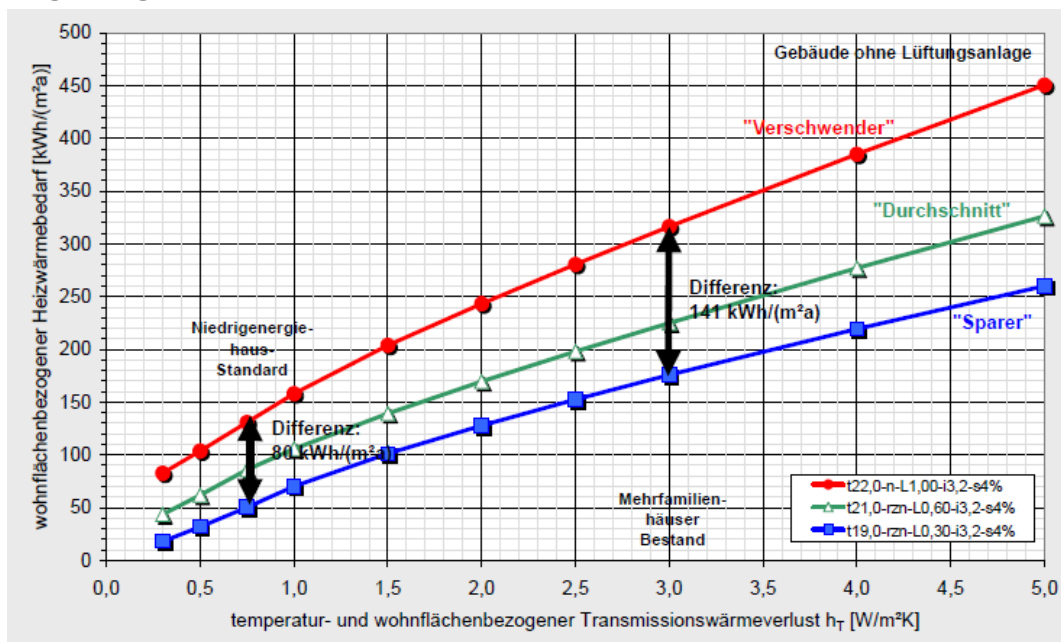


In [Loga et al. 2003] wurde für Mehrfamilienhäuser mit unterschiedlichem energetischen Standard die Bandbreite des Nutzereinflusses durch Wahl der Raumtemperatur, Teilbeheizung und Lüftungsverhalten für einen „durchschnittlichen“ Nutzer, einen „sparsamen“ Nutzer und einen „verschwendenden“ Nutzer untersucht. Ein „durchschnittlicher“ Nutzer wurde charakterisiert mit einer Raumsolltemperatur von 21 °C, räumliche und zeitliche Teilbeheizung, energetisch wirksamer Luftwechsel von 0,6 1/h (ohne Lüftungsanlage) bzw. 0,18 1/h (mit Lüftungsanlage) sowie inneren Wärmequellen von 3,2 W/m<sup>2</sup> und einer Solarapertur von 4 %. Beim Nutzertyp „Verschwender“ verändert sich die Raumsolltemperatur auf 22 °C, es findet keine Teilbeheizung statt und der energetisch wirksame Luftwechsel liegt bei 1,0 1/h (ohne) bzw. 0,58 1/h (mit Lüftungsanlage). Der „Sparer“ wurde charakterisiert durch 19 °C Raumsolltemperatur, räumliche und zeitliche Teilbeheizung sowie ein energetisch wirksamer Luftwechsel von 0,3 1/h (ohne) bzw. 0,18 1/h (mit Lüftungsanlage).

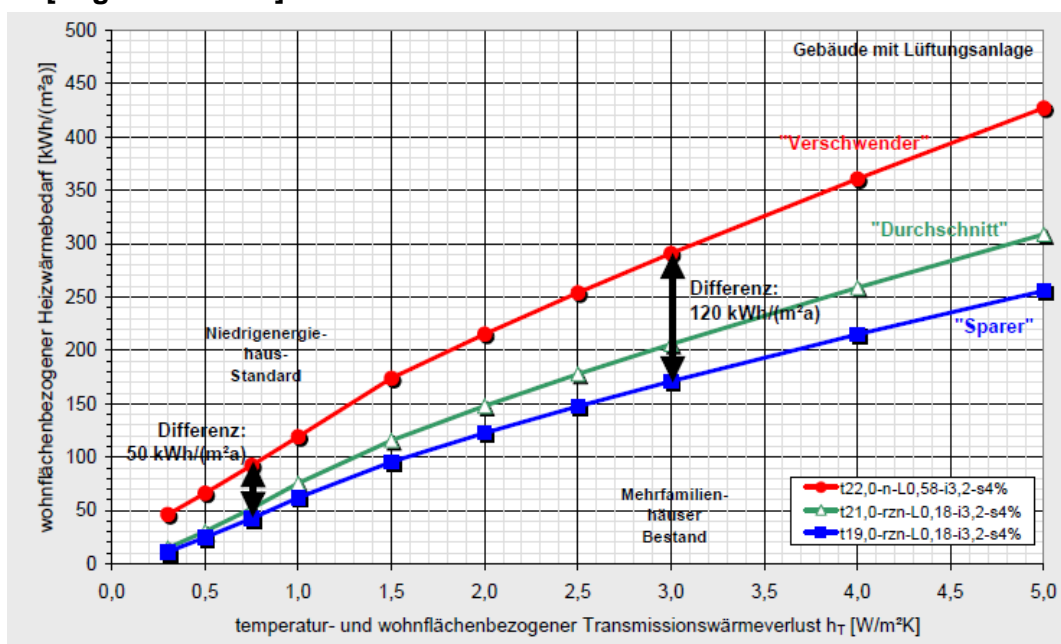
Abb. 72 zeigt den wohnflächenbezogenen Heizwärmebedarf für Mehrfamilienhäuser ohne Lüftungsanlage für die drei Nutzertypen und Abb. 73 die entsprechenden Kennwerte für Mehrfamili-

enhäuser mit Lüftungsanlage. Der Heizwärmebedarf steigt mit Verschlechterung des Wärmeschutzes (größeres  $h_T$ ) immer weiter an – anfangs linear, im Bereich von Bestandsgebäuden aufgrund des Einflusses der Teilbeheizung mit kleiner werdender Steigung. Dabei Verlaufen die Kurven für die drei Nutzertypen bei Gebäuden ohne Lüftungsanlage nahezu parallel, mit Lüftungsanlage fällt die Differenz zwischen „Sparer“ und „Verschwender“ deutlich kleiner aus und insbesondere der „Sparer“ kann bei gut gedämmten Gebäuden nur noch wenig Energie gegenüber dem „Durchschnitt“ einsparen. Ohne Lüftungsanlage ergibt sich für ein Mehrfamilienhaus im Bestand eine Spreizung zwischen „Sparer“ und „Verschwender“ von 141 kWh/(m<sup>2</sup>a), beim Niedrigenergiehaus von 80 kWh/(m<sup>2</sup>a). Mit Lüftungsanlage verringert sich die Spreizung durch das Nutzerverhalten auf 120 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Bestand und 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) beim Niedrigenergiehaus.

**Abb. 72: Vergleich von „Sparern“ und „Verschwendern“ in Gebäuden ohne Lüftungsanlage [Loga et al. 2003]**



**Abb. 73: Vergleich von „Sparern“ und „Verschwendern“ in Gebäuden mit Lüftungsanlage [Loga et al. 2003]**





[Felsmann, Schmidt 2013] haben die Häufigkeitsverteilung der Abweichung zwischen dem mittleren Verbrauch des Gebäudes und der individuellen Wohnungen im Vergleich zu den Daten von Messdienstleistern für unterschiedliche Gebäudeklassen durch Variation mit dynamischer Gebäudesimulation nachgebildet. Dabei wurden Raumtemperatur, Fensterluftwechsel und Warmwasserverbrauch variiert, der Anlagenverlust wurde mit 10 % konstant angesetzt. Tab. 19 zeigt die Raumtemperaturen und Fensterluftwechsel, die sich dabei ergaben. Es fällt auf, dass die Fensterluftwechsel teilweise unter dem hygienisch erforderlichen Luftwechsel liegen und auch die mittlere Raumtemperatur für Gebäude nach EnEV2009 liegt mit 20,1 °C im Bereich der Ansätze nach DIN V 18599.

**Tab. 19: Mittlere Nutzungsbedingungen zur Abbildung der gemessenen normierten Verbrauchsverteilung von Messdienstleistern (eigene Darstellung nach [Felsmann, Schmidt 2013])**

Baualterklasse	mittlere Raumlufttemperatur [°C]	mittlerer Fensterluftwechsel [1/h]
1950 – 1964	18,11	0,27
1978 - 1994	18,15	0,28
1995 - 2001	19,37	0,41
EnEV2002	19,96	0,44
EnEV2009	20,10	0,46

## 2.2.10 Heizwärmeerzeugung und -verteilung

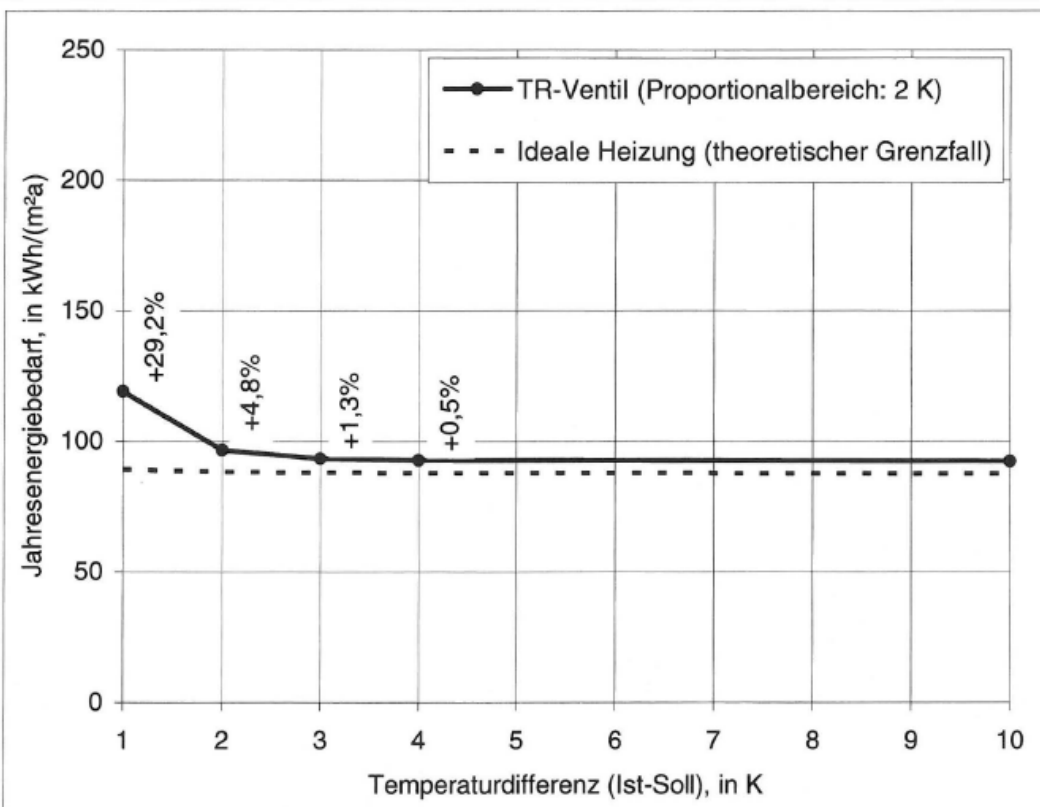
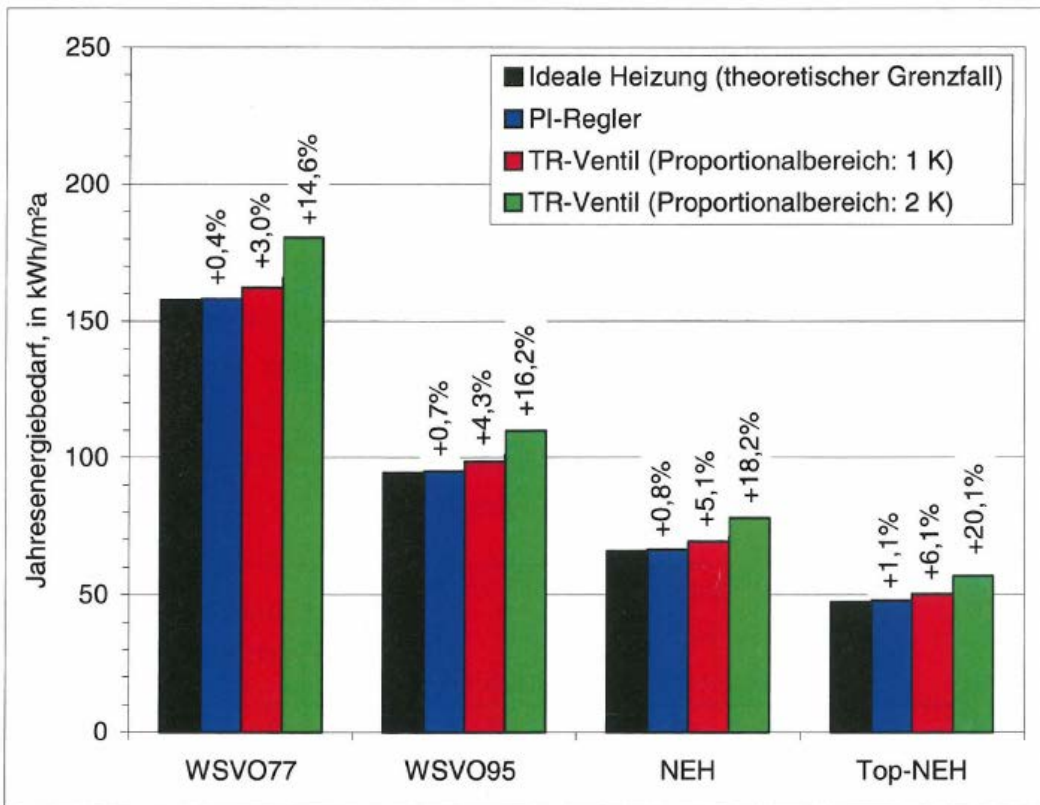
Die Einflussmöglichkeiten des Nutzers auf die Anlagentechnik sind je nach Anlagentechnik unterschiedlich und auch von der Art und Größe des Gebäudes abhängig. Während die Betriebsführung der Heizungsanlage sowie der Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus meist beim Nutzer selbst liegt und dieser Heizkurve, Warmwassertemperatur sowie Betriebszeit der Heizung (Sommerabschaltung) oder der Zirkulation bestimmen kann, ist bei Mehrfamilienhäusern die Einflussmöglichkeit durch den Nutzer begrenzt. Dort beschränkt sich der Nutzereinfluss vor allem auf die Einstellung der Raumtemperatur bzw. die Bedienung der Heizkörperthermostate sowie die Einstellung der Lüftungsanlage, wenn diese vorhanden ist.

### Wärmeübergabe

Der Nutzereinfluss auf die Heizenergie ist auch von der Regelgüte der Raumtemperatureinstellung abhängig. Diese Regelgüte unterscheidet sich zwischen idealem Regler (keine Regelabweichung), PI-Regler und Thermostatventil (P-Regler). Abb. 74 oben zeigt für ein Einfamilienhaus mit unterschiedlichem energetischen Niveau den Mehrverbrauch in Abhängigkeit vom Temperaturregler (aus [Richter et al. 2003]). Während ein PI-Regler nur zu einem geringem Mehrbedarf von 0,5 bis 0,7 kWh/(m<sup>2</sup>a) gegenüber einer idealen Regelung führt, erhöht sich der Jahresenergiebedarf durch ein Thermostatventil mit 2 K Proportionalbereich und ungünstigem Nutzerverhalten um 23 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei einem Gebäude nach WSCHV77 und um ca. 11 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei einem Niedrigenergiehaus. Bei mittlerem Nutzerverhalten in Verbindung mit einem Thermostatventil mit 1 K Proportionalbereich liegt der Mehrverbrauch gegenüber dem idealen Regler bei 5 kWh/(m<sup>2</sup>a) beim WSCHV77-Gebäude und 3 kWh/(m<sup>2</sup>a) beim verbesserten Niedrigenergiehaus (Top-NEH).

**Abb. 74: Flächenspezifischer Jahresenergiebedarf (Heizung+Übergabeverluste) in Abhängigkeit von Raumregler und Wärmeschutzniveau [Richter et al. 2003] (oben);**

**Flächenspezifischer Jahresenergiebedarf (Heizwärme+Übergabeverluste) unter Variation der Temperaturdifferenz für Ablüftvorgänge [Richter et al. 2003] (unten)**



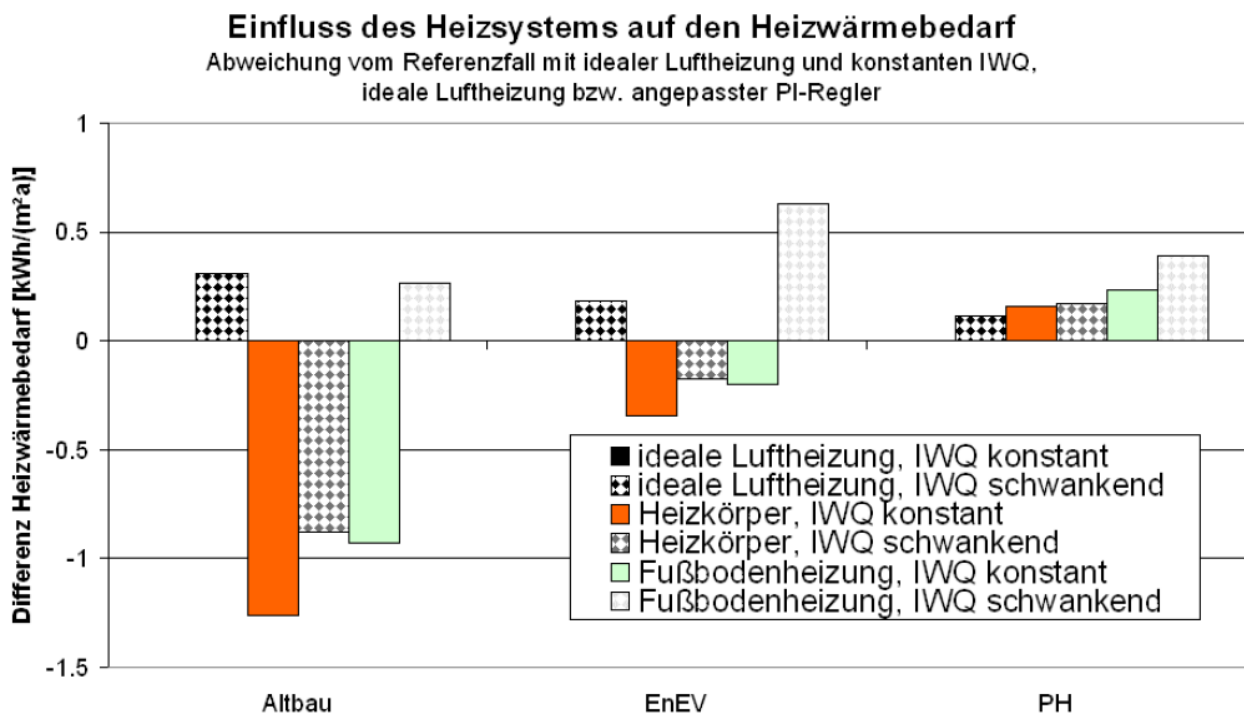
Es ergibt sich somit ein nennenswerter Mehrverbrauch bei Thermostatventilen mit 2 K Proportionalbereich. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass bei den Berechnungen unterstellt wurde, dass die Ventile bei  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  eingestellt wurden und im Laufe der Heizperiode nicht mehr korrigiert werden. Wie häufig ein solches Nutzerverhalten auftritt, ist nicht bekannt. Es führt jedoch zu Überhitzungen, die Ablüftvorgänge durch die Nutzer hervorrufen können. Abb. 74 unten zeigt für ein Gebäude nach WschV77 für einen 2 K Thermostatregler den Mehrverbrauch gegenüber dem idealen Regler. Werden durch den Nutzer nur geringe Übertemperaturen von 1 bis 2 K toleriert und anschließend Wärme weggelüftet, so steigt der Energiebedarf um 4 bis 27 kWh/(m<sup>2</sup>a) entsprechend 5 bis 30 %.

Für die Wärmeübergabe führt eine verbesserte Regelqualität zu vermindertem Nutzereinfluss auf den Heizenergiebedarf [Richter et al. 2003]. Eine hohe Nutzertoleranz gegenüber temporärer Überhitzung reduziert dagegen Ablüftvorgänge und damit den Heizenergiebedarf.

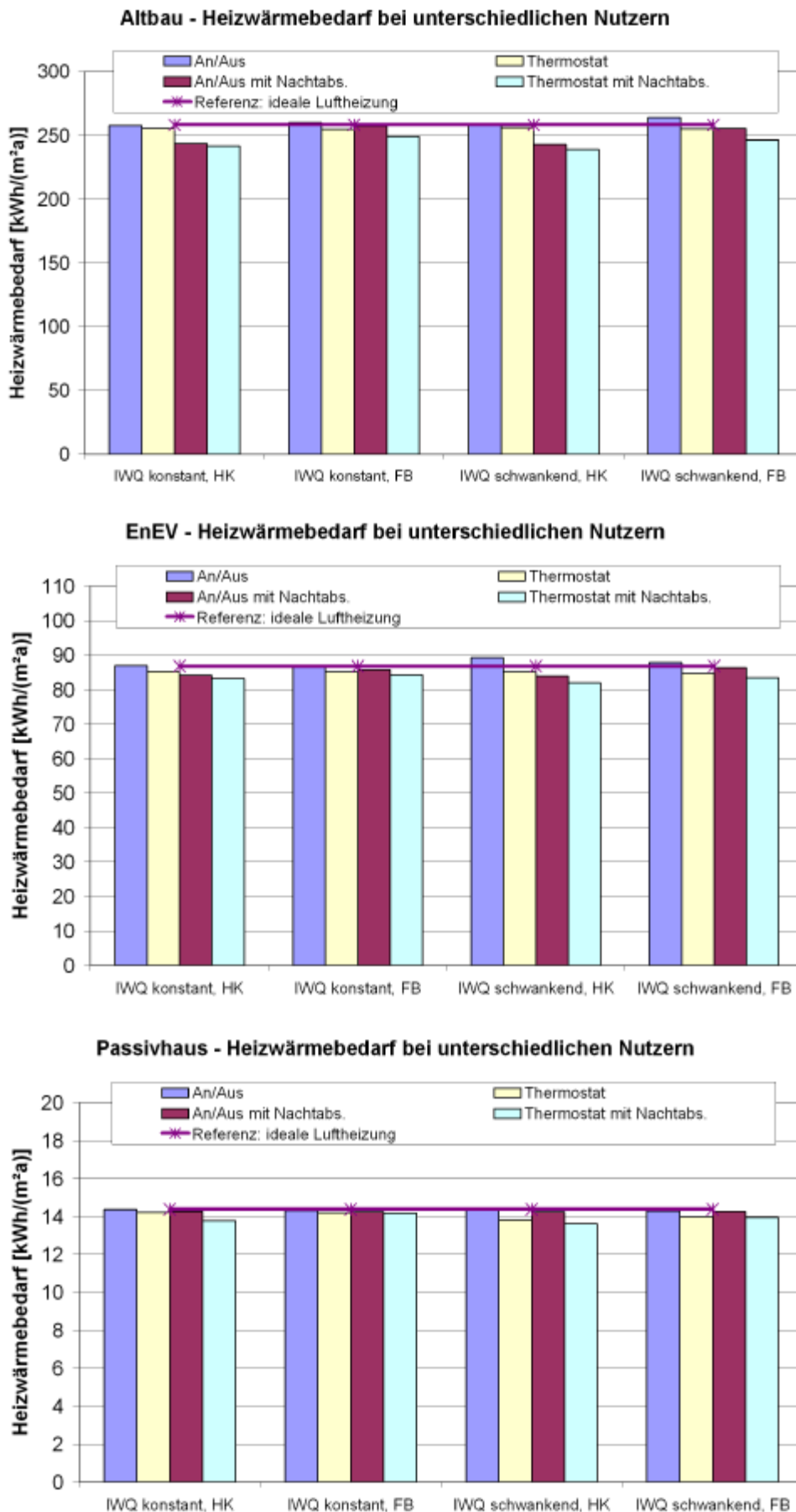
Der Nutzereinfluss auf die Wärmeübergabeverluste wurde von [Schnieders 2005] für einen Altbau, ein Gebäude nach EnEV2002 sowie ein Passivhaus für eine Beheizung mit Heizkörpern, Fußbodenheizung sowie als Referenz mit einer Luftheizung untersucht.

Zusätzlicher Heizwärmebedarf bei der Fußbodenheizung aufgrund von Übertemperaturen bei sprunghafter Änderung der inneren Wärmequellen durch solare Erträge ergab die Untersuchung ohne Berücksichtigung des Nutzereinflusses nicht. Der Heizwärmebedarf lag gegenüber dem Referenzfall einer idealen Luftheizung nur in einem Fall über 1 kWh/(m<sup>2</sup>a) aber immer unter 3 % des Gesamtheizwärmebedarfs (Abb. 75).

**Abb. 75: Mehr- bzw. Minderbedarf unterschiedlicher innerer Wärmequellen für verschiedene Wärmeübergabe und energetische Standards [Schnieders 2005]**



**Abb. 76: Heizwärmebedarf für verschiedene Baustandards, Nutzer und Heizsysteme [Schnieders 2005]**



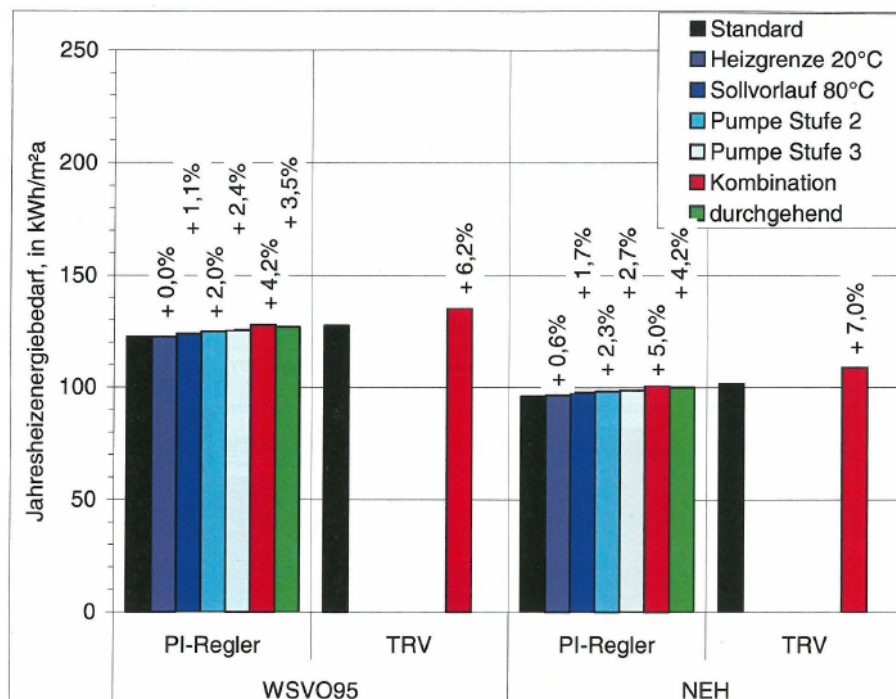
Beim Nutzermodell wurde unterschieden zwischen einer An/Aus-Regelung durch die Bewohner, An/Aus mit Nachabsenkung, „Thermostat“ bei dem die Nutzer den Thermostaten um die Differenz zwischen momentaner Temperatur und Raumsolltemperatur verstellen sowie „Thermostat“ mit Nachabsenkung. Abb. 75 zeigt die Ergebnisse für die drei Gebäudestandards und Heizsysteme. Im Altbau bewirkt der Nutzereinfluss bei der Bedienung der Regelung nennenswerte Unterschiede beim Heizwärmebedarf. Besonders bei schwankenden inneren Wärmequellen (rechte Seite der Abbildung) kann bei einer Beheizung über Heizkörper durch eine Nachabsenkung Heizwärme eingespart werden. Bei einer Fußbodenheizung kann eine An/Aus-Regelung auch zu einem Anstieg des Heizwärmebedarfs führen. Die Schwankungsbreite zwischen optimierter und ungünstiger Betriebsweise liegt bei ca. 15 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Beim EnEV-Gebäude sinkt der Schwankungsbereich durch die nutzerinduzierte Bedienung der Regelung auf 5 - 8 kWh/(m<sup>2</sup>a). Beim Passivhaus liegt der Schwankungsbereich deutlich unter 1 kWh/(m<sup>2</sup>a). Insgesamt wurden bei keiner Variante durch Wärmeübergabe und Bedienung mehr als 7 % Einsparung ermittelt, beim Passivhaus mit ca. 1 % sind sie vernachlässigbar. Wird die Fußbodenheizung mit überhöhter Vorlauftemperatur betrieben, was auch zu einer Überdimensionierung der Heizflächen führt, verändert sich der Heizwärmebedarf um bis zu 3,5 %.

## Wärmeerzeugung

Bei der Wärmeerzeugung kann der Nutzer im Einfamilienhaus über eine Veränderung der Heizkurve, Verschiebung der Heizgrenze und -zeit sowie die Pumpeneinstellung den Energieaufwand für die Wärmeerzeugung beeinflussen. Um diese Effekte zu untersuchen haben [Richter et al. 2003] für ein Reihenendhaus mit Gas-Brennwert-Heizung die Heizgrenztemperatur (20 °C statt 15 °C), die Vorlauftemperatur (80 °C statt 70 °C) sowie die Pumpendrehzahl (Stufe 3 statt Stufe 1) und die Nachabschaltung (ohne Abschaltung statt Abschaltung) variiert (Abb. 77). Werden Veränderungen an allen vier Parametern vorgenommen (Variante „Kombiniert“) ergeben sich für WschV95 mit PI-Regler ein Mehrbedarf von 5,2 kWh/(m<sup>2</sup>a), beim Niedrigenergiehaus (NEH) 4,8 kWh/(m<sup>2</sup>a). Bei einem Thermostatventil steigt der Jahresheizenergiebedarf auf 7,9 (WschV95) bzw. 7,1 kWh/(m<sup>2</sup>a) (NEH). Zum Vergleich führt ein Verzicht auf die Nachabsenkung bei Beibehaltung der Standardeinstellungen zu einem Mehrverbrauch von etwa 4 kWh/(m<sup>2</sup>a).

**Abb. 77: Flächenspezifischer, brennstoffbezogener Jahresheizenergiebedarf in Abhängigkeit von Nutzereingriffen in die Heizungsanlage und vom Wärmeschutzniveau [Richter et al. 2003]**



Wird nur die Veränderung der Pumpenstufe betrachtet, so führt eine Änderung von Stufe 1 auf Stufe 3 fast zu einer Verdoppelung des Hilfsenergiebedarfs (von 3 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 5,9 kWh/(m<sup>2</sup>a)). Primärenergetisch ist diese Veränderung durchaus relevant.

[Jagnow 2004] definiert drei Energieverbrauchstypen (extrem hoher Verbrauch, leicht überhöhter Verbrauch und durchschnittlicher bis unterdurchschnittlicher Verbrauch). Besonders der Typ mit leicht überdurchschnittlichem Verbrauch ist in Bezug auf Nutzereinfluss und Anlagentechnik von Interesse, da dieser vor allem in neuen Gebäuden oder baulich sanierten Gebäuden zu finden ist. Das Optimierungspotenzial entspricht bei solchen Gebäuden etwa dem Fremdwärmeangebot, da die Anlagentechnik auf die Wärmelast ohne Fremdwärme ausgelegt wird. „Durch die Leistungsbegrenzung der Heizkörper wird das Verschwendungspotenzial vermindert.“ [Jagnow 2004, S.144]

*Hier ist zu bedenken, dass dies ggf. nur für den Heizlastfall gilt und je nach Leistungsregelung der Anlagentechnik an Tagen mit Außentemperaturen über der Auslegungstemperatur dennoch zusätzliche Heizleistung zur Verfügung steht.*

Bei Modellrechnungen in einem Einfamilien- sowie Mehrfamilienhaus ergaben sich als maximaler Verbrauch bei verschwenderischem Nutzer 425 kWh/(m<sup>2</sup>a) (EFH) bzw. 247 kWh/(m<sup>2</sup>a) (MFH) bei nicht optimierter Anlagentechnik und 235 kWh/(m<sup>2</sup>a) (EFH) bzw. 112 kWh/(m<sup>2</sup>a) (MFH) bei verschwenderischem Nutzer und optimierter Anlagentechnik. Bei gleichem Nutzerverhalten unterschied sich der Wärmeverbrauch je nach Einstellung der Anlagentechnik somit um den Faktor 2,2 (MFH) bzw. 1,8 (EFH). [Jagnow 2004, S.142]

Eine weitere primärenergetische Darstellung wird im Folgenden nicht vorgenommen, da die Bewertungsfaktoren in den Studien sich teilweise deutlich unterscheiden und auch von den heutigen Ansätzen abweichen.

## Lüftungsanlagen

Besitzt ein Gebäude eine Lüftungsanlage, so wirkt sich deren Betriebszustand einerseits über den effektiven Gesamtluftwechsel auf den Heizwärmebedarf des Gebäudes aus, andererseits wird auch der Hilfsstrombedarf durch die Betriebsdauer verändert.

Eine Erhöhung des Anlagenluftwechsels einer Abluftanlage von 0,4 1/h auf 0,8 1/h führte bei [Richter et al. 2003] nahezu unabhängig vom Wärmeschutzstandard zu einer Erhöhung des brennstoffbezogenen Energiebedarfs um 24 kWh/(m<sup>2</sup>a). Besitzt die Lüftungsanlage eine Wärmerückgewinnung mit 65 % Temperaturänderungsgrad so reduziert sich die Auswirkung eines um 0,4 1/h erhöhten Anlagenluftwechsels auf 11 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Abhängig von der Qualität der Lüftungsanlage (spezifischer Hilfsstrombedarf pro geförderter Luftmenge) erhöht sich bei [Richter et al. 2003] der Jahresstromverbrauch für die Lüftung bei einer Erhöhung der Betriebszeit von 6 auf 12 Monate um bis zu 2,2 kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. 100 % bei einer Ausführung mit hohen Druckverlusten (0,5 W/(m<sup>3</sup>h)). Wurde die Anlage optimiert ausgeführt (spez. Druckverlust 0,12 W/(m<sup>3</sup>h)), so steigt der Hilfsenergiebedarf lediglich um 0,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei einem ganzjährigen Betrieb der Lüftungsanlage.

[Oppermann 2003] hat die Auswirkungen unterschiedlichen Nutzerverhaltens beim Lüften unter Berücksichtigung der Dichtheit der Gebäudehülle bei verschiedenen anlagentechnischen Konzepten für die Lüftung für ein mittleres Einfamilienhaus aus dem SynergieHaus-Projekt untersucht. Dabei wurde auch der Einfluss der Stellung der Innentüren auf den Luftaustausch und somit den Heizwärmebedarf für drei Gruppen (Minimal-, Medium- und Maximallüfter) betrachtet. Die Stellung der Innentüren führt bei der Fensterlüftung zur größten Änderung beim Heizwärmebedarf gefolgt von zentraler Abluftanlage und feuchtegeregelter Abluftanlage. Den geringsten Einfluss ergab sich bei Zu-/Abluftanlagen mit Wärmepumpe (bezogen auf den Restwärmebedarf) gefolgt von der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ohne Wärmepumpe.

Die Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von der Luftdichtheit der Gebäudehülle ( $n_{50}$ -Wert) ist in Tab. 20 dargestellt. Ist keine Lüftungsanlage vorhanden und sind alle Fenster geschlossen, so liegt der Heizwärmebedarf noch unter der Variante mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

(WRG). Allerdings wird der hygienisch erforderliche Luftwechsel bei Fensterlüftung erst bei einem mittleren Lüftungsverhalten erreicht. Die feuchtegesteuerte Abluftanlage kann gegenüber der Abluftanlage den Heizwärmebedarf reduzieren, der niedrigste Heizwärmebedarf ergibt sich bei einem Gebäude mit Zu-/Abluftanlage und Wärmerückgewinnung. Lüften die Nutzer maximal und ist das Gebäude gleichzeitig sehr undicht ( $n_{50}=10$ ), liegt der Heizwärmebedarf bei maximaler Fensterlüftung unter dem Gebäude mit Lüftungsanlage und Wärmerückgewinnung, da sich bei gleicher Fensterlüftung zusätzlich noch der Anlagenluftwechsel in der Energiebilanz niederschlägt. Bei gleichem Lüftungsverhalten bei Fensterlüftung und bei Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ergibt sich bei maximalen  $n_{50}$ -Werten nach EnEV2002 (3 1/h bei Fensterlüftung bzw. 1,5 1/h bei Lüftungsanlage) etwa der gleiche Bedarfswert.

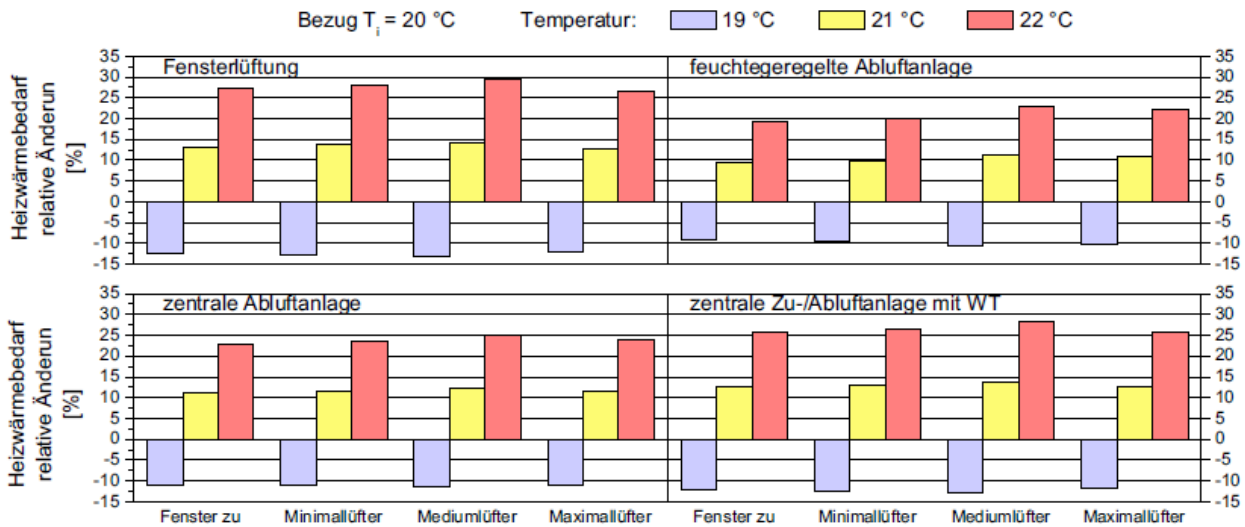
**Tab. 20: Heizwärmebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>a)] in Abhängigkeit vom Anlagensystem, des  $n_{50}$ -Wertes und des Fensterlüftungsverhaltens (Auszug der Ergebnisse in [Oppermann 2003])**

	Heizwärmebedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	Fenster zu		Maximallüfter	
	$n_{50}=1 \text{ h}^{-1}$	$n_{50}=10 \text{ h}^{-1}$	$n_{50}=1 \text{ h}^{-1}$	$n_{50}=10 \text{ h}^{-1}$
Fensterlüftung	24,8	56,0	44,3	78,4
Abluftanlage	44,5	75,8	64,0	98,0
feuchtegeregelte Abluftanlage	36,8	65,9	51,8	85,2
Zu-/Abluftanlage mit WRG	28,7	60,3	48,5	82,9

Generell wurde bei [Oppermann 2003] festgestellt, dass der Einfluss der Luftdichtheit mit zunehmender Fensterlüftung abnimmt und Lüftungsanlagen mit Zu-/Abluft und Wärmerückgewinnung die höchste Sensitivität gegenüber der Luftdichtheit der Gebäudehülle aufweisen. Der Restheizwärmebedarf verdoppelt sich bei geschlossenen Fenstern, wenn die Luftdichtheit von 1 auf 10 1/h ansteigt. Allerdings sollten solche schlechten  $n_{50}$ -Werte in der Praxis beim Einsatz von Lüftungsanlagen die absolute Ausnahme bilden. Abluftanlagen mit Feuchteregelung reagieren am wenigsten auf eine Veränderung der Luftdichtheit der Gebäudehülle. Absolut gesehen werden bei [Oppermann 2003] die Einsparmöglichkeiten durch eine Verbesserung der Luftdichtheit um 0,5 1/h auf  $n_{50}=1,0$  1/h als unbedeutend eingeschätzt.

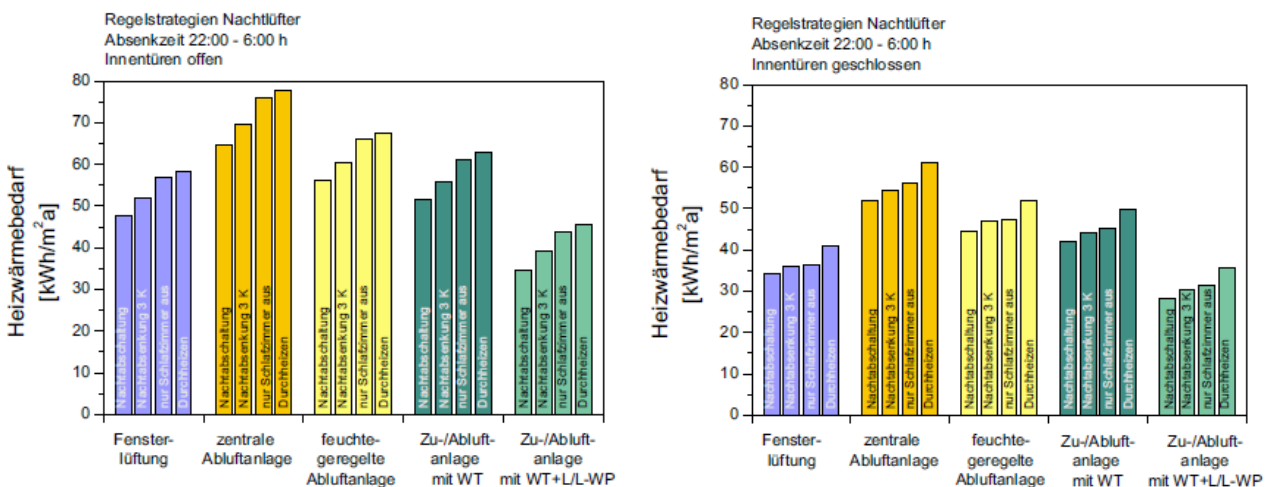
Wird das Temperaturniveau für unterschiedliche Nutzer und die Anlagentechnik variiert, so ergeben sich die in Abb. 78 dargestellten relativen Änderungen des Heizwärmebedarfs ([Oppermann 2003]). Die geringste Zunahme bei Erhöhung der Raumtemperatur findet mit der feuchtegeregelten Abluftanlage statt, die höchste Änderung bei der zentralen Abluftanlage, gefolgt von der zentralen Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung und der Fensterlüftung, wobei die Unterschiede zwischen den drei letztgenannten Systemen gering sind.

**Abb. 78: Relative Änderung des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit vom Anlagensystem und vom Fensterlüftungsverhalten bei Variation der Raumtemperatur [Oppermann 2003]**



[Oppermann 2003] hat für unterschiedliche Regelstrategien und verschiedene Anlagentechniken den Heizwärmebedarf eines Einfamilienhauses untersucht (Abb. 79). Dabei wurde maximales Lüftungsverhalten mit ganzjähriger Nachtlüftung in beiden Schlafzimmern untersucht. Die Darstellung in Abb. 79 zeigt den Heizwärmebedarf im Fall links mit offenen Innentüren und undichten Trennwänden, rechts mit geschlossenen Innentüren und dichten Trennwänden und Decken. Die Differenz des Heizwärmebedarfs zwischen Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung mit und ohne Luft-/Luft-Wärmepumpe wird durch die Wärmepumpe bereitgestellt. Bei geschlossenen Innentüren sind die Einsparmöglichkeiten durch Nachtabschaltung, -absenkung um 3 K sowie nur im Schlafzimmer ausgeschaltet etwa gleich groß (15 - 17 %). Sind die Innentüren offen, lassen sich durch die Abschaltung bei allen Lüftungskonzepten die höchsten Einsparungen erzielen, gefolgt von Nachtabsenkung um 3 K und Abschaltung im Schlafzimmer. Diese Reihenfolge gilt unabhängig vom Lüftungskonzept

**Abb. 79: Heizwärmebedarf in Abhängigkeit vom Anlagensystem und von der Regelstrategie der Heizung bei maximaler Fensterlüftung (Nachtlüftung in beiden Schlafzimmern); Innentüren: links offen, rechts geschlossen [Oppermann 2003]**



Wenn bei einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung ein (hoher) Zuluftüberschuss von 0,3 l/h besteht, so erhöht sich der Heizwärmebedarf. [Oppermann 2003] gibt für einen solchen Fall prozentuale Veränderungen für unterschiedliches Lüftungsverhalten an. Rechnet man mit den ab-



soluten Werten für den Heizwärmebedarf beim entsprechenden Lüftungsverhalten zurück, so ergibt sich eine Erhöhung der Heizwärmeverbrauchs um ca. 12 kWh/(m<sup>2</sup>a).

### 2.2.11 Warmwasserbereitung

[Richter et al. 2003] haben untersucht, wie sich der Energiebedarf eines Einfamilienhauses nach EnEV2002 ändert, wenn die Zirkulationszeiten variiert werden (Tab. 21). Eine durchgängige Warmwasserzirkulation über 24 h führt im betrachteten Gebäude zu einem Mehrbedarf bei der Wärme von 9,5 kWh/(m<sup>2</sup>a), zusätzlich erhöht sich der Hilfsstromeinsatz gegenüber einem Gebäude ohne Zirkulationsleitung um 1,0 kWh/(m<sup>2</sup>a). Da bei einer Verlegung der Zirkulationsleitung im beheizten Bereich ein Teil der Zirkulationsverluste zur Beheizung beitragen, steigt der Energiebedarf des Hauses für Heizung und Warmwasser in Summe um 6,7 kWh/(m<sup>2</sup>a).

**Tab. 21: Mehrbedarf an Endenergie bei Betrieb einer Warmwasserzirkulation gegenüber einem Betrieb ohne Zirkulation in Abhängigkeit von der Zirkulationsdauer für ein EFH nach EnEV2002, Zirkulation und Speicher im beheizten Bereich [Richter et al. 2003]**

Betriebszeit der Warmwasserzirkulation	Endenergie-Mehrbedarf Wärme für TWE	Endenergie-Mehrbedarf Strom für TWE	Endenergie-Mehrbedarf für Heizung + TWE
0 h/d	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
8 h/d	3,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
14 h/d	5,3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	3,8 kWh/(m <sup>2</sup> a)
24 h/d	9,5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6,7 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Befinden sich Warmwasserspeicher und Zirkulationsleitung im unbeheizten Bereich (in Tab. 21 nicht dargestellt), so erhöht sich der Wärmebedarf, gleichzeitig kann nur ein geringerer Anteil der Verluste für die Beheizung genutzt werden. In diesem Fall liegt der Gesamtwärmebedarf für Heizung und Trinkwassererwärmung bei 24 h Zirkulationsbetrieb bei 10,0 kWh/(m<sup>2</sup>a) und damit nur 0,4 kWh/(m<sup>2</sup>a) über dem Mehrbedarf für die Warmwasserbereitung mit Zirkulation im beheizten Bereich.

Bei einem Einfamilienhaus ist bei Speichervolumina unter 400 Liter auch eine bedarfsangepasste Warmwassertemperatur von 45 °C möglich. Durch die Temperaturabsenkung von 60 °C auf 45 °C (siehe Tab. 22) sinkt der Endenergiebedarf ohne Zirkulation bei einer Speicheraufstellung im beheizten Bereich um 0,4 kWh/(m<sup>2</sup>a). Wird die Zirkulation 14 h am Tag betrieben, so werden 1,7 kWh/(m<sup>2</sup>a) eingespart, wenn Verteilung und Speicher im unbeheizten Bereich liegen, beträgt die Einsparung 2,8 kWh/(m<sup>2</sup>a).

**Tab. 22: Endenergieeinsparung durch Absenkung des Temperaturniveaus im Warmwasserspeicher von 60 °C auf 45 °C (EFH nach EnEV2002, Zirkulation und Speicher im beheizten Bereich) [Richter et al. 2003]**

	Endenergieeinsparung
Ohne Zirkulation 0 h/d Verteilung und Speicher im beheizten Bereich	90 kWh/a 0,4 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Mit Zirkulation 14 h/d Verteilung und Speicher im <b>beheizten</b> Bereich	402 kWh/a 1,7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Mit Zirkulation 14 h/d Verteilung und Speicher im <b>unbeheizten</b> Bereich	662 kWh/a 2,8 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Im Mehrfamilienhaus sind die Auswirkungen des Zirkulationsbetriebs und der Warmwassertemperatur deutlich höher (siehe z.B. [Großklos, Schaede 2016, S.119]). Da dieser Mehrbedarf aus den hygienischen Anforderungen erwächst soll er an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden.

### 2.2.12 Bewertung der Ergebnisse

Die wesentlichen Einflussgrößen der Nutzer auf den Energiebedarf eines Gebäudes sind:

➤ Raumtemperatur

Je nach energetischer Gebäudequalität führt eine Erhöhung der Raumtemperatur um 1 Kelvin zu einer Erhöhung des Heizwärmebedarfs zwischen 2 kWh/(m<sup>2</sup>a) beim Passivhaus und ca. 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei „mittleren“ Altbauten. Umgekehrt führt eine Absenkung der Raumtemperatur um ein 1 Kelvin zu einer Reduktion in ähnlicher Höhe, wobei berücksichtigt werden muss, dass diese Abhängigkeit nur in einem begrenzten Bereich Gültigkeit besitzt.

Insbesondere bei gut gedämmten Mehrfamilienhäusern wird die Temperaturabsenkung in einer einzelnen Wohnung durch Wärmeströme aus den Nachbarwohnungen kompensiert, so dass die Auswirkung auf den Gesamtwärmebedarf des Gebäudes gering ausfällt, so lange die Wohnungstrennwände nicht gedämmt sind.

➤ Lüftungsverhalten

Durch eine Erhöhung des mittleren Luftwechsels um 0,1 1/h vergrößert sich nahezu unabhängig vom energetischen Standard des Gebäudes der Heizwärmebedarf um ca. 6 bis 8 kWh/(m<sup>2</sup>a), wenn über die Fenster gelüftet wird. Wird der Luftwechsel mit Hilfe einer Lüftungsanlage um 0,1 1/h erhöht, führt dies im Passivhaus nur zu einem Mehrbedarf von ca. 1 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Als Einflussgröße hinzu kommt die Fensteröffnungsdauer und -art (gekippt, ganz offen, Quertlüftung). Die Wärmeverluste zu modellieren stellt eine besondere Herausforderung dar, da diese zusätzlich auch stark von der aktuellen Witterung (Temperatur und Wind), der Durchströmung des Gebäudes (z.B. offene Zimmertüren), dem von der Fensterart abhängigen Öffnungsquerschnitt und von der Art der Wärmeübergabe (Heizkörper, Fußbodenheizung, Zuluftheizung) abhängen. Simulationen zeigen, dass das tägliche Kippen einer Balkontür über eine Stunde bei einem Passivhaus zu einem Mehrbedarf von ca. 2 kWh/(m<sup>2</sup>a) führt. Wird die Balkontür täglich 1 h ganz geöffnet, steigt der Energiebedarf um ca. 10 kWh/(m<sup>2</sup>a). Nächtliches Dauerkippen im Schlafzimmer führt zu einem Mehrbedarf von ca. 14 kWh/(m<sup>2</sup>a). Wird statt der Balkontür ein kleines Fenster jede Nacht gekippt, so steigt der Heizwärmebedarf nur um 6 kWh/(m<sup>2</sup>a) an.

Zusätzlich zur Fensteröffnungsdauer hat auch die Regelstrategie (Nachtabstaltung bzw. -absenkung) bei energetisch schlechteren Gebäuden noch eine Auswirkung auf den Heizwärmebedarf.

➤ Teilbeheizung

Die räumliche und zeitliche Teilbeheizung reduziert die mittlere Raumtemperatur im Gebäude

und damit den Heizwärmebedarf. Die Auswirkung ist vor allem von der energetischen Qualität der Gebäudehülle abhängig, beim Passivhaus sind nur geringe Einsparungen über Teilbeheizung möglich, bei einem Gebäude nach WschV77 führt eine Absenkung um 3 K über 8 h zu einer Reduktion beim Heizwärmebedarf von ca. 26 kWh/(m<sup>2</sup>a).

➤ Warmwasserbedarf

Beim Energiebedarf für die Warmwasserbereitung dominiert der Einfluss des Nutzers auf das gezapfte Warmwasservolumen, allerdings können die Verluste durch Warmwasserzirkulation in der gleichen Größenordnung wie die Nutzwärme für Warmwasser liegen. Entsprechend stark variiert der Wärmebedarf für Warmwasserbereitung bei abweichender Personenbelegungsdichte und unterschiedlichem Nutzerverhalten. Der relative Anteil des Warmwasserbedarfs am Wärmebedarf schwankt zwischen 10 % bei einem Altbau und 50 % beim Passivhaus. Entsprechend unterschiedlich wirkt sich schwankendes Nutzerverhalten auf den Gesamtwärme bzw. Endenergiebedarf aus.

Die weiteren Einflussfaktoren der Nutzer wie Verschmutzung und Verschattung der Fenster, innere Wärmequellen durch Personenabwärme oder Elektroenergie sowie Nutzereingriffe in den Anlagebetrieb besitzen im Allgemeinen nur einen begrenzten Einfluss auf den Wärmebedarf des Gebäudes. Nur bei sehr energieeffizienten Gebäuden können auch diese direkt oder indirekt vom Nutzer beeinflussten Größen eine nennenswerte Relevanz aufweisen.

Tab. 23 ordnet den betrachteten nutzerbeeinflussten Größen ihre Auswirkung auf den Endenergiebedarf des Gebäudes zu.

**Tab. 23: Übersicht über die Auswirkungen unterschiedlicher Nutzerparameter auf den Wärmebedarf eines Gebäudes**

	vom Nutzer beeinflussbar	Relevanz für den Energiebedarf
Raumtemperatur	direkt	++
Fensterlüftung	direkt	++
Anlagenluftwechsel	direkt/indirekt	+
Teilbeheizung	direkt	++
Innere Wärmequellen	indirekt	+
Belegungsdichte / Personenanwesenheit	indirekt	+
Elektroenergieverbrauch	direkt	+
Verschattung / Verschmutzung	direkt	+
Warmwasserverbrauch	direkt	++
Anlagenregelung	indirekt	+

Wird unterstellt, dass Bewohner, die sich bezüglich Raumtemperatur sparsam verhalten auch entsprechend sparsam lüften und umgekehrt Nutzer mit hohen Raumtemperaturen viel über die Fenster lüften, so kann eine übliche Spanne durch das Nutzerverhalten beim Gesamtwärmebedarf abgeschätzt werden, die sich bei einer größeren Gesamtheit von Nutzern einstellt. Im Niedrigenergiehaus ergibt sich eine Spanne von ca. 70 bis 80 kWh/(m<sup>2</sup>a) zwischen einem „sparsamen“ und einem „verschwenderischen“ Bewohner. Im Passivhaus sinkt die Spanne auf 30 bis 40 kWh/(m<sup>2</sup>a). Unabhängig von diesen Spannen kann extremes Nutzerverhalten zu noch höheren Abweichungen führen.

Tab. 24 zeigt auf Basis der Ergebnisse in diesem Kapitel pauschaliert den Einfluss der Nutzer auf den Endenergiebedarf von Gebäuden mit unterschiedlichem energetischem Standard. Es wurde ein Gasbrennwert-Kombikessel für Heizung und Warmwasserbereitung unterstellt.

**Tab. 24: Abgeleitete Pauschalaussagen („Daumenregeln“)**

Einflussgröße	Aktivität	Änderung des Parameters um	Altbau unsaniert	Altbau modernisiert / Niedrigenergiehaus**	Passivhaus
			Änderung des Endenergiebedarfs (Annahme: Zentralheizung mit Kombikessel)		
Raumtemperatur	Thermostat einstellen	+ 1 K	+ 29 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Luftwechsel	über Fensterlüftung	+ 0,1 1/h	+ 8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Anlagenluftwechsel einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	+ 0,1 1/h	+ 0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Fensteröffnung	Balkontür kippen	+ 1 h/d	+ 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Balkontür ganz öffnen	+ 1 h/d	+ 16 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 16 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 12 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Balkontür kippen	8 h/d, z.B. nachts	+ 23 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 23 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 16 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	(kleines) Fenster kippen	8 h/d, z.B. nachts	+ 10 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 10 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Teilbeheizung	Nachtabsenkung gesamte Wohnung	- 3 K	- 30 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 12 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Teilbeheizung	30 % der Wohnfläche	- 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Wärmequellen	Personenbelegung	+ 1 Bewohner			- 1,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Verschattung/ Verschmutzung	Abminderungsfaktor: - 0,1	- 1,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 1,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 1,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Innere Wärmequellen	- 1 W/m <sup>2</sup>	+ 7 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Warmwasser	Personenbelegung EFH	+ 1 Bewohner	+ 898 kWh/a	+ 898 kWh/a	+ 898 kWh/a
	Personenbelegung MFH	+ 1 Bewohner	+ 793 kWh/a	+ 793 kWh/a	+ 793 kWh/a

\*) grobe Abschätzung/ Hochrechnung auf Basis von Vergleichswerten

\*\*) „Niedrigenergiehaus“: vergleichbar mit dem Neubaustandard nach EnEV 2009

**Literaturverzeichnis zum Kapitel 2.2**

- [Bier 2002] Bier, Wolfgang (2002): Untersuchung von Gebäuden mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf - validierte Modellierung zur thermischen Simulation. Diplomarbeit an der Universität Kassel. Kassel
- [Biermayer 1998] Biermayr, Peter (1998): *Einflußparameter auf den Energieverbrauch der Haushalte. Eine empirisch-ökonomische Analyse (Dissertation)*. Wien: Technische Universität.
- [DIN V 18599 2016] Deutsches Institut für Normung (2016): DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten. Berlin: Beuth Verlag.
- [Ebel et al. 2003] Ebel, Witta; Großklos, Marc; Knissel, Jens; Loga, Tobias; Müller, Kornelia (2003): Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Bauprojekt, messtechnische Auswertung, Energiebilanzen und Analyse des Nutzereinflusses. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Feist 1998] Feist, Wolfgang [Hrsg.] (1998): Das Niedrigenergiehaus. Neuer Standard für energiebewußtes Bauen. Heidelberg: C.F. Müller.
- [Felsmann, Schmidt 2013] Felsmann, Clemens; Schmidt, Juliane (2013): Auswirkungen der verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität. Dresden
- [Großklos 2013] Großklos, Marc (2013): Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung Rotlintstraße 116-128 in Frankfurt a. M.. Ergebnisse der messtechnischen Erfolgskontrolle. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Großklos, Schaede 2016] Großklos, Marc; Schaede, Margrit (2016): Gebäude mit Energiegewinn. Schritte zum Energieüberschuss in Neubau und Bestand. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- [Hacke, Born 2011] Hacke, Ulrike; Born, Rolf (2011): Wirkungs- und Akzeptanzanalyse von EDMpremium. Analyse des Aachener Feldversuchs und Ableitung für weitere Pilotprojekte. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Hasper 2015] Hasper, Wolfgang (2015): Warmwassernutzung: Messergebnisse, Ansätze zur Mengenreduktion und Planungsansätze. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- [Jagnow 2004] Jagnow, Kati (2004): Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungstechnik. Dissertation.
- [Kah et al. 2010] Kah, Oliver; Peper, Soeren; Ebel, Witta; Kaufmann, Berthold; Feist, Wolfgang; Bastian, Zeno (2010): Untersuchung zum Außenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung.. Endbericht IEA SHC TASK 37 Subtask C. Darmstadt
- [Klesse 2012] Klesse, Andreas (2012): Modellierung und Bewertung unterschiedlichen Nutzerverhaltens in hochwärmedämmten Einfamilienhäusern. Dissertation an der Ruhr-Universität Bochum 2011. Münster: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- [Knissel, Loga 1997] Knissel, Jens; Loga, Tobias (1997): Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energiebedarf von Passivhäusern. In Passivhaus Institut (Ed.), Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser - Protokollband Nr. 9 "Nutzerverhalten" (pp. 1-37). Darmstadt: Passivhaus Institut.
- [Loga et al. 1999] Loga, Tobias; Kahlert, Claus; Laidig, Matthias; Lude, Gerd (1999): Räumliche und zeitliche eingeschränkte Beheizung. Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung in stationären Energiebilanzverfahren. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Loga et al. 2003] Loga, Tobias; Großklos, Marc; Knissel, Jens (2003): Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten. Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Lüdemann, Schmitz 2003] Lüdemann, Bruno; Schmitz, Gerhard (2003): Heizung und Warmwasserbereitung im Niedrigenergiehaus. HLH: Lüftung, Klima, Heizung, Sanitär, Gebäudetechnik, 54 (3/4), 27-35 und 26-33.

- [Oppermann 2003] Oppermann, Jens (2003): Untersuchung der Sensitivität von Heizungs-/Lüftungsanlagen in Niedrigenergiehäusern. Dissertation an der Universität Kassel.
- [Oschatz, Richter 2004] Oschatz, Bert; Richter, Wolfgang (2004): Heizkostenerfassung im Niedrigenergiehaus. Dresden: Technische Universität Dresden.
- [Osterhage et al. 2016] Osterhage, Tanja; Cali, Davide; Müller, Dirk; Voß, Rouven (2016): Auswirkungen von Wärmeverschiebungsvorgängen in energieeffizient sanierten Bestandswohngebäuden. Berlin: Ernst und Sohn.
- [PHPP Version 2009] Passivhaus Projektierungs-Paket, Version 2009. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- [Polinder et al. 2013] Polinder, Henk; Schweiker, Marcel, van der Aa, Ad; Schakib-Ekbatan, Karin; Fabi, Valentina; Andersen, Rune; Morishita, Naomi; Wang, Chuang; Corgnati, Stefano; Heiselberg, Per; Yan, Da; Olesen, Bjarne; Bednar, Thomas; Wagner, Andreas (2013): Occupant behavior and modeling. Total energy use in buildings Final report Annex 53. Birmingham: AECOM Ltd..
- [Richter et al. 2003] Richter, Wolfgang; Ender, Thomas; Hartmann, Thomas; Kremonke, André; Oschatz, Bert; Seifert, Joachim (2003): Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- [Schnieders 2003] Schnieders, Jürgen (2003): Ein vereinfachtes Verfahren zur Abschätzung des sommerlichen Luftwechsels. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr.22. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- [Schnieders 2005] Schnieders, Jürgen (2005): Dynamisches Verhalten und Wärmeübergabeverluste von Flächenheizungen. Forschungsprojekt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- [Trauernicht 2017] Trauernicht, Herbert: Statistik über Blower-Door-Messergebnisse, <http://www.luftdicht.de/statistik.htm>, abgerufen 24.11.2017

## 2.3 Messdaten zum Nutzerverhalten und zu den Wohnbedingungen

Im vorangegangenen Abschnitt 2.2 wurde der theoretische Einfluss des Nutzers auf den Energieverbrauch dargestellt. An dieser Stelle soll aufgezeigt werden, welche der Nutzereinflüsse in der Vergangenheit in Projekten auch messtechnisch erfasst wurden und zu welchen empirischen Ergebnissen die Projekte kamen. Diese Auswertung soll im weiteren Verlauf dazu dienen, die Randbedingungen für eine Realbilanzierung zu definieren und geeignete Kalibrierungsfaktoren zu bestimmen. Hierbei sollen die Ergebnisse der theoretischen Modelle und der empirischen Messprojekte zu belastbaren Parametern für die Kalibrierung zusammengeführt werden.

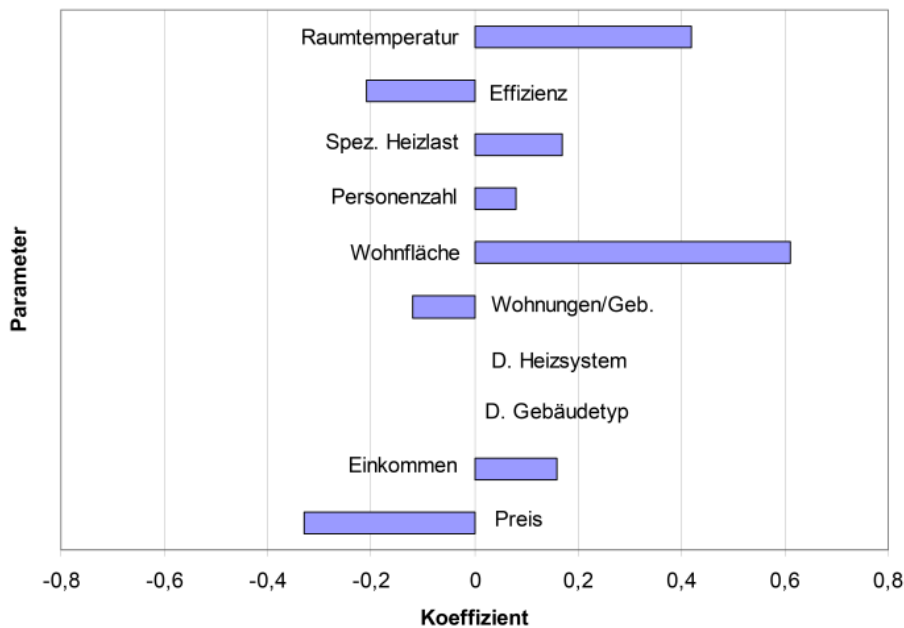
### 2.3.1 Studien zum Nutzerverhalten

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über Projekte gegeben, die einen besonderen Beitrag zur Diskussion um Nutzereinflüsse bei energetischer Sanierung leisten. Die Übersicht der Projekte in diesem und dem nachfolgenden Abschnitt kann dabei allerdings nur eine Auswahl liefern und erhebt keinesfalls den Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr sollen Ergebnisse dargestellt werden, die möglichst verallgemeinerungsfähig sind und die im Abschnitt 2.2 dargestellten theoretischen Nutzereinflüsse auch empirisch abbilden.

#### **Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch privater Haushalte [Biermayr 1998]**

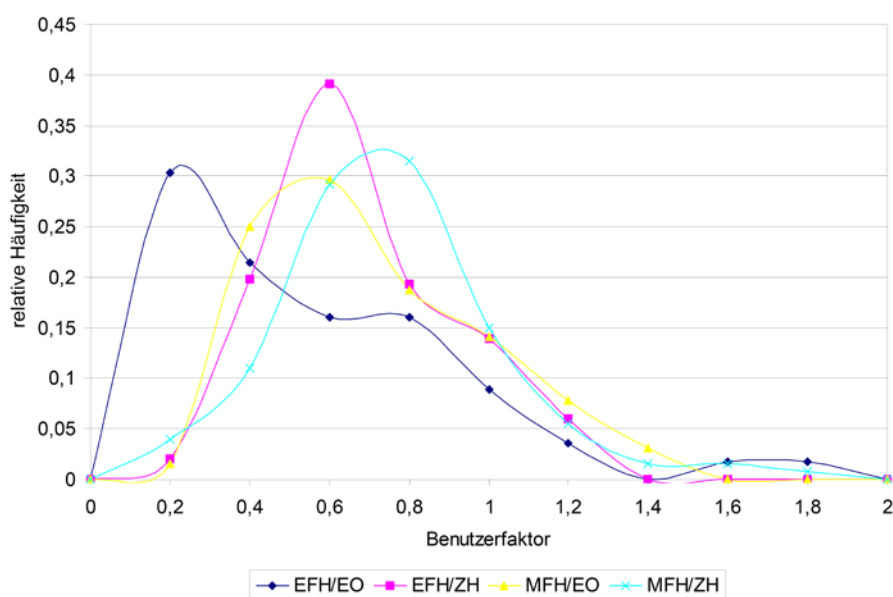
Bereits 1998 hat [Biermayr 1998] die Zusammenhänge zwischen Energieverbrauch und Nutzereinflüssen für 500 Haushalte untersucht. Im Rahmen eines Energietagebuchs wurden die Verbrauchsdaten der Haushalte erfasst und zudem diverse sozio-ökonomische Faktoren in einer Befragung erhoben. Ein von Biermayr entworfenes ökonometrisches Modell wurde zur Datenauswertung genutzt und lieferte Ergebnisse zu a) den Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch eines Haushaltes (siehe Abb.80), b) eine Einordnung der Haushalte in Viel- und Wenigverbraucher in Abhängigkeit des Haushaltstyps (z.B. Singlehaushalt unter 30 Jahren) und c) eine Abschätzung, in wie weit die Selbsteinschätzung der Nutzer zu energiesparendem Verhalten bzw. zu einer Selbstbeschränkung beim Energieverbrauch sich tatsächlich in einem reduzierten Energieverbrauch widerspiegeln. Die Analysen bezogen sich jeweils auf die Bereiche Gesamtenergieverbrauch, Energieverbrauch für Heizwärmeerzeugung, Energieverbrauch für Warmwasserbereitung, Strom für elektrische Haushaltsgeräte und Gesamtstromverbrauch. Die Studie zeigte, dass sich neben technischen und Strukturparametern auch der Nutzereinfluss (abgebildet über die mittlere Raumtemperatur) maßgeblich auf die Höhe des Gesamtenergieverbrauchs und des Energieverbrauchs für Raumwärme auswirkt. Hierbei wurden die mittleren Raumtemperaturen in der Heizperiode allerdings nicht messtechnisch erfasst, sondern über einen Fragebogen abgefragt. Die Genauigkeit dieser Angaben kann im Rahmen dieser Auswertung nicht beurteilt werden.

**Abb.80: Einfluss der Raumtemperatur und anderer Parameter auf den Gesamtenergieverbrauch im ökonometrischen Modell von Biermayr ([Biermayr 1998, Abbildung 4.4])**



Für die weitere Untersuchung der Differenz zwischen Heizenergiebedarf und Heizenergieverbrauch für verschiedene Gebäudetypen und Heizsysteme führt Biermayr einen „Benutzerfaktor“ ein. Dieser ist der Quotient aus Verbrauch und Bedarf wobei die Nutzereinflüsse in der Bedarfsberechnung über die Raumtemperatur und den Luftwechsel eingehen. Die Verteilung der relativen Häufigkeiten von Werten des Benutzerfaktors für die untersuchten Gebäude-Heizsystem-Kombinationen zeigt, dass für den überwiegenden Teil der untersuchten Gebäude durch die Bedarfsberechnung eine deutliche Überschätzung des Verbrauchs erfolgt. Diese betrifft Gebäude ohne Zentralheizung stärker als Gebäude mit Zentralheizung und EFHs stärker als MFHs (siehe Abb. 81).

**Abb. 81: Relative Häufigkeitsverteilung des Benutzerfaktors für EFHs und MFHs ohne (EO) und mit (ZH) Zentralheizung ([Biermayr 1998, Abbildung 5.1])**

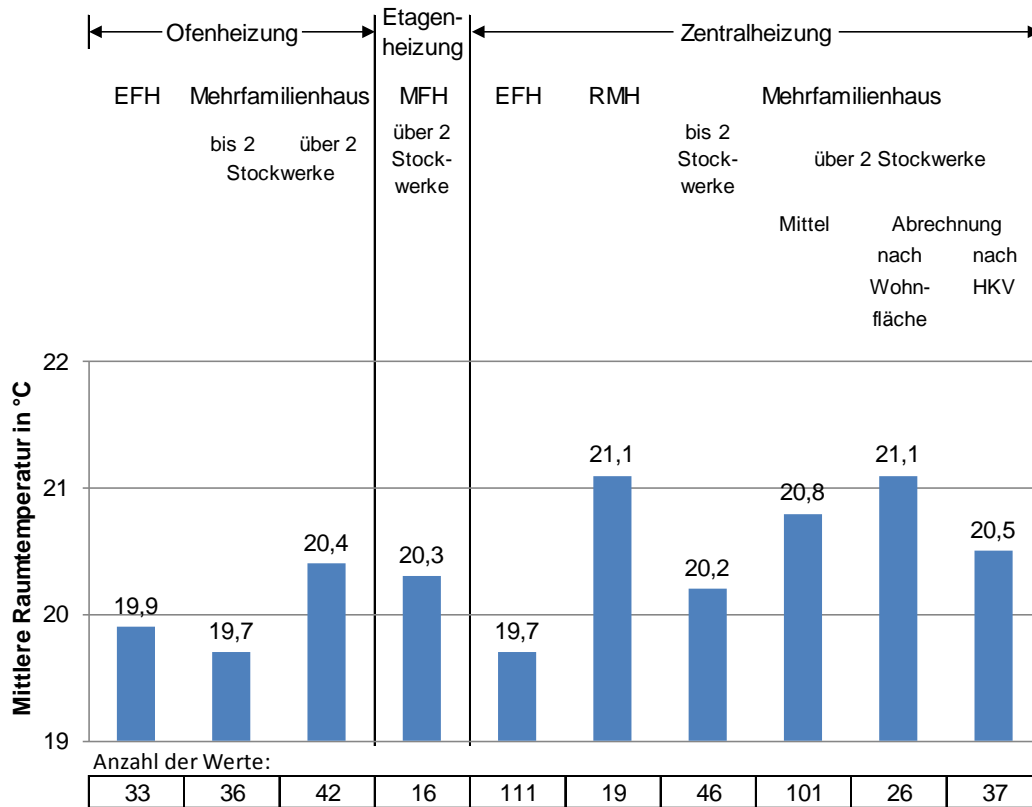




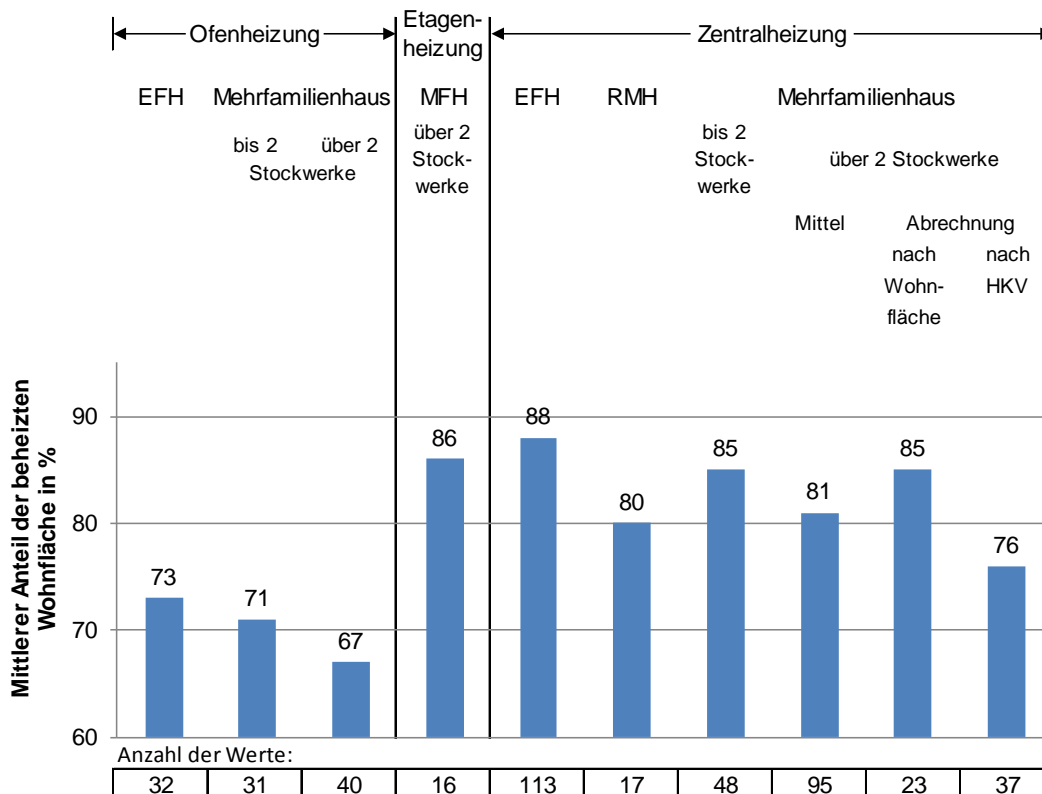
## Haushaltsbefragung 1980 [Rouvel 1982]

Bei einer umfassenden Haushaltsbefragung im Winter 1980/81 wurden neben der Erfassung von Verbrauchsdaten für Heizenergie auch die in den Wohnräumen der Befragten vorherrschenden Raumtemperaturen gemessen. In der Auswertung der Befragungs- und Messdaten durch Rouvel werden einige Zusammenhänge zwischen Nutzerverhalten und Energieverbrauch deutlich. Hierbei sind insbesondere die unterschiedlichen mittleren Raumtemperaturen der verschiedenen Gebäudetypen EFH und MFH auffällig, aber auch die Abhängigkeit der Raumtemperaturen vom Typ der Heizungsanlage (siehe Abb. 82). Die Temperaturen entsprechen dabei der während der Befragung im Wohnzimmer gemessenen, d.h. momentanen, Raumlufttemperatur. Zudem können die Unterschiede hinsichtlich des Anteils der beheizten Fläche an der zur Verfügung stehenden Gesamtfläche zwischen EFHs und MFHs abgelesen werden (siehe Abb. 83). Diese Angaben wurden aus den Angaben der befragten Nutzer ermittelt und somit nicht messtechnisch erfasst. Die genaue Formulierung der Fragen ist nicht bekannt.

**Abb. 82: Mittelwerte der Raumtemperaturen in Abhängigkeit von Gebäudetyp und Art der Heizwärmeerzeugung (Lufttemperatur im Wohnzimmer zum Zeitpunkt der Nutzerbefragung; nach [Rouvel 1982, Bild 6])**



**Abb. 83: Beheizte Fläche in Abhängigkeit vom Gebäudetyp und der Art der Heizwärmeerzeugung (Ergebnis der Nutzerbefragung; nach [Rouvel 1982, Bild 5])**



## Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten [Loga et al. 2003]

Um die wirtschaftliche Vertretbarkeit der Mehraufwendungen für eine verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung zu bewerten, betrachtete das IWU im Jahr 2003 die Ergebnisse verschiedener messtechnischer Untersuchungen von Wohngebäuden. Dabei wurden für wesentliche Nutzungsparameter, wie z.B. die Dauer der Fensterlüftung, typische Werte für energiesparendes, durchschnittliches und verschwenderisches Verhalten ermittelt und in Bezug zum energetischen Gebäudestandard gesetzt (siehe Abb.84). Die im Rahmen der Studie untersuchten Gebäude umfassten 128 einzelne Wohneinheiten in Ein-, Reihen- und Mehrfamilienhäusern sowie die Mittelwerte für drei Projekte mit insgesamt 114 Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern. Der Großteil der untersuchten Gebäude wies einen hohen energetischen Standard (Niedrigenergiehaus<sup>7</sup> oder Passivhaus) auf.

**Abb.84: Kennwerte des Nutzerverhaltens für untersuchte Passivhäuser und Niedrigenergie-Neubauten ([Loga et al. 2003, Tabelle 6])**

	Minimum	Mittelwert des 25 %-Quartil	Median (50 %-Quartil)	Mittelwert	Mittelwert des 75 %-Quartil	Maximum
Passivhäuser Wiesbaden						
Heizwärmeverbrauch [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	4,9	5,8	9,0	10,5	17,6	19,0
verbrauchsgewichtete Raumtemperatur [°C]	19,5	19,7	20,4	20,4	21,3	22,2
verbrauchsgewichtete Fensteröffnungsdauer [h/(d*Fenster)]	0,07	0,15	0,52	1,34	3,85	6,12
Niedrigenergiehäuser (alle Neubauprojekte)						
Heizwärmeverbrauch [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	8,2	30,8	60,0	60,3	91,7	155,2
verbrauchsgewichtete Raumtemperatur [°C]	16,2	18,6	20,2	20,2	21,8	24,8
verbrauchsgewichtete Fensteröffnungsdauer [h/(d*Fenster)]	0,03	0,21	1,48	2,04	4,73	7,46

## Reale Trends des spezifischen Energieverbrauchs und repräsentativer Wohnraumtemperierung bei steigendem Modernisierungsgrad im Wohnungsbestand [Schröder et al. 2014]

Weitere wertvolle Ergebnisse lieferte die Studie von Unternehmensdaten des Heizkostenabrechnungsunternehmens „Brunata“ durch [Schröder et al. 2014]. Die bei rund 1,5 Mio. Einzelmessungen im Rahmen der Verbrauchsablesung an Heizkostenverteilern erfassten Raumtemperaturen wurden statistisch ausgewertet um typische Heizwärmeverbräuche, Raumtemperaturen und Heizflächenanteile für unterschiedliche Baualtersklassen zu bestimmen.

Die Datenlage basiert auf den punktuellen Messungen im Rahmen der Verbrauchserfassung<sup>8</sup> und unterliegt weiterer methodischer Besonderheiten (z.B. nur vermieteter Geschosswohnungsbau), liefert aber einen umfangreichen Datensatz und einen Trend hinsichtlich der Entwicklung der Raumtemperaturen zwischen verschiedenen Baualtersklassen (vor 1977 gebaut, zwischen 1978 und 1994 gebaut, gebaut gemäß WärmeschutzV von 1995 und gebaut nach EnEV 2002) (siehe Abb.85). Im Rahmen dieses Projektberichts soll insbesondere auf die steigenden mittleren Raumtemperaturen mit zunehmendem Wärmeschutzniveau der Gebäude hingewiesen werden. Insbesondere für die von [Schröder et al. 2014] als nicht direkt beheizt klassifizierten Räume führt dies

<sup>7</sup> „Niedrigenergiehaus“: vergleichbar mit dem Neubaustandard nach EnEV 2009

<sup>8</sup> Dies bedeutet, die Erfassung erfolgte einmalig an einem Werktag im Ablesezeitraum.

zu einem Anstieg des Mittelwerts um 1,2 K von 17,2 °C für Gebäude mit einem Baujahr bis 1977 auf 18,4 °C für Gebäude nach EnEV 2002 (siehe Abb. 86). Selbst in den Räumen, die nach der Einteilung des Autors als direkt beheizt bezeichnet werden, liegt der Mittelwert in der jüngsten Baualtersklasse noch 0,5 K höher als in der ältesten. Dieser Trend ist insbesondere vor dem Hintergrund der in Kapitel 3 beschriebenen Aspekte des nichtenergetischen Nutzens von energetischen Modernisierungen, insbesondere im Hinblick auf eine Komfortsteigerung, zu beachten.

**Abb.85: Untersuchung der bei Verbrauchsermittlungen festgestellten Raum- und Heizflächentemperaturen für verschiedene Baualtersklassen (Auszug aus [Schröder et al. 2014, Tabelle 3])**

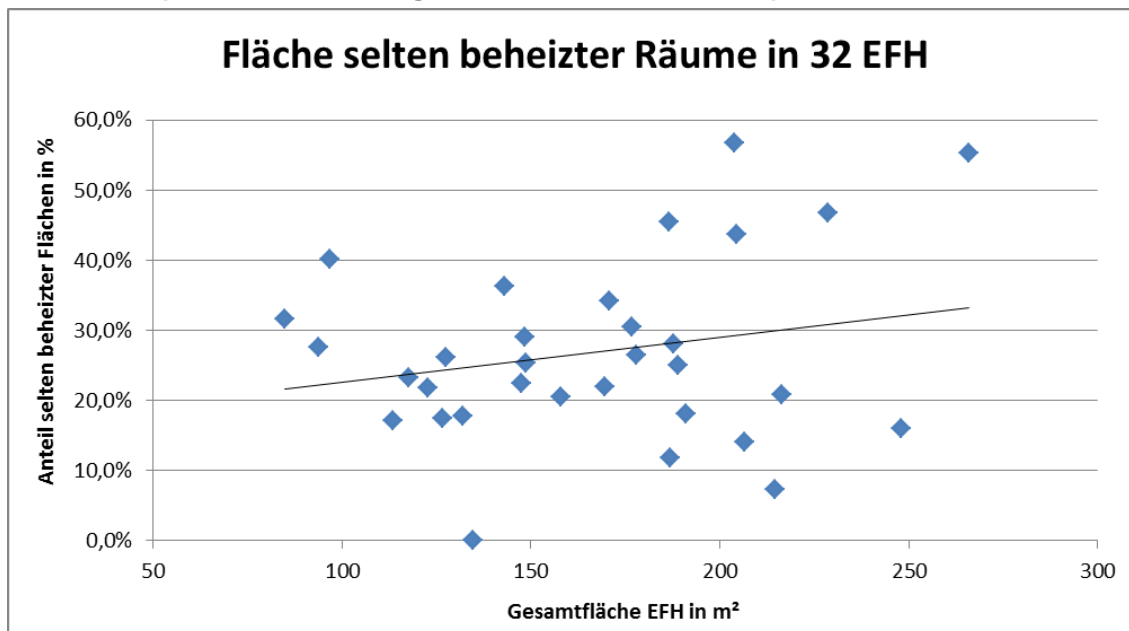
Raumtemperaturen TL: Abschnitt 3.2 WINTER NOV - MRZ (Abb. 3, 4, 5)	OLD_77	_78_94	WSVO_95	ENEV_02
Anzahl Gesamtheit N (ALL) [#]	800000	320000	210000	60000
Mittelwert TL ALL [°C]	18,1	18,4	18,7	18,9
Median TL ALL [°C]	17,9	18,1	18,4	18,7
Anzahl Heizung aus N [(OFF) [#]	460000	193000	139000	40000
Mittelwert TL OFF [°C]	17,2	17,6	18,1	18,4
Median TL OFF [°C]	17,4	17,9	18,4	18,6
Anzahl Heizung an N [(ON) [#]	340000	123000	69000	17000
Mittelwert TL ON [°C]	18,8	18,9	19,2	19,3
Median TL ON [°C]	19,2	19,5	19,7	19,8

**Abb. 86: Verlauf der Mittelwerte der Raumtemperaturen für Gebäude unterschiedlicher Baualtersklassen (nach [Schröder et al. 2014, Tabelle 3 und Bild 5])**

## Umweltkommunikation in der mittelständischen Wirtschaft am Beispiel der Optimierung von Heizungssystemen durch Information und Qualifikation zur nachhaltigen Nutzung von Energieeinsparpotenzialen – „Optimus“ [Jagnow, Wolff 2005]

Im Projekt „Optimus“ sollte hauptsächlich eine Bewertung der Einsparpotenziale durch den Einsatz von effizienter Anlagentechnik zur Heizwärmeerzeugung durchgeführt werden. Als für diesen Bericht nützlich Ergebnis soll jedoch das Ergebnis einer Nutzerbefragung hinsichtlich des Flächenanteils selten beheizter Räume in Einfamilienhäusern hervorgehoben werden. [Jagnow, Wolff 2005] ermittelten für 32 Einfamilienhäuser die mittlere Anzahl der selten beheizten Räume je Gebäude zu 2,25 mit einem mittleren Flächenanteil von ca. 27 % der Gesamtfläche der Häuser. Da alle der im Optimus-Projekt untersuchten EFH durch Kesselheizung oder Fernwärme versorgt wurden, ist der Anteil der beheizten Fläche von 73 % dem Wert von 88 % aus [Rouvel 1982] (Abb. 83) gegenüberzustellen und bei der weiteren Berücksichtigung von räumlicher Teilbeheizung zu beachten. Abb. 87 zeigt die Ergebnisse der Nutzerbefragung zur räumlichen Teilbeheizung für 32 EFH.

**Abb. 87: Anteil selten beheizter Flächen in Einfamilienhäusern aus einer Nutzerbefragung (basierend auf [Jagnow, Wolff 2005, Bild 68])**



## Nutzenergiebedarf für Warmwasser in Wohngebäuden [Offermann et al. 2017]

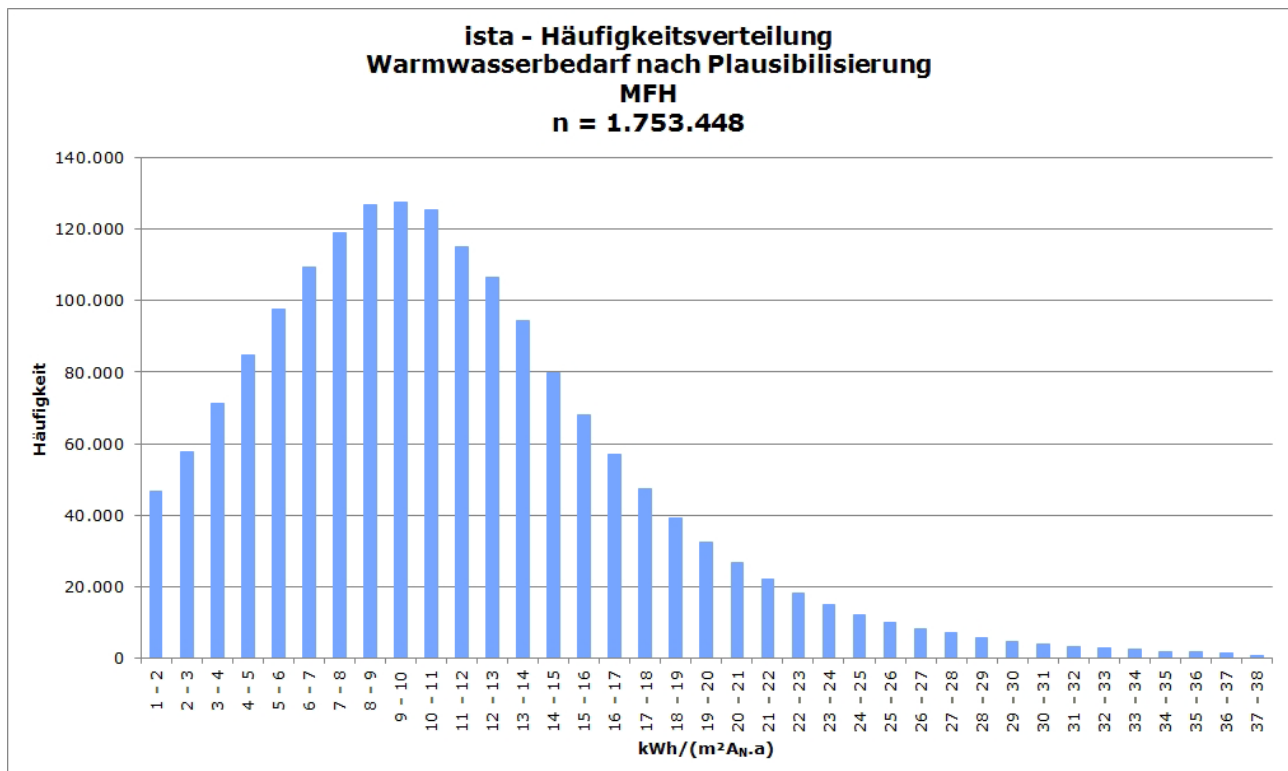
In einer Studie im Auftrag des BBSR werteten [Offermann et al. 2017] verfügbare Datensätze zum Warmwasserverbrauch von Ein-/Zweifamilienhäusern (EZFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) aus. Grundlage waren zum einen Verbrauchsdaten der Firma ista, die im Rahmen der Heizkostenabrechnung erfasst wurden. Zum anderen wurden Erhebungsdaten der Firma co2online ausgewertet, die im Rahmen der Programme „HeizCheck“, „ModernisierungsCheck“ und „Heizgutachten“ für Haushalte von Ein- und Mehrfamilienhäusern erfasst wurden. Bei der Auswertung des Datensatzes von ista wurde im Falle einer zentralen Warmwasserversorgung ein Anteil für Leitungsverluste nach einer vereinfachten Formel in Anlehnung an DIN V 18599-8:2011-12 berücksichtigt, um vom verbrauchten Warmwasservolumen auf die verbrauchte Wärmemenge umzurechnen. Diese Umrechnung sollte im statistischen Sinne als systematischer Fehler bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Gleiches gilt für die verwendeten Plausibilisierungsverfahren zur Auf-

bereitung der Datensätze von ista und co2online<sup>9</sup> sowie die notwendige Umrechnung der angegebenen Wohnflächen in bei der Auswertung verwendete Nutzfläche. Die Ergebnisse der Auswertungen zeigen Tab. 25 sowie Abb. 88 bis Abb. 90. Ebenfalls wurde in [Offermann et al. 2017] auch der Zusammenhang zwischen Warmwasserverbrauch und Wohnfläche dargestellt. Da der Warmwasserverbrauch jedoch (auch) stark von der Personenanzahl eines Haushalts abhängt und diese Auswertung von [Offermann et al. 2017] nicht durchgeführt wurde, wird auf diese Ergebnisse hier nicht weiter eingegangen.

**Tab. 25: Warmwasserverbrauch für Ein-/Zweifamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser nach Auswertung der Datensätze von ista und co2online ([Offermann et al. 2017])**

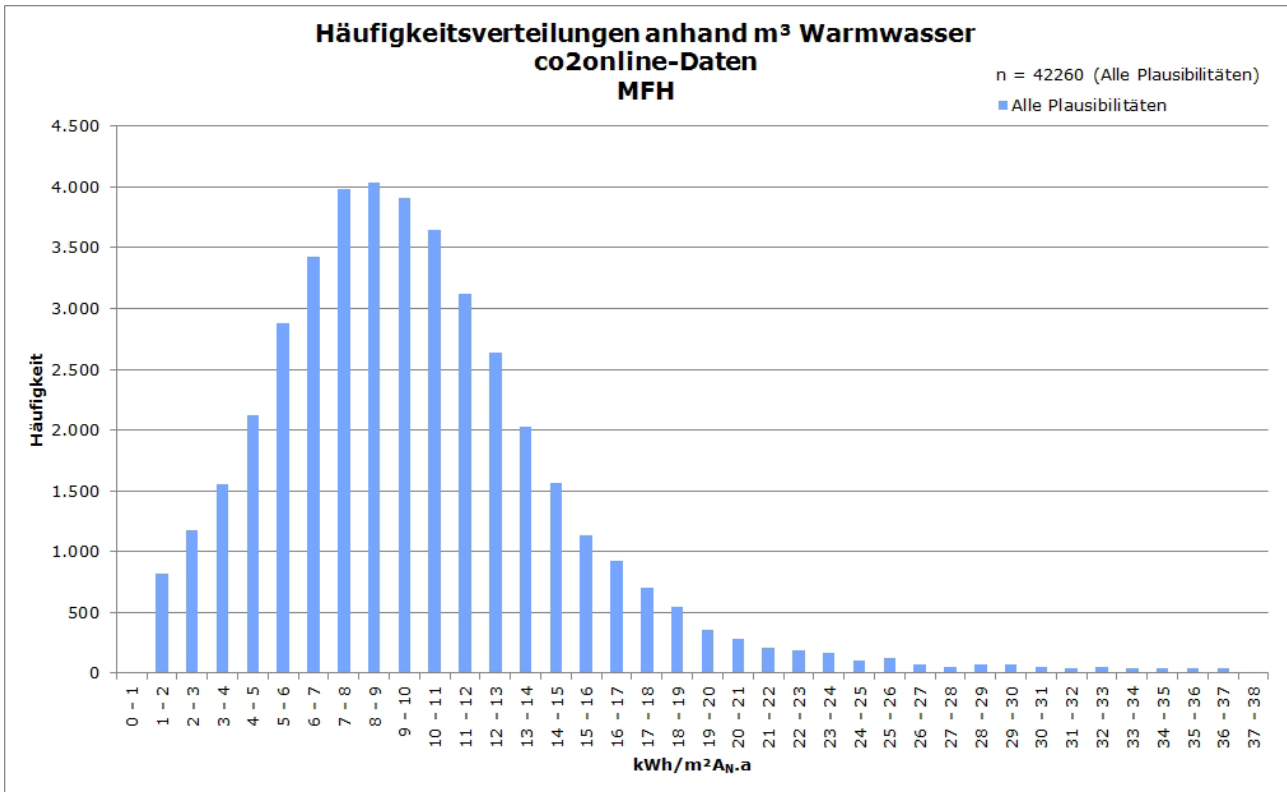
Warmwasserverbrauch (kWh/(m <sup>2</sup> <sub>Nutzfläche</sub> *a))			
	ista (MFH)	co2online (MFH)	co2online (EZFH)
Mittelwert	11,1	10,0	11,6
SD	6,1	5,1	8,7
75 %-Quartil		12,3	16,1
Median	10,3	9,3	8,9
25 %-Quartil		6,6	5,0
Anzahl Haushalte	1.753.448	42.260	10.965

**Abb. 88: Häufigkeitsverteilung des Warmwasserbedarfs von MFH basierend auf ista-Daten zur Verbrauchsabrechnung ([Offermann et al. 2017, Abb. 3])**

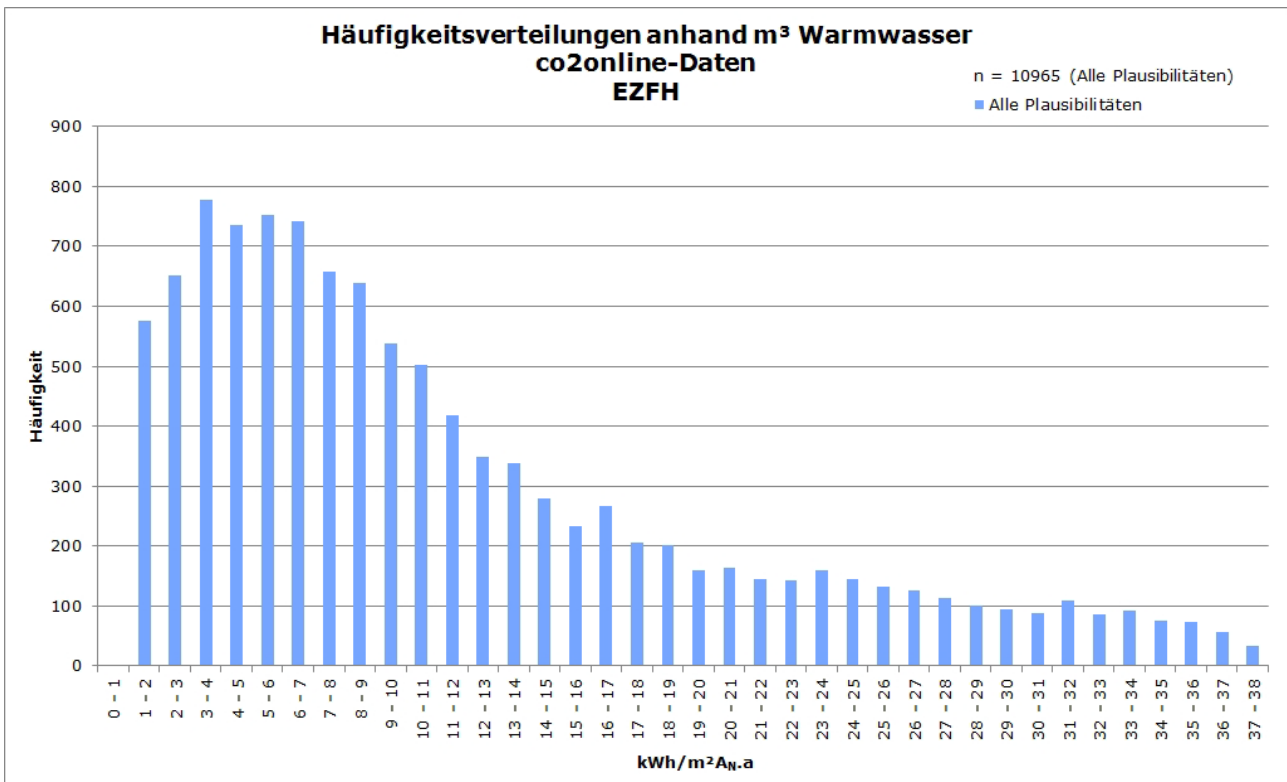


<sup>9</sup> Im Rahmen der Plausibilisierung der Verbrauchsdaten wurden Werte als nicht plausibel angenommen, die das Dreifache eines mittleren Tagesverbrauchs von 25 l/Person überschritten. Durch dieses Auswahlkriterium könnten reale Vielverbraucher als nicht plausible Verbrauchswerte aus dem Datensatz entfernt worden sein.

**Abb. 89: Häufigkeitsverteilung des Warmwasserbedarfs von MFH basierend auf co2online-Befragungsdaten ([Offermann et al. 2017, Abb. 9])**



**Abb. 90: Häufigkeitsverteilung des Warmwasserbedarfs von MFH basierend auf co2online-Befragungsdaten ([Offermann et al. 2017, Abb. 12])**

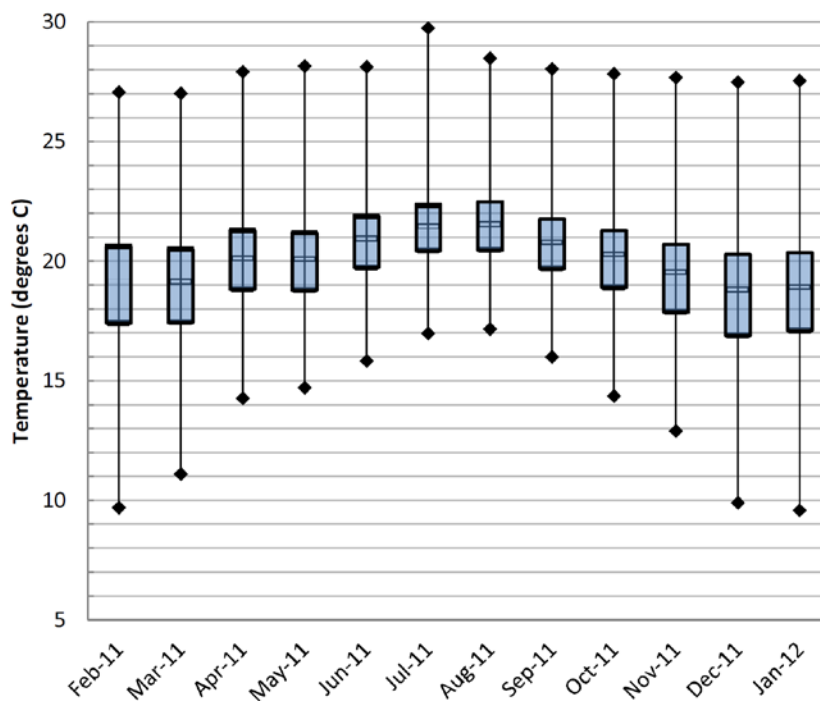


## Energy Follow-Up Survey 2011/2012 des Building Research Establishment (UK) [Riley et al. 2013]

Auch international beschäftigten sich verschiedene Untersuchungen mit dem Nutzerverhalten und dessen Einfluss auf den Energieverbrauch. Der Energy Follow-Up Survey 2011/2012 (EFUS) war eine umfangreiche, auf den häuslichen Energieverbrauch bezogene Nutzerumfrage in Großbritannien. Auf freiwilliger Basis konnten die Befragten zudem an einem Messprogramm für Raumtemperaturen und Stromverbräuche teilnehmen. Von insgesamt 2.616 Befragten entschieden sich 943 für die Teilnahme am Messprogramm. Da nicht alle Haushalte ihre Messgeräte bzw. Datenlogger zurückschickten und zudem einige Geräte im Messzeitraum ausfielen standen den Forschern 823 nutzbare Haushaltsdatensätze zur Verfügung. Diese Datensätze enthielten die Raumtemperaturen in Wohnzimmer, Flur und Schlafzimmer der Wohnung in einer 20-minütigen Auflösung. Die Datensätze wurden von der Forschergruppe des Building Research Establishment (BRE) und weiteren Forschergruppen ausgewertet. Die Besonderheit dieser Daten besteht darin, dass es sich um einen Querschnitt aus allen Gebäudealtersklassen und -kategorien handelt, wohingegen die vorangegangenen Studien zumeist auf einen bestimmten Gebäudetyp beschränkt waren.

Die Auswertung der Messergebnisse zeigt insbesondere eine enorme Streuung der Raumtemperaturen im Monatsmittel zwischen den verschiedenen Haushalten (Abb. 91). Hierbei liegen die mittleren Temperaturen im Wohnzimmer in der Heizperiode von Oktober bis April zwischen 18,6 °C und 20,1 °C. Die im BRE Domestic Energy Model (BREDEM) etablierte Einteilung des Gebäudes in zwei unterschiedliche Nutzungszonen (Wohnzimmer: erhöhte Nutzung und Komfortanspruch; Zone 2: andere beheizte Räume) wird in der Studie verwendet um darzustellen, dass eine differenzierte Beheizung der Räume erfolgt und welche Temperaturunterschiede zwischen den Zonen vorliegen (Tab. 26). So sind in der Heizperiode die mittleren Temperaturen im Wohnzimmer zwischen 0,3 K und 0,6 K höher als in den anderen Räumen der untersuchten Wohnungen.

**Abb. 91: Boxplot der mittleren Wohnzimmertemperaturen im Untersuchungszeitraum ([Riley et al. 2013, Abb. 7])**





**Tab. 26: Mittelwerte der monatsmittleren Raumtemperaturen für Zone 1 (Wohnzimmer) und Zone 2 (Mittel aus Flur und Schlafzimmer) (nach [Riley et al. 2013, Tabelle 4])**

Monat	Zone 1		Zone 2		Zone 1- Zone 2 (Differenz)	
	Mittelwert	95 % KI	Mittelwert	95 % KI	Mittelwert	95 % KI
Feb 2011	19	(18,8; 19,2)	18,5	(18,2; 18,7)	0,6	(0,4; 0,7)
Mar 2011	19	(18,8; 19,2)	18,7	(18,4; 18,9)	0,3	(0,2; 0,4)
Apr 2011	20	(19,8; 20,1)	20	(19,7; 20,1)	0	(0; 0,1)
May 2011	20	(19,8; 20,1)	19,9	(19,6; 20,0)	0,1	(0; 0,1)
Jun 2011	20,9	(20,7; 21,0)	21	(20,7; 21,1)	-0,1	(-0,1; 0)
Jul 2011	21,4	(21,2; 21,5)	21,5	(21,3; 21,7)	-0,1	(-0,2; 0)
Aug 2011	21,5	(21,3; 21,5)	21,5	(21,3; 21,6)	0	(0; 0)
Sep 2011	20,8	(20,6; 20,8)	20,6	(20,4; 20,8)	0,1	(0; 0,1)
Oct 2011	20,1	(19,9; 20,2)	19,8	(19,6; 20,0)	0,3	(0,2; 0,3)
Nov 2011	19,3	(19,1; 19,5)	18,8	(18,5; 19,0)	0,5	(0,3; 0,6)
Dec 2011	18,6	(18,3; 18,7)	17,9	(17,6; 18,2)	0,6	(0,4; 0,7)
Jan 2012	18,7	(18,4; 18,9)	18,1	(17,8; 18,4)	0,6	(0,4; 0,7)

*KI = Konfidenzintervall*

Die Monatsmittelwerte der mittleren Gebäudetemperaturen sind durch [Riley et al. 2013] ebenfalls aus den Datensätzen der Studie berechnet worden (Tab. 27). Hierbei ist auffällig, dass die mittleren Raumtemperaturen über die breitere Auswahl an Gebäudetypen und energetischen Standards im Vergleich zu den beschriebenen Modellprojekten mit hohem energetischem Standard deutlich geringer sind (vgl. Abb.84. und Abschnitt 2.3.2).

**Tab. 27: Mittlere Gebäudetemperaturen (nach [Riley et al. 2013, Anhang A.2.a])**

Monat	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Minimum	Maximum	25% Quantil	75% Quantil
Feb 2011	18,7	18,7	2,2	9,8	26,9	17,3	20,1
Mar 2011	18,8	18,9	2,1	11,8	26,9	17,5	20,1
Apr 2011	20,0	20,0	1,7	14,3	27,9	18,9	21,1
May 2011	19,9	19,9	1,7	14,7	28,1	18,8	20,9
Jun 2011	20,9	21,0	1,4	16,2	28,0	20,0	21,9
Jul 2011	21,5	21,5	1,3	17,4	28,5	20,6	22,3
Aug 2011	21,5	21,5	1,3	17,4	28,3	20,5	22,3
Sep 2011	20,7	20,7	1,4	16,2	27,8	19,7	21,6
Oct 2011	19,9	20,0	1,6	14,0	27,5	18,8	20,9
Nov 2011	19,0	19,1	1,9	12,3	27,3	17,7	20,2
Dec 2011	18,1	18,2	2,4	9,7	27,1	16,7	19,7
Jan 2012	18,3	18,4	2,4	9,5	27,2	17,0	19,8

Auch die Unterschiede zwischen verschiedenen Gebäudetypen und Dämmstandards<sup>10</sup> sind aus den Ergebnissen der Studie erkennbar (Tab. 28). Zwar ist keine Zuordnung zu Wärmeschutzniveaus nach deutscher Gesetzgebung möglich, dennoch ist der Trend zu steigenden Raumtemperaturen bei besserem energetischem Standard erkennbar.

**Tab. 28: Monatsmittlere Raumtemperaturen in der Heizperiode Oktober bis April in Abhängigkeit von Gebäudeeigenschaften (nach [Riley et al. 2013, Tabelle 9])**

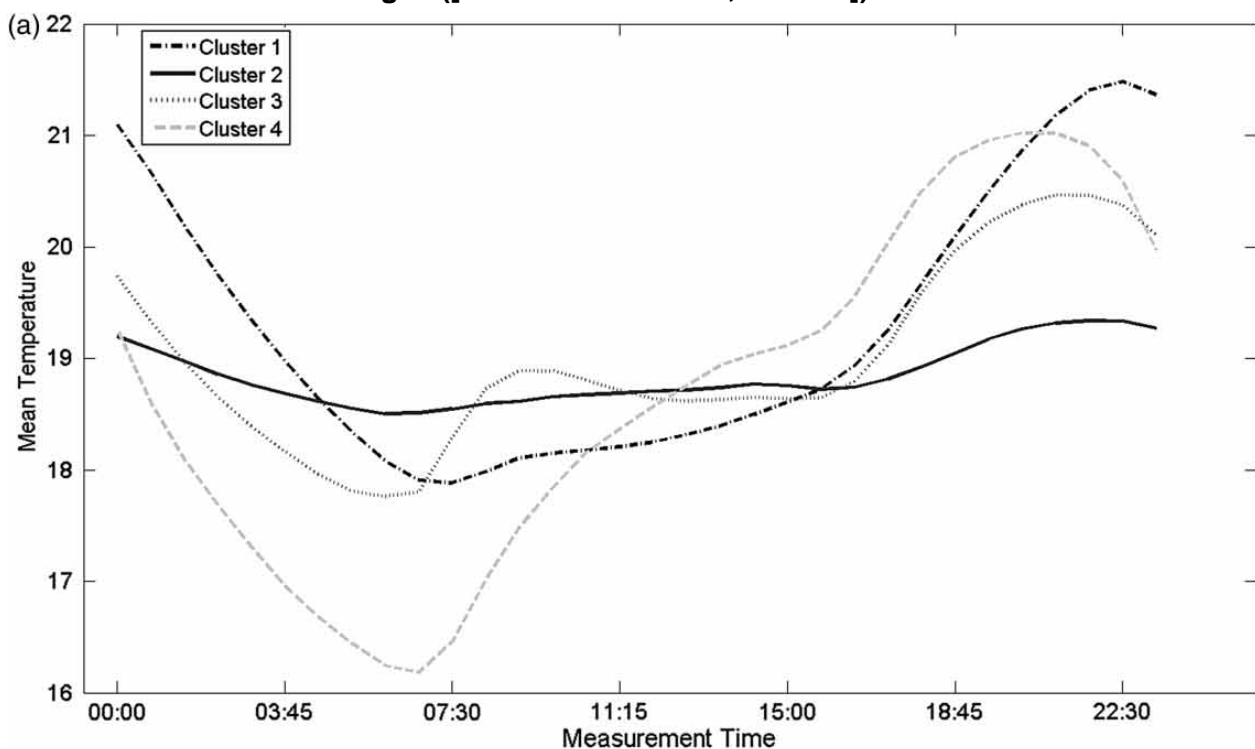
Gebäudeeigenschaft	Eigenschaftskategorie	Mittlere Temperaturen (°C)					
		Wohnzimmer	Flur	Schlafzimmer	Zone 2	Gebäude	Aussen
Gebäudetyp	Reihenendhaus	19,0	18,7	19,0	18,8	18,9	8,5
	Reihenmittelhaus	19,5	19,1	19,0	19,0	19,2	8,5
	Doppelhaushälfte	19,0	18,4	18,9	18,6	18,8	8,4
	Freistehend	18,7	18,4	18,6	18,5	18,6	8,4
	Bungalow	19,4	19,3	18,6	18,9	19,1	8,2
	Wohnung	20,0	19,5	18,9	19,3	19,5	8,8
Gebäudealter	Vor 1919	18,3	18,1	18,0	18,0	18,1	8,5
	1919-1944	19,2	18,7	18,8	18,7	18,9	8,6
	1945-1964	19,6	18,8	19,1	19,0	19,2	8,4
	1965-1974	19,3	19,0	19,0	19,0	19,1	8,5
	1975-1980	20,1	19,7	19,6	19,7	19,8	8,6
	1981-1990	19,5	19,2	19,2	19,2	19,3	8,5
	Nach 1990	19,2	19,2	19,1	19,1	19,2	8,5
Sind die Außenwände gedämmt?	Gedämmt	19,4	18,9	19,1	19,0	19,1	8,3
	Nicht gedämmt	19,1	18,8	18,7	18,8	18,9	8,6
Dämmung Dachgeschoss	< 50 mm	18,7	18,6	18,8	18,8	18,8	8,6
	50 - 149 mm	19,2	18,7	18,9	18,8	18,9	8,5
	> 150 mm	19,2	18,7	18,8	18,7	18,9	8,3
Zweischeibenverglasung	Ja	19,5	18,9	19,0	19,0	19,1	8,5
	Nein	18,7	18,5	18,4	18,4	18,5	8,6
Ausführung aller 3 Dämmmaßnahmen	Alle 3 Maßnahmen	19,2	18,7	18,8	18,8	18,9	8,2
	2 Maßnahme	19,5	18,8	19,1	19,0	19,2	8,4
	1 Maßnahme	19,3	18,8	18,9	18,9	19,0	8,6
	Keine Maßnahme	17,9	18,2	18,2	18,1	18,1	8,6

<sup>10</sup> Der Dämmstandard ist lediglich grob über das Vorhandensein von Dämmung der Wand und des Dachgeschosses sowie von Zweischeibenverglasung abschätzbar.

## Untersuchung der Raumtemperaturverläufe in Wohngebäuden (UK) [Huebner et al. 2015]

Im Rahmen des Carbon Reduction in Buildings Home Energy Survey (CaRB HES) wurden zwischen Juli 2007 und Februar 2008 in 275 englischen Haushalten zusätzlich zu einer Nutzerbefragung auch Temperaturmessungen in 45-minütiger Auflösung durchgeführt. Sowohl in Wohn- als auch in Schlafzimmern wurden Temperaturfühler und Datenlogger installiert und die Daten im Anschluss von [Huebner et al. 2015] hinsichtlich erkennbarer Muster im Temperaturverlauf untersucht. Die Stichprobe konnte durch gezielte Clusteranalyse in vier typische Raumtemperaturverläufe unterteilt werden (Abb. 92; untersucht wurden nur die im Wohnzimmer erfassten Raumlufttemperaturen). Zur Untersuchung der Muster in den Temperaturverläufen wurden die Temperaturwerte in 45-minütiger Auflösung um den Tagesmittelwert der Raumtemperatur zentriert, d.h. es spielte im ersten Schritt der Clusteranalyse nur die Höhe der Abweichung im Zeitintervall vom Tagesmittelwert des Haushalts eine Rolle. Der absolute Wert der Raumtemperatur wurde erst in der weiteren Untersuchung der vier typischen Temperaturverläufe wieder einbezogen. Die Clusteranalyse führt zu vier Mustern, die einer kontinuierlichen Beheizung (Cluster 2) und unterschiedlichen Formen der Nacht- und Tagabsenkung der Wohnzimmertemperatur entsprechen (Cluster 1, 3, 4). Für jedes der vier Cluster sind die minimalen, durchschnittlichen, maximalen mittleren Raumtemperaturen und deren Streuung innerhalb des Clusters angegeben (siehe Tab. 29)

**Abb. 92: Gruppierung von Haushalten nach typischem Verlauf von Wohnzimmertemperaturen an Werktagen ([Huebner et al. 2015, Abb. 1a])**



**Tab. 29: Tagesmittelwerte und Standardabweichung der Wohnzimmertemperaturen für Gruppen gleichen typischen Temperaturverlaufs (nach [Huebner et al. 2015, Tabelle 2])**

Gruppe	Mittlere Tagestemperatur in °C (Standardabweichung)				Maximale Tagestemperatur in °C (Standardabweichung)				Minimale Tagestemperatur in °C (Standardabweichung)			
	Wochentag		Weekende		Wochentag		Weekende		Wochentag		Weekende	
1 Steady rise	19,28	(2,17)	19,47	(2,13)	21,67	(2,27)	21,74	(2,23)	17,50	(2,07)	17,50	(2,06)
2 Flat line	18,85	(2,98)	18,87	(2,93)	19,66	(3,05)	19,71	(3,02)	18,16	(2,94)	18,13	(2,90)
3 Two peak	19,00	(2,05)	19,23	(2,03)	20,63	(2,17)	20,79	(2,10)	17,52	(1,95)	17,62	(1,96)
4 Steep rise	18,68	(2,56)	18,81	(2,68)	21,45	(2,91)	21,51	(3,08)	16,03	(2,65)	16,03	(2,65)

Eine Analyse der Haushalte in den Klassen bzw. Clustern des Heizverhaltens zeigte typische Abhängigkeiten der Wohnzimmertemperatur vom Alter und vom Eigentumsverhältnis der Wohnung bzw. des Hauses. Eine Korrelation der Heizkosten und Heizwärmeverbräuche von Haushalten mit den verschiedenen Raumtemperaturmustern erfolgte im Rahmen der Studie leider nicht. Auch wenn eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den deutschen Wohngebäudesektor nicht ohne weiteres möglich scheint, so liegen die Vermutungen nahe, dass a) ähnliche Muster auch bei der Untersuchung von Nutzern in Deutschland gefunden werden können und b) dass die Art und Weise der Raumtemperierung einen Einfluss auf den Energieverbrauch unterschiedlicher Nutzer innerhalb einer gleichen baulichen Umgebung (d.h. gleicher Dämmstandard, Wohnfläche, Anlagentechnik etc.) hat.

### 2.3.2 Messdaten zum Nutzereinfluss

In den folgenden Abschnitten werden die Messdaten verschiedener Modellprojekte beschrieben. Die Ergebnisse der Messprojekte werden hierbei soweit möglich einheitlich dargestellt und gruppiert und anhand von Grafiken und Tabellen diskutiert. Soweit es die Datenquellen zulassen werden die einzelnen Parameter zum Nutzerverhalten durch die statistischen Kenngrößen Mittelwert, Standardabweichung (SD), Maximum und Minimum, Median sowie oberes und unteres Quartil beschrieben. Aufgrund der z.T. unterschiedlichen Fragestellungen, die der Messdatenaufnahme und -auswertung im Rahmen der einzelnen Projekte zugrunde lag, werden ergänzende Informationen zu den angegebenen empirischen Werten in Form von Fußnoten zu den Tabellen gegeben. Die Erkenntnisse aus den einzelnen Projekten werden abschließend in Abschnitt 2.3.3 systematisiert und für die Verwendung in anderen Arbeitspaketen aufbereitet.

### Quartierskonzept Energieeffizientes Karlsruhe-Rintheim [Jank 2013], [Müller et al. 2012]

In diesem Projekt wurde die Umsetzung eines energetischen Quartierskonzepts für die Sanierung von mehreren baugleichen Wohngebäuden verfolgt. Neben der Planung und Umsetzung energetischer Sanierungsmaßnahmen war auch die messtechnische Erfassung von verschiedensten Parametern ein wichtiger Bestandteil der Untersuchungen. Hinsichtlich der Frage nach dem Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch wurden erfasste Messdaten nur zum Teil systematisch ausgewertet und dargestellt, sodass die Auswertung an dieser Stelle nur einen Bruchteil der im Projekt erhobenen Daten berücksichtigen kann. Die beiden Projektberichte der VOLKS-WOHNUNG Karlsruhe GmbH [Jank 2013] und der RWTH Aachen [Müller et al. 2012] geben den-

noch einige Hinweise auf den verhaltensabhängigen nutzerspezifischen Einfluss auf den Energieverbrauch der 60 sanierten und untersuchten Wohneinheiten. Zusätzlich wurden auch 10 Wohneinheiten eines anderen Gebäudes als Referenz erfasst. Eine Ergebnisdarstellung erfolgt soweit möglich in den nachfolgenden Tabellen Tab. 30 und Tab. 31.

**Tab. 30: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (KA – Rintheim)**

Projekt: KA - Rintheim (Mehrfamilienhaus; Niedrigenergiehaus, Sanierung)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung <sup>2)</sup>	Warmwasserverbrauch <sup>3)</sup>	Interne Wärmequelle
Bezug	Wohneinheit		Mittelwert je Wohneinheit		
Einheit	°C	%	$h/(d \cdot \text{Fenster})$	$kWh/(m^2a)$	$W/m^2$
Mittelwert	21,9		4,9	12,1	
SD	1,2		3,0	6,5	
Maximum	23,8		14,6	28,5	
75 %-Quartil	22,7		7,0	16,3	
Median	22,1		5,0	10,6	
25 %-Quartil	20,9		2,3	7,5	
Minimum	19,8		0,2	1,8	
Wohneinheiten (n)	40		40	39	

- 1) Diese Auswertung basiert auf mittleren Temperaturen der Wohneinheiten im Eingang 1 des Gebäuderiegels 3 im Monat Dezember 2011. ([Müller et al. 2012, Tab.11-7 und 11-8])
- 2) Die Auswertung bezieht sich auf 40 Wohnungen in den Gebäuderiegeln 2 und 3. Für den Monat Dezember 2011 wurden für alle Fenster die Öffnungszeiten ermittelt und je Wohnung ein Mittelwert gebildet. Die dargestellten Werte geben die Verteilung der Mittelwerte je Wohneinheit wieder ([Müller et al. 2012, Tab.11-7 und 11-8])
- 3) Auswertung der spezifischen Warmwasserverbräuche von 39 der messtechnisch erfassten Wohneinheiten. ([Müller et al. 2012, Tab.11-9])

**Tab. 31: Darstellung der Streubreiten bei der Betrachtung der Öffnungsdauern einzelner Fenster anstelle von Durchschnittswerten je Wohneinheit (KA – Rintheim)**

Projekt: KA - Rintheim	
Parameter	Fensteröffnung <sup>1)</sup>
Bezug	
Einheit	$h/(d \cdot \text{Fenster})$
Mittelwert	4,6
SD	6,9
Maximum	24,0
75 %-Quartil	6,2
Median	1,3
25 %-Quartil	0,5
Minimum	0,0
Wohneinheiten (n)	10

- 1) Hier wurden die Öffnungszeiten aller 68 Fenster von 10 Wohneinheiten im Dezember 2011 ausgewertet. Die Auswertung zeigt im Vergleich zu Tab. 30, dass einige der Fenster ganztägig geöffnet (vermutlich gekippt) sind. ([Müller et al. 2012, Tab.11-11])

## Messtechnische Untersuchungen an den Sanierungsbauten Tevesstraße Frankfurt a.M. [Peper et al. 2009], [Peper et al. 2011]

Auch das Passivhaus Institut (PHI) hat für einige der von Ihnen wissenschaftlich begleiteten Projekte ein Verbrauchsmonitoring betrieben. Im Projekt „Tevesstraße“ wurden zwei Wohnblocks mit vier bzw. sechs Eingängen und 20 bzw. 33 Wohnungen auf Passivhausstandard saniert und anschließend die Verbräuche und einige Aspekte des Nutzerverhaltens messtechnisch erfasst. Bei der Datenauswertung mit Verbrauchsmonitoring wurde zudem quantifiziert, wie groß der Energie-mehrverbrauch auf Grund der Abweichungen zwischen Standardparametern bei der Bedarfsberechnung und dem realem Nutzerverhalten ist. Die nachfolgenden Tabellen Tab. 32 und Tab. 33 zeigen die mittleren Raumtemperaturen, Warmwasserverbräuche und interne Gewinne auf Grund des Haushaltsstromverbrauchs der Wohneinheiten.

**Tab. 32: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (F – Tevesstraße)**

Projekt: F - Tevesstraße (Mehrfamilienhaus; EH40/Passivhaus, Sanierung)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung	Warmwasserverbrauch <sup>2)</sup>	Interne Wärmequelle <sup>3)</sup>
Bezug	Wohneinheit				Haushaltsstrom
Einheit	°C	%	$h/(d \cdot \text{Fenster})$	$kWh/(m^2a)$	$W/m^2$
Mittelwert	22,5			17,2	3,9
SD	1,3			10,4	1,5
Maximum	24,9			40,8	7,0
75 %-Quartil	23,3			20,4	4,7
Median	21,8			14,4	3,6
25 %-Quartil	21,6			10,8	3,0
Minimum	20,7			0,7	0,5
Wohneinheiten (n)	15			38	19

1) Die Raumtemperaturmessung erfolgte mit Messfühlern in Unterputzdosen und geschlitzten Deckeln im Bereich Flur/Wohnraum, d.h. innenliegend. Der Auswertung liegt der Messzeitraum vom 15.10.2009 bis zum 30.04.2010 zugrunde. ([Peper et al. 2011, Abb. 22])

2) Angaben des Energieverbrauchs beziehen sich auf die Zapfmenge an Trinkwarmwasser. Der Zeitraum Mai 2008 bis April 2010 wurde in der Auswertung berücksichtigt. Es handelt sich damit um je 2 Jahresverbrauchswerte für 19 Wohneinheiten. ([Peper et al. 2011, Abb. 46])

3) Die Angabe bezieht sich auf den Haushaltsstromverbrauch der untersuchten Wohnungen im Zeitraum 24.09.2009 bis 23.09.2010. ([Peper et al. 2011, Abb. 53])

**Tab. 33: Darstellung zusätzlicher messtechnisch erfasster Größen zum Nutzerverhalten (F – Tevesstraße)**

Projekt: F - Tevesstraße		
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Luftwechselrate <sup>2)</sup>
Bezug		mech. Lüftung
Einheit	h/d	1/h
Mittelwert	21,9	0,4
SD	1,3	0,1
Maximum	23,9	0,6
75 %-Quartil	23,1	0,5
Median	22,1	0,4
25 %-Quartil	20,6	0,4
Minimum	19,7	0,1
Wohneinheiten (n)	19	15

- 1) Das Gebäudemonitoring zeigt in einem früheren Zeitraum (Oktober 2007 bis April 2008) eine geringere mittlere Raumtemperatur im Vergleich zu den Werten aus Tab. 32, bei ähnlicher Streuung der Einzelwerte. ([Peper et al. 2009, Abb. 21])
- 2) Die durchschnittlichen Luftwechselraten der mechanischen Lüftungsanlage in der Heizzeit wurden im Zeitraum 15.10.2009 bis 30.04.2010 ermittelt. ([Peper et al. 2011, Abb. 60])

### Mehrfamilienhaus mit Energiegewinn, Frankfurt - Cordierstraße [Großklos et al. 2016]

Das IWU untersuchte zwischen 2014 und 2016 ebenfalls messtechnisch einen MFH-Neubau in Frankfurt am Main (Cordierstraße). Ziel des Energiekonzeptes war durch deutliche Verbrauchsreduzierung und die Energieerzeugung vor Ort aus erneuerbaren Energiequellen eine mindestens ausgeglichene Jahresenergiebilanz für das 17 Wohneinheiten umfassende Gebäude zu erreichen. Neben den Energieströmen auf Gebäudeebene wurden im Rahmen des Monitoring auch nutzerspezifische Energieverbräuche und andere Parameter erfasst, die Rückschlüsse auf das Nutzerverhalten und dessen Auswirkung auf den Energieverbrauch ziehen lassen (siehe Tab. 34 bis Tab. 36).

**Tab. 34: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (F – Cordierstraße)**

Projekt: F - Cordierstraße (Mehrfamilienhaus; EH40/Passivhaus, Neubau)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung	Warmwasserverbrauch <sup>2)</sup>	Interne Wärmequelle <sup>3)</sup>
Bezug	Wohneinheit				Haushaltsstrom
Einheit	°C	%	h/(d·Fenster)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>
Mittelwert	22,5			17,3	2,05
SD	0,5			7,2	0,95
Maximum	23,3			31,4	4,84
75 %-Quartil	22,9			20,3	2,14
Median	22,5			15,0	1,94
25 %-Quartil	22,1			13,6	1,42
Minimum	21,4			6,4	0,96
Wohneinheiten (n)	17			17	17

- 1) Die Werte wurden aus den verbrauchsgewichteten Monatsmitteltemperaturen je WE im Zeitraum September bis Mai in 2014/15 und 2015/16 berechnet. Die statistischen Kenngrößen beziehen sich auf flächen- und verbrauchsgewichtete Wohnungsmitteltemperaturen. (eigene Auswertung)
- 2) Der spezifische Nutzenergieverbrauch Warmwasser ohne Zirkulationsverluste für das Jahr 2015 wurde aus den Werten der Wärmemengenzähler der Wohneinheiten berechnet. (eigene Auswertung)
- 3) Dieser Wert beinhaltet den Haushaltsstromverbrauch, nicht jedoch die internen Wärmegewinne durch Personenbelegung bzw. Anwesenheit. Die Auswertung bezieht sich auf das Jahr 2015. (eigene Auswertung)

**Tab. 35: Darstellung der ungewichteten Wohnungsmitteltemperaturen (F – Cordierstraße)**

Projekt: F - Cordierstraße	
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>
Bezug	Wohneinheit
Einheit	°C
Mittelwert	22,5
SD	0,8
Maximum	24,5
75 %-Quartil	23,0
Median	22,5
25 %-Quartil	22,0
Minimum	20,3
Wohneinheiten (n)	34

- 1) Die Werte beziehen sich auf die Monatsmitteltemperaturen je WE während der Heizperioden (Oktober bis April) 2014/15 und 2015/16. Für jede der 17 Wohneinheiten liegen damit 2 Monatsmitteltemperaturen vor. Es liegt keine Verbrauchs- oder Flächengewichtung zugrunde. ([Großkloß et al. 2016, Tab. 47 und Tab. 48] und eigene Auswertung)



**Tab. 36: Raumlufthemperaturen der Wohnungen im Sanierungsprojekt „Cordierstraße“ ([Großkloß et al. 2016, Tabelle 37] und eigene Auswertung)**

Parameter	Mitteltemperatur aller Wohnungen	Standardabw. der Mitteltemperatur	Minimale / Maximale Monatsmitteltemperatur		Mittlere Raumluftfeuchte Wohnungen	Standardabw. der Raumluftfeuchte
Einheit	°C	K	°C		% (rel. F.)	% (rel. F.)
Jul. 2014	25,9	0,76	25,17	27,81	53,4	2,5
Aug. 2014	24,4	0,70	23,40	26,27	52,8	1,8
Sep. 2014	23,2	0,54	22,29	24,12	58,3	1,9
Okt. 2014	22,3	0,5	21,27	23,01	58,0	2,4
Nov. 2014	22,4	0,5	21,50	23,41	45,9	3,3
Dez. 2014	22,2	0,7	21,11	23,49	39,8	6,6
Jan. 2015	21,7	0,8	20,26	22,78	38,4	9,0
Feb. 2015	22,4	0,9	21,29	24,00	35,1	8,6
Mrz. 2015	22,9	0,8	21,48	24,17	37,1	6,9
Apr. 2015	23,3	0,7	21,94	24,46	37,6	6,1
Mai. 2015	23,2	0,5	22,19	24,06	43,7	4,3
Jun. 2015	23,9	0,4	23,08	24,60	47,6	2,6
Jul. 2015	26,1	0,5	25,11	26,99	49,0	2,4
Aug. 2015	26,1	0,4	25,51	26,97	51,1	2,0
Sep. 2015	23,5	0,6	22,23	24,55	50,2	2,6
Okt. 2016	22,4	0,5	21,38	23,26	47,5	2,8
Nov. 2016	22,6	0,5	21,85	23,48	45,5	4,1
Dez. 2016	22,5	0,6	21,65	23,64	44,6	4,2
Jan. 2016	21,9	0,8	20,77	23,59	39,8	5,0
Feb. 2016	22,1	0,8	20,70	23,53	39,5	5,1
Mrz. 2016	22,4	0,8	21,32	23,80	36,9	4,7
Apr. 2016	22,8	0,7	21,26	23,79	39,9	3,7
Mai. 2016	23,2	0,4	22,61	23,85	45,6	2,6
Jun. 2016	24,2	0,4	23,45	24,64	57,4	2,0
Juli 2014 - Juni 2015	23,2				45,6	
Heizperiode 2014/15	22,3		20,3	24,2	42,4	
Sommer 2015	25,4				49,2	
Juli 2015 - Juni 2016	23,3				45,6	
Heizperiode 2015/16	22,3		20,7	23,8	42,3	

Dieser Tabelle und Tab. 34 sowie Tab. 35 liegen unterschiedliche Gewichtungen (ungewichtet vs. verbrauchs- und flächengewichtet bzw. rein flächengewichtet) zugrunde, weshalb geringfügige Abweichungen der Monats- und Mittelwerte auftreten.

## Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung Rotlintstraße, Frankfurt am Main [Großklos 2013]

In einem weiteren Modellprojekt hat das IWU die Modernisierung mehrerer MFHs in Frankfurt am Main auf Passivhausstandard begleitet und zwischen Oktober 2009 und April 2013 ein Monitoring zur Erfolgskontrolle durchgeführt. Die im Rahmen des Projekts ausgewerteten Messdaten werden auch in diesem Projekt dargestellt und zeigen die Spanne des Nutzerverhaltens hinsichtlich der Raumtemperaturen und des Warmwasserverbrauchs (siehe Tab. 37 und Tab. 38).

**Tab. 37: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (F – Rotlintstraße)**

Projekt: F - Rotlintstraße (Mehrfamilienhaus; EH40/Passivhaus, Sanierung)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung	Warmwasserverbrauch <sup>2)</sup>	Interne Wärmequelle <sup>3)</sup>
Bezug	Wohneinheit				Haushaltsstrom
Einheit	°C	%	$h/(d \cdot \text{Fenster})$	$kWh/(m^2a)$	$W/m^2$
Mittelwert	22,1			15,3	3,0
SD	0,9			7,2	1,5
Maximum	24,1			36,6	11,0
75 %-Quartil	22,6			18,7	3,5
Median	22,2			13,9	2,6
25 %-Quartil	21,7			10,3	2,1
Minimum	20,3			3,9	0,3
Wohneinheiten (n)	36			76	59

- 1) Die Mitteltemperaturen je Wohneinheit wurden aus verbrauchsgewichteten Monatsmitteltemperaturen des Zeitraums September 2011 bis Mai 2012 errechnet. Die statistischen Kennwerte beziehen sich auf die Auswertung der mittleren Temperaturen je Wohneinheit für den genannten Zeitraum. Es wurden nur die ersten beiden Bauabschnitte in diese Auswertung einbezogen. (eigene Auswertung)
- 2) Wärmeverbrauchsmengen wurden über das verbrauchte Trinkwarmwasservolumen und die Temperaturdifferenz zwischen Warm- und Kaltwasser errechnet. Die Werte beziehen sich auf die Bauabschnitte 1 und 2 sowie auf die Heizperioden 2011/12 und 2012/13. D.h. es wurden 2 Verbrauchswerte für jede der 38 Wohneinheiten berücksichtigt. (eigene Auswertung)
- 3) Die internen Wärmegewinne durch Haushaltsstromverbrauch ergeben sich aus dem Verbrauch im Kalenderjahr 2012 für 59 Wohneinheiten aller Bauabschnitte. (eigene Auswertung)

**Tab. 38: Darstellung zusätzlicher Größen zum Nutzerverhalten (F – Rotlintstraße)**

Projekt: F - Rotlintstraße			
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Warmwasserverbrauch <sup>2)</sup>	Interne Wärmequelle <sup>3)</sup>
Bezug			Haushaltsstrom
Einheit	<i>h/d</i>	<i>kWh/(Pers. a)</i>	<i>W/Person</i>
Mittelwert	22,2	616,7	124,9
SD	1,1	287,0	63,2
Maximum	25,3	1422,3	492,9
75 %-Quartil	22,9	756,9	149,5
Median	22,2	591,1	114,9
25 %-Quartil	21,5	413,7	91,0
Minimum	19,6	119,2	16,6
Wohneinheiten (n)	36	76	38

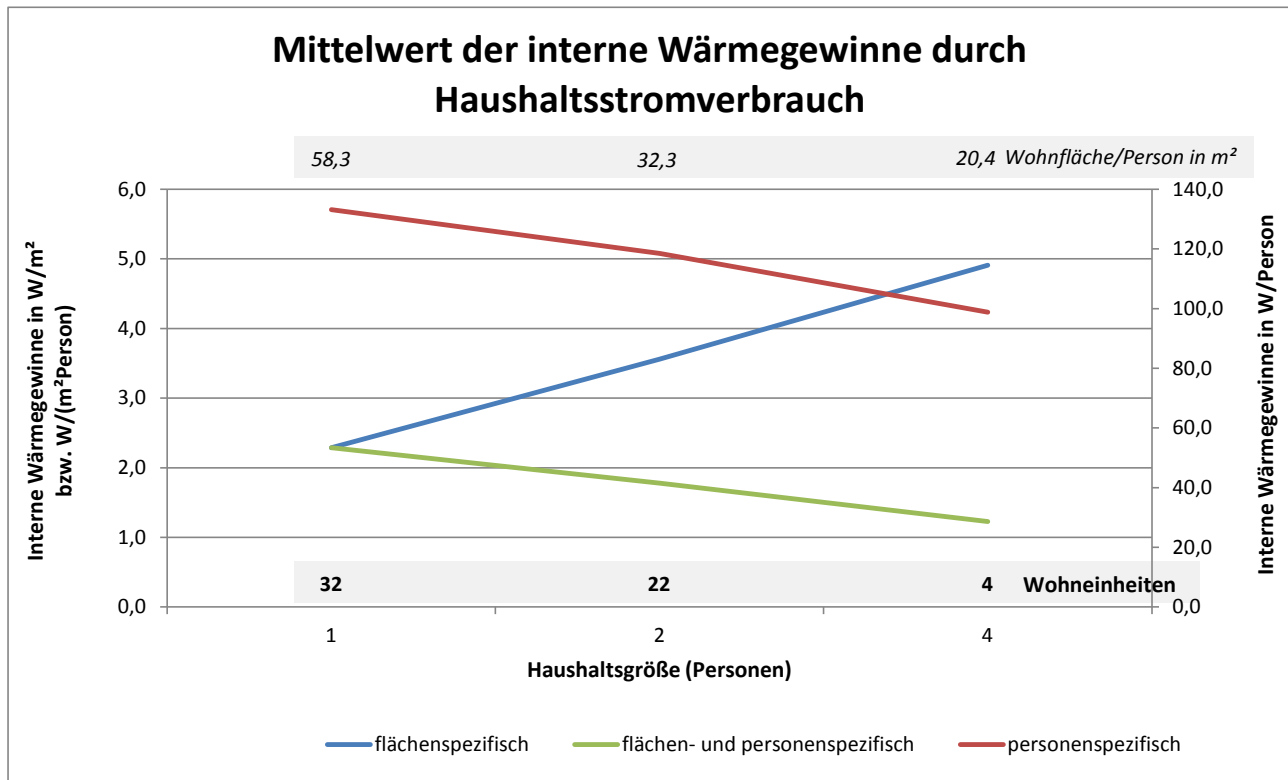
- 1) Die Auswertung bezieht sich auf die monatsmittleren Temperaturen der Heizperiode (Oktober bis April) 2011/12. Die Monatsmitteltemperaturen sind weder flächen- noch verbrauchsgewichtet. Es wurden nur die ersten beiden Bauabschnitte in diese Auswertung einbezogen. (eigene Auswertung)
- 2) Die Wärmeverbrauchsmengen wurden über das verbrauchte Volumen Trinkwarmwasser und die Temperaturdifferenz zwischen Warm- und Kaltwasser errechnet. Die Werte beziehen sich auf die Bauabschnitte 1 und 2 sowie auf die Heizperioden 2011/12 und 2012/13. D.h. es wurden 2 Verbrauchswerte für jede der 38 Wohneinheiten berücksichtigt. (eigene Auswertung)
- 3) Der Auswertung liegen die Stromverbräuche des Jahres 2012 zugrunde. Bei der Verwendung von personenzahlspezifischen Werten ist zu beachten, dass diese stark, aber nichtlinear, von der Anzahl der Personenzahl im Haushalt abhängen. (eigene Auswertung)

Die Abhängigkeit des Haushaltsstromverbrauchs und der damit einhergehenden internen Wärmegewinne sind in Tab. 39 und Abb. 93 dargestellt. Es wird deutlich, dass der flächenspezifische Haushaltsstromverbrauch mit steigender Haushaltsgröße zunimmt, während der personenspezifische Haushaltsstromverbrauch abnimmt.

**Tab. 39: Vergleich der flächen- und personenspezifischen Wärmegewinne (F-Rotlintstraße)**

Projekt: F - Rotlintstraße						
Parameter	Interne Wärmequellen	Interne Wärmequellen	Interne Wärmequellen	Interne Wärmequellen	Interne Wärmequellen	Interne Wärmequellen
Bezug	<i>Einpers.-HH</i>	<i>Zweipers.-HH</i>	<i>Vierpers.-HH</i>	<i>Einpers.-HH</i>	<i>Zweipers.-HH</i>	<i>Vierpers.-HH</i>
Einheit	<i>W/m<sup>2</sup></i>	<i>W/m<sup>2</sup></i>	<i>W/m<sup>2</sup></i>	<i>W/Person</i>	<i>W/Person</i>	<i>W/Person</i>
Mittelwert	2,3	3,6	4,9	133,2	118,5	98,8
SD	0,7	1,9	1,1	43,8	88,6	21,5
Maximum	3,8	11,0	6,3	231,7	492,9	130,8
75 %-Quartil	2,7	3,7	5,6	156,7	115,5	100,9
Median	2,3	3,3	4,7	129,6	104,0	89,9
25 %-Quartil	1,9	2,4	4,0	104,4	79,0	87,8
Minimum	0,3	1,8	3,9	16,6	62,0	84,6
Wohneinheiten (n)	32	22	4	32	22	4

Die internen Wärmegewinne durch Haushaltsstromverbrauch ergeben sich aus dem Verbrauch im Kalenderjahr 2012 für 53 Wohneinheiten aller Bauabschnitte. Die einzige Wohneinheit mit 3 Personen wurde in dieser Tabelle nicht berücksichtigt. (eigene Auswertung)

**Abb. 93: Vergleich der flächen- und personenspezifischen Wärmegewinne (F-Rotlintstraße)****Innovative Niedrigenergiesanierung Berlin – Albert-Schweizer-Viertel [KÖWOG 2004]**

Im Rahmen des Projekts der Köpenicker Wohnungsgesellschaft wurde die Sanierung dreier mehrgeschossiger Zeilenbauten mit jeweils 100 Wohneinheiten aus den 60er Jahren geplant, umgesetzt und durch ein vergleichsweise kleines Monitoring (9 Wohneinheiten) überprüft. Im Gegensatz zu vielen anderen Projekten wurde allerdings auch eine mittlere Raumtemperatur in zwei Messwohnungen vor der Sanierung angegeben. Es zeigt sich ein geringfügiger Anstieg der mittleren Raumtemperatur (siehe Tab. 40 und Tab. 41). Auf Grund der geringen Zahl an messtechnisch erfassten Wohnungen lässt sich allerdings kein Rückschluss darüber ziehen ob der höhere Mittelwert nach Sanierung durch die Nutzer in den zusätzlich erfassten Wohneinheiten zustande kommt, oder von einem Rebound-Effekt gesprochen werden kann.

**Tab. 40: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (B – Albert-Schweizer-Viertel)**

Projekt: B - Albert-Schweizer-Viertel (Mehrfamilienhaus; Sanierung)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung <sup>2)</sup>	Warmwasserverbrauch <sup>3)</sup>	Interne Wärmequelle
Bezug	Wohneinheit				
Einheit	°C	%	h/(d·Fenster)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>
Mittelwert	21,1		2,7	7,8	
SD	1,16				
Maximum	22,9				
75 %-Quartil	21,7				
Median	21,1				
25 %-Quartil	20,6				
Minimum	19,1				
Wohneinheiten (n)	9		6	200	

- 1) Aus mittleren Raumtemperaturen des Monats März 2003 wurden flächengewichtete Mitteltemperaturen je Wohneinheit errechnet. Diese wurden für die Auswertung herangezogen. ([KÖWOG 2004, Tab. 5.8, 5.9 und 5.10] sowie eigene Auswertung)
- 2) Dargestellt ist die mittlere Fensteröffnungsdauer (gekippt und ganz geöffnet) in der Heizperiode (Oktober bis April) 2002/03. ([KÖWOG 2004, Bild. 5.5 und 5.6] und eigene Auswertung)
- 3) Der Energieverbrauch für Trinkwarmwasser ohne Zirkulationsverluste wurde aus dem Gesamtheizwärmeverbrauch für Trinkwarmwasser in 2003 von insgesamt 200 Wohneinheiten in zwei Wohnblocks berechnet. ([KÖWOG 2004, Tab. 3.11])

**Tab. 41: Darstellung zusätzlicher Größen zum Nutzerverhalten (B – Albert-Schweizer-Viertel)**

Projekt: B – A.-Schweizer-Viertel (Altbau unsaniert)	
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>
Bezug	Wohneinheit
Einheit	°C
Mittelwert	20,9
SD	
Maximum	
75 %-Quartil	
Median	
25 %-Quartil	
Minimum	
Wohneinheiten (n)	2

## Versuchs- und Demonstrationsvorhaben Plattenbau P2-Cottbus [Fürst 2001]

Auch in diesem Sanierungsprojekt in Cottbus wurde ein mehrgeschossiger Zeilenbau energetisch modernisiert. Im Rahmen des Monitoring wurden vornehmlich die Raumtemperaturen in den direkt beheizten Wohnräumen sowie die Warmwasserverbrauchsmengen erfasst. Die erfassten Raumtemperaturen sind hierbei flächengewichtete Lufttemperaturen. Hinsichtlich des Warmwasserverbrauchs kann vermutet werden, dass die Verbrauchsmessung und -abrechnung, welche im Rahmen der Sanierung implementiert wurde, zu einer Reduktion des Warmwasserverbrauchs führte (siehe Tab. 42 und Tab. 43).

**Tab. 42: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (Cottbus – P 2)**

Projekt: Cottbus – Plattenbau P 2 (Mehrfamilienhaus; energetische Modernisierung)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung	Warmwasserverbrauch <sup>2)</sup>	Interne Wärmequelle
Bezug	Wohneinheit				
Einheit	°C	%	h/(d·Fenster)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>
Mittelwert	20,3			33,1	
SD	1,2				
Maximum	23,5			153,7	
75 %-Quartil	21,2				
Median	20,4				
25 %-Quartil	19,5				
Minimum	17,2			7,9	
Wohneinheiten (n)	80			80	

- 1) Die Auswertung basiert auf der Häufigkeitsverteilung von über die Heizperiode gemittelten flächengewichteten Tagesmitteltemperaturen für 80 Wohneinheiten für die Heizperiode 1996-1997, welche in zwei Summenlinien (Oktober-Dezember 1996 und Januar-April 1997) vorlagen und deren Werte zu einer Menge kombiniert und statisch ausgewertet wurden. ([Fürst 2001, Abb. 6.14] und eigene Auswertung)
- 2) Der mittlere spez. Heizenergieverbrauch für Trinkwassererwärmung der Jahre 1996 bis 1998 ergibt sich aus dem Anteil des Wärmeverbrauchs für Warmwasser für das gesamte Gebäude. Die Angaben zum Maximal- und Minimalwert beziehen sich auf eine Unterteilung der Warmwasserverbräuche nach Wohnungsgrößen (Zweiraum-, Dreiraum- und Vierraumwohnung). ([Fürst 2001, Tab. 6.1 und Tab. 7.2])

**Tab. 43: Darstellung zusätzlicher Größen zum Nutzerverhalten (Cottbus – P 2)**

Projekt: Cottbus – Plattenbau P 2				
Parameter	Warmwasser- verbrauch <sup>1)</sup>	Warmwasser- verbrauch <sup>2)</sup>	Warmwasser- verbrauch <sup>2)</sup>	Warmwasser- verbrauch <sup>2)</sup>
Bezug	<i>unsaniert</i>	<i>saniert; 2-Raumw.</i>	<i>saniert; 3-Raumw.</i>	<i>saniert; 4-Raumw.</i>
Einheit	<i>kWh/(m<sup>2</sup>a)</i>	<i>kWh/(m<sup>2</sup>a)</i>	<i>kWh/(m<sup>2</sup>a)</i>	<i>kWh/(m<sup>2</sup>a)</i>
Mittelwert	57,5			
SD				
Maximum		105,6	67,6	153,7
75 %-Quartil				
Median				
25 %-Quartil				
Minimum		7,9	9,6	10,8
Wohneinheiten (n)	80	40	8	32

- 1) Der angegebene Mittelwert entspricht dem Heizenergieverbrauch für Trinkwassererwärmung im Zeitraum 1. Juli 1994 - 30. Juni 1995. ([Fürst 2001, Tab. 6.1])
- 2) Die Werte wurden aus dem maximal/minimal verbrauchten Trinkwarmwasservolumen je Wohnungstyp unter Einbeziehung des volumenspezifischen Heizwärmeverbrauchs für das Gesamtgebäude berechnet. ([Fürst 2001, Tab. 7.1 und Tab. 7.2] und eigene Berechnung)

Die Reduktion des Heizenergiebedarfs für Warmwasser (vgl. Tab. 42 und Tab. 43) ist laut Autor der Studie auf die Einführung einer direkten Verbrauchsmessung- und Abrechnung für Warmwasser zurückzuführen. Die Darstellung des maximalen und minimalen Heizenergieverbrauchs für Warmwasserverbrauch in Tab. 42 und Tab. 43 verdeutlicht, dass der Warmwasserverbrauch eines Haushalts keine maßgebliche Korrelation zur Wohn- bzw. Nutzfläche einer Wohnung aufweist. Der in Tab. 42 angegebene Maximalwert für Warmwasserverbrauch liegt in einer Vierraumwohnung (mit vermutlich hoher Personenbelegung) vor. Der Minimalwert des Warmwasserverbrauchs liegt in einer Einraumwohnung vor, wobei die Minimalverbräuche in den anderen Wohnungstypen nur geringfügig über diesem Verbrauch liegen. Die Personenabhängigkeit des Warmwasserverbrauchs ist deshalb für eine Realbilanzierung zu beachten.

### Sanierung mit solarunterstützter Luftheizung, Friedland – Jahnstraße [FG Bau und Umwelt 2002]

Auch dieses Modellprojekt befasste sich mit der energetischen Sanierung eines mehrgeschossigen Zeilenbaus. Eine besondere Randbedingung des Projekts stellte im Vergleich zu den vorangegangenen Projekten jedoch die kohlegefeuerte Einzelofenheizung vor der Sanierung dar. Die Messdaten zu den mittleren Raumtemperaturen der mit Messtechnik ausgestatteten Wohnungen zeigt im Vergleich zu den anderen Projekten eine höhere mittlere Raumtemperatur. Zu welchen Teilen dieser Wert allerdings auf die Änderung der Wärmebereitstellung (Strahlungswärme bei Kohleöfen im Vergleich zur Luftheizung; Komfortgewinn) oder auf die verbesserte energetische Qualität der Gebäudehülle zurückzuführen ist, bleibt unklar. Auch ein Vorher-Nachher-Vergleich des Nutzerverhaltens kann basierend auf den Informationen des Projektberichts nicht angestellt werden. Tab. 44 bis Tab. 46 stellen die für dieses Projekt verwertbaren Messergebnisse zum Nutzerverhalten dar.

**Tab. 44: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (Friedland)**

Projekt: Friedland – Jahnstraße (Mehrfamilienhaus; WSchV 1995; Sanierung)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung	Warmwasserverbrauch <sup>2)</sup>	Interne Wärmequelle
Bezug	Wohneinheit				
Einheit	°C	%	h/(d·Fenster)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>
Mittelwert	23,9			21,4	
SD					
Maximum	27,5				
75 %-Quartil					
Median					
25 %-Quartil					
Minimum	19,3				
Wohneinheiten (n)	30			30	

- 1) Die Raumtemperaturmessung erfolgte über das Raummodul der Gebäudeleittechnik zur Lüftungssteuerung, welches in jedem der beheizten Räume Messungen vollzog. Die Werte wurden zu flächengewichteten mittleren Wohnungstemperaturen für die Monate Januar bis April und Oktober bis Dezember 2009 zusammengefasst und lediglich die mittleren, maximalen und minimalen Wohnungstemperaturen in Tabellenform angegeben. Hieraus wurden der Mittelwert sowie der Maximal- und Minimalwert berechnet bzw. übernommen. ([FG Bau und Umwelt 2002, Tab. 6.4.1])
- 2) Der Wert basiert auf der messtechnischen Erfassung der zentralen Warmwasserbereitstellung in der Heizzentrale, d.h. Zirkulationsverluste sind enthalten. Bei Berücksichtigung der Nutzfläche anstelle Wohnfläche als Bezugsfläche ergibt sich ein Wert von 19,3 kWh/(m<sup>2</sup>a). ([FG Bau und Umwelt 2002, Tab. 6.2.1 und Tab. 6.2.2])

Für die Trinkwarmwasserversorgung wurden die Verbrauchswerte im Projektbericht auch nach Wohnungstypen unterteilt dargestellt. Da der Trinkwarmwasserbedarf maßgeblich mit der Personenbelegung zusammenhängt und diese Kenngröße nicht explizit für die Wohnungen bzw. nur im Mittel für die Wohnungsgrößen angegeben ist, sind die Daten i.A. zwar wertvoll, für spätere Arbeitspakete dieses Projekts aber nur bedingt dienlich.

**Tab. 45: Warmwasserverbrauch nach Wohnungsgröße (Friedland)**

Projekt: Friedland – Jahnstraße				
Parameter	Warmwasserverbrauch	Warmwasserverbrauch	Warmwasserverbrauch	Warmwasserverbrauch
Bezug	Einraumw.	Zweiraumw.	Dreiraumw.	Vierraumw.
Einheit	kWh/(WE a)	kWh/(WE a)	kWh/(WE a)	kWh/(WE a)
Mittelwert	297,6	575,0	806,5	1478,6
SD				
Maximum	461,6	1193,8	1752,5	1638,9
75 %-Quartil				
Median				
25 %-Quartil				
Minimum	175,0	112,1	374,4	883,6
Wohneinheiten (n)	6	6	14	4

Die Werte wurden aus der Angabe des täglichen Warmwasserverbrauchs je Wohnungstyp (l/(WE d)) und der Angabe des mittleren Temperaturhubs bei der Trinkwassererwärmung errechnet. Aus den Angaben der Maximal-, Minimal- und Mittelwerte jeweils für das Jahr 1999 und 2000 wurden die hier dargestellten Werte ermittelt. ([FG Bau und Umwelt 2002 Tab. 6.3.1 und Tab. 6.3.2])



**Tab. 46: Flächenspezifischer Warmwasserverbrauch nach Wohnungsgröße (Friedland)**

Projekt: Friedland – Jahnstraße				
Parameter	Warmwasser- verbrauch	Warmwasser- verbrauch	Warmwasser- verbrauch	Warmwasser- verbrauch
Bezug	Einraumw.	Zweiraumw.	Dreiraumw.	Vierraumw.
Einheit	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Mittelwert</b>	11,7	10,9	11,8	20,6
<b>SD</b>				
<b>Maximum</b>	18,1	22,7	25,7	18,6
<b>75 %-Quartil</b>				
<b>Median</b>				
<b>25 %-Quartil</b>				
<b>Minimum</b>	6,9	2,1	5,5	11,1
<b>Wohneinheiten (n)</b>	6	6	14	4

Die wohnungsspezifischen Werte des Energieverbrauchs für Trinkwarmwasser aus Tab. 45 wurden durch die mittleren Wohnfläche je Wohnungstyp (Einraumw.: 25,4 m<sup>2</sup>; Zweiraumw.: 52,62 m<sup>2</sup>; Dreiraumw.: 68,09 m<sup>2</sup>; Vierraumw.: 79,5 m<sup>2</sup>) dividiert. ([FG Bau und Umwelt 2002, Tab. 6.3.1, Tab. 6.3.2 und S.8])

### Sanierung eines Gründerzeithauses, Hamburg – Kleine Freiheit [Steg Hamburg 2008]

Im Rahmen des Förderkonzepts EnSan wurde in Hamburg ein Mehrfamilienhaus auf zwei unterschiedliche energetische Standards saniert („Hamburger“-Standards und EnSan), die einem mittleren bis guten energetischen Standard entsprechen (ca. 80 kWh/(m<sup>2</sup><sub>Nutzfl.</sub>\*a) und 45 kWh/(m<sup>2</sup><sub>Nutzfl.</sub>\*a) ohne Berücksichtigung der installierten solarthermischen Anlage). Im Rahmen des Projekts wurden diverse Messgrößen in 4 der 14 Wohneinheiten erfasst und ausgewertet. Bei den Wohneinheiten handelte es sich um drei Wohneinheiten im besseren EnSan-Standard und eine im Hamburger-Standard. Neben den mittleren Raumtemperaturen konnten für zwei der Wohneinheiten zudem die mittleren Fensteröffnungsdauern bestimmt werden. Die Ergebnisse zeigt Tab. 47.

**Tab. 47: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (HH – Kleine Freiheit)**

Projekt: Hamburg – Kleine Freiheit (Mehrfamilienhaus; EnSan; Sanierung)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung <sup>2)</sup>	Warmwasserverbrauch	Interne Wärmequelle
Bezug	Wohneinheit				
Einheit	°C	%	h/(d·Fenster)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>
Mittelwert	21,2		2,8		
SD	1,2		2,7		
Maximum	22,5		5,5		
75 %-Quartil	21,7				
Median	21,3				
25 %-Quartil	21,1				
Minimum	16,6		0,3		
Wohneinheiten (n)	4		2		

- 1) Ausgewertet wurden mittlere Wohnungstemperaturen in den Monaten der Heizperioden 2006/07 und 2007/08. Die Werte wurden in drei Wohnungen nach anspruchsvoller Sanierung und einer Wohnung mit Standardsanierung ermittelt. ([Steg Hamburg 2008, Diagramm 14])
- 2) Die Fensteröffnungszeiten beruhen auf der Auswertung von zwei Wohnungen. Erfasst wurden im Rahmen des Monitoring die Öffnungszeiten von Fenstern in drei Gruppen: Küche (1 Fenster), Fenster zum Hof (2 Fenster), Fenster zur Straße (3 Fenster). Die monatsmittleren Öffnungsdauern je Fenstergruppe wurden für die Heizperiode 2006/07 und 2007/08 zu mittleren Fensteröffnungszeiten je Wohnung zusammengefasst und daraus die statistischen Werte der Tabelle abgeleitet. Diese beschreiben somit die mittlere Öffnungsdauer sowie die maximale und minimale monatsmittlere Öffnungszeit der Fenster einer Wohnung im o.g. Zeitraum. ([Steg Hamburg 2008, Diagramme 16 und 17])

### Mehrgeschoss-Passivhaus Hamburg – Pinnasberg [Peper et al. 2005]

Im Rahmen der Planung, Umsetzung und Erfolgskontrolle eines mehrgeschossigen Wohnhauses im Passivhausstandard hat das PHI ebenfalls diverse Messgrößen erfasst und ausgewertet, die das Nutzerverhalten und dessen Bandbreite darstellen. Die Auswertungen zur Raumtemperatur und dem Warmwasserverbrauch der Wohneinheiten sind im Projektbericht nicht so aufbereitet, dass man statistische Kennwerte daraus ableiten kann, hingegen ist die Auswertung und die Darstellung der internen Wärmequellen in [Peper et al. 2005] sehr differenziert erfolgt. Die Messwerte zum Nutzerverhalten werden in Tab. 48 bis Tab. 50 dargestellt.

**Tab. 48: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (HH – Pinnasberg)**

Projekt: Hamburg – Pinnasberg (Mehrfamilienhaus; EH40/Passivhaus; Neubau)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung	Warmwasserverbrauch <sup>2)</sup>	Interne Wärmequelle
Bezug	Wohneinheit				Haushaltsstrom
Einheit	°C	%	h/(d·Fenster)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>
Mittelwert	22,1			21,4	2,8
SD					1,4
Maximum					6,7
75 %-Quartil					3,0
Median					2,4
25 %-Quartil					2,3
Minimum					0,2
Wohneinheiten (n)	19			19	17

- 1) Im Projektbericht wurde trotz detailliertem Monitoring lediglich der (flächengewichtete) Mittelwert der mittleren Raumtemperatur in der Heizperiode 2004/05 angegeben. ([Peper et al. 2005, Tabelle 10])
- 2) Lediglich der flächenspezifische Wert des Wärmeverbrauchs zur Warmwasserbereitung im Messzeitraum Mai 2004 bis April 2005 wurde für das Gebäude angegeben. Dieser Wert enthält auch Leitungsverluste.
- 3) Die Werte beziehen sich nur auf den Haushaltsstromverbrauch. Interne Gewinne durch Personenanwesenheit sind nicht enthalten. Haushalte mit elektrischen Rollstühlen wurden bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt, da die Entladung vermutlich vornehmlich außerhalb der Wohnung stattfindet und somit keinen internen Wärmegewinn darstellt. ([Peper et al. 2005, Abbildung 79])

**Tab. 49: Auswertung des flächenspezifischen elektrischen Energieverbrauchs von Haushalten mit elektrischem Herd und Gasherd (HH – Pinnasberg)**

Projekt: Hamburg – Pinnasberg		
Parameter	Interne Wärmequelle	Interne Wärmequelle
Bezug	Haushaltsstrom <sup>1)</sup>	Haushaltsstrom <sup>2)</sup>
Einheit	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
Mittelwert	2,66	3,19
SD	0,79	1,50
Maximum	4,48	6,70
75 %-Quartil	2,69	3,21
Median	2,46	2,61
25 %-Quartil	2,31	2,37
Minimum	1,87	1,88
Wohneinheiten (n)	8	9

Die Daten wurden aus Berichtsgrafiken ermittelt, weshalb leichte Abweichungen von den im Projektbericht publizierten Kennwerten auftreten. ([Peper et al. 2005, Abbildung 80])

- 1) Es handelt sich um Wohnungen mit Gasherd, deren mittlerer Haushaltsstromverbrauch laut Publikation 22,9 kWh/(m<sup>2</sup>a) beträgt.
- 2) Es handelt sich um Wohnungen mit elektrischem Herd, deren mittlerer Haushaltsstromverbrauch laut Publikation 26,2 kWh/(m<sup>2</sup>a) beträgt.

Es ist zu vermuten, dass die durchschnittlich geringeren internen Wärmequellen aus dem Stromverbrauch in den Haushalten mit Gasherden durch die Nutzwärmeerzeugung im Gasherd in entsprechender Höhe ausgeglichen werden.

**Tab. 50: Spezifischer Haushaltsstromverbrauch nach Haushaltsgröße (HH – Pinnasberg)**

Projekt: Hamburg – Pinnasberg				
Parameter	Interne Wärmequelle	Interne Wärmequelle	Interne Wärmequelle	Interne Wärmequelle
Bezug	<i>Haushaltsstrom; Einpers.-HH</i>	<i>Haushaltsstrom; Zweipers.-HH</i>	<i>Haushaltsstrom; Dreipers.-HH</i>	<i>Haushaltsstrom; Vierpers.-HH</i>
Einheit	<i>W/m<sup>2</sup></i>	<i>W/m<sup>2</sup></i>	<i>W/m<sup>2</sup></i>	<i>W/m<sup>2</sup></i>
<b>Mittelwert</b>	2,8	1,4	1,0	0,6
<b>SD</b>	1,3	0,7	0,4	0,1
<b>Maximum</b>	4,8	2,4	1,4	0,6
<b>75 %-Quartil</b>	3,2	1,9	1,1	0,6
<b>Median</b>	2,8	1,0	0,8	0,6
<b>25 %-Quartil</b>	2,5	1,0	0,8	0,6
<b>Minimum</b>	0,6	0,9	0,7	0,5
<b>Wohneinheiten (n)</b>	7	6	3	3

Die Daten wurden aus Berichtsgrafiken ermittelt, weshalb leichte Abweichungen von den im Projektbericht publizierten Kennwerten auftreten. Beschrieben wird die (jahres-)mittlere Wärmeleistung durch Haushaltsstromverbrauch je Haushaltstyp. Es muss beachtet werden, dass die flächenspezifische Wärmeleistung aus personenspezifischen Verbrauchswerten je Haushaltstyp sowie der mittleren Energiebezugsfläche je Haushaltstyp errechnet wurde. (basierend auf [Peper et al. 2005, Abbildung 82])

### Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg [Peper et al. 2001], [Peper, Feist 2003]

In Hannover-Kronsberg wurde der Bau einer Reihenhaussiedlung vom PHI begleitet und ein Monitoring einiger Einzelgebäude vorgenommen. Tab. 51 zeigt dabei sowohl die erfasste Bandbreite der Raumtemperaturen als auch des Wasserverbrauchs. Auch für die internen Wärmequellen durch elektrische Geräte (Haushaltsstromverbrauch) sind Messdaten ausgewertet worden. Diese wurden mit personenbezogenen Pauschalwerten aus anderen Forschungsberichten zu Kennwerten für interne Wärmequellen durch Personen und Haushaltsstrom zusammengefasst. Die detaillierte Auswertung der internen Wärmequellen nach Haushaltsgröße ist in Tab. 53 dargestellt.

Neben der allgemeinen Auswertung in Tab. 51 zeigt eine nach Haushaltsgröße differenzierte Darstellung des Warmwasserverbrauchs die folgenden beiden Aspekte: der Warmwasserverbrauch im Haushalt ist stark personenabhängig, dabei ist die mittlere Zunahme des Verbrauchs jedoch bei steigender Personenzahl eines Haushalts nicht konstant (siehe Tab. 52 und Abb. 94).

**Tab. 51: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (H – Kronsberg)**

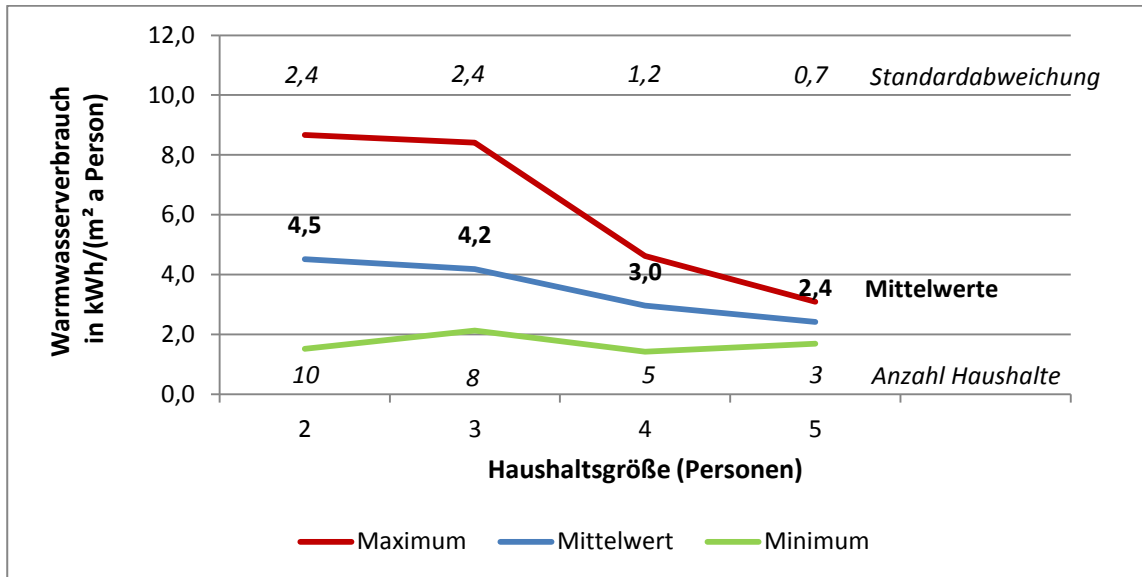
Projekt: Hannover – Kronsberg (Reihenhaus; EH40/Passivhaus; Neubau)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung	Warmwasserverbrauch <sup>2)</sup>	Interne Wärmequelle <sup>3)</sup>
Bezug	Wohneinheit				Haushaltsstrom und Personen
Einheit	°C	%	h/(d·Fenster)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>
Mittelwert	21,9			10,6	2,5
SD	1,2			5,5	1,0
Maximum	24,6			25,1	4,2
75 %-Quartil	22,8			12,8	3,1
Median	21,8			10,4	2,4
25 %-Quartil	21,0			6,8	2,0
Minimum	17,9			2,9	0,2
Wohneinheiten (n)	32			27	32

- 1) Die monatsmittleren Temperaturen der Häuser ergeben sich aus der flächengewichteten Mittelung je einer Messung im Wohn- (EG) und Schlafzimmer (OG). Die Auswertung bezieht sich auf den Messzeitraum Oktober 2001 bis April 2002, d.h. auf die Heizperiode 2001/02. Es handelt sich bei den Angaben somit um nutzerspezifische Bandbreiten der Monatsmitteltemperatur. ([Peper, Feist 2003, Tab. 7])
- 2) Ausgewertet wurden die spezifischen Fernwärmeverbräuche zur Trinkwarmwasserbereitung im Zeitraum Mai 2001 bis April 2002. ([Peper, Feist 2003, Abb. 12])
- 3) Die im Monitoringbericht des Projektes angegebenen Werte ergeben sich aus dem gemessenen Haushaltsstromverbrauch der Wohneinheiten und der Personenbelegung von dauerhaft bewohnten Häusern im Zeitraum Mai 2001 bis April 2002. Die Anwesenheitszeit der Bewohner wurde im Projekt nicht erfasst und zur Berechnung aus den Ergebnissen anderer Projekte abgeleitet. (basierend auf [Peper, Feist 2003, Abb. 25])

**Tab. 52: Auswertung des Warmwasserverbrauchs nach Haushaltsgröße (H – Kronsberg)**

Projekt: Hannover – Kronsberg				
Parameter	Warmwasserverbrauch	Warmwasserverbrauch	Warmwasserverbrauch	Warmwasserverbrauch
Bezug	Zweipers.-HH	Dreipers.-HH	Vierpers.-HH	Fünfpers.-HH
Einheit	kWh/(m <sup>2</sup> Pers. a)	kWh/(m <sup>2</sup> Pers. a)	kWh/(m <sup>2</sup> Pers. a)	kWh/(m <sup>2</sup> Pers. a)
Mittelwert	4,5	4,2	3,0	2,4
SD	2,4	2,4	1,2	0,7
Maximum	8,7	8,4	4,6	3,1
75 %-Quartil	6,0	5,0	3,3	2,8
Median	4,8	3,2	2,7	2,5
25 %-Quartil	2,6	2,6	2,7	2,1
Minimum	1,5	2,1	1,4	1,7
Wohneinheiten (n)	10	8	5	3

Die Daten wurden aus Berichtsgrafiken ermittelt, weshalb leichte Abweichungen von den im Projektbericht publizierten Kennwerten auftreten. Ausgewertet wurden die spezifischen Fernwärmeverbräuche zur Trinkwarmwasserbereitung im Zeitraum Mai 2001 bis April 2002. ([Peper, Feist 2003 Abb. 14])

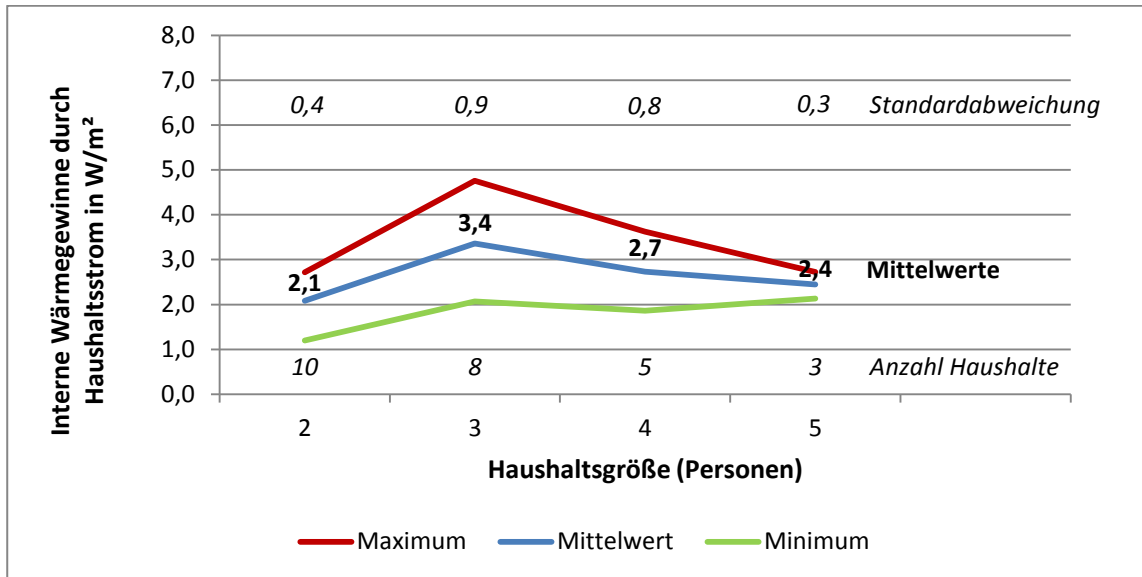
**Abb. 94: Verlauf des flächen- und personenzahlspezifischen Warmwasserverbrauchs nach Haushaltsgröße (H-Kronsberg)**

Auch die Betrachtung des Haushaltsstromverbrauchs und der daraus resultierenden flächenspezifischen Wärmeleistung in Abhängigkeit der Personenzahl eines Haushalts zeigt, dass eine Differenzierung der internen Wärmequellen im Rahmen einer Realbilanz zur Verbesserung der Berechnungsergebnisse führen kann (siehe Tab. 53). Für beide Untersuchungen, Warmwasserverbrauch nach Haushaltsgröße und interne Wärmequellen durch Haushaltsstromverbrauch je Haushaltsgröße, liegt jedoch nur eine geringe Anzahl an messtechnisch erfassten Haushalten vor.

**Tab. 53: Auswertung der internen Wärmequellen aufgrund des Haushaltsstromverbrauchs nach Haushaltsgröße (H – Kronsberg)**

Projekt: Hannover – Kronsberg				
Parameter	Interne Wärmequelle	Interne Wärmequelle	Interne Wärmequelle	Interne Wärmequelle
Bezug	Haushaltsstrom; Zweipers.-HH	Haushaltsstrom; Dreipers.-HH	Haushaltsstrom; Vierpers.-HH	Haushaltsstrom; Fünfpers.-HH
Einheit	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
<b>Mittelwert</b>	2,1	3,4	2,7	2,4
<b>SD</b>	0,4	0,9	0,8	0,3
<b>Maximum</b>	2,7	4,8	3,6	2,7
<b>75 %-Quartil</b>	2,3	3,7	4,9	2,6
<b>Median</b>	2,2	3,3	2,8	2,5
<b>25 %-Quartil</b>	1,8	2,8	1,9	2,3
<b>Minimum</b>	1,2	2,1	1,9	2,1
<b>Wohneinheiten (n)</b>	10	8	5	3

Die Daten wurden aus Berichtsgrafiken ermittelt, weshalb leichte Abweichungen von den im Projektbericht publizierten Kennwerten auftreten. Die Werte für interne Wärmequellen aufgrund des Haushaltsstromverbrauchs wurden anhand der Personenbelegung der Wohneinheit und den gemessenen Haushaltsstromverbräuchen ermittelt. ([Peper, Feist 2003 Abb. 16])

**Abb. 95: Verlauf der flächen- und personenzahlspezifischen internen Wärmegewinne durch Haushaltsstromverbrauch nach Haushaltsgröße (H-Kronsberg)****Großtechnisch umgesetzte Passivhausentwicklung Stuttgart-Feuerbach [Reiß 2003]**

Im Rahmen der messtechnischen Validierung der Passivhausentwicklung in Stuttgart-Feuerbach ermittelte [Reiß 2003] die Raumlufttemperaturen und Fensteröffnungszeiten von 9 detailliert vermessenen Reihenhäusern sowie die Warmwasser- und Haushaltsstromverbräuche von allen 52 Passivreihenhäusern. Die Ergebnisse dieser Messung werden in Tab. 54 dargestellt.

**Tab. 54: Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (S – Feuerbach)**

Projekt: Stuttgart – Feuerbach (Reihenhäuser; EH40/Passivhaus; Neubau)					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung <sup>2)</sup>	Warmwasserverbrauch	Interne Wärmequelle
Bezug	Wohneinheit				Haushaltsstrom
Einheit	°C	%	$h/(d \cdot \text{Fenster})$	$kWh/(m^2a)$	$W/m^2$
<b>Mittelwert</b>	22,3		1,22	6,44	2,4
<b>SD</b>			1,29	3,44	0,7
<b>Maximum</b>	25,1		4,93	18,92	5,0
<b>75 %-Quartil</b>			1,80	7,96	2,7
<b>Median</b>			0,72	6,16	2,3
<b>25 %-Quartil</b>			0,33	4,16	2,0
<b>Minimum</b>	20,2		0,11	1,60	1,0
<b>Wohneinheiten (n)</b>	9		7	51	51

- Die Raumlufttemperaturen wurden in jedem Raum des Hauses erfasst und als monatliche Mittelwerte der Hausmitteltemperatur angegeben. Der in dieser Tabelle angegebene Mittelwert ist der Mittelwert dieser monatlichen Mittelwerte für den Zeitraum Oktober 2001 bis April 2002. Maximal und Minimalwerte entsprechen den jeweiligen maximalen bzw. minimalen monatlichen Mittelwerten in diesem Zeitraum ([Reiß 2003])
- Es handelt sich hierbei um die statische Auswertung von monatsmittleren Öffnungsdauern für 7 der 9 detailliert vermessenen Passivhäuser innerhalb der o.g. Zeitraums (Werte aus [Reiß 2003, Bild 10]).

### 2.3.3 Auswertung der verfügbaren empirischen Daten

Die in diesem Bericht dargestellte Auswertung bezieht sowohl Ergebnisse der oben genannten Beispielprojekte als auch Daten aus der in Kapitel 2.2 vorgestellten Untersuchung des IWU ([Loga et al. 2003]) mit ein. Die Ergebnisse der weiteren o.g. Studien sind in dieser Auswertung nicht enthalten, da sie sich methodisch z.T. stark von den Messprojekten unterscheiden (z.B. messtechnische Erfassung der Temperatur nur in einem Raum und/oder an einem Tag; Mitteltemperaturen ergeben sich als Mittel aller erfassten Räume, ohne Flächengewichtung). Die Basisdaten von Tab. 55 sind im Anhang in Tabellenform verfügbar.

Es ist zu beachten, dass die meisten gemittelten Werte auf einer eher geringen Anzahl ausgewerteter Gebäude oder Wohneinheiten beruht und deshalb als nur bedingt verlässlich betrachtet werden darf. Auch die Messungen (insbesondere der Raumtemperaturen) erfolgten in den jeweiligen Projekten eher unterschiedlich. Die Kennwerte in orangener Schriftfarbe sind gekennzeichnet, um zu verdeutlichen, dass dies entweder Daten aus einer sehr geringen Fallzahl und/oder aus einer einzelnen Quelle sind. Auch die Zuordnung einzelner Projekte zu den energetischen Gebäudestandards lässt sich nicht immer zweifelsfrei vornehmen, weshalb insbesondere bei den Mehrfamilienhäusern verschiedene mittlere bis gute Standards angegeben werden.

Die vorliegende Auswertung soll dem Abgleich mit Expertenschätzung dienen und die Belastbarkeit der Eingangsparameter des in 4.4 entwickelten Verfahrens verbessern.

**Tab. 55: Ergebnisse ausgewerteter Messdaten zum Nutzerverhalten aus Modellprojekten und Studien**

<b>Ein- und Zweifamilienhaus</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Raumtemperatur<sup>1)</sup></b>	<b>Teilbeheizung</b>	<b>Fensteröffnung</b>	<b>Warmwasserverbrauch<sup>2)</sup></b>	<b>Interne Wärmequelle<sup>3)</sup></b>
<i>Bezug</i>	<i>Wohneinheit</i>	<i>Fläche</i>			<i>Haushaltsstrom und Personen</i>
<i>Einheit</i>	°C	%	<i>h/(d·Fenster)</i>	<i>kWh/(m²a)</i>	<i>W/m²</i>
<b>Altbau</b>					
<b>Mittelwert</b>	19,7 <sup>1)</sup>	84 <sup>1)</sup>			
<b>SD</b>					
<b>Wohneinheiten (n)</b>	146 <sup>1)</sup>	162 <sup>1)</sup>			
<b>Saniert</b>					
<b>Mittelwert</b>		73 <sup>2)</sup>			
<b>SD</b>					
<b>Wohneinheiten (n)</b>		32 <sup>2)</sup>			
<b>Niedrigenergiehaus</b>					
<b>Mittelwert</b>	19,9			12,2	
<b>SD</b>	1,1			4,8	
<b>Wohneinheiten (n)</b>	69			39	
<b>Effizienzhaus 40 / Passivhaus</b>					
<b>Mittelwert</b>	21,5		1,2	7,9	2,5
<b>SD</b>	1,0		1,5	4,7	1,0
<b>Wohneinheiten (n)</b>	56		27	79	32



Ein- und Zweifamilienhaus					
Mehrfamilienhaus					
Parameter	Raumtemperatur <sup>1)</sup>	Teilbeheizung	Fensteröffnung	Warmwasserverbrauch <sup>2)</sup>	Interne Wärmequelle <sup>3)</sup>
Bezug	Wohneinheit	Fläche			Haushaltsstrom und Personen
Einheit	°C	%	h/(d·Fenster)	kWh/(m²a)	W/m²
<b>Altbau</b>					
Mittelwert	20,4 <sup>1)</sup>	78 <sup>1)</sup>			
SD					
Wohneinheiten (n)	241 <sup>1)</sup>	230 <sup>1)</sup>			
<b>Saniert</b>					
Mittelwert				19,3	
SD					
Wohneinheiten (n)				30	
<b>Niedrigenergiehaus</b>					
Mittelwert	21,1				
SD	1,4				
Wohneinheiten (n)	28				
<b>„EnSan“</b>					
Mittelwert	22,4		4,5		
SD	1,5		2,0		
Wohneinheiten (n)	24		18		
<b>Effizienzhaus 40 / Passivhaus</b>					
Mittelwert	22,4			16,1	3,0
SD	0,7			8,2	1,5
Wohneinheiten (n)	70			131	112

1) Die Werte basieren auf [Rouvel 1982] und sind aufgrund des Alters und der Erhebungsmethode nur bedingt aussagekräftig.

2) Diese Angabe beruht auf der Nutzerbefragung de Optimus-Projekt ([Jagnow, Wolff 2005]). Der Begriff „Saniert“ bedeutet in diesem Zusammenhang lediglich, dass die Wärmeerzeuger und Wärmeverteilung optimiert oder ausgetauscht wurden. Über eine energetische Modernisierung der Gebäudehülle sind keine Angaben gemacht.

Kennwerte in **orangener** Schriftfarbe: Daten aus einer sehr geringen Fallzahl und/oder aus einer einzelnen Quelle.

## Literaturverzeichnis zum Kapitel 2.3

- [Biermayr 1998] Biermayr, Peter (1998): *Einflußparameter auf den Energieverbrauch der Haushalte. Eine empirisch-ökonomische Analyse (Dissertation)*. Wien: Technische Universität.
- [FG Bau und Umwelt 2002] Forschungsgesellschaft BAU UND UMWELT mbH (2002): *Erprobung eines solargestützten Luftheizungssystems bei der energetischen Sanierung eines Wohngebäudes des Großplattenbautyps WBS 70. Abschlussbericht*. Berlin.
- [Fürst 2001] Fürst, Wolfgang (2001): *Versuchs- und Demonstrationsbauvorhaben P2-Cottbus. Entwicklung und Erprobung von Lösungen zur energiegerechten Sanierung von industriell errichteten Wohnbauten in den neuen Bundeslän-*

- dern. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl..
- [Großklos 2013] Großklos, Marc (2013): *Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung Rotlintstraße 116-128 in Frankfurt a. M. Ergebnisse der messtechnischen Erfolgskontrolle*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Großkloß et al. 2016] Großklos, Marc; Schaede, Margrit; Hinz, Eberhard (2016): *Mehrfamilienhaus mit Energiegewinn Cordierstraße 4, Frankfurt am Main. Endbericht der Messphase 2014-2016*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Huebner et al. 2015] Huebner, Gesche M.; McMichael, Megan; Shipworth, David; Shipworth, Michelle; Durand-Daubin, Mathieu; Summerfield, Alex J. (2015): The shape of warmth: temperature profiles in living rooms. *Building Research & Information*, (43), 185-196.
- [Jank 2013] Jank, Reinhard (2013): *Integrales Quartiers-Energiekonzept Rintheim (Karlsruhe). Optimierungsmethoden, Praxiserfahrungen mit technischen Innovationen, Umsetzungsergebnisse, EnEff:Stadt Schlussbericht*. Karlsruhe: VOLKSWOHNUNG Karlsruhe GmbH.
- [KÖWOGGE 2004] KÖWOGGE (2004): *Innovative Niedrigenergiesanierung BMWA-Förderprojekt Albert-Schweitzer-Viertel ; Schlußbericht Teil 3. Messungen und Auswertungen : Berichtsstand März 2004*. Berlin.
- [Loga et al. 2003] Loga, Tobias; Großkloß, Marc; Knissel, Jens (2003): *Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten. Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Müller et al. 2012] Müller, Dirk; Osterhage, Tanja; Cali, Davide (2012): *Quartierskonzept energieeffizientes Rintheim. Wissenschaftliche Begleitung: Abschlussbericht*. Aachen: RWTH Aachen.
- [Offermann et al. 2017] Offermann, Markus; von Manteuffel, Bernhard; Hermelink, Andreas; John, Ashok; Jahnke, Katy; Zastrau, Karsten: Nutzenergiebedarf für Warmwasser in Wohngebäuden; BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2017 [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2017/bbsr-online-17-2017-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2017/bbsr-online-17-2017-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- [Peper et al. 2001] Peper, Sören; Feist, Wolfgang; Kah, Oliver (2001): *Meßtechnische Untersuchung und Auswertung. Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg (CEPHEUS)*. Hannover.
- [Peper et al. 2005] Peper, Sören; Schnieders, Jürgen; Feist, Wolfgang (2005): *Mehrgeschoss-Passivhaus Hamburg Pinnasberg. Endbericht*. Darmstadt.
- [Peper et al. 2009] Peper, Sören; Grove-Smith, Jessica; Feist, Wolfgang (2009): *Sanierung mit Passivhauskomponenten. Messtechnische Untersuchungen an den Sanierungsbauten Tevesstraße Frankfurt a.M.*. Darmstadt.
- [Peper et al. 2011] Peper, Sören; Schnieders, Jürgen; Feist, Wolfgang (2011): *Monitoring Altbausanierung zum Passivhaus*. Darmstadt: Passivhaus Institut
- [Peper, Feist 2003] Peper, Sören; Feist, Wolfgang (2002): *Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg. Analyse im dritten Betriebsjahr. Endbericht*. Darmstadt.
- [Reiß 2003] Reiß, Johann (2003): *Ergebnisse des Forschungsvorhabens "Messtechnische Validierung des Energiekonzeptes einer großtechnischen umgesetzten Passivhausentwicklung in Stuttgart-Feuerbach"*. 7. Internationale Passivhaustagung, 21. - 22.02.2003 Hamburg, Tagungsband. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- [Riley et al. 2013] Riley, John; Hulme, Jack; Beaumont, Adele; Summers, Claire (2013): *Energy Follow-Up Survey 2011. Report 2: Mean household temperatures*.
- [Rouvel 1982] Rouvel, Lothar (1982): *Einfluß von Nutzungsgewohnheiten und Abrechnungsart auf den Heizenergieverbrauch. Einfluß des Verbraucherverhaltens auf den Energiebedarf privater Haushalte* (pp. 109-120). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [Schröder et al. 2014] Schröder, Franz; Papert, Olaf; Boegelein, Tobias; Navarro, Hendrikus; Mundry, Bernhard (2014): *Reale Trends des spezifischen Energieverbrauchs und repräsentativer Wohnraumtemperierung bei steigendem Modernisierungsgrad im Wohnungsbestand*. *Bauphysik*, 36 (6), 309-324.
- [Steg Hamburg 2008] Steg Hamburg mbH (2008): *Abschlussbericht. Energetische Verbesserung der Bausubstanz, Teilkonzept 3: Entwicklung und Erprobung übertragbarer Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebestand. Realisierung energetisch unterschiedlicher Sanierungskonzeptionen an zwei baugleichen Haushälften aus der Gründerzeit in Hamburg*. Hamburg.

## 2.4 Verhaltensmuster und Kategorisierung in Haushaltstypen

Es gibt eine größere Anzahl von sozialwissenschaftlichen, vornehmlich quantitativ-empirischen Studien, die häufig im Kontext von Modellprojekten zu besonders energieeffizienten Neubauten oder Sanierungsvorhaben durchgeführt worden sind. Diese beinhalten Bewohnerbefragungen, die sich auch mit Themen des Wohnverhaltens auseinandersetzen. Gleichzeitig weisen die Studien jedoch regelmäßig (sehr) kleine Fallzahlen auf, da sich die rahmenbildenden (Modell-) Projekte meist auf einzelne Gebäude oder Wohnblöcke beziehen, was zum Einen die Aussagekraft der Befunde insgesamt einschränkt und zum Anderen dazu führt, dass selten auch nach Haushalts- oder Personenmerkmalen differenziert werden konnte.

Die einzige bekannte Repräsentativbefragung zum Energieverbrauch privater Haushalte [Schloman et al. 2004], in der mehr als 20.000 Personen befragt wurden, erlaubt kaum Aussagen zum Energienutzungsverhalten (nur je eine Frage zu Temperaturwahl, Fensteröffnung und Warmwassernutzung) und differenziert nicht nach dem energetischen Gebäudezustand.

Nichtsdestotrotz geben diese Studien Anhaltspunkte für Ausprägungen und Besonderheiten des Nutzerverhaltens in (energieeffizienten) Gebäuden, die im Folgenden bezogen auf das Heiz- und Lüftungsverhalten sowie die Warmwassernutzung und – basierend auf Einzelbefunden – auch weitere verhaltensbedingte Einflüsse (Kühlung im Sommer, Verschattung im Passivhaus im Winter) referiert werden sollen. Zu beachten ist dabei jedoch eine weitere Problematik, die sich darin zeigt, dass die ähnliche Ausrichtung der Befragungsthemen zum Energienutzungsverhalten zwar auf den ersten Blick eine gute Vergleichbarkeit der jeweiligen Befunde suggeriert, diese tatsächlich aber aufgrund von unterschiedlich formulierten Fragestellungen, abweichender Skalenkonstruktion usw. nur bedingt gegeben ist. Es empfiehlt sich also ein tieferer Blick in die Befragungsdetails der jeweiligen Studie, die im Wesentlichen am Ende eines jeden Unterkapitels noch einmal tabellarisch zusammengetragen wurden.

Die nachfolgende Übersichtstabelle gibt zuerst einen knappen Überblick über die Untersuchungsdesigns der einbezogenen Studien. Dabei ist auch vermerkt, wenn zusätzlich gemessene Daten (z.B. Verbrauchswerte, Temperaturen) in die sozialwissenschaftlichen Auswertungen eingeflossen sind. Kenntlich gemacht ist zudem, wenn sich die Studien nicht auf Deutschland beziehen. In den daran anschließenden Unterkapiteln werden dann die Untersuchungsbefunde systematisch zusammengestellt und analysiert.

**Tab. 56: Übersicht über die einbezogenen sozialwissenschaftlichen Studien**

Studie	Design	Gebäude*	Fallzahl	Nutzertyp	Differenzierungsmerkmal	Direkter Vergleich mit Messdaten
[Rohrmann 1994]	Längsschnitt mit 9 Zeitpunkten über 2 Jahre; standardisierte persönl. Interviews; zusätzl. Wohnprotokoll	PH (Reihenhaus, Neubau)	n=4	Eigentümer	nach Jahreszeit; nach Tageszeit; nach Raum keine Haushaltsmerkmale	nein
[Brohmann et al. 2000]	Telefonbefragung in alten und neuen Bundesländern	Standard nicht bekannt	n=120	nicht bekannt	keine	nein

Studie	Design	Gebäude*	Fallzahl	Nutzertyp	Differenzierungsmerkmal	Direkter Vergleich mit Messdaten
[Danner 2001]	Längsschnitt zu 3 Zeitpunkten (Methodenmix aus schriftlich und mündlich sowie quantitativ und qualitativ)	PH (Reihenhäuser, Neubau), VG (andere Haustypen)	n=26 bzw. n=22	Eigentümer (+ 1 Mieter)	nach Gebäudetyp; Vergleich der Jahre 2000 und 2001; nach Jahreszeit; nach Wohnraum keine Haushaltsmerkmale	nein
[Keul 2001] <i>Österreich</i>	qualitative Interviews und quantitative Befragung (Semantisches Differential)	7 Siedlungen in Salzburg: 3 energiesparend, 4 konventionell [+ 1 zusätzliche Siedlung]	n=114 (Energiespar n=44; konventionell n=70)	Eigentümer und Mieter	z.T. soziodemographische Haushaltsmerkmale	nein
[Rohracher et al. 2001] <i>Österreich</i>	schriftliche Befragung, ergänzt durch offene Interviews	Energiesparhäuser (EFH und MFH, Häuser mit Lüftungsanlage)	n=144, davon n=92 (schriftl.) n=36 (mündl.) n=16 (Kurzfragebogen); Leitfadeninterviews mit n=28	Eigentümer und Mieter	keine Haushaltsmerkmale	nein
[Stieldorf et al. 2001] <i>Österreich</i>	mündliche Interviews: 1. Teil: Leitfadeninterview, 2. Teil: standardisierter Fragebogen	12 PH und NEH (MFH/EFH)	n=42	Eigentümer und Mieter	keine Haushaltsmerkmale	nein
[Flade et al. 2003]	Längsschnitt mit 4 Zeitpunkten; standardisierte persönl. Interviews	PH + NEH (Reihenhäuser; Neubau), KG (konventionell)	PH: n=21 NEH: n=24 KG: n=11	Eigentümer	nach Gebäudetyp; nach Tageszeit; nach Jahreszeit keine Haushaltsmerkmale	ja, Fensteröffnung; zusätzlicher separater Messbericht <sup>11</sup>
[Hübner 2003]	Längsschnitt mit 3 Zeitpunkten (persönl. Interviews)	PH (2 MFH, Neubau)	n=31	Mieter	nach Jahreszeit nach Wohnraum keine Haushaltsmerkmale	ja, Momentanmessung Innentemperatur während Interview
[Emmerich et al. 2004]	schriftliche Vorher-Nachher-Befragung und zusätzlich vertiefende Interviews mit n=23	NEH (mehrere Wohnblöcke, Sanierung)	n=142/135	Mieter	nach Wohnraum z.T. nach Haushaltsmerkmalen (Alter)	ja, Heizenergieverbrauch
[Schloman et al. 2004]	schriftliche Befragung; repräsentatives Panel	verschiedene Standards	n=20.325	Mieter und Eigentümer	z.T. nach Haushaltsmerkmalen (Alter)	nein

<sup>11</sup> [Ebel et al. 2003] Ebel, Witta; Großklos, Marc; Knissel, Jens; Loga, Tobias; Müller, Kornelia (2003). Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Eine vergleichende Analyse der Nutzerfaktoren am Beispiel der 'Gartenhofsiedlung Lummerlund' in Wiesbaden-Dotzheim. Teilbericht „Bauprojekt, messtechnische Auswertung, Energiebilanzen und Analyse des Nutzereinflusses“. Darmstadt: IWU.

Studie	Design	Gebäude*	Fallzahl	Nutzertyp	Differenzierungsmerkmal	Direkter Vergleich mit Messdaten
[Schmidt et al. 2007]	Längsschnitt mit 2 Zeitpunkten	3-Liter-Haus (6 MFH)	n=16	Mieter	nach Jahreszeit keine Haushaltsmerkmale	ja, Fensteröffnung
[ILS NRW 2007]	schriftliche Befragung	PH (v.a. EFH)	n=176	Eigentümer	nach Jahreszeit keine Haushaltsmerkmale	nein
[Schulz et al. 2010]	schriftliche Befragung	Haushaltsbefragung in Stuttgart und Leipzig (Gebäudestandard unbestimmt)	n= 185 (Stuttgart n=135, Leipzig n=50)	Mieter	nach Wohnräumen nach Alter und Geschlecht	nein
[Hacke 2010]	einmalige Befragung (2 Standorte schriftlich, 1 Standort Face to Face)	in Deutschland Befragte im Rahmen des EU-Projekts SAVE@ Work4Homes; Gebäudestandard unterschiedlich	n=1.048 (Karlsruhe n=288, Berlin n=250, Frankfurt am Main n=510)	(Sozial-)Mieter	nach Wohnräumen nach Alter und Haushaltszusammensetzung	nein
[Guerra Santín 2010] <i>Niederlande</i>	schriftliche Haushaltsbefragung in zwei Siedlungen	Gebäude unterschiedlichen Typs (z.T. lag Energieausweis vor)  Kap. 6 widmet sich Gebäuden mit hohem Effizienzstandard	n=313	ca. 80% Eigentümer und 20% Mieter	nach Wochentag/Wochenende  verschiedene Haushaltsmerkmale (Einkommen, Bildung, Haushaltsgröße, Ältere oder Kinder im HH, Anwesenheit, früherer Haustyp)	nein
[Hacke et al. 2012]	standardisierte schriftliche Befragung	PH (3 MFH-Wohnblöcke aus 1950er Jahre, Sanierung)	n=52	Mieter	nach Tageszeit; nach Jahreszeit; nach An-/ Abwesenheit z.T. nach Wohndauer; keine Haushaltsmerkmale	ja, Heizwärme- und Warmwasserverbrauch, Innentemperatur; auch separater Messbericht <sup>12</sup>
[Mlecnik et al. 2012] <i>Niederlande</i>	schriftliche Befragung	NEH, PH und Nullenergiehäuser (EFH verschiedenen Typs)	n=90	vermutlich Eigentümer	nach Jahreszeit keine Haushaltsmerkmale	nein
[Offermann et al. 2015]	Onlinebefragung (nur Warmwasser)	verschiedene Gebäudestandards	n = 1.009	bundesweit, nicht näher bestimmt	keine Haushaltsmerkmale	nein

<sup>12</sup> [Großklos 2013] Großklos, Marc (2013). Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung Rotlintstraße 116-128 in Frankfurt a. M. – Ergebnisse der messtechnischen Erfolgskontrolle. Darmstadt: IWU.

Studie	Design	Gebäude*	Fallzahl	Nutzertyp	Differenzierungsmerkmal	Direkter Vergleich mit Messdaten
[Cali et al. 2016]	qualitative und quantitative Befragung	verschiedene Sanierungsformen von 3 MFH aus 1950er Jahre	n=12 (qual.) n=31 (quant.)	Mieter	nach Bautypen (unterschiedliche Belüftung) z.T. nach Haushaltsmerkmalen (Alter und Geschlecht)	ja, Heizwärmeverbrauch, Innentemperaturen
[Wagnitz 2016] bzw. [Wagnitz 2017]	Präsenzbefragung + verkürzte Online-Befragung über unterschiedliche Kanäle, vor allem CO <sub>2</sub> -Online	überwiegend MFH Präsenzbefragung: überwiegend im Bestand der Berliner Bau- und Wohnungsgenossenschaft; Online-Befragung: verschiedene Gebäudestandards	Präsenzbefragung: n=615; Online-Befragung: n=2.653	Präsenzbefragung: Mieter Online-Befragung: bundesweit, nicht näher bestimmt	„Clustering“ anhand der InWis-Wohnkonzepten	ja, Momentanmessung Innentemperatur während Interview
[Wolff et al. 2017]	Mixed method design (Gebäudedaten + qualitative Bewohnerinterviews)	zwei Sanierungsgebiete (MFH) in Ulm und München	Ulm: n=184 (n=177 mit Verbrauchsabrechnung) München: n=33 (n=31 Verbrauchsdaten nach Sanierung)	(Sozial-)Mieter	z.T. Alter und Einkommen	ja, z.T. Abrechnungsdaten
[Baumann & Hacke 2018] (noch unveröffentlicht)	schriftliche Befragung (Folgebefragung Rotlintstraße; vgl. Hacke et al. (2012) + zusätzliches Objekt mit Sozialwohnungen)	PH (3 sanierte MFH-Wohnblöcke aus 1950er Jahre; 1 MFH Neubau)	n=73 (San. n=46; Neubau n=27)	Mieter	z.T. Haushaltsmerkmale	nein

\* PH = Passivhaus, NEH = Niedrigenergiehaus, KG = Kontrollgruppe, VG = Vergleichsgruppe

### 2.4.1 Sozialwissenschaftliche Befunde zum Heizverhalten

Die gesichteten Studien zum Heizverhalten zeichnen sich durch eine hohe Heterogenität der jeweils zugrundeliegenden konkreten Frageformulierung aus. Mit Einschränkungen lassen sich aber dennoch einerseits Hinweise auf vergleichbar ähnliche/übereinstimmende Ergebnisse finden. Andererseits fanden sich auch interessante Einzelbefunde, die Teilthemen dieses komplexen Felds näher beleuchten können.

So ist bspw. die jeweilige Operationalisierung des Themas „Raumtemperatur“ in den Arbeiten hochgradig unterschiedlich gehandhabt worden. Es wurde gefragt nach

- der gewählten Solltemperatur bzw. den Einstellungen an Thermostaten/Heizreglern (z.B. [Danner 2001], [Flade 2003], [Guerra Santin 2010], [Hacke et al. 2012], [Baumann & Hacke 2018]), zum Teil auf Basis eines mehrtägigen Wohnprotokolls (z.B. [Rohrmann 1994])

- der berichteten „herrschenden“ Temperatur (z.B. [Stieldorf 2001], [Schlomann et al. 2004], [Schulz et al. 2010], [Mlecnik 2012]) oder
- der als komfortabel empfundenen/gewünschten/idealen „Wohlfühltemperatur“ (z.B. [Keul 2001], [Emmerich et al. 2004], [Hacke 2010], [Wagnitz 2016], [Wolff et al. 2017])

#### Weitere Studien erhoben

- das momentane Temperaturempfinden der zuhause Interviewten bei gleichzeitiger Messung der Temperatur durch die Interviewer ([Hübner et al. 2003], [Wagnitz 2016])
- oder leiteten Aussagen dazu aus vor Ort gemessenen Temperaturen und der Zustimmung der Befragten zu verschiedenen Statements ab ([Cali et al. 2016]).

Sieht man von den unterschiedlichen Herangehensweisen ab, stellten die relevanten Studien übereinstimmend eine **große Streuung der berichteten oder vorgefundenen Raumtemperaturen** (siehe nachfolgende Tabelle) fest. Dabei ließen sich zum einen Unterschiede in der Raumnutzung, zum anderen hinsichtlich der Tageszeit bzw. der Minimal- und Maximaltemperaturen identifizieren. Zudem scheinen diese Spektren unabhängig vom Gebäudestandard zu sein und treten – zwar zum Teil in unterschiedlicher Ausprägung – sowohl in konventionellen als auch in besonders energieeffizienten Wohngebäuden auf. Auch das Kriterium „Mieter oder Eigentümer“ spielt offensichtlich keine wesentliche Rolle, denn die referierten Studien mit entsprechender Ausrichtung kommen zu vergleichbar ähnlichen Ergebnissen.

Hinsichtlich der häufig nicht-gemessenen, sondern berichteten Temperaturen ist jedoch als problematisch anzumerken, dass es sich bei den Temperaturangaben tendenziell um „gefühlte Temperaturen“ handeln könnte. So führen bspw. [Schlomann et al. 2004] aus, dass extrem niedrige und extrem hohe genannte Temperaturen damit zusammenhängen dürften, „dass manche Leute falsche Vorstellungen von den herrschenden Temperaturen haben.“ (S. 54) Wenig bekannt ist zudem über die Verbreitung von Thermometern zur Messung der Innentemperatur. Die Vergleichsstudie von [Keul 2001] ergab, dass bei 57 % der 44 befragten Energiesparhausbewohner und bei 26 % der 70 Bewohner von konventionellen Gebäuden ein korrekt platziertes Thermometer im Wohnzimmer zur Messung der Innentemperatur diene. Die übrigen Befragten hatten entweder ein falsch angebrachtes Thermometer zur Verfügung (7% bzw. 9 %) oder besaßen überhaupt keine Messmöglichkeit (34 % bzw. 67 %; S. 51). Im Schlafzimmer lag der Anteil korrekt angebrachter Thermometer mit 14 % bzw. 7 % noch deutlich niedriger. Ein weiterer Hinweis darauf fand sich auch bei [Emmerich et al. 2004], wonach 62 % der in der Nachher-Erhebung Befragten ein Thermometer benutzten. Dabei ist nichts darüber bekannt, an welcher Stelle der Wohnung dieses angebracht war und wie realistisch diese Messung demzufolge zu bewerten wäre.

**Tab. 57: Spektrum der in Befragungen berichteten/gemessenen Innentemperaturen**

Quelle	Differenzierung				
	Ohne	Wohnzimmer/ viel genutzte Räume	Schlafzimmer/ wenig genutzte Räume	tagsüber	nachts
[Rohrman 1994]* (Passivhaus)	15- 22°C			geringe Varianz über die Tagesstunden	
[Danner 2001]* (Passivhaus, 2 Befragungszeitpunkte)				8-24°C (2000) 19- 24°C (2001)	8-23°C (2000) 0- 23°C (2001)****
[Keul 2001]** (Energiesparhäuser und konventionelle Gebäude)		Energiesparhaus: 15-27°C Konventionell: 18-31°C	Energiesparhaus: 10-20°C Konventionell: 10-25°C		
[Flade et al. 2003]* (Passivhaus und Niedrigenergiehaus)				Passivhaus: 0-24°C**** Niedrigenergiehaus: 21-25°C	Passivhaus: 0-22°C**** Niedrigenergiehaus: 15-25°C
[Hübner et al. 2003]*** (Passivhaus)		19-24°C			

Quelle	Differenzierung				
	Ohne	Wohnzimmer/ viel genutzte Räume	Schlafzimmer/ wenig genutzte Räume	tagsüber	nachts
[Schlomann et al. 2004]** (Repräsentativbefragung)		18-25°C	10-22°C		
[Emmerich et al. 2004]** (Niedrigenergiehaus)		14-27°C (vorher + nachher)	0-23°C**** (vorher + nachher)		
[Guerra-Santin 2010]* (verschiedene Gebäudestandards)	Maximal: 15-30°C Minimal: 10-20°C				
[Hacke et al. 2012]*** (Passivhaus)	20-25°C				
[Mlecnik 2012]** (verschiedene energieeffiziente Gebäudestandards)	Maximal: 20-24°C Minimal: 17-20°C				
[Wagnitz 2016]**/**** (verschiedene Gebäudestandards)		<17- ≥26°C			
[Wolff et al. 2017]** (verschiedene Gebäudestandards)	20-25°C				

\* berichtete Einstellung am Raumthermostat/Heizregler/Thermostatventil

\*\* berichtete Raumtemperatur

\*\*\* gemessene Raumtemperatur (Messung während des Interviews [Hübner et al. 2003], [Wagnitz 2016] oder über Messfühler im Flur [Hacke et al. 2012])

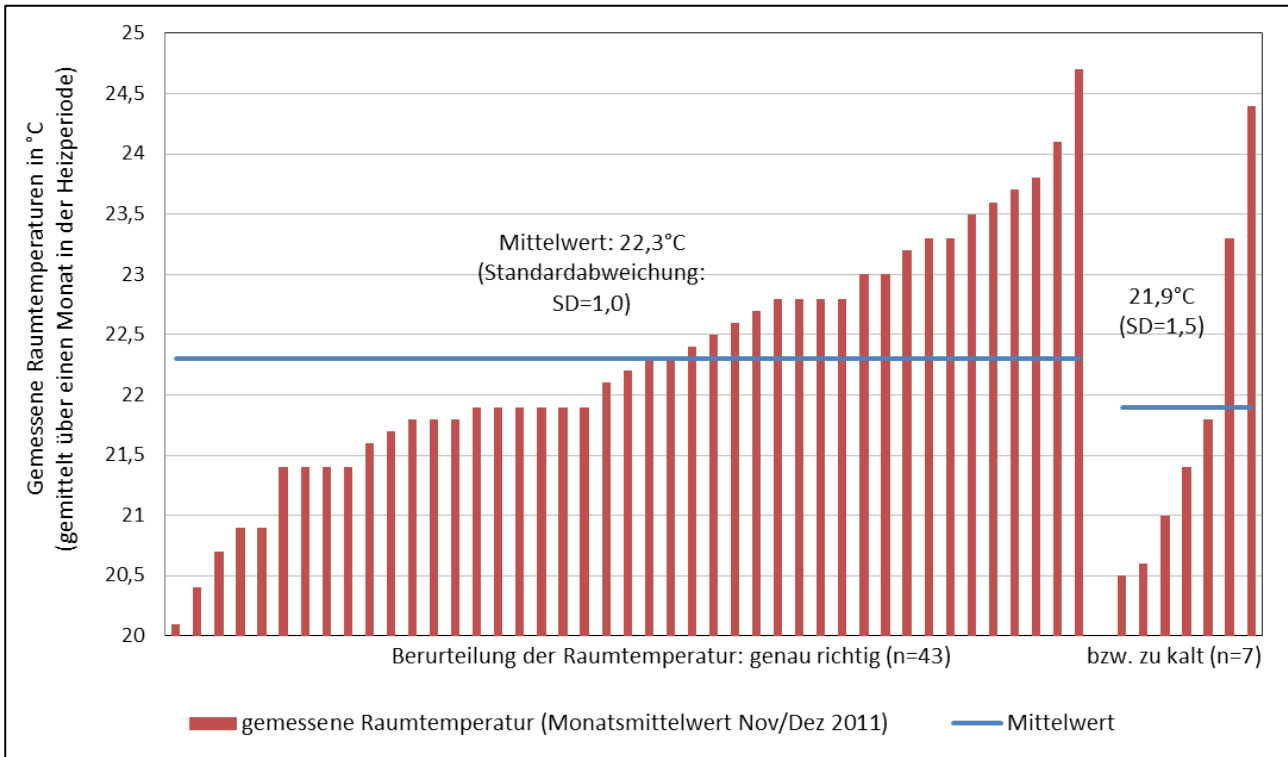
\*\*\*\* „0“ = nicht geheizt (z.B. Thermostatventil ausgeschaltet)

Dass dieser Streuung an vorgefundenen Innentemperaturen offensichtlich **individuell unterschiedliche Komfortansprüche der Befragten** zugrunde liegen, wurde in etlichen der betrachteten Studien konstatiert. So stellte schon die Evaluation des ersten deutschen Passivhausneubaus [Rohrman 1994] für die vier betrachteten selbstnutzenden Eigentümerhaushalte vier unterschiedliche Temperaturniveaus fest. [Hübner et al. 2003], die das erste Passivhaus-Mietwohnprojekt im Geschosswohnungsbau sozialwissenschaftlich begleiteten, fanden heraus, dass 75% der 31 Befragten die gemessenen Werte zwischen 19°C und 24°C als „genau richtig“ empfanden. [Keul 2001] fand für beide von ihm untersuchten, energetisch unterschiedlichen Gebäudestandards (Energiesparhaus bzw. konventionelles Gebäude) breite Temperaturspannen vor, die von den Bewohnern als zu kalt (10-22 °C bzw. 10-23 °C) oder als zu warm (19-30 °C bzw. 20-30 °C) beschrieben wurden. In der Untersuchung eines Passivhaus-Sanierungsprojekts [Hacke et al. 2012] wiesen die mit ihren vorherrschenden Wohnzimmertemperaturen zufriedenen Mieter ebenfalls eine große Varianz der gemessenen Raumtemperaturen auf (siehe nachfolgende Abbildung).<sup>13</sup> Interessant ist dabei, dass im Mittel ähnlich hohe gemessene Temperaturen das Wärmebedürfnis eines kleinen Teils der Befragten noch nicht befriedigen konnten.

<sup>13</sup> Der Temperaturmessfühler befand sich im Flur jeder Wohnung. Die dargestellten Temperaturen basierten auf einem Messzeitraum von einem Monat (19.11. bis 19.12.2011) und wurden gemittelt.

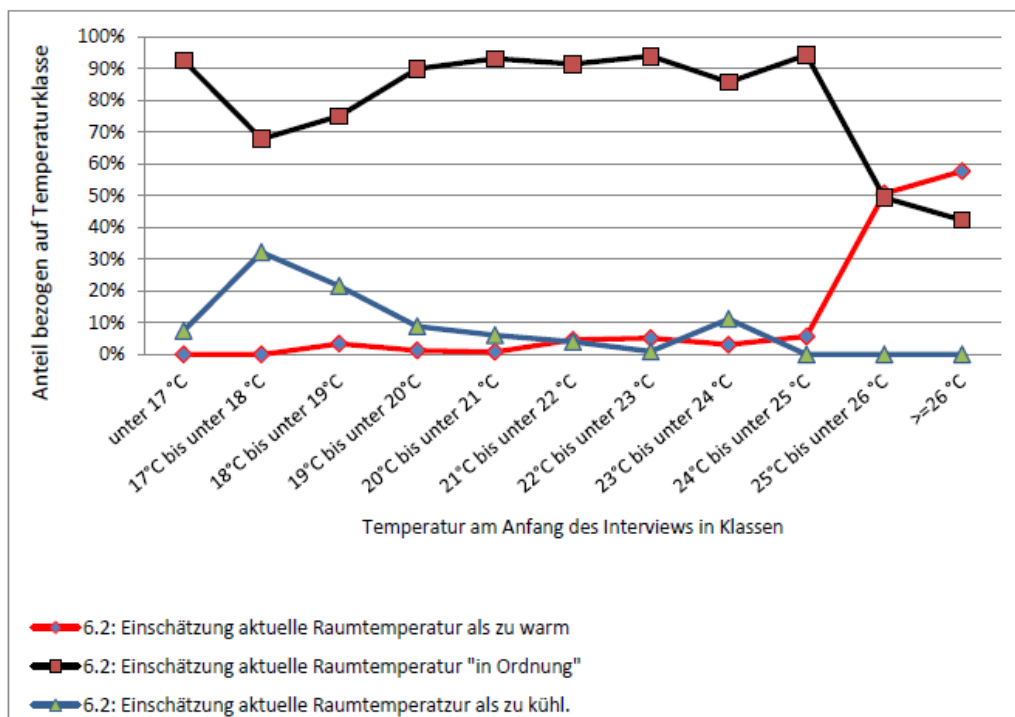


**Abb. 96 Gemessene Raumtemperaturen und Zufriedenheit mit der Temperatur im Wohnzimmer tagsüber (Quelle: [Hacke et al. 2012], S. 42)**



In vergleichbarer Weise lässt sich das Ergebnis in [Wagnitz 2016] interpretieren, wonach die während des Interviews gemessene Temperatur in einem Spektrum zwischen 19 und 24 °C vom Gros der Interviewten als akzeptabel wahrgenommen wurde, unterhalb und oberhalb dieses Temperaturbereichs war der Anteil der Unzufriedenen deutlich höher (siehe nachfolgende Abbildung).

**Abb. 97: Prozentualer Anteil der Einschätzung aktuelle Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Innentemperatur (n= 694) (Quelle: [Wagnitz 2016], Abb. 48, S. 86)**



Die Auswertung der von den Befragten ebenfalls geäußerten Wunschtemperatur ergab für die gemischten Gebäudestandards übereinstimmend ca. 23 °C [Wagnitz 2016, S. 82]. Im Vergleich mit den während des Interviews gemessenen Temperaturen bestand dabei – bezogen auf das gesamte Befragungssample mit verschiedenen Gebäudestandards – eine „deutliche Abweichung von Wunsch und Wirklichkeit“. „Vergleicht man die Wunschkurve aber mit Messungen an hocheffizienten Gebäuden... wird man eine auffällige Übereinstimmung feststellen.“ [Wagnitz 2017; S. 36] Der Autor vermutet daher, dass die „Wunschkurve“ tatsächliches Verhalten in zukünftigen Baustandards vorwegnimmt. Diese Hypothese entspricht dem in der Diskussion um Rebound-Effekte benutzten Erklärungsansatz des „unmet demand“ [z.B. Herring & Roy 2007; IRGC 2013], also dem noch nicht erfüllten Bedürfnis nach Energiedienstleistungen wie hier z.B. einer bestimmten Innentemperatur, die in energetisch schlechteren Gebäuden aus verschiedenen Gründen – z.B. baulich-technische Unmöglichkeit, zu hohe Kosten – nicht erreicht oder praktiziert wird. Auch [Guerra Santin 2010] arbeiteten im Vergleich von Gebäuden unterschiedlichen energetischen Standards heraus, dass Bewohner von wärmetechnisch besseren Gebäuden eine überdurchschnittlich höhere Raumtemperatur haben. [Wolff et al. 2017] konstatierten, dass in Altbauten z.T. aus Kostengründen wärmere Kleidung anstelle höherer Heizungseinstellungen gewählt wird, obwohl höhere Temperaturen präferiert würden.

Von Interesse in diesem Kontext sind zudem die Befunde von [Keul 2001], der für die von ihm befragten österreichischen Haushalte feststellte, dass **familiäre Präferenzdifferenzen** bei der Einschätzung der jeweiligen Idealtemperatur bestehen. [Schulz et al. 2010] berichteten, dass – wenn mehrere Personen in einem Haushalt zusammenleben – häufig alle Haushaltsmitglieder über die Temperatur entscheiden.

Wie oben bei [Hacke et al. 2012] anhand von Temperaturmessdaten im Passivhaus bereits festgestellt wurde, liegen die in den meisten Studien jedoch seltener durch Messung, sondern durch Befragung ermittelten **Wohnzimmertemperaturen bzw. Tagestemperaturen häufig bei über 20°C**. Wie die nachfolgende Tabelle aufzeigt, fanden sich die größten prozentualen Anteile oft im Bereich zwischen 20°C und 22°C, mit der Tendenz zum höheren Wert. Darauf wiesen auch die in manchen Studien errechneten Mittelwerte hin, die meist Werte um die 21°C annahmen.

Wenn möglich wird die gewählte Temperatur der Raumnutzung angepasst: „In Wohnungen mit Niedrigenergiehausstandard, in denen es möglich ist, die Räume auf unterschiedlichem Temperaturniveau zu halten, wird von dieser Möglichkeit auch zumeist Gebrauch gemacht – die Temperatur in den Schlafräumen liegt im Vergleich zur Temperatur in den Wohnräumen oft um 2 bis 4 Grad niedriger [Stieldorf et al. 2001, S. 119]. In der Untersuchung von [Wagnitz 2016] hatten 82 % der Befragten angegeben, raumweise unterschiedliche Temperaturen eingestellt zu haben, wobei Komfortaspekte (67 %) gefolgt von Energie-/Kosteneinsparung (16 %) und Gewohnheiten (15 %) die wesentlichen Gründe dafür waren. Umweltgründe spielten mit 2 % Nennungen dagegen nur eine untergeordnete Rolle (S. 98).

**Tab. 58: Studien mit Häufigkeitsangaben, Mittelwerten o.ä. zu Wohn- und Schlafzimmer-temperaturen bzw. Tag- und Nachttemperaturen**

Quelle	Differenzierung				
	Ohne	Wohnzimmer/ viel genutzte Räume	Schlafzimmer/ wenig genutzte Räume	tagsüber	nachts
[Rohrmann 1994]* (Passivhaus)	50%: 21-22°C				
[Brohmann 2000]** (Gebäudestandard unbekannt)				19%: <20°C 19%: >21°C	75% ausgestellte Heizung bzw. Temperaturwahl 14-15°C
[Danner 2001]* (Passivhaus, Bezugsjahr: 2001)				51%: 20-22°C 33%: über 22°C	50%: 18-19°C
[Keul 2001]** (Energiesparhäuser und konventionelle Gebäude)		Energiesparhaus: MW: 21,08°C, SD: 2,03°C Konventionell: MW: 20,95°C, SD: 1,81°C	Energiesparhaus: MW: 17,03°C, SD: 2,08°C Konventionell: MW: 17,5°C, SD: 2,57°C		
[Stieldorf et al. 2001]* (Energiesparhäuser)		„markant über 20°C“; häufigste Nennung: 22°C	Schlafzimmer 2-4°C niedriger		
[Flade et al. 20039* (Passivhaus und Niedrigenergiehaus)				Passivhaus: 70%: 21-22°C Niedrigenergiehaus: 75%: 21°C MW: 20,5°C	Passivhaus: 45%: 15°C; 30%: 20-22°C Niedrigenergiehaus: 50% 15°C MW: 16,8°C
[Hübner et al. 2003]*** (Passivhaus)		MW: 21,5°C			
[Schloman et al. 2004]** (Repräsentativbefragung)		75%: 20-22°C MW: 21,2°C	70%: 15-18°C MW: 16,1 °C		
[Emmerich et al. 2004]** (Niedrigenergiehaus)		MW: 22°C	MW: 16°C		
[Schulz et al. 2010]** (versch. Gebäudestandards vermutet)		56%: 20-22°C	45%: 18-20°C		
[Guerra-Santin 2010]* (versch. Gebäudestandards)		Maximal: 74%: 19-20°C Minimal: 61%: 15°C			
[Hacke et al. 2012]*** (Passivhaus)		MW: ca. 22°C (siehe auch Abb. oben)			
[Mlecnik 2012]** (versch. energieeffiziente Gebäudestandards)	MW: 20°C				
[Wagnitz 2016+2017]*** (versch. Gebäudestandards)		45%: <20°C Modalwert: 22-23°C			

MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung, Mo: Modalwert

\* berichtete Einstellung am Raumthermostat/Heizregler/Thermostatventil

\*\* berichtete Raumtemperatur (Messung während des Interviews [Hübner et al. 2003], [Wagnitz 2016] oder über Messfühler im Flur [Hacke et al. 2012])

\*\*\* gemessene Raumtemperatur (Messung während des Interviews [Hübner et al. 2003], [Wagnitz 2016 bzw. 2017] oder über Messfühler im Flur [Hacke et al. 2012])

Wie die obige Tabelle zusammenstellt, lagen auch in weiteren Studien die vorgefundenen Temperaturangaben im **Schlafzimmer oder nachts** meist auf einem vergleichsweise niedrigeren Niveau als die Wohnzimmer- oder Tagestemperaturen. Auch hier spielen Komfortbedürfnisse – insbesondere der **Schlafkomfort** – eine große Rolle. In der Befragung von [Keul 2001] z.B. gaben 93% (Energiesparhaus) bzw. 100% (konventionelles Gebäude) der Befragten an, im Schlafzimmer nachts gern niedrigere Temperaturen zu haben.

In Passivhäusern werden z.B. laut [Hübner et al. 2003] ebenfalls kühlere Schlafzimmer gewünscht und die Temperatur über die Fenster „reguliert“. [Baumann & Hacke 2018] ermittelten – jedoch nicht nur bezogen auf die Schlafzimmer – einen Anteil von 18% der befragten Passivhausbewohnern, die als Grund für die Fensteröffnung die Absenkung der Raumtemperatur nannten. Die Befunde in [Wagnitz 2016] zeigen ebenfalls einen Anteil von 18% der Befragten – jedoch bezogen auf unterschiedliche Gebäudestandards – die **zur Temperaturregulierung die Fenster öffnen**. [Wolff et al. 2017] thematisierten ein nach Sanierungen häufigeres Lüften als zuvor und problema-

tisierten, dass die Kipplüftung als einzige Möglichkeit zur Absenkung der dann meist höheren Innentemperaturen erscheint.

Neben Komfortargumenten finden sich in zwei weiteren betrachteten Studien ([Keul 2001], [Wolff et al. 2017]; vgl. auch o.g. Ergebnissen aus [Wagnitz 2016]) auch **Kostensparmotive** für das Nicht- oder Wenigbeheizen von weniger genutzten Räumen. Dies scheint insbesondere für konventionelle Gebäude bzw. Altbauten zu gelten.

Vor diesem Hintergrund war zudem von Interesse, **ob die Befragten in der Nacht oder bei Abwesenheit ihre Temperaturen absenken**. Wie die nachfolgende Tabelle aufzeigt, stellten die ausgewerteten Studien hier unterschiedlich hohe Anteile dieser Praktik fest: Eine Nachtabsenkung der Temperatur wurde den Studien zufolge von „einigen Mietern“ bis hin zu über 80 % der Befragten praktiziert. Wie [Guerra-Santin 2010] zudem ermittelte, wird dies je nach Raumnutzung unterschiedlich gehandhabt – im Wohnzimmer wurde von ihren Befragten seltener abgesenkt als im Schlafzimmer. Bezogen auf die Absenkung der Temperatur bei Abwesenheit stellte die Untersuchung von [Emmerich et al. 2004] heraus, dass die Dauer der Abwesenheit einen Einfluss hat – bei längerer (tageweiser) Abwesenheit wird häufiger abgesenkt als bei kürzeren Zeiträumen. Dieselbe Studie identifizierte auch Anteile von 51 % (Vorherbefragung) bzw. 59 % (Nachherbefragung) der befragten Niedrigenergiehausbewohner, die ihre Thermostatventile bei Fensteröffnung schließen. Bei [Wagnitz 2016] lag dieser Anteil bei ca. 62 % in verschiedenen Gebäudestandards.

Zu beachten ist in diesem Kontext, dass sich speziell in Passivhäusern, die über eine Lüftungsanlage mit Zulufltheizung verfügen, eine starke Temperaturabsenkung bei mehrtägiger Abwesenheit ungünstig auswirken kann, z.B. weil die Wiedererwärmung der Wohnung einen vergleichsweise langen Zeitraum in Anspruch nimmt. Aus [Hacke et al. 2012] ist dabei bekannt, dass knapp zwei Drittel der 52 dort Befragten eine solche ungünstige Temperaturabsenkung betrieben haben und lediglich 10% über optimale Regelungseinstellungen (d.h. unveränderte Lüftungsstufe 2 und Temperaturwahl 20-22 °C am Raumthermostat) berichteten.

**Tab. 59: Anteile von Befragten, die eine Temperaturabsenkung praktizieren**

Quelle	Temperaturabsenkung	
	nachts	bei Abwesenheit
[Brohmann et al. 2000] (Gebäudestandard unbekannt)	75%	
[Keul 2001] (2 Gebäudestandards)		Energiesparhaus: immer/meistens 77%, Konventionell: immer/meistens 80%
[Hübner et al. 2003] (Passivhaus)	„einige Mieter“	
[Emmerich et al. 2004] (Niedrigenergiehaus; Befragung vor und nach Sanierung)	Vorher: 83% Nachher: 73%	stundenweise: Vorher: 75%; Nachher: 40% tageweise: Vorher: 96%; Nachher: 91%
[Guerra-Santin 2010] (verschiedene Gebäudestandards)	46% im Wohnzimmer; 64% im Schlafzimmer	
[Hacke et al. 2012] (Passivhaus)		65% (bei mehrtägiger Abwesenheit)
[Wagnitz 2016], [Wagnitz 2017] (verschiedene Gebäudestandards)	60%	42%

[Guerra-Santin 2010] stellte fest, dass eine lange **Anwesenheit zuhause** nach Angaben der Befragten zu einem längeren Laufen der Heizung auf höchster Stufe führte. Insgesamt ist das Thema „Anwesenheit zuhause“ mit möglichen Auswirkungen auf den Energieverbrauch in den Studien jedoch kaum beachtet worden. [Keul 2001] stellte fest, dass die Anwesenheitszeiten zuhause umso länger sind, je größer der Haushalt ist. [Wolff et al. 2017] wiesen einen signifikanten Einfluss der Anwesenheitszeit auf den Energieverbrauch nach.

Eine **Differenzierung der Befunde nach (vor allem sozio-demographischen) Haushaltsmerkmalen** ist nur in ganz wenigen Studien erfolgt und der häufig kleinen Fallzahl wegen vorsichtig zu bewerten.

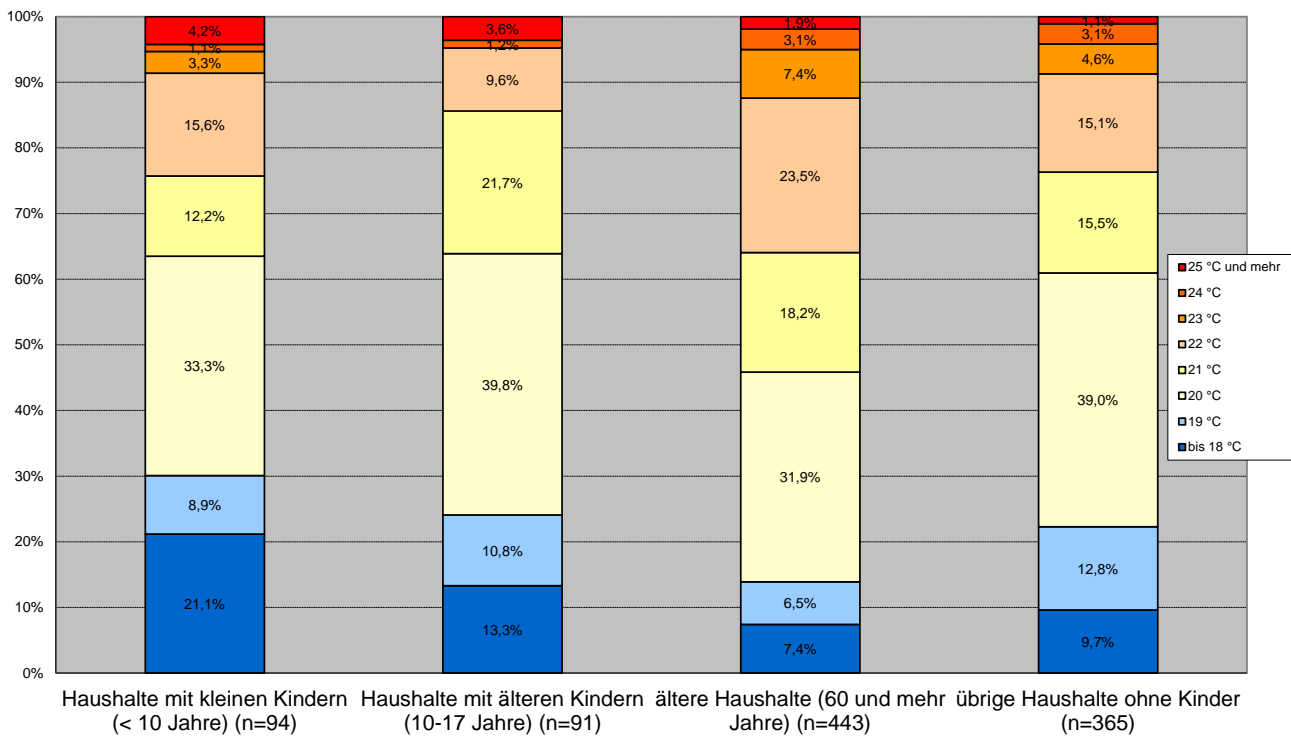
[Schlomann et al. 2004] stellten in ihrer Repräsentativbefragung (> 20.000 Befragte) fest, dass höhere Wohnzimmertemperaturen tendenziell auch mit höheren Schlafzimmertemperaturen einhergehen, wobei Ältere vergleichsweise niedrigere Schlafzimmer- und etwas höhere Wohnzimmertemperaturen nannten. [Emmerich et al. 2004] stellten – auf Basis von ca. 140 befragten Niedrigenergiehausbewohnern – zwar ähnlich fest, dass ältere Befragte für das Schlafzimmer niedrigere Temperaturen angegeben hatten als Jüngere, bezüglich des Wohnzimmers bestanden jedoch keine Unterschiede zwischen beiden Altersgruppen. [Hacke 2010] ermittelte in ihrer Befragung von mehr als 1.000 Mietern von drei deutschen Wohnungsunternehmen, dass sich die oben beschriebenen Streuungen bei der Raumtemperatur auch im Vergleich verschiedener Haushaltstypen bestätigen lassen. Dabei fällt auf, dass die befragten **Haushalte mit älteren Bewohnern** (60+ Jahre) in höherem Maße als bspw. Familien mit Kindern Temperaturen ab 22°C im Wohnzimmer als ideal empfanden (siehe nachfolgende Abbildung. [Guerra-Santin 2010] stellte anhand von mehr als 300 niederländischen Befragten ähnlich fest, dass die Anwesenheit von älteren Personen im Haushalt zu längeren Zeiträumen der Heizungsnutzung führte, der Zusammenhang blieb allerdings nicht-signifikant. Die Anwesenheit von Kindern hatte diesen Effekt nicht. Haushaltsgröße und Bildung waren ebenfalls ohne Einfluss (S. 101ff). [Schulz et al. 2010] konstatierten in diesem Kontext, dass Ältere umweltfreundliches Heizen eher als Komforteinbuße werteten als Jüngere. Die hinterlegte Altersgruppierung und die entsprechenden Fallzahlen bei insgesamt 185 Befragten sind allerdings nicht bekannt. Ebenfalls ohne Angabe der (bei einer Gesamtzahl von 31 Interviews vermutlich kleinen) Fallzahl gaben [Cali et al. 2016] an, dass Ältere (>65 Jahre) einen um 21% höheren Wärmeenergieverbrauch aufwiesen als Jüngere. Die Autoren führten dies auf eine etwas höhere durchschnittliche gemessene Raumtemperatur (22,27°C zu 21,82°C) und die Aussagen zurück, dass die Älteren deutlich mehr darauf bedacht seien, die Temperatur in ihrer Wohnung konstant zu halten und eine geringere Variation der Temperatur in den Räumen zuzulassen. Unterschiede zwischen befragten Frauen und Männern stellten die Autoren dagegen nicht fest. [Wagnitz 2016] hat hinsichtlich der in seiner Studie gemessenen Temperaturen in mehr als 600 Interviews dagegen keine alleinige Abhängigkeit vom Alter festgestellt, sondern erst in gemeinsamer Betrachtung mit der jeweiligen finanziellen Situation der Interviewten: „Je älter der Nutzer und je weniger ihn die Heizkosten belasten, desto eher lebt er höhere Temperaturwünsche aus“ [Wagnitz 2017, S. 36]. Dies deckt sich auch mit seinem Ergebnis, dass Ältere und Finanzstärkere seltener bei Abwesenheit oder nachts Temperaturabsenkungen vornehmen (S.96). [Wolff et al. 2017] stellten mit ca. 200 Befragten – hinsichtlich der als komfortabel empfundenen Temperaturspannen – zwar ebenfalls einen Zusammenhang mit der ökonomischen Leistungsfähigkeit der Haushalte insbesondere in Altbauten her, konnten aber in den Regressionsanalysen mit Verbrauchs- und Befragungsdaten keinen Einfluss von Einkommen und Alter auf den Wärmeenergieverbrauch nachweisen.

Den Versuch einer Haushaltstypisierung hat [Wagnitz 2016] unternommen und mit Hilfe einer Clusterbildung drei Nutzertypen (Komfort, Eco, Öko) herausgearbeitet, die sich hinsichtlich des Grads des gewünschten Komforts bzw. der Energieintensität ihres Lebensstils unterschieden. Die Verteilung im Befragungssample stellte sich folgendermaßen dar (S. 120ff):

- **Komforttyp:** Anteil ca. 36%  
etwa zur Hälfte Ältere und Jüngere; mit höherem Temperaturwunsch (Modalwert: 22-23°C) und längerer Anwesenheit zuhause (>18 Stunden pro Tag)
- **Eco-Typ:** Anteil ca. 52%  
vorwiegend im Alter 45-65 Jahre; mit mittleren Temperaturen (Modalwert 21-22°C) und mittlerer Anwesenheitsdauer zuhause (14+ Stunden)
- **Öko-Typ:** Anteil ca. 11%  
vor allem im Alter <30 Jahre und bis <45 Jahre; mit niedrigeren Temperaturen (Modalwert: 20-21°C) und geringeren Anwesenheitszeiten zuhause (max. 14 Stunden)

Die in den Interviews ebenfalls gestellte **Frage danach, ob eine Mindesttemperatur von 20°C ohne die zuverlässige Möglichkeit der Erhöhung als ausreichend erachtet würde**, wurde überwiegend verneint und eine schnelle Wiedererwärmung gewünscht. Für bestimmte (nicht näher benannte Gruppen) wäre aber ein „verspätetes Aufwärmen“ nach dem Aufstehen akzeptabel [Wagnitz 2017, S. 37].

**Abb. 98: Angaben zur idealen Raumtemperatur verschiedener Haushaltstypen (Quelle: [Hacke 2010], S. 886; ergänzt um weitere Angaben)**



Die nachfolgende Tabelle stellt noch einmal die Fragestellungen in den ausgewerteten Studien dar, auf die in den obigen Ausführungen Bezug genommen wurde.

**Tab. 60: Abfrage des Heizverhaltens bzw. der Raumtemperaturen in den verschiedenen Studien**

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
[Rohrmann 1994]	2 x 3 Tage Wohnprotokoll zur gewählten Solltemperatur zu verschiedenen Tageszeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>nur geringe Variation über die Tagesstunden hinweg; allerdings bestehen ganz beträchtliche Unterschiede zwischen den Personen, die offensichtlich einen unterschiedlichen Komfortbedarf widerspiegeln (S. 42)</li> <li>vier Haushalte = vier Temperaturen: 15°C-18°C, 20°C, 21°C, 22°C</li> </ul>
[Brohmann et al. 2000]	Beeinflussbarkeit der Heizung	<ul style="list-style-type: none"> <li>95% verfügen über Möglichkeiten =&gt; 91% nutzen dies zur Temperaturregelung, 84% für unterschiedlichen Tag- und Nachtbetrieb</li> </ul>
	Temperatureinstellung	<ul style="list-style-type: none"> <li>tagsüber: 19% &lt;20°C, 19% &gt;21°C; 33% kennen genaue Temperatur nicht</li> <li>nachts: 75% ausgestellte Heizung bzw. Temperaturwahl 14-15°C</li> </ul>
[Danner 2001]	Am Thermostat eingestellte Tages- und Nachttemperatur (jeweils Vergleich der Jahre 2000 und 2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tagestemp.: Spanne zwischen 8°C und 24°C (2000) bzw. 19°C und 24°C (2001); 52% bzw. 51% Temp. zw. 20-22°C; in 2000: 31% niedrigere Temp., in 2001: 33% höhere Temp.</li> <li>Nachttemp.: Spanne zwischen 8°C und 23°C (2000) bzw. 0°C und 23°C (2001); in 2000: 63% Temp. zw. 15-18°C, in 2001: 50% Temp. zw. 18-19°C</li> </ul> <p>(=&gt; Unterschiede zwischen den Jahren nicht erklärt; kein Bezug zu Außentemperaturen)</p>

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
	Zeitraum mit angestelltem Thermostat und Beginn der Thermostatnutzung (Monat) (jeweils Vergleich der Jahre 2000 und 2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>58% (2000)/ 59% (2001) hatten den Thermostat 4-5 Mon. angestellt; 16%/ 18% 2-3 Mon.</li> <li>häufigster Beginn der Thermostatnutzung: November/Dezember</li> </ul>
[Keul 2001]	Verschiedene Fragen zu „Wohlfühltemperaturen“ (ab S.49) E=Energiesparhaus K=konventionelles Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schlafzimmer nachts gerne kühler: E 93%, K 100%</li> <li>angenehmste Temperatur während Heizperiode in Wohnzimmer: E: 15°C-27°C (MW: 21,08°C; SD 2,03°C); K: 18°C-31°C (MW: 20,95°C; SD 1,81°C)</li> <li>Range für „zu kalt“: E: 10°C-22°C (MW: 17,64°C; SD 2,24°C); K: 10°C-23°C (MW: 17,4°C; SD 2,4°C)</li> <li>Range für „zu warm“: E: 19°C-30°C (MW: 24,61°C; SD 2,51°C); K: 20°C-30°C (MW: 24,4°C; SD 2,71°C)</li> </ul>
	Familiäre Präferenzdifferenzen bei Raumtemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>bejahen 32% (E) bzw. 20% (K)</li> <li>Konflikte darum aber selten (9% bzw. 4%)</li> </ul>
	Berichtete Temperatur im Schlafzimmer (ohne Messung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>E: 10°C-20°C (MW: 17,03°C; SD 2,08°C)</li> <li>K: 10°C-25°C (MW: 17,5°C; SD 2,57°C)</li> </ul>
	Eingeschränkte Beheizung nach Wohnräumen	<ul style="list-style-type: none"> <li>E: Schlafzimmer weniger geheizt wegen Schlafkomfort</li> <li>K: Motiv generelles Kostensparen in weniger genutzten Räumen</li> </ul>
	Drosseln der Heizung, wenn niemand zuhause ist	<ul style="list-style-type: none"> <li>E: immer 44,2%, meistens 32,6%, gar nicht 23,3%</li> <li>K: immer 61,4%, meistens 18,6%, gar nicht 20,6%</li> </ul>
	wann wird gedrosselt	<ul style="list-style-type: none"> <li>E: tagsüber 61,1%, Wochenende 22,2%, Reisen 16,7%</li> <li>K: tagsüber 59,7%, Wochenende 17,7%, Reisen 22,6%</li> </ul>
	Einfluss Anwesenheit zuhause	<ul style="list-style-type: none"> <li>E: je größer die Haushaltsgröße, desto mehr zuhause (S.57)</li> </ul>
[Stiendorf et al. 2001]	Berichtete Temperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>„deutlicher Trend zu einer mittleren Innenraumtemperatur von markant über 20 Grad“; häufigste Nennung 22°C (S. 119)</li> <li>wenn möglich (NEH) werden unterschiedliche Temperaturniveaus in der Wohnung präferiert =&gt; Schlafzimmer 2-4°C niedriger als Wohnzimmer</li> <li>unzureichende Wirkung der Regelungseinrichtungen (z.B. Raumthermostate) bemängelt (S.156)</li> </ul>

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
[Flade et al. 2003]	Einstellung des Heizreglers	<ul style="list-style-type: none"> <li>tagsüber: PH (n=20): Spanne zwischen 0°C und 24°C; 75% Temp. zwischen 20°C und 22°C, darunter 50% 21°C, 20% 22°C NEH (n=8); Spanne zwischen 21°C und 25°C; 75% 21°C</li> <li>nachts: PH (n=20): Spanne zwischen 0°C und 22°C; 65% zwischen 15°C und 18°C, darunter 45% 15°C; 30% 20-22°C NEH (n=8); Spanne zwischen 15°C und 25°C; 50% 15°C</li> <li>im Mittel tagsüber 20,5°C, nachts 16,8°C</li> <li>je höher die Nachteinstellung, desto höher der Energieverbrauch (signifikante Korr.)</li> </ul>
[Hübner et al. 2003]	Frage nach momentanem Temperaturempfinden + erfasster Momentanwert mit Handmessgerät durch Interviewer	<ul style="list-style-type: none"> <li>gemessene Werte zwischen 19°C und 24°C (MW 21,5°C) =&gt; 75% der Befragten „Temp. genau richtig“</li> </ul>
	Zufriedenheit mit Temperatur in einzelnen Räumen	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Schlafzimmer wird kühlere Temperatur gewünscht =&gt; Regulierung über die Fenster</li> </ul>
	Einstellungen an Wohnungsthermostat und Heizkörper im Bad	<ul style="list-style-type: none"> <li>einige Mieter praktizieren Nachtabenkung am Wohnungsthermostat</li> <li>Badheizkörper üblicherweise ausgeschaltet</li> </ul>
[Emmerich et al. 2004]	Gewünschte Wohn- und Schlafzimmertemperaturen im Winter	<p>Vorherbefragung (nicht-sanierter Zustand)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wohnzimmer: Spanne von 14°C -27°C; 63% 20°C-22°C, 17% 25°C+; im Mittel 22°C</li> <li>Schlafzimmer: Spanne von „nicht geheizt“ bis 23°C; 20% 10°C und weniger, 12% „nicht geheizt“, 18% 15°C, 22% 18°C; im Mittel 15°C</li> <li>„Ältere Befragte gaben für das Schlafzimmer niedrigere Temperaturen an als Jüngere und wiesen häufiger darauf hin, dass dort nicht geheizt werde.“ (S. 108)</li> </ul> <p>Nachherbefragung (sanierter Zustand)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>gewünschte Spannen wie oben, im Mittel 22°C Wohnzimmer, 16°C Schlafzimmer</li> <li>neue Frage: 62% benutzen ein Thermometer</li> </ul>
		<p>Temperaturabsenkung nachts und bei Abwesenheit</p> <p>Vorherbefragung (nicht-sanierter Zustand)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>über Nacht: 43% Thermostatventil aus, 40% niedriger, 17% keine Aktivität</li> <li>Abwesenheit mehrere Stunden: 25%/50%/25%</li> <li>Abwesenheit mehrere Tage: 71%/25%/4%</li> </ul> <p>Nachherbefragung (sanierter Zustand)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Werte zurückgegangen (S. 116): Heizung gedrosselt/aus: nachts 73%, stundenweise Abwesenheit 40%, tageweise Abwesenheit 91%</li> </ul>
	Geschlossenhalten Türen im Winter	<p>Vorherbefragung (nicht-sanierter Zustand)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>45% eher geschlossen, 55% eher offen</li> </ul> <p>Nachherbefragung (sanierter Zustand)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>31%/69%</li> </ul>
	Abgedrehte Heizung bei geöffnetem Fenster	<p>Vorherbefragung (nicht-sanierter Zustand)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>41% immer, 18% oft, 17% ab und zu, 24% nie</li> </ul> <p>Nachherbefragung (sanierter Zustand)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>39%/12%/22%/27%</li> </ul>



Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
[Schulz et al. 2010]	Berichtete Zimmertemperatur im Winter und wer darüber entscheidet	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wohnzimmer: 56% (n=100) Temp. zwischen 20°C und 22°C</li> <li>Schlafzimmer: 45% (n=80) 18-20°C</li> <li>leben mehrere Personen in einem Haushalt zusammen, entscheiden häufig alle Personen über die Temperatur (59%) (S. 11)</li> </ul>
	Statement-Batterie (S. 12) mit fünfstufiger Skala (1 = stimme voll und ganz zu, 2 = stimme eher zu, 3 = teils/teils, 4 = stimme eher nicht zu 5 = stimme ganz und gar nicht zu), z.B. „Für mich ist ein umweltfreundliches Heizen mit Komforteinbußen verbunden.“	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ältere empfinden umweltfreundliches Heizen eher als Komforteinbuße als Jüngere [Altersgruppierung und entsprechende Fallzahlen nicht bekannt]</li> </ul>
[Hacke 2010]	Angaben der Befragten zur für sie idealen Raumtemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abb. nach Haushaltstypen (Kinder, Ältere) auf S. 886 (hier neu kategorisiert)</li> <li>HH mit kleinen Kinder (&lt; 10 J., n=94): bis 19°C 30%, 20-22°C 61%, ab 23°C 9%; MW: 20,29°C, SD: 1,89°C, Median: 20°C; Minimum: 17°C , Maximum: 26°C</li> <li>HH mit älteren Kindern (10-17 J., n=91): bis 19°C 24%, 20-22°C 71%, ab 23°C 5%; MW: 20,24°C, SD: 1,57°C, Median: 20°C; Minimum: 16°C , Maximum: 25°C</li> <li>ältere HH (60 J.+ , n=443): bis 19°C 14%, 20-22°C 74%, ab 23°C 12%; MW: 20,87°C, SD: 1,57°C, Median: 21°C; Minimum: 18°C , Maximum: 25°C</li> <li>übrige HH ohne Kind (n=365): bis 19°C 22%, 20-22°C 70%, ab 23°C 9%; MW: 20,40°C, SD: 1,59°C, Median: 20°C; Minimum: 15°C , Maximum: 25°C</li> <li>obige Gruppen nur Anteile von 22°C und mehr: 24%/14%/36%/24% =&gt; Ältere mögen es wärmer</li> </ul>
[Guerra Santín 2010]	Thermostateinstellungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>74,4% haben 19°C-20°C als höchste eingestellte Temp. angegeben (Spektrum 15-30°C)</li> <li>61,2% haben als niedrigsten Wert 15°C angegeben (Spektrum 10°C-20°C)</li> </ul>
	Stunden mit aufgedrehtem Heizkörper	<ul style="list-style-type: none"> <li>54% haben die Heizung im Wohnzimmer durchgehend an, 36% im Schlafzimmer (s. Tab. 4-2b auf S. 93)</li> <li>im Übrigen große Spannen zwischen 0 und 18 Stunden</li> </ul>
	Differenzierung nach Haushaltsmerkmalen (S.101ff)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Haushaltsgröße und Bildung hatten keinen Einfluss</li> <li>Ältere im Haushalt führt zu längeren Zeiträumen der Heizungsnutzung (Effekt aber n.s.);</li> <li>Anwesenheit von Kindern hat diesen Effekt nicht (Familien dennoch „energieintensiver“ wegen größerer Wohnfläche und Elektrogeräten)</li> <li>lange Anwesenheit zuhause führt zu längerem Laufen der Heizung auf höchster Stufe</li> </ul>
	Detailanalyse besserer energetischer Standard (S.167f)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bewohner wärmetechnisch besserer Gebäude „prefer above-average indoor temperatures</li> </ul>

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
[Hacke et al. 2012]	Detaillierte Abfrage der Einstellungen von Lüftungsstufe, Raumthermostat und zusätzlichem Heizkörper bezogen auf Anwesenheit und Abwesenheit (dabei 3 Unterscheidungen: stundenweise Abwesenheit; 1-2tägige Abwesenheit; mehrtägige Abwesenheit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelne Befragte gehen unterschiedlich bei Erwärmung ihrer Wohnung vor</li> <li>• bei Anwesenheit: 44% der Befragten haben optimale Einstellungen sowohl bei Lüftungsstufe als auch bei Raumthermostat (bis 22°C); 21% Lüftungsstufe okay, aber z.T. deutlich höhere Temperatureinstellungen; 13% betreiben zusätzliche Heizkörper auf hoher Stufe der durchschnittliche gemessene Energieverbrauch war umso höher, je höher die eingestellte Temperatur am Raumthermostat und je höher die Einstellung am zusätzlichen Heizkörper war (S. 36f)</li> <li>• bei Abwesenheit: 65% betreiben eine für PH ungünstige Temperaturabsenkung; nur 10% haben optimale Einstellungen</li> </ul>
	Ableich gemessene Raumtemperatur und Zufriedenheit mit Raumtemperaturen (zu warm/genau richtig/zu kalt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterschiedliche Komfortansprüche an Raumtemperatur: Temperatur im Wohnzimmer „genau richtig“: gemessene Spannen von 20,1°C bis 24,7°C (MW 22,3°C, SD 1,0); Temperatur im Wohnzimmer „zu kalt“: 20,5°C bis 24,4°C (MW 21,9°C, SD 1,5)</li> </ul>
[Mlecnik et al. 2012]	Zeitraum mit angeschalteter Heizung im Winter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Out of all the 16 respondents, 54% stated that they heated the living space during the whole winter period, 21% heated it for a maximum of three months, 11% heated it according to the outdoor temperature and 14% heated it only on cold days. (S.255)</li> </ul>
	Berichtete Raumtemperaturen im Winter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ø 20°C; Range Max 20°C-23,9°C; Min 17°C-20,3°C</li> <li>• Einstellungen am Heizregler: Spanne von „18,4°C oder weniger“ bis „22,5°C oder mehr“</li> </ul>
[Cali et al. 2016]	Ableitung aus gemessenen Temperaturen + Statementatterie (6stufige Skala 0 = nie bis 6 = immer) zu: „Wir lassen die Temperaturen in der Wohnung konstant, anstatt die Heizung häufig an- und auszuschnalten.“ „Wir heizen jeweils nur den genutzten Raum.“	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vergleich &lt;65 Jahre und &gt;65 Jahre (Kategorien nicht aneinander grenzend) <u>Ältere</u> (ohne Angabe der Fallzahl) um 21% höheren Wärmeenergieverbrauch; dies wird zurückgeführt auf <ul style="list-style-type: none"> <li>○ etwas höhere durchschnittliche gemessene Raumtemp. (22,27°C zu 21,82°C)</li> <li>○ deutlich mehr darauf bedacht, Temp. in Wohnung konstant zu halten</li> <li>○ geringere Variation der Temperatur in den Räumen</li> </ul> </li> <li>• Vergleich ♀ und ♂ (n=20 bzw. n=11) <ul style="list-style-type: none"> <li>○ keine Unterschiede wie bei Alter</li> <li>○ ♀ haben weniger Interesse sich mit Heizsystem zu beschäftigen, kommen schlechter damit klar</li> </ul> </li> </ul>
	Bildung von Verbrauchstypen + Spiegelung mit Befragungsdaten < 21kWh/(m <sup>2</sup> a) (n=21) 21-39,9 kWh/(m <sup>2</sup> a) (n=7) > 40 kWh/(m <sup>2</sup> a) (n=3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gruppe mit hohem Verbrauch findet hohe Temperaturen angenehm</li> <li>• monetärer Nutzen „Durch das neue Heizsystem sparen wir Geld.“ wird überall ablehnt =&gt; gestiegene Kaltmiete</li> </ul>

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
[Wagnitz 2016] [Wagnitz 2017]	Messung der Raumtemperatur (während Interview Präsenzbefragung) + Erfassung Wunschtemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>deutliche Streuung der gemessenen Temperatur =&gt; &lt;17°C bis 26°C+; 45,4 % unter 20°C; Modalwert bei Wunschtemperatur 22-&lt;23°C (siehe Abb. 47, S. 81 in Wagnitz 2016)</li> <li>bei gemessenen Temperaturen keine Abhängigkeit vom Alter feststellbar; kaum Einfluss Wohnkonzept (nicht weiter betrachtet)</li> <li>„Wunschkurve“ nimmt tatsächliches Verhalten in zukünftigen Baustandards vorweg (Vergleich mit Messungen in hocheffizienten Gebäuden); Wagnitz 2017 S. 36; □</li> <li>Alter alleine kein Kriterium, erst in gemeinsamer Betrachtung mit Finanzkraft „Je älter der Nutzer und je weniger ihn die Heizkosten belasten, desto eher lebt er höhere Temperaturwünsche aus.“ Wagnitz 2017 S. 36</li> </ul>
	Frage, ob Mindesttemperatur von 20°C ohne zuverlässige Möglichkeit der Erhöhung ausreichend? (2017; S. 37)	<ul style="list-style-type: none"> <li>von Befragten überwiegend verneint + schnelle Wiedererwärmung gewünscht (ein „verspätetes“ Aufwärmen nach dem Aufstehen für bestimmte Gruppen akzeptabel)</li> </ul>
	Nachtabsenkung (Bezug vergangene Nacht)/ Absenkung bei Nicht-Anwesenheit/ beim Lüften (2016; S. 96f)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zustimmung: 60%/42%/62,5% (n=530)</li> <li>Ältere und Finanzstärkere praktizieren dies seltener</li> </ul>
	Regelstrategien zur Raumtemperatur (2016; S. 96ff)	<ul style="list-style-type: none"> <li>die korrekte Bedienung eines Thermostatventils ist 67% bekannt (steht im Widerspruch zu Weber et al. 2017)</li> <li>18% öffnen Fenster, wenn es im Raum zu warm wird</li> <li>82% haben raumweise unterschiedliche Temperaturen eingestellt („Kostenthese“); Komfortgründe bei 69% (siehe Abb. 55)</li> </ul>
	Temperatur Heizkörper (2016; S. 109ff)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Befragte akzeptieren weitgehend, dass die Temperatur des Heizkörpers kein Maßstab für dessen Funktion ist (2017, S. 37)</li> </ul>
	Clusterbildung Komfort – Eco – Öko: unterscheiden sich durch den Grad des gewünschten Komforts bzw. der Energieintensität ihres Lebensstils (2016; S. 120ff)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Komfort (höherer Temp.Wunsch Modalwert 22-23°C, länger als 18 h in WE): zwei ältere (Anteil ca. 19%), eine jüngere Gruppe (Anteil: ca. 18%) =&gt; ca. 36% im Sample</li> <li>Eco (vorwiegend 45-65 J.; Kompromiss zwischen Komfort und Umwelt; Anwesenheit 14 h +; Temp. Modalwert 21-22°C) 52% im Sample</li> <li>Öko (vor allem &lt; 30J., bis &lt;45 J.; Temp. Modalwert 20-21°C; max. 14h in WE; preisgetrieben) Anteil im Sample 11%</li> </ul>
[Wolff et al. 2017]	Temperaturregelung (S.9f)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interpretation eines nicht heißen Heizkörpers als Fehlfunktion (insbesondere bei Nieder-temperaturheizsystemen), Schwierigkeit bei Verständnis Thermostatventil vermutet</li> </ul>
	Spannen der als komfortabel empfundenen Temperaturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>20°C bis 25°C (letzteres insbesondere Familie mit hohem Komfortanspruch)</li> <li>auch abhängig von ökonomischer Leistungsfähigkeit der Haushalte (insbesondere Altbauten)</li> <li>z.T. auch Unwissenheit im Umgang mit Technologie (setzt „Technikinteresse voraus“)</li> <li>in Regression: Einkommen und Alter haben keinen Einfluss auf Heizenergieverbrauch; aber Raumtemperatur</li> </ul>

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
	Kleidung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• z.T. aus Kostengründen Pullover statt Heizung, obwohl höhere Temp. präferiert</li> </ul>
	Einfluss Anwesenheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwesenheitszeit hat signifikanten Einfluss auf Heizenergieverbrauch (Regression)</li> </ul>
[Baumann & Hacke 2018]	Anteile derjenigen, die ihre Thermostatventile und Lüftungsanlage optimal einstellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotlint: 39%</li> <li>• Geisenheimer: 26%</li> </ul> [Anteil derjenigen, die sowohl richtig heizen als auch richtig lüften R: 20%, G: 9%; gesamt 16%]

„NEH“ = Niedrigenergiehaus / „PH“ = Passivhaus

## 2.4.2 Sozialwissenschaftliche Befunde zum Lüftungsverhalten

Die Erfassung des Lüftungs- bzw. Fensteröffnungsverhaltens, welches je nach Art und Dauer unterschiedlich starken Einfluss auf den Heizenergieverbrauch haben kann, ist in den einbezogenen Studien ebenfalls sehr heterogen gehandhabt worden. In der Regel stützten sich die Studien dabei auf von den Befragten berichtetes Verhalten. Anders als bei der oben beschriebenen Problematik im Hinblick auf die selbstberichteten vorherrschenden Raumtemperaturen, die zum Teil aufgrund fehlender Temperaturmessung „gefühlten Temperaturen“ gleichkommen, scheinen die Angaben der Befragten zum Lüften aber mit weniger Unsicherheiten behaftet zu sein. Zumindest stellten [Flade et al. 2003] in ihrer Studie fest, dass zwischen berichteter und in diesem Fall auch gemessener Fensteröffnungsdauer ein signifikanter Zusammenhang bestand.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass die analysierten Studien mehrheitlich keine Bezüge zu soziostrukturellen Merkmalen der Befragten hergestellt haben.

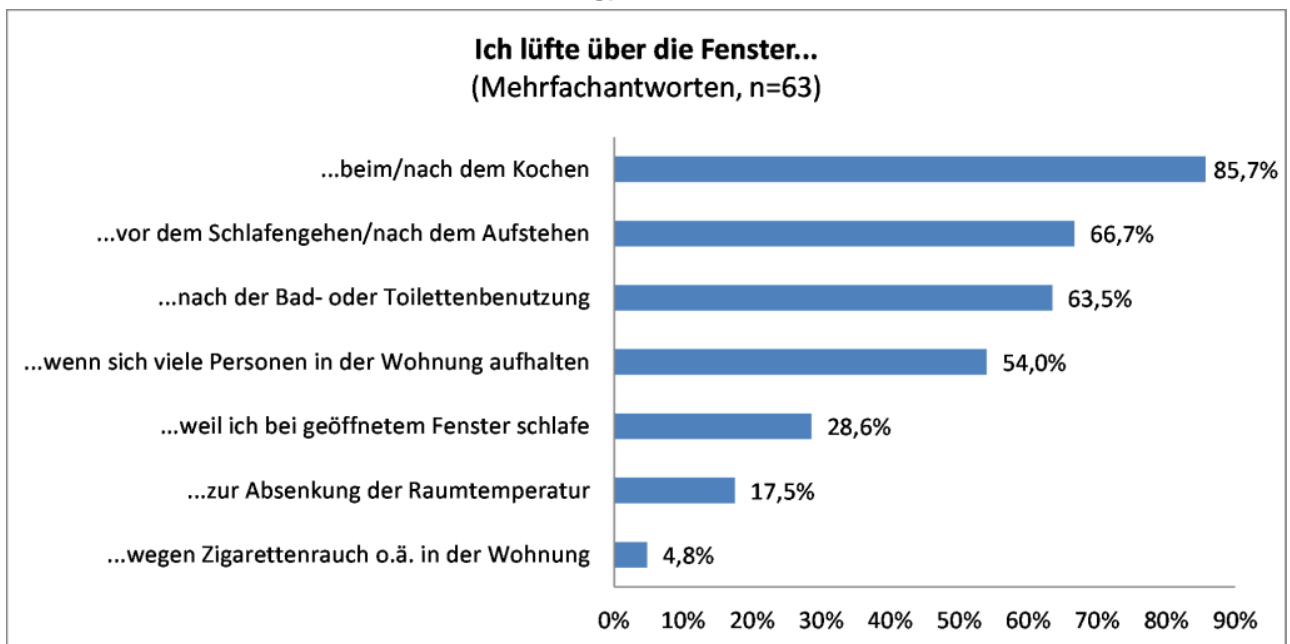
Die jeweils unterschiedliche Operationalisierung der Frage nach dem Lüftungsverhalten erschwert den direkten Vergleich. Im Folgenden wird daher versucht, die „gemeinsamen Nenner“ aus den relevanten Untersuchungen herauszuarbeiten.

Aus den meisten betrachteten Untersuchungen lässt sich feststellen, dass das **Lüften über die Fenster auch in Gebäuden mit maschinellen Lüftungsanlagen** bzw. Lüftungssystemen mit Fensterschlitzen **eine gängige Praxis** ist, obwohl dort ein manuelles Lüften eigentlich nicht mehr notwendig ist. Allerdings weisen die unten tabellarisch aufgeführten Studien, die dies explizit thematisierten, mit Anteilen von 18% bis ca. 97% Befragten, die auch im Winter nicht auf eine Lüftung über die Fenster verzichten, eine große Streuung auf. Ursächlich für diese großen Varianzen sind vermutlich die unterschiedlich formulierten Fragestellungen. Möglicherweise haben Teile der Befragten dabei eher an ihre überwiegende Form der Belüftung gedacht und kurze, situativ bedingte Episoden (z.B. beim Kochen, nach der Badebenutzung) „gedanklich ausgeklammert“, andere wiederum scheinen solche kurzen Momente der Fensteröffnung dagegen in ihrer Aussage berücksichtigt zu haben. Dies lässt sich hier nicht abschließend klären.

**Tab. 61: In Studien ermittelte prozentuale Anteile von Befragten in Passivhausgebäuden mit Lüftungsanlagen, die auf eine Fensterlüftung im Winter verzichten**

Quelle	Anteil in % der Befragten
[Rohracher et al. 2001]	18% in Mehrfamilienhäusern; 80% in Einfamilienhäusern
[Stieldorf et al. 2001]	„In den Gebäuden mit Passivhausstandard und einer Anlage zur kontrollierten Wohnraumlüftung ließ sich aus den Aussagen der Befragten entnehmen, dass auch während der Heizperiode von der Fensterlüftung Gebrauch gemacht wird...“ (S. 155)
[Danner 2001]	unterschiedliche Angaben: 52% bzw. 73% (1. Befragung) / 82% (2. Befragung)
[Flade et al. 2003]	1 von 29 Haushalten (bei 3 fehlenden Angaben): ca. 3%
[Hübner 2003]	1 von 31 Haushalten: ca. 3% (allerdings keine Frage nach tatsächlichem Fensteröffnungsverhalten, sondern danach, ob sich die Befragten vorstellen können, im Winter ganz auf das Fensteröffnen zu verzichten)
[Hacke et al. 2012]	10% (18% bei Befragten mit längster Wohndauer)

[Baumann & Hacke 2018], die in ihrer Untersuchung von Passivhausgebäuden mit unterschiedlicher Mieterklientel das Hauptaugenmerk auf das Fensteröffnungsverhalten legten, stellten jedenfalls fest, dass die Hälfte der Befragten über ein aus energetischer Sicht vertretbares Fensteröffnungsverhalten berichtete. Darunter wurde nicht nur das Nicht-Öffnen der Fenster verstanden, sondern auch das Öffnen der Fenster gelegentlich ganz (insgesamt unter 15 Min tagsüber und nachts) oder gekippt (insgesamt unter einer Stunde).

**Abb. 99: Gründe für die Fensteröffnung (im Winter) im Passivhaus (Quelle: [Baumann & Hacke 2018], in Veröffentlichung)**

Die in dieser Studie ebenfalls erhobenen **Gründe für die Fensteröffnung sind situativ bestimmt** (siehe obige Abbildung). Auch [Flade et al. 2003] hatten bereits anlassbezogene Motive (v.a. störende Gerüche, hohe Belegungsdichte, Nachtlüftung im Schlafzimmer) für das Fensteröffnen in Passivhäusern herausgefunden. [Rohracher et al. 2001] stellten in diesem Kontext für Raucherhaushalte fest, dass diese die Lüftungsanlage höher schalten (42%) und zusätzlich über die Fenster lüften (45%), wenn in der Wohnung geraucht wird. Wie z.B. [Emmerich 2004] in seiner Befragung im Niedrigenergiehaus feststellte, fanden es zwar 60% der Mieter angenehm, dass sie im Winter die Fenster nicht mehr öffnen müssen, aber nur bei 24% stellte sich ein „Frischluffgefühl“

ohne Fensteröffnen ein. [Rohrman 1994] konstatierte, dass die Fensteröffnung unabhängig von der Anwesenheit einer Person ist.

Wie bereits im Kapitel zur Raumtemperatur angedeutet, stellt das **Schlafen bei geöffnetem Fenster** ein vergleichsweise häufig vorkommendes Komfortbedürfnis dar. Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, wurden in den relevanten Studien – mit zwei Ausnahmen – weitgehend übereinstimmend und unabhängig vom energetischen Gebäudestandard Anteile von „Nachtlüftern“ zwischen manchmal einem Viertel und häufiger einem Drittel festgestellt.

**Tab. 62: In Studien ermittelte prozentuale Anteile von Befragten, die nachts bei geöffnetem Fenster schlafen**

Quelle	Anteil in % der Befragten
[Brohmann et al. 2000]	13% (Gebäudestandard unbekannt); dauerhafte Fensteröffnung im Schlafzimmer
[Danner 2001]	38% (Passivhaus)
[Flade et al. 2003]	35% (Passivhaus); laut Messbericht: 29% mit ca. 6h Dauerlüften
[ILS 2007]	10,3% (Passivhaus); dauerhafte Fensteröffnung im Schlafzimmer
[Schulz et al. 2010]	32,6% (Gebäudestandard nicht bekannt)
[Hacke 20109]	29% (verschiedene Gebäudestandards)
[Guerra-Santin 2010]	25% (>21h Dauer) (verschiedene Gebäudestandards)
[Hacke et al. 2012]	33% (länger als 1h) (Passivhaus)
[Baumann & Hacke 2018]	24% (14% 1-6h, 10% >6h Dauer) (Passivhaus)

Für den **Vergleich von Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern** stellten [Stieldorf et al. 2001] und [Flade et al. 2003] übereinstimmend fest, dass im Passivhaus ein geringeres Ausmaß an Fensterlüftung vorzufinden war als im Niedrigenergiehaus.

[Rohrman 1994] ermittelte in seiner Evaluation des ersten Passivhauses anhand von Wohnprotokollen, die zu mehreren Zeitpunkten pro Tag die Fensteröffnung abfragten, **jahreszeitliche Unterschiede**, wonach im Winter bei den Befragten kaum das Bedürfnis bestand die Fenster zu öffnen, während das Verhalten im Frühling und Herbst stärker divergierte – am häufigsten kam das Fensteröffnen im Schlafzimmer im Herbst vor. [Wagnitz 2016] kam – allerdings bezogen auf verschiedene Gebäudestandards – zu dem Ergebnis, dass je kälter es wird, desto kürzer auch die Lüftungszeiten werden, und dass es einen deutlichen Sprung in Richtung „eine Lüftung pro Tag“ gibt, sobald die Heizgrenze erreicht wird. Gleichzeitig stellte er aber fest, dass bis zur Frostgrenze „ein erheblicher Teil“ der Schlafzimmer bei Kipplüftung gelüftet wurde (S. 93f).

[Hübner 2003] fand im Hinblick auf die **Regelung der Lüftungsanlage** heraus, dass die Fensteröffnungszeiten mit steigenden Betriebszeiten (Nutzung Maximalstufe) sanken. [Schmidt et al. 2007] konstatierten, dass der Luftwechsel bei Lüftungsanlagen mit Zuluftheizung kaum durch Nutzereinfluss (Stoßlüftung) beeinflusst wurde. [Hacke et al. 2012] identifizierten dagegen Anteile mit dauerhafter Kipplüftung unabhängig von der ausgewählten Lüftungsstufe (Anteile dauerhafte Kipplüftung bei Lüftungsstufe 2 16 %, bei Stufe 3 18 %). [Cali et al. 2016] stellte – allerdings basierend auf vermutlich äußerst kleinen Fallzahlen – für den Vergleich von den Anlagentypen „Zwangsbelüftung im Fensterrahmen“ und „maschinelle Lüftungsanlage“ fest, dass die Befragten mit Zwangsbelüftung das Lüften über die Fenster häufiger als komfortabler wahrnahmen.

Die **Art der Fensterlüftung** kann sich offensichtlich je nach Nutzung der Räume unterscheiden. Für Wohnzimmer deuten die Befunde der nachfolgend tabellarisch aufgeführten Studien – vorsichtig zusammenfassend – eher auf einen höheren Anteil an Stoßlüftung hin. Für Schlafzimmer ist auch die Kipplüftung relativ verbreitet (siehe auch oben „Nachtlüfter“). Beides scheint zudem unabhängig vom energetischen Gebäudestandard zu sein.

**Tab. 63: In Studien berichtetes Fensteröffnungsverhalten im Winter bezogen auf eine unterschiedliche Raumnutzung**

Quelle	Vorgefundene prozentuale Anteile/Aussagen
[Rohrman 1994] (Passivhaus)	Fensteröffnen im Schlafzimmer ist am häufigsten; zumeist nur teils geöffnet
[Brohmann et al. 2000] (Gebäudestandard unbekannt)	77% Stoßlüftung in allen Räumen, 22 % der Befragten verfahren unterschiedlich => bezieht sich vor allem auf ein anderes Lüftungsverhalten im Schlafzimmer
[Keul 2001] (2 Gebäudestandards)	bezogen auf beheiztes Wohnzimmer: <ul style="list-style-type: none"> <li>Energiesparhaus: Stoßlüftung 61,9%, Querlüftung 38,1%, Spaltlüftung 7,1%, Langzeitlüftung 2,5%</li> <li>Konventionell: Stoßlüftung 62,3%, Querlüftung 21,7%, Spaltlüftung 10,1%, Langzeitlüftung 5,8%</li> </ul>
[Schlomann et al. 2004] (Repräsentativbefragung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>48% im Wohnzimmer und Schlafzimmer Stoßlüftung</li> <li>38% im Wohnzimmer Stoßlüftung, im Schlafzimmer Kipplüftung „über längere Zeit“</li> <li>15% im Wohnzimmer und Schlafzimmer Kipplüftung oder verschiedene – nicht näher benannte – Praktiken</li> </ul>
[Emmerich et al. 2004] (Niedrigenergiehaus; Befragung vor und nach Sanierung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorherbefragung (nicht-sanierter Zustand): Wohnzimmer: 65% Stoßlüftung Schlafzimmer: 59% Kipplüftung</li> <li>Nachherbefragung (sanierter Zustand; Lüftungssystem mit Fensterschlitzen): häufigere Stoßlüftung als vorher (siehe Abb. S. 118; Prozentwerte schlecht ablesbar)</li> </ul>
[Schulz et al. 2010] (Standard unbekannt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Winter mehrmals täglich Fenster eher ganz geöffnet</li> <li>im Wohn-/Esszimmer wird mehr gelüftet als im Schlaf- und Kinderzimmer</li> </ul>
[Hacke 2010] (versch. Gebäudestandards)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Räume zumeist durch gelegentliches Stoßlüften gelüftet</li> <li>in Küchen (42%), Bädern (31%) und Schlafzimmern (29%) Fenster auch häufiger zeitweise bis dauerhaft gekippt</li> </ul>
[Guerra-Santin 2010] (verschiedene Gebäudestandards)	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Angabe über Art der Fensterlüftung</li> <li>im Wohnzimmer 30% mehr als 2 h täglich geöffnet</li> <li>Schlafzimmer: 25% haben Fenster mehr als 21h täglich geöffnet</li> </ul>
[Hacke et al. 2012] (Passivhaus)	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Kipplüftung im Wohnzimmer</li> <li>1/3 kippt die Fenster im Schlafzimmer länger als 1h an</li> <li>Anteil Kipplüftung in Küche und Bad je 10%</li> </ul>

Die nachfolgende Tabelle gibt noch einmal stichpunktartig die jeweiligen Fragestellungen in den betrachteten Studien zum Lüftungsverhalten wieder.

**Tab. 64: Abfrage des Lüftungsverhaltens in den unterschiedlichen Studien**

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
[Rohrman 1994]	2 x 3 Tage Wohnprotokoll zum Öffnen der Fenster: 5-10 Zeitpunkte pro Tag für jedes Fenster; Antwortmöglichkeiten: nein/teils/ganz => aber: keine detaillierte Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Winter kaum Bedürfnis Fenster zu öffnen; im Frühling und Herbst divergiert das Verhalten stärker (S. 41)</li> <li>im Herbst: Fensteröffnen im Schlafzimmer ist am häufigsten, zumeist nur teils geöffnet; Fensteröffnung nicht abhängig von Anwesenheit einer Person (S. 42)</li> </ul>
[Stieldorf et al. 2001]	Berichtete Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> <li>mehrmals tägliche Stoßlüftung oder längere Lüftungsperioden von 15-30 Minuten; 1 HH ständige Kipplüftung in Schlaf- und Badezimmer (S. 114)</li> <li>in PH geringeres Ausmaß an Fensterlüftung als in NEH (S. 155f)</li> </ul>

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
[Keul 2001]	Berichtete Lüftung im beheizten Wohnzimmer [E=Energiesparhaus, K = konventionell]	<ul style="list-style-type: none"> <li>E: Stoßlüftung 61,9%, Querlüftung 38,1%, Spaltlüftung 7,1%, Langzeitlüftung 2,5%</li> <li>K: Stoßlüftung 62,3%, Querlüftung 21,7%, Spaltlüftung 10,1%, Langzeitlüftung 5,8%</li> </ul>
[Rohracher et al. 2001]	Berichtetes Lüftungsverhalten im Winter	<ul style="list-style-type: none"> <li>sehr unterschiedlich für EFH und MFH: im MFH lüften 18% nie zusätzlich über die Fenster, im EFH 80%</li> <li>Raucherhaushalte: „Die quantitativen Ergebnisse zeigen, dass in 42,3 Prozent der Haushalte, in denen geraucht wird, die Lüftungsanlage höhergeschaltet wird, wenn geraucht wird, und 45,2 Prozent zusätzlich über Fenster lüften sowie 65,7 Prozent nur in bestimmten Zimmern rauchen. (S. 49)</li> </ul>
[Danner 2001]	<p>„Wenn Sie in der Heizperiode Ihre Wohnung lüften, wie machen Sie das in der Regel?“, Antwortmöglichkeiten und Vergleich zweier Heizperioden siehe rechte Spalte (Abb. 29)</p> <p>[Abb. 28 u. 29 (S. 32f) stellen beide Lüftungsverhalten im PH dar, kommen aber zu unterschiedlichen Ergebnissen im Hinblick auf Verzicht auf Fensterlüftung]</p>	<p>[Abb. 28]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>52% verzichten auf manuelle Lüftung</li> <li>38% manuelle Lüftung im Schlafzimmer (keine Aussage über Dauer), 19% in Küche (nur beim Kochen o.ä.)</li> </ul> <p>[Abb. 29]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Fensteröffnung, nur Lüftungsanlage (2000: 73%/ 2001: 82%)</li> <li>Fenster mehrere Stunden gekippt (12%/ 7%)</li> <li>Fenster mehrere Stunden offen (0%/ 0%)</li> <li>Fenster 15 Min geöffnet (3%/ 4%)</li> <li>Fenster mehrmals wenige Minuten geöffnet (12%/ 7%)</li> </ul>
	Verwendete Stufen der Lüftungsanlage (4 Stufen: Grund/Normal/Stoßlüften/Sommerbetrieb)	<ul style="list-style-type: none"> <li>in Heizperiode: Normal 60%, Grund 40%; Stoßlüftung nur im Ausnahmefall (Kochen 50%; Raucher 32%)</li> </ul>
[Flade et al. 2003]	Berichtete Fensteröffnungsdauer in Stunden (bezogen auf alle Fenster und ohne Unterscheidung in ganz geöffnet oder gekippt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>individuelle Unterschiede sind erheblich (S.136ff) – zur Gruppe mit geringer Öffnungsdauer zählen vor allem PH-Haushalte</li> <li>Messung der Fensteröffnungsdauer: 2/3 der PH-Haushalte (gesamt n=21) öffnen Fenster täglich kürzer als eine Stunde, NEH-Haushalte (n=7) länger</li> <li>zwischen berichteter und gemessener Fensteröffnungsdauer besteht signifikanter Zusammenhang</li> <li>situative Gründe für Fensteröffnen =&gt; v.a. störende Gerüche, hohe Belegungsdichte, Nachtlüftung Schlafzimmer</li> <li>Anteil Nachtlüfter: 29% laut Messbericht S. 85 (ca. 6 h Dauerlüften); Anteil Befragung PH 35% (S. 138, Tab. 7.7)</li> </ul>
[Hübner 2003]	Frage: Können Sie sich vorstellen, im Winter ganz auf das Fensteröffnen zu verzichten?	<ul style="list-style-type: none"> <li>nur 1 der 31 Befragten ist bereit, gänzlich auf das Fensteröffnen zu verzichten</li> </ul>
	Nutzung des Maximaltasters der Lüftungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>mit steigenden Betriebsanteilen sinken die Fensteröffnungszeiten (S. 19)</li> </ul>
[Emmerich et al. 2004]	Lüftungsverhalten (Fensteröffnung in Wohnzimmer und Schlafzimmer)	<p>Vorherbefragung (nicht-sanierter Zustand)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wohnzimmer: 65% Stoßlüftung</li> <li>Schlafzimmer: 59% Kipplüftung</li> </ul> <p>Nachherbefragung (sanierter Zustand; jetzt automatisches Lüftungssystem mit Fensterschlitzen)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>häufigere Stoßlüftung als vorher (siehe Abb. S. 118; Prozentwerte schlecht ablesbar)</li> </ul>



Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
	Beurteilung Verzicht aufs Fensteröffnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>60% finden es angenehm, dass man im Winter Fenster nicht mehr öffnen muss)</li> <li>aber Frischluftgefühl stellt sich nur bei 24% ohne Fensteröffnen ein</li> </ul>
[Schmidt et al. 2007]	Einstellungen der Lüftungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luftwechsel relativ selten durch Nutzereinfluss verändert, Stoßlüftung wurde selten gewählt</li> </ul>
[ILS NRW 2007]	Fensterlüftung der Schlafräume	<ul style="list-style-type: none"> <li>13% lüften vor und nach dem Schlafengehen</li> <li>10% lassen Fenster immer geöffnet</li> </ul>
[Schulz et al. 2010]	Fensteröffnung in Winter (und Sommer)	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Winter mehrmals täglich Fenster eher ganz geöffnet (im Sommer zusätzlich häufiger gekippt)</li> <li>im Wohn-/Esszimmer wird mehr gelüftet als im Schlaf- und Kinderzimmer</li> <li>32,6% der Befragten schlafen im Winter bei geöffnetem Fenster (S. 11)</li> </ul>
[Hacke 2010]	typisches Lüftungsverhalten im Winter und an kalten Tagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>siehe Abb. S. 886</li> <li>„Zwar werden die Räume zumeist durch gelegentliches Stoßlüften gelüftet, in Küchen (42%), Bädern (31%) und Schlafzimmern (29%) sind die Fenster aber auch häufiger zeitweise bis dauerhaft gekippt.“ (S. 885)</li> </ul>
[Guerra Santín 2010]	Fensteröffnung in Wohn- und Schlafzimmer	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Angabe über Art der Fensterlüftung</li> <li>im Wohnzimmer 30% mehr als 2 h täglich geöffnet</li> <li>Schlafzimmer: 25% haben Fenster mehr als 21h täglich geöffnet</li> </ul>
[Hacke et al. 2012]	Fensteröffnungsverhalten im Winter mit folgenden Antwortvorgaben (S. 44ff): <ul style="list-style-type: none"> <li>Fenster nicht geöffnet, Lüftungsanlage ist ausreichend</li> <li>Fenster gelegentlich gekippt: entweder einzelne Fenster oder mehrere Fenster gleichzeitig</li> <li>Fenster häufig bis dauerhaft gekippt: entweder einzelne Fenster oder mehrere Fenster gleichzeitig</li> <li>einzelne Fenster (Stoßlüftung) oder mehrere Fenster (Querlüftung) ab und zu ganz geöffnet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nur 10% verzichten im Winter vollständig auf eine Fensterlüftung (Anteil 18% bei Befragten mit längster Wohndauer)</li> <li>10% belassen ihre Fenster im Winter dauerhaft in Kippstellung</li> <li>1/3 kippt die Fenster im Schlafzimmer länger als 1h an (Grund: Temperaturabsenkung und/oder „Frischluftgefühl“, welches sich nur durch Fensteröffnung einstellt); je 10% in Küche und Bad; keine Kipplüftung im Wohnzimmer</li> <li>Anteil derjenigen mit dauerhafter Kipplüftung unabhängig von ausgewählter Lüftungsstufe</li> </ul>
[Cali et al. 2016]	Fensteröffnung bei zwei „Anlagentypen“: „Zwangsbelüftung im Fensterrahmen“ und „maschinelle Lüftungsanlage“ (keine Angabe Fallzahlen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Befragte mit Zwangsbelüftung nehmen häufiges Lüften über die Fenster als komfortabler wahr (lässt sich gefühlt besser regulieren)</li> <li>Beobachtung kommt zum gegenteiligen Ergebnis, aber n=2(!!)</li> </ul>
[Wagnitz 2016]	Lüftungshäufigkeit + Art der Lüftung in Wohnzimmer und Schlafzimmer am Vortag (S. 93f)	<ul style="list-style-type: none"> <li>deutlicher Sprung Richtung „eine Lüftung pro Tag“, wenn Heizgrenze erreicht =&gt; je kälter es wird, desto kürzer werden Lüftungszeiten</li> <li>nur 10% Kipplüftung im Wohnzimmer</li> <li>bei allem Außentemp. höherer Anteil an Kipplüftung im Schlafzimmer =&gt; bis zur Frostgrenze wurde ein erheblicher Teil bei Kipplüftung gelüftet; Anteil 12% bei Außentemp. 5-10°C</li> </ul>
	bezogen auf Haushalte mit Lüftungsanlage, Frage, ob diese Lüften überflüssig macht	<ul style="list-style-type: none"> <li>96% lüften über Fenster (davon 56% finden nicht, dass LA Lüften überflüssig macht)</li> </ul>
[Baumann & Hacke 2018; noch unveröffentlicht]	Anteile derjenigen, die optimal lüften	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rotlint: 51%</li> <li>Geisenheimer: 48%</li> </ul> <p>[Anteil derjenigen, die sowohl richtig heizen als auch richtig lüften R: 20%, G: 9%; gesamt 16%]</p>

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
[Wolff et al. 2017]	Lüftungsverhalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>sowohl Stoßlüftung als auch Kipplüftung weit verbreitet</li> <li>z.T. Kipplüftung zur Temperaturabsenkung; nach Sanierung häufigeres Lüften als zuvor (wegen wärmerer Temp.) =&gt; erscheint z.T. als einzige Möglichkeit, die Temp. abzusenken</li> <li>zwei Motivationen: Lüften bei Bedarf nach frischer Luft bis „wissensbasiertes“ Lüften</li> </ul>

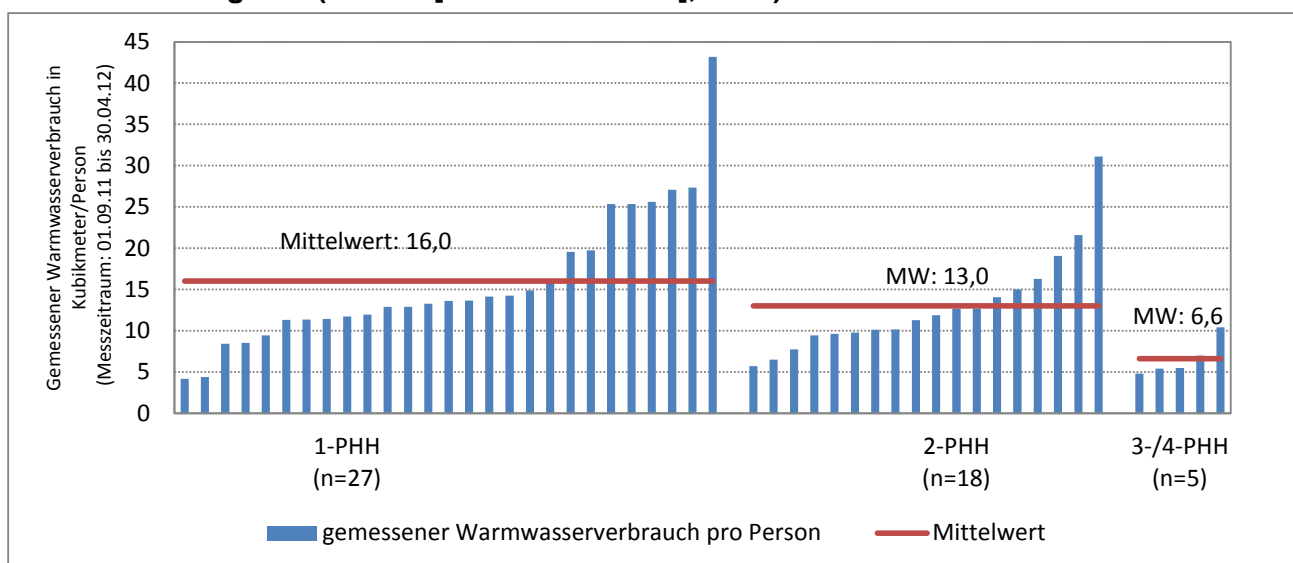
„NEH“ = Niedrigenergiehaus / „PH“ = Passivhaus

### 2.4.3 Sozialwissenschaftliche Befunde zum Warmwasserverbrauch

Das Warmwassernutzungsverhalten ist in sozialwissenschaftlichen Studien bislang eher selten und dann nicht vertiefend betrachtet worden. Nach [Schlomann et al. 2004], [Emmerich et al. 2004] und [Wagnitz 2016] sind **Duschbäder häufiger als Wannenbäder**. Die von [Schlomann et al. 2004] repräsentativ Befragten verzichteten zu ca. 38%<sup>14</sup> vollständig auf Wannenbäder und gaben im Schnitt 1,1 Wannenbäder und 3,8 Duschbäder pro Person und Woche bzw. 2,4 und 7,9 pro Haushalt und Woche an. Allerdings ist jeweils nichts über die verbrauchsrelevante Dauer der Duschbäder (oder sogar die möglicherweise relevante Badewannengröße) oder das tatsächlich verbrauchte Volumen bekannt. Bei Annahmen von 30 Litern pro Dusche und 140 Litern pro Wanne kommen [Schlomann et al. 2004] auf einen Warmwasserverbrauch pro Person und Woche von 202 Litern für Duschen und Baden, [Emmerich et al. 2004] auf 252 Liter pro Person und Woche (bei einer Spanne zwischen 15 und 1.200 Litern).

[Hacke et al. 2012] ermittelten für einen achtmonatigen Messzeitraum eine starke Streuung des Gesamtwarmwasserverbrauchs (sämtliche Nutzungszwecke, nicht nur Duschen oder Baden) von etwas über vier bis 43 Kubikmetern pro Person. Umgerechnet entspricht das durchschnittlich etwa 0,1-1,2 Kubikmetern pro Person und Woche, wobei der Pro-Kopf-Verbrauch umso niedriger war, je mehr Personen im Haushalt lebten (siehe nachfolgende Abbildung).

**Abb. 100: Gemessener Warmwasserverbrauch in Kubikmeter/Person und berichtete Haushaltsgröße (Quelle: [Hacke et al. 2012], S. 71)**



<sup>14</sup> abgeleitet aus Abb. 2-5-4 ([Schlomann et al. 2004], S. 56)

Neben Baden und Duschen weitere Verwendungen von Warmwasser wurden bei [Offermann et al. 2015] thematisiert, wonach 69% der von ihnen online Befragten warmes Wasser auch für das Händewaschen und Zähneputzen verwenden. Bei [Hacke et al. 2012] nutzten 11% der Befragten den Warmwasseranschluss für die Waschmaschine, was aber allgemein noch wenig verbreitet sein dürfte.

Die häufigsten **Zapfzeiten** sind auf Basis der von [Rohrmann 1994] durchgeführten Evaluation für morgens und abends angegeben. Allerdings stellen hier gerade mal vier befragte Haushalte die Datenbasis dar.

Aus wenigen Studien deutet sich an, dass die **Haushaltszusammensetzung** einen Einfluss auf den Warmwasserverbrauch haben könnte: Ältere weisen möglicherweise einen geringeren Warmwasserverbrauch auf. Die Haushaltsgröße hat – wie oben bereits gesehen – einen Einfluss auf den personenbezogenen Verbrauch dergestalt, dass mehr Personen im Haushalt zu einem niedrigeren Pro-Kopf-Warmwasserverbrauch führen (siehe nachfolgende Tabelle). Aber auch hier ist eine Belastbarkeit der Aussagen nicht wirklich gewährleistet.

**Tab. 65: In Studien vorgefundene Hinweise auf den Einfluss von Haushaltsmerkmalen auf die Warmwassernutzung**

Quelle	Vorgefundene Aussagen
[Emmerich et al. 2004]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorherbefragung: Haushalte in den Altersgruppen 30-50 Jahre mit höchstem Verbrauch</li> <li>Nachherbefragung: „mit zunehmendem Alter wird etwas weniger gebadet und geduscht“ (S. 119)</li> </ul>
[Schulz et al. 2010]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zustimmung (5-stufige Skala) zu „Heute dusche/bade ich weniger oft als früher und gehe insgesamt sparsamer mit dem Wasser um.“: Interpretation der Aussagen schwierig, da sich z.T. auf einen (nicht bekannten) früheren Verbrauch/ein früheres Verhalten bezogen werden soll =&gt; es ergeben sich aber Hinweise, dass Ältere mglw. sparsamer mit Warmwasser umgehen (ohne Volumenangabe o.ä.)</li> </ul>
[Hacke et al. 2012]	<ul style="list-style-type: none"> <li>insgesamt starke Streuung in den Messwerten (4-43 m<sup>3</sup>/Pers., bezogen auf achtmonatigen Messzeitraum)</li> <li>je mehr Personen im Haushalt lebten, desto niedriger war der personenbezogene durchschnittliche Verbrauch</li> </ul>
[Wagnitz 2016]	<ul style="list-style-type: none"> <li>überwiegend tägliche Nutzung der Dusche (61%); Befragte ab 65 Jahre jeden 2.-3. Tag</li> <li>seltener als wöchentliche Nutzung der Badewanne (62,5%); ab 65 Jahre jeden 2.-3. Tag</li> </ul>

Laut [Wagnitz 2016] wünscht sich eine „knappe Mehrheit“ seiner Befragten bei der **Bereitstellung von Warmwasser** eine **hygienische Temperatur**, die mit z.B. 60°C erläutert wurde (S. 89). Andererseits bejahten aber 70% der Interviewten Aussagen/Fragen, die klar auf niedrigere Temperaturen abzielten („Das Wasser soll so warm sein, dass es gerade für den Abwasch reicht.“ bzw. „Sind Sie bereit, Einschränkungen beim Warmwasserkomfort hinzunehmen, wenn Sie dadurch Energie und Kosten sparen?“). In der Tendenz sprachen sich jüngere Befragte eher für die hygienische (hohe) Temperatur und Ältere eher für die niedrigere Temperatur aus. Bezüglich letztgenannter Gruppe wurde eine Kostensparmotivation vermutet.

Als problematisch thematisierte dieselbe Untersuchung [Wagnitz 2016] zudem den häufig geäußerten Wunsch nach einem Duschpanel anstelle einer herkömmlichen Dusche, welcher mit einem deutlich höheren Warmwasserverbrauch und damit Energieverbrauch verbunden wäre. Das Interesse daran war in den jüngeren Altersgruppen (<30 und 30 bis <45 Jahre; ca. 60 % Zustimmung) stärker als bei den Älteren, die zu etwa einem Drittel (ab 65 Jahre) bzw. etwa der Hälfte der Befragten (45 bis <65 Jahre) zustimmten.

Bei [Offermann et al. 2015] hielten sich die dort Befragten nach eigenen Angaben mehrheitlich (79%) für bewusst warmwassersparend. Ohne eine Referenz zum Verbrauch ist eine Einschätzung darüber jedoch nicht zu treffen. Die Motive dafür lagen etwa hälftig in Kosten- (53%) und Umweltgründen (47%).

Die nachfolgende Tabelle gibt wieder einen Überblick über die Themenstellungen in den herangezogenen Untersuchungen.

**Tab. 66: Abfrage des Warmwasserverbrauchs bzw. der Warmwassernutzung in den verschiedenen Studien**

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
[Rohrman 1994]	2 x 3 Tage Wohnprotokoll zur Wasserentnahme in Küche und Bad zu verschiedenen Tageszeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Aussage zum Volumen</li> <li>Prozentanteil an Bewohnern, die Wasser verbrauchen, ist morgens und abends am höchsten (S. 43)</li> </ul>
[Schlomann et al. 2004] (Repräsentativbefragung)	Dusch- und Badehäufigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Schnitt 1,1 Wannenbäder und 3,8 Duscbäder pro Person und Woche (bzw. 2,4 vs. 7,9 pro Haushalt und Woche)</li> <li>abgeleitet aus Abb. 2.5-4 (S. 56) nehmen ca. 38% der Haushalte kein Wannenbad</li> <li>in MFH wird häufiger geduscht wird als in EFH (4,1 zu 3,5 mal pro Woche)</li> </ul>
	Annahmebasierte Berechnung des Warmwasserverbrauchs pro Person und Woche	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annahmen von 140 Litern Warmwasser für ein Wannenbad und 30 Litern für ein Duscbad =&gt; Warmwasserverbrauch pro Person und Woche von 202 Litern für Baden und Duschen</li> </ul>
[Emmerich et al. 2004]	Dusch- und Badehäufigkeit	<p>Vorherbefragung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>meistens nur Duscbäder, wenig Wannenbäder</li> <li>wöchentlicher Verbrauch pro Kopf (Annahme: 30 l für Dusche, 140 l Wanne): Spanne zw. 15 und 1.200 Litern; im Mittel 252l/Woche, 36l/Tag</li> <li>HH in den Altersgruppen 30-50 Jahre verbrauchten am meisten (S. 109)</li> </ul> <p>Nachherbefragung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>35l/Tag pro Kopf</li> <li>mit zunehmendem Alter wird etwas weniger gebadet und geduscht (S. 119)</li> </ul>
[Schulz et al. 2010]	Zustimmung (5-stufige Skala) zu mehreren Statement-Items (siehe S. 10), z.B. „Heute dusche/bade ich weniger oft als früher und gehe insgesamt sparsamer mit dem Wasser um.“	<ul style="list-style-type: none"> <li>Brauchbarkeit der Aussagen schwierig, da sich z.T. auf einen (nicht bekannten) früheren Verbrauch/ein früheres Verhalten bezogen werden soll.</li> <li>es ergeben sich aber Hinweise, dass Ältere mglw. sparsamer mit Warmwasser umgehen (ohne Volumenangabe o.ä.)</li> </ul>
[Hacke et al. 2012]	Benutzung des Warmwasseranschlusses für die Waschmaschine	<ul style="list-style-type: none"> <li>11% der Befragten nutzen Warmwasseranschluss =&gt; Abgleich mit Messwerten zeigte durchschnittlich keinen höheren Warmwasserverbrauch</li> </ul>
	Spiegelung mit Messwerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>insgesamt starke Streuung in den Messwerten (4-43 m<sup>3</sup>/Pers.; bezogen auf 8 Monate Messzeitraum: = ca. 34,5 Wochen = ca. 0,11-1,25 m<sup>3</sup>/Pers/Woche);</li> <li>je mehr Personen im Haushalt lebten, desto niedriger war der personenbezogene durchschnittliche Verbrauch</li> </ul>
[Offermann et al. 2015]	Warmwassersparverhalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>79% verhalten sich bewusst warmwassersparend, 21% nicht</li> <li>53% aus Kosten-, 47% aus Umweltgründen</li> <li>1/3 meint, heute einen geringeren Verbrauch zu haben, 6% höheren</li> <li>69% nutzen Warmwasser für Händewaschen und Zähneputzen</li> </ul>

Studie	Thema/Frage	Ergebnisse, ggf. differenziert
[Wagnitz 2016]	Nutzerwunsch bereitgestellte Warmwassertemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „knapp Mehrheit“ wünscht hygienische Temperaturen (mit z.B. 60°C erläutert) (S. 89); widersprüchlich, weil</li> <li>• 70% folgende Aussage/Frage bejahen: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ „Das Wasser soll so warm sein, dass es gerade für den Abwasch reicht.“</li> <li>○ „Sind Sie bereit, Einschränkungen beim Warmwasserkomfort hinzunehmen, wenn Sie dadurch Energie und Kosten sparen?“</li> </ul> </li> </ul> <p>Tendenz: jüngere Befragte wählten eher „hygienische Temp.“; Ältere die Kosteneinsparung</p>
	Nutzungshäufigkeit Dusche/Badewanne (S. 89f)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• überwiegend tägliche Nutzung Dusche (61%); ab 65 Jahre jeden 2.-3. Tag</li> <li>• seltener als wöchentliche Nutzung Badewanne (62,5%); die häufigere Nutzung jeden 2.-3. Tag findet sich verstärkt bei ab 65-Jährigen</li> </ul>
	geäußertes Wunsch nach Duschpanel mit deutlich höherem Wasser- und damit Energiebedarf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Onlinebefragung 59 %, Präsenzbefragung 20 %</li> <li>• Wunsch bei jüngeren Altersgruppen (&lt;30, 30 bis &lt;45 Jahre) stärker (ca. 60 %) als Älteren (45 bis &lt;65 Jahre: ca. 50%; ab 65 Jahre: ca. 35%) (siehe Abb. 49, S. 89; Prozentangaben geschätzt, da nicht beschriftet)</li> </ul>

#### 2.4.4 Sozialwissenschaftliche Befunde zu weiteren Aspekten

Weitere, für den Energieverbrauch in Wohngebäuden relevante Aspekte sind in den zugrunde liegenden Studien nur im Einzelfall betrachtet worden.

[Wagnitz 2016] hat den Wunsch nach **Kühlung im Sommer** in seinen Befragungen thematisiert (S. 102ff). Basierend auf ca. 3.000 Antworten aus unterschiedlichen Gebäudestandards zeigte sich, dass generell ein hoher Kühlwunsch besteht, wobei das Schlafzimmer eine herausgehobene Position einnimmt. 90% der Befragten würden das Schlafzimmer gerne kühlen. Deutlich mehr als die Hälfte möchte auch andere Räume kühlen (Ausnahmen: Küche Zustimmung 34 %, Bad 9 %). Dabei reicht 83 % der Befragten „etwas“ Absenkung der Raumtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur aus, was bewusst so offen formuliert worden war. Tendenziell ließ sich ein niedrigerer Kühlwunsch bei Älteren im Vergleich zu Jüngeren feststellen.

[Hacke et al. 2012] hatten in ihrer sozialwissenschaftlichen Begleitforschung eines Passivhaus-Sanierungsprojekts auch die **Verschattung im Winter** abgefragt (S. 51ff). Bei falscher Verwendung der außenliegenden Schiebeläden bzw. Jalousien können die solaren Einträge an sonnigen Wintertagen, die zur Erwärmung des Passivhauses entscheidend beitragen, geschmälert bzw. verhindert werden. Es stellte sich heraus, dass sich nur eine Minderzahl der 51 Befragten in dem Sinne optimal verhielt, dass sie an sonnigen Wintertagen auf die Benutzung der Verschattungselemente verzichten, wenn sie sich in der Wohnung aufhalten (23 %) oder außer Haus sind (35%). Die übrigen Befragten verschatteten dagegen (fast) immer (23% bei Anwesenheit, 19% bei Abwesenheit) oder zumindest manchmal (54% bei Anwesenheit, 46% bei Abwesenheit). Begründet wird dies mit Argumenten wie Sichtschutz, Blendschutz, Einbruchschutz (in Erdgeschosswohnungen), aber auch mit der gut gemeinten, jedoch unzutreffenden Überzeugung, damit zusätzlich zum Wärmeschutz beizutragen.

## 2.4.5 Zusammenfassung

Nach bisherigem Kenntnisstand ist festzustellen, dass es **keine repräsentativen Befragungen zum Energienutzungsverhalten privater Haushalte** (in Deutschland) gibt, **die zudem aussagefähige Verknüpfungen mit dem Gebäudestandard erlauben**. Die Untersuchung von [Schlommann et al. 2004], in der mehr als 20.000 repräsentativ aus dem GfK Mail Panel ausgewählte Befragte mit je einer Frage zu ihrer Temperaturwahl und zum Lüftungsverhalten – jeweils bezogen auf das Wohn- und Schlafzimmer – sowie zur Anzahl der Dusch- und Wannenbäder in ihrem Haushalt bezogen auf eine Woche befragt wurden, bietet zwar eine breite Datenbasis. Der energetische Gebäudestandard stellt jedoch kein Differenzierungsmerkmal dar. Zwar sind auch eine Reihe von Gebäudemerkmalen (z.B. EFH/MFH, Eigentum/Miete, Heizsystem, Energieträger, Warmwassersystem) und sozialstrukturellen Haushaltsmerkmalen (z.B. Alter der haushaltsführenden Person, Haushaltsgröße, Haushaltsnettoeinkommen) erfasst worden. Diese sind jedoch nur grob in die Analysen zum Nutzerverhalten eingeflossen, was ihren Erkenntnisgewinn für den Zweck der hier angestrebten Metaanalyse einschränkte. [Wagnitz 2016] geht in seiner Dissertation mit insgesamt mehr als 3.200 Befragten aus energetisch unterschiedlichen Gebäuden aufgrund der vorgefundenen „guten Verteilung von Alter und Wohnkonzept“<sup>15</sup> (S. 74) zwar von repräsentativen Ergebnissen aus. Dem muss aus methodischen Gründen aufgrund der Selbstselektivität der Stichprobe der Online-Befragung (Rekrutierung der mehr als 2.600 online Befragten vor allem über Werbung auf Portalen von CO<sub>2</sub>-Online) aber – auch trotz durchgeführter Altersgewichtung nach der bundesdeutschen Altersverteilung (S. 76) – widersprochen werden.

Zum Thema **Raumtemperaturen/Heizverhalten** lässt sich auf Basis der durchgeführten Literaturauswertungen zusammenfassend festhalten, dass die Befragungsergebnisse bei (in der Regel kleinen) Stichproben aus verschiedenen Gebäudestandards und unterschiedlicher Operationalisierung der Befragungsinhalte nur äußerst eingeschränkt vergleichbar sind. Deutlich wurde aber, dass hinsichtlich der – wie auch immer ermittelten – Aussagen zur Innentemperatur im Winter große Streuungen feststellbar waren, die auf individuelle Komfortansprüche der Befragten rückführbar sind. Dabei zeigte sich beinahe übergreifend eine Häufung an Temperaturen von 20°C und mehr mit Tendenz zu höheren Werten. Bezogen auf Altbauten zeigte sich tendenziell eine Diskrepanz zwischen realer Temperatur im Winter und (höherer) Wunschtemperatur.

Eine **Differenzierung nach (soziodemographischen) Haushaltsmerkmalen** ist – insbesondere mangels ausreichend großer Datenbasis – nur in sehr wenigen Studien erfolgt. Danach scheinen Ältere tendenziell ein größeres Bedürfnis nach wärmeren Wohnzimmertemperaturen zu haben als Jüngere. [Hacke 2010] mit immerhin mehr als 1.000 befragten Mietern dreier Wohnungsunternehmen stellte zumindest fest, dass die befragten Haushalte mit älteren Bewohnern (60+ Jahre) in höherem Maße als bspw. Familien mit Kindern Temperaturen ab 22°C im Wohnzimmer als ideal empfanden. [Wagnitz 2016] kam auf Basis von ca. 3.200 Befragten im Prinzip zu einem ähnlichen Ergebnis, als weitere wesentliche Voraussetzung für höhere Temperaturen hob er aber die entsprechende finanzielle Leistungsfähigkeit des Haushalts hervor.

Hinsichtlich des **Fensteröffnungsverhaltens** stellten die betrachteten Studien – in der Regel ebenfalls basierend auf kleinen Fallzahlen – weitgehend übereinstimmend fest, dass auch in Gebäuden mit maschineller Belüftung zumeist nicht vollständig auf das Fensteröffnen verzichtet wird. Dies hat im Allgemeinen situativ bedingte Gründe. Eine größere Übereinstimmung fand sich zudem hinsichtlich des Schlafens bei geöffnetem Fenster – tendenziell etwa ein Drittel der Haushalte schläft bei gekipptem Schlafzimmerfenster. Bezüglich des Wohnzimmers deuteten die Ergebnisse eher auf Stoßlüftung hin.

Die **Warmwassernutzung** ist in sozialwissenschaftlichen Arbeiten vergleichsweise noch deutlich seltener thematisiert worden. Bei Annahmen von 30 Litern pro Dusche und 140 Litern pro Wanne kommen [Schlommann et al. 2004] in ihrer repräsentativen Befragung auf einen Warmwasserverbrauch pro Person und Woche von 202 Litern für Duschen und Baden. [Emmerich et al. 2004] kamen bei ca. 140 Befragten auf im Mittel 252 Liter pro Person und Woche, bei einer Spanne zwischen 15 und 1.200 Litern. [Hacke et al. 2012] ermittelten bei einer Fallzahl von n=50 ebenfalls

<sup>15</sup> orientiert an den sechs Wohnkonzept-Typen, erarbeitet von InWis + Analyse und Konzepte (z.B. GdW-Branchenbericht Nr. 6. (2013). Wohntrends 2030)

große interindividuelle Unterschiede, wobei der Pro-Kopf-Verbrauch umso niedriger war, je mehr Mitglieder der Haushalt hatte.

Insgesamt wurde deutlich, dass die bisherigen Forschungsarbeiten das Thema Energienutzungsverhalten privater Haushalte noch nicht hinreichend ausleuchten können. Es fehlt vor allem an belastbar großen (und im Idealfall repräsentativen) Stichproben, die nicht nur die Datenbasis zur Ableitung von Aussagen zur Energienutzung in Wohngebäuden insgesamt vergrößern können, sondern die damit zudem eine zielführende Typisierung nach Haushaltsmerkmalen (z.B. soziodemographische/-ökonomische/-kulturell Merkmale) erlauben. Voraussetzung ist gleichzeitig eine Verknüpfung mit dem energetischen Gebäudestandard (z.B. über gemessene Verbrauchswerte), um auch anhand von Gebäudemerkmalen differenzierte Erkenntnisse generieren zu können. Die wenigen betrachteten Studien, die in größerem Maße auch Messwerte erhoben haben, konnten diese bisher noch nicht vertiefend in die sozialwissenschaftlichen Analysen einbeziehen. Zudem waren sie überwiegend nur im besonders energieeffizienten Gebäudebestand angesiedelt.

#### Literaturverzeichnis zum Kapitel 2.4

- [Baumann & Hacke 2018] Baumann, Allegra; Hacke, Ulrike (2018). Wohnverhalten im Passivhaus. Eine Studie in zwei Mietwohnobjekten in Frankfurt am Main. Darmstadt: I-WU. (noch unveröffentlicht)
- [Brohmann et al. 2000] Brohmann, Bettina; Cames, Martin; Herold, Anke (2000). Klimaschutz durch Minderung von Treibhausgasemissionen im Bereich Haushalte und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten. Band 1: Private Haushalte. Darmstadt, Berlin, Freiburg: Öko-Institut.
- [Cali et al. 2016] Calì, Davide; Hessen, Florian; Osterhage, Tanja; Streblov, Rita; Madlener, Reinhard, Müller, Dirk (2016). Energiesparpotenzial sanierter Wohngebäude unter Berücksichtigung realer Nutzungsbedingungen. Fraunhofer IRB Verlag.
- [Danner 2001] Danner, Michael (2001). Wohnen in der Passivhaussiedlung Lummerlund im Neubaugebiet Hannover-Kronsberg. Abschlussbericht zur sozialwissenschaftlichen Evaluation. U-Konzept.
- [Emmerich et al. 2004] Emmerich, W. et al. (2004): EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße. Integrale Sanierung auf Niedrigenergie-Standard unter Einschluss moderner Informations- und Regelungstechnik und Beeinflussung des Nutzerverhaltens. Bietigheim-Bissingen: Fachinstitut Gebäude Klima e.V.
- [Flade et al. 2003] Flade, Antje; Hallmann, Sylke; Mack, Birgit; Lohmann, Günter (2003). Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern aus sozialwissenschaftlicher Sicht. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Guerra Santín 2010] Guerra Santín, Olivia (2010). Actual energy consumption in dwellings. The effect of energy performance regulations and occupant behaviour. Delft University of Technology. Dissertation.
- [Hacke 2010] Hacke, Ulrike (2010). Einflussnahme auf das Nutzerverhalten durch „Energy Awareness Services. Neue Dienstleistungen zur Förderung des Energiebewusstseins bei Mietern. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 12.2010. Bonn: BBSR.
- [Hacke et al. 2012] Hacke, Ulrike; Großklos, Marc; Lohmann, Günter (2012). Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung Rotlintstraße 116-128 in Frankfurt a.M. – Mieterbefragung zum Wohnverhalten im Passivhaus und zur Akzeptanz des Warmmietenmodells. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt
- [Herring & Roy 2007] Herring, Horace; Roy, Robin (2007). Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect. *Technovation*, 27(4), 194-203.
- [Hübner 2003] Hübner, Hartmut (2003). Nutzungsorientierte Gestaltung von Passivhäusern auf der Grundlage psychologisch-physikalischer Untersuchungen. Untersuchungen an den Passivhäusern in Kassel-Marbachshöhe. Universität Kassel: Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung.

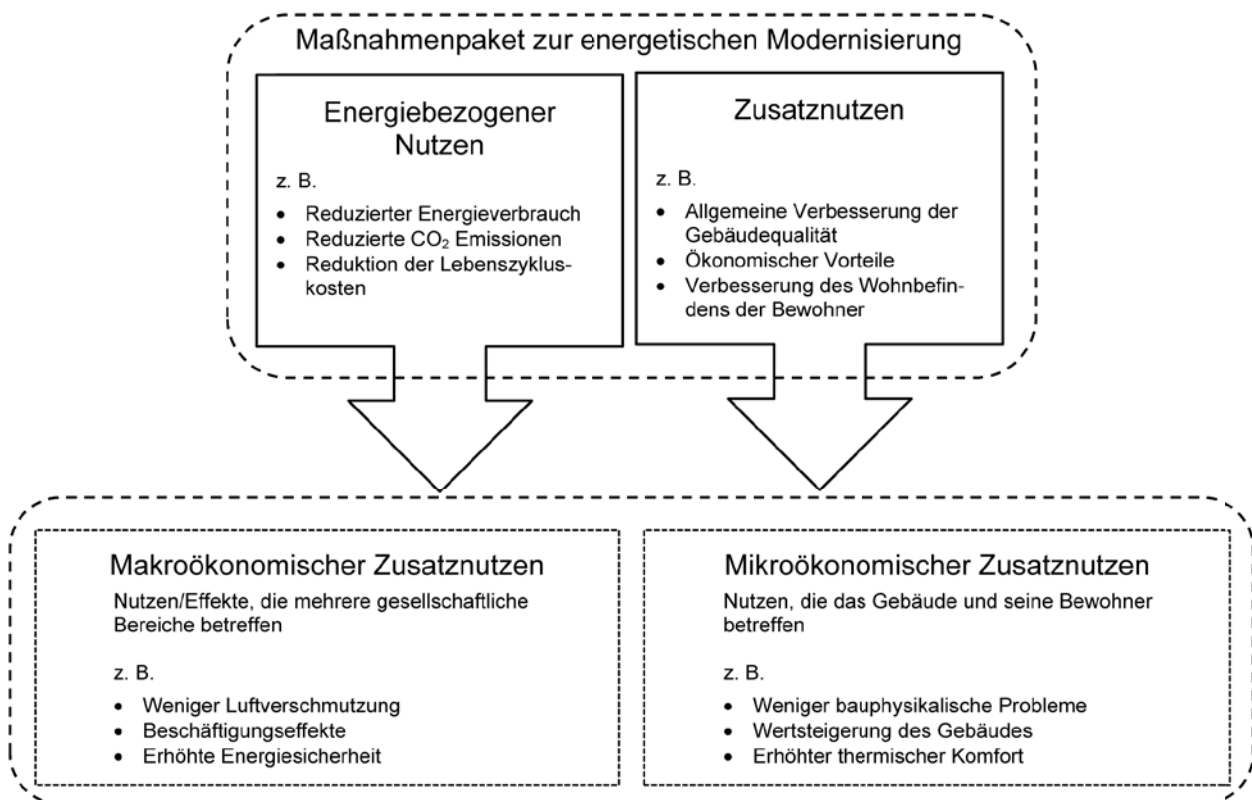
- [ILS NRW 2007] Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2007). *Leben im Passivhaus. Baukonstruktion, Baukosten, Energieverbrauch, Bewohnererfahrung*. Dortmund: ILS NRW.
- [IRGC 2013] International Risk Governance Council (2013). *The Rebound Effect: Implications of Consumer Behaviour for Robust Energy Policies. A review of the literature on the rebound effect in energy efficiency and report from expert workshops*. Online-Publikation (letzter Zugriff 11.10.2017): [https://www.andrew.cmu.edu/user/ilimade/Ines\\_Azevedo/papers/IRGC\\_ReboundEffect-FINAL.pdf](https://www.andrew.cmu.edu/user/ilimade/Ines_Azevedo/papers/IRGC_ReboundEffect-FINAL.pdf)
- [Keul 2001] Keul, Alexander G. (2001): *Energiesparprojekte und konventioneller Wohnbau – eine Evaluation*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- [Mlecnik et al. 2012] Mlecnik, E., Schütze, T., Jansen, S. J. T., de Vries, G., Visscher, H. J. & van Hal, A. (2012). *End-user experiences in nearly zero-energy houses*. *Energy and Buildings* 49, 471-478.
- [Offermann et al. 2015] Offermann, Markus; von Manteuffel, Bernhard; Hermelink, Andreas; John, Ashok; Jahnke, Katy; Zastrau, Karsten (2015). *Nutzenergiebedarf für Warmwasser in Wohngebäuden*. Bonn: Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung.
- [Rohracher et al. 2001] Rohracher, Harald; Kukovetz, Brigitte; Ornetzeder, Michael; Zelger, Thomas; Enzensberger, Gerhard; Gadner Johannes; Zelger Josef; Buber, Renate (2001). *Akzeptanzverbesserung bei Niedrigenergiehaus-Komponenten. Endbericht einer Studie im Auftrag des BM für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Haus der Zukunft*. Graz.
- [Rohrmann 1994] Rohrmann, Bernd (1994). *Sozialwissenschaftliche Evaluation des Passivhauses in Darmstadt; Passivhaus-Bericht Nr. 11*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt
- [Schlomann et al. 2004] Schlomann, Barbara et al. (2004). *Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen*. Karlsruhe, Berlin, Nürnberg, Leipzig, München.
- [Schmidt et al. 2007] Schmidt, M., Schmidt, S., Treiber, M. Arold, J. (2007). *Entwicklung eines Konzepts für energetische Modernisierungen kleiner Wohngebäude auf 3-Liter-Haus-Niveau in Mannheim-Gartenstadt*. Stuttgart: Institut für Gebäude-Energetik der Universität Stuttgart.
- [Schulz et al. 2010] Schulz, Marlen; Gallege Carrera, Diana; Alcantara, Sophia; Hilpert, Jörg (2010). *Konsumanalyse – Nutzung der Wärmeenergie. AP 3 des Projekts: Energie nachhaltig konsumieren – nachhaltige Energie konsumieren. Wärmeenergie im Spannungsfeld von sozialen Bestimmungsfaktoren, ökonomischen Bedingungen und ökologischem Bewusstsein*. Online-Quelle (letzter Zugriff: 06.02.2017) [http://www.uni-stuttgart.de/nachhaltigerkonsum/de/Downloads/AP3\\_Konsumanalyse\\_Nutzung\\_der\\_Waermeenergie.pdf](http://www.uni-stuttgart.de/nachhaltigerkonsum/de/Downloads/AP3_Konsumanalyse_Nutzung_der_Waermeenergie.pdf)
- [Stieldorf et al. 2001] Stieldorf, Karin; Juri, Helga; Haider, Robert; König, Ute; Unzeitig, Ulla (2001). *Analyse des NutzerInnenverhaltens in Gebäuden mit Pilot- und Demonstrationscharakter. Endbericht Haus der Zukunft*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- [Wagnitz 2016] Wagnitz, Matthias (2016). *Ausrichtung der Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik an den Bedürfnissen der Nutzer im Wohnungsbau [Heizen 2020]*. Dissertation. Technische Universität Dresden
- [Wagnitz 2017] Wagnitz, Matthias (2017). *Heizen 2020 – Der unbekannte Nutzer*. In: *G| GebäudeTechnik | InnenraumKlima*, Ausgabe 1/2017, 34-41.
- [Wolff et al. 2017] Wolff, Anna; Weber, Ines; Gill, Bernhard; Schubert, Johannes; Schneider, Michael (2017): *Tackling the interplay of occupants' heating practices and building physics: Insights from a German mixed methods study*. (accepted manuscript at *Energy Research & Social Science*, DOI: 10.1016/j.erss.2017.07.003).



### 3 Nicht-energetischer Nutzen von energetischen Modernisierungen und Nutzerzufriedenheit

Häufig werden energetische Modernisierungen vorrangig durch die Abwägung zwischen eingesparter Energie bzw. eingesparten Energiekosten im Vergleich zu den Kosten der Einsparmaßnahmen bewertet. Dieser Ansatz lässt andere relevante Vorteile außer Acht und unterschätzt den Gesamtnutzen, den die Modernisierungsmaßnahmen mit sich bringen. Dieser betrifft neben dem Gebäude und seinen Bewohnern (mikroökonomische Ebene) auch die übergeordnete, makroökonomische Ebene, siehe Abb. 101. Während Effekte auf das Gebäude und seine Bewohner insbesondere für Gebäudeeigentümer und Mieter relevant sind, ist der makroökonomische Nutzen vor allem für politische Entscheidungsträger von Interesse (siehe z. B. [IEA 2014]).

**Abb. 101: Energiebezogener und Zusatznutzen energetischer Modernisierungen (in Anlehnung an [Ferreira/Almeida 2015], S. 2398)**



### 3.1 Mögliche positive Aspekte energetischer Modernisierungen auf der makroökonomischen Ebene

Energetische Sanierungen führen nicht nur zu Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen, sondern haben Auswirkungen auf weitere politische Handlungsfelder. Tab. 67 zeigt einen Überblick möglicher makroökonomischer Nutzen. Einige Aspekte sind zudem nachfolgend ausführlicher erläutert.

**Tab. 67: Mögliche makroökonomische Nutzen energetischer Modernisierungen (in Anlehnung an [Ferreira/Almeida 2015], S. 2401] und [Ürge-Vorsatz et al. 2009], S. 187)**

Kategorie	Unterkategorie	Beschreibung
Umweltbezogen	Verringerung von klimabedingten Schäden und Verlusten	Die Einsparung von Treibhausgasen trägt zur Begrenzung der globalen Erwärmung und damit einhergehender Störungen des Klimasystems bei. Hierdurch werden weltweit sowohl wirtschaftliche Schäden als auch irreversible Folgeerscheinungen wie z. B. das Abschmelzen von Gletschern oder klimabedingte Migration reduziert.
	Verringerung der Luftverschmutzung	Die Reduktion der Verbrennung fossiler Energieträger und die Verringerung des Wärmeinsel-Effekts in Wärmeperioden führen zu einer Verringerung der Luftverschmutzung, was sich positiv auf die Umwelt, die Gesundheit und das Bauschadenspotenzial auswirkt.
	Verringerung von Bauabfällen	Im Vergleich zum Abbruch von Gebäuden führen Sanierungen zur Reduktion, der Wiederverwertung und dem Recycling von Bauabfällen.
	Mehr städtische Vegetation	Im Falle von Gründächern oder Fassadenbegrünungen
Ökonomisch	Vermeidung von Umweltkosten	Verringerungen von Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffen, Lärm, Flächenverbrauch und Verzehr knapper Ressourcen führen zur Verringerung der Folgekosten für Gesundheit und Umwelt.
	Verbesserte Resilienz / Versorgungssicherheit	Verringerte Abhängigkeit von Energieimporten, Eindämmung der Gefahr von politischen Unruhen oder Angriffen auf die Energieinfrastruktur
	Erschließung neuer Geschäftsfelder	Die Füllung neuer Marktlücken (z. B. ESCOs / Energiedienstleistungsunternehmen) tragen zu einem höheren BIP bei.
	Positive Beschäftigungseffekte	Weniger Arbeitslosigkeit aufgrund des Bedarfs an zusätzlichen Arbeitskräften.
	Vermeidung von Energiezuschüssen	Verringerung des Verbrauchs staatlich subventionierter Energieträger, dadurch verringerte Aufwendungen für Zuschüsse.
	Steigerung der Produktivität	BIP/Einkommen/Gewinn als Ergebnis der vorgenannten neuen Geschäftsmodelle und Beschäftigungseffekte.
Sozial	Steigerung der sozialen Sicherheit, Verringerung der Energiearmut	Geringere Ausgaben bezüglich Brennstoff und Strom, dadurch weniger Verschuldung; weniger Menschen sind von Preisschwankungen und verminderter Energieverfügbarkeit betroffen.
	Positive Auswirkungen auf die Gesundheit	Geringere Krankheitsraten; dadurch Vermeidung von Arzt- und Medikalkosten und Arbeitsausfällen. Reduzierte Sterblichkeit aufgrund weniger Luftverschmutzung (innen und außen) und reduzierten thermischen Belastungen.
	Physiologische Effekte	Z. B. höhere Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit

### 3.1.1 Verringerung von klimabedingten Schäden und Verlusten sowie damit verbundenen Kosten

Laut Sachstandsbericht der WGII des IPCC [IPCC 2014] ist die Erwärmung des Klimasystems eindeutig. Viele der seit den 1950er Jahren beobachteten Veränderungen sind über Jahrzehnte bis Jahrtausende zuvor nie aufgetreten. Demnach haben sich die Atmosphäre und der Ozean erwärmt, Schnee und Eismengen sind zurückgegangen und der Meeresspiegel ist angestiegen. Dies wird mit äußerster Wahrscheinlichkeit auf einen Anstieg anthropogener Treibhausgasemissionen durch Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum zurückgeführt.

Gemäß IPCC [ebd.] wurden seit ca. 1950 Veränderungen vieler extremer Wetter- und Klimaereignisse beobachtet, von denen einige mit Einflüssen des Menschen in Verbindung gebracht werden. Es wird erwartet, dass fortgesetzte Emissionen von Treibhausgasen eine weitere Erwärmung und langanhaltende Änderungen aller Komponenten des Klimasystems verursachen und damit die Wahrscheinlichkeit von schwerwiegenden, weitverbreiteten und irreversiblen Folgen für Menschen und Ökosysteme erhöhen. Da für alle bewerteten Emissionsszenarien ein Anstieg der Temperatur an der Erdoberfläche im Verlauf des 21. Jahrhunderts projiziert wurde, ist sehr wahrscheinlich, dass Hitzewellen häufiger auftreten und länger andauern werden und dass extreme Niederschlagsereignisse in vielen Regionen an Intensität und Häufigkeit zunehmen. Gleiches gilt für die Erwärmung und Versauerung des Ozeans, und den weiteren Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels.

Es ist zu erwarten, dass viele Aspekte des Klimawandels und damit verbundene Folgen für Jahrhunderte andauern. Die Risiken sind dabei ungleichmäßig verteilt und im Allgemeinen größer für benachteiligte Menschen und Gemeinschaften in Ländern aller Entwicklungsstufen. Während in den Industrieländern vor allem die Infrastruktur leidet und vorrangig wirtschaftliche Schäden entstehen, verlieren insbesondere Menschen in Entwicklungsländern durch Wetterextreme ihre Häuser, ihre Lebensgrundlage (z. B. durch landwirtschaftliche Ertragseinbußen) oder ihr Leben. Zudem können klimabedingte Naturkatastrophen Menschen dazu zwingen, ihr Zuhause zumindest zeitweise zu verlassen. Laut einer Studie des Internal Displacement Monitoring Center [Bilak et al. 2016] wurden im Jahr 2015 weltweit 9,2 Millionen Vertreibungen mit Katastrophen in Verbindung gebracht. Von 2008 bis 2015 haben Naturkatastrophen doppelt so viele Vertreibungen verursacht wie Konflikte und Gewalt. In diesem Zeitraum gab es 203,4 Millionen Abwanderungen durch Naturkatastrophen.

Klimaschutzmaßnahmen – darunter die energetische Modernisierung des Gebäudebestandes – sind unerlässlich, um das Risiko schwerwiegender, weitverbreiteter und irreversibler globaler Folgen zu verringern.

Zudem verursachen Emissionen von Treibhausgasen, Luftschadstoffen und Lärm, Flächenverbrauch und Verzehr knapper Ressourcen hohe Folgekosten für Gesundheit und Umwelt. Laut einer Veröffentlichung des Umweltbundesamtes [Burger 2014] verursachte im Jahr 2010 das Heizen mit Braunkohle und Strom (inkl. Netzverlusten) in Haushalten mit 6,17 bis 6,29 €-Cent/kWh<sub>Endenergie</sub> deutlich höhere Umweltkosten als die Wärmeerzeugung mit Heizöl, Erdgas und Fernwärme (inkl. Netzverlusten), die mit 2,28 bis 3,48 €-Cent/kWh<sub>Endenergie</sub> nur ca. ein Drittel bis halb so hoch waren. Die Umweltkosten erneuerbarer Energien wie Solarthermie, Oberflächengeothermie und Biomasse lagen mit 1,1 bis 2,13€-Cent/kWh<sub>Endenergie</sub> noch einmal deutlich niedriger. Ein verringerter Energieverbrauch und der Ausbau erneuerbarer Energien führen demnach auch zur Verringerung von Umweltkosten.

Basierend auf den Kostenschätzungen des Umweltbundesamtes und Angaben des IPCC kommt [Hohmeyer 2015] zu dem Schluss, dass global gesehen einer Einbuße von wenigen Prozent Wirtschaftswachstum durch die Investitionsausgaben für Klimaschutz ein vielfach höherer Nutzen durch vermiedene Klimaschäden gegenübersteht. Das globale Bruttosozialprodukt läge bei konsequentem Klimaschutz um mehr als 10 % über der Wirtschaftsleistung ohne Klimaschutz.

Neben humanitären und moralischen sprechen daher auch ökonomische Gründe für eine entschiedene Klimaschutzstrategie und die Umsetzung entsprechender Maßnahmen.

### 3.1.2 Weniger Luftverschmutzung durch Feinstaub

Zwar ist in Ballungsgebieten der Straßenverkehr die dominierende Quelle für Feinstaub, primärer Feinstaub entsteht jedoch u. a. auch durch Emissionen aus Öfen und Heizungen in Wohnhäusern. Stäube sind feste Teilchen in der Außenluft, die nicht sofort zu Boden sinken, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen. Abhängig von ihrer Größe werden Staubpartikel in die Klassen PM<sub>10</sub> mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner 10 µm und PM<sub>2,5</sub> mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 2,5 µm eingeteilt, die als Indikator für die Feinstaubbelastung dienen und für die europäische Grenzwerte festgelegt sind [UBA 2009].

Partikel der Kategorie PM<sub>10</sub> können beim Menschen in die Nasenhöhle, solche der Kategorie PM<sub>2,5</sub> bis in die Bronchien und Lungenbläschen eindringen. Je nach Größe und Eindringtiefe können eingeatmete Partikel verschiedene schädigende Wirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Diese reichen von Schleimhautreizungen und lokalen Entzündungen in Luftröhre, Bronchien oder Lungenalveolen bis zu verstärkter Plaquebildung in den Blutgefäßen, einer erhöhten Thromboseneigung oder Veränderungen der Regulierungsfunktion des vegetativen Nervensystems [UBA 2016]. Zudem können sich an der Oberfläche der Partikel Schwermetalle oder Krebs erzeugende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) anlagern [UBA 2009]. Nach Angaben des Umweltbundesamtes waren Haushalte und Kleinverbraucher im Jahr 2015 ursächlich für ca. 12 % der PM<sub>10</sub>- bzw. 26 % der PM<sub>2,5</sub>-Emissionen in Deutschland [UBA 2017]).

Staubemissionen aus privaten Haushalten und dem Kleingewerbe treten überwiegend bei der Verbrennung fester Brennstoffe auf und hängen stark von der Heiztechnik und den verwendeten Brennstoffen ab. Durch die Reduktion des Wärmebedarfs sowie die damit verbundenen Einsparungen von Brennstoffen und dem Einsatz moderner, emissionsarmer Anlagentechnik können energetische Modernisierungen dazu beitragen, den im Haushaltssektor verursachten Feinstaub weiter zu verringern.

### 3.1.3 Verbesserte Resilienz / Versorgungssicherheit

Laut [Pflüger 2013] ist die Sicherheit der Energieversorgung zu bezahlbaren Preisen nicht nur äußerst komplex, sondern auch sehr fragil und immer wieder bedroht. Potentielle Gefahren bestehen beispielsweise durch Kriege, Krisen und Konflikte (wie z. B. politische Instabilität) in den energieproduzierenden Ländern, politische Erpressbarkeit in Folge einseitiger Abhängigkeit von einem Energieproduzenten oder Renationalisierung bzw. Energieimperialismus. Über 80 % der konventionellen Öl- und Erdgasreserven liegen heute in der Hand von staatlichen oder halbstaatlichen Energiekonzernen, d. h. ihre Verwendung ist direkt oder indirekt abhängig von den politischen Führungen der jeweiligen Länder. Je knapper die Bodenschätze im Angesicht einer dramatisch wachsenden Weltbevölkerung werden, desto stärker besteht die Gefahr, dass sie für imperialistische Zwecke eingesetzt werden. Weitere Bedrohungen werden in möglichen terroristischen Angriffen auf Energieinfrastrukturen, Cyber-Terrorismus gegen kritische Energieinfrastrukturen, Naturkatastrophen oder technischen Fehlern gesehen.

Zu den wesentlichen Wegen, diesen Gefahren zu begegnen, gehören:

- Diversifikation und Energieunabhängigkeit  
Eine Vielfalt der Energieträger, der Förderländer und der Versorgungswege sowie weitestmögliche Unabhängigkeit von anderen Ländern führen zu einer höheren Versorgungssicherheit.
- Dezentralisierung  
Eine weitere Möglichkeit, um komplexe Energiesysteme zu schützen, d. h. vor allem umfassende Störungen zu verhindern bzw. ihre Auswirkungen zu begrenzen, liegt im Aufbau ergänzender, dezentraler Versorgungssysteme. Dazu eignen sich in erster Linie die regenerativen Energien.
- Höchste Sicherheits-, Effizienz- und Umweltstandards  
Sicherheits- und Umweltstandards mögen teuer sein, letztlich aber nützen sie allen Beteiligten, weil sie für die Akzeptanz in der Bevölkerung gegenüber dem jeweiligen Energieträger von entscheidender Bedeutung sind.

### 3.1.4 Positive Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte

[Weiß et al. 2014] zeigen, dass die energetische Sanierung des Gebäudebestandes durch die induzierten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte relevante volkswirtschaftliche und regional-ökonomische Beiträge leisten. Insgesamt lösten die in der Studie betrachteten energetischen Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand im Jahr 2011 in Deutschland Wertschöpfungseffekte von rund 14 Mrd. Euro aus und generierten ca. 278.000 Vollzeit Arbeitsplätze. Diese Effekte beziehen sich sowohl auf die direkt involvierten Branchen der Handwerker und Planer als auch auf deren Vorleistungslieferanten (inkl. Materialherstellung).

Ein Vergleich zu den durch erneuerbare Energien induzierten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte zeigt, dass die Arbeitsplatzeffekte durch die energetische Gebäudesanierung nur etwas geringer sind als die durch erneuerbare Energien (2012: ca. 305.000 Vollzeit Arbeitsplätze – ohne gebäudebezogene Heizungen), wohingegen die Wertschöpfungseffekte deutlich geringer sind (EE 2012: fast 28 Mrd. Euro). Ein Grund hierfür sind die Betreibergewinne aus den EE-Stromanlagen.

Anhand von Zukunftsszenarien wurde die direkte Wertschöpfung und Beschäftigung durch energetische Gebäudesanierung für die Jahre 2020 und 2030 berechnet. Entsprechend der Szenarien steigen die direkten Wertschöpfungseffekte bis 2020 auf 12 Mrd. Euro an und sinken bis 2030 wieder auf knapp 9,5 Mrd. Euro. Dies lässt sich mit der Annahme in den Szenarien erklären, dass bis 2020 aufgrund der politischen Ziele die Sanierungsraten insbesondere der nicht von Sanierungszyklen abhängigen Maßnahmen stark ansteigen und danach wieder sinken. 2020 würden etwa 282.000 Vollzeitbeschäftigte in Handwerk und Planung mit der energetischen Gebäudesanierung beschäftigt sein, bis 2030 noch 220.000.

### 3.1.5 Positive Auswirkungen auf die Gesundheit, physiologische Effekte und höhere Produktivität

Energetische Modernisierungen können sich u. a. durch ein gesteigertes Wohnbefinden, weniger Schimmelbelastung und bessere Beleuchtung mit Tageslicht positiv auf die Gesundheit der Gebäudenutzer auswirken (siehe Abschnitt 3.2). Hierdurch können z. B. Bagatellerkrankungen wie Husten, Erkältungen oder grippale Infekte sowie damit verbundene Krankheitstage und Arztbesuche reduziert werden.

Die von der WHO durchgeführte LARES-Studie (Large Analysis and Review of European housing and health Status) [WHO 2004] zeigt zudem unter anderem Zusammenhänge zwischen:

- Depressionen und Angstzuständen bei ungenügendem Schutz gegen negative Einflüsse wie z. B. Lärm, Feuchtigkeit, Schimmel oder Kälte im Winter.
- Asthma und Allergien bei negativer Beurteilung der Innenraumluftqualität sowie höhere Risiken an Bronchitis oder Halsentzündungen zu leiden, wenn Schimmelpilzbefall in der Wohnung vorherrscht.
- einer erhöhten Unfallwahrscheinlichkeit, u. a. wenn die Wohnung zu kalt oder zu warm empfunden wurde. Das Vorkommen eines Unfalls war wahrscheinlicher, wenn die Bewohner über Müdigkeit klagten und/oder unter Schlafstörungen litten.
- der Zunahme von Müdigkeit, Kopfschmerzen, chronischen Angstzustände und Depression in mit Schimmel befallenen Wohnungen; ebenso nehmen die Quotenverhältnisse für Schlaganfall, Herzinfarkt und Bluthochdruck zu.
- Atemwegserkrankungen und Unzufriedenheit mit dem Heizungssystem.
- kardiovaskulären Symptome und temperaturbedingten Beschwerden in den Wintermonaten sowie andauerndem Schimmelbefall.
- Arthritis und der Unzufriedenheit mit der Innenraumtemperatur.

Auch in diesen Zusammenhängen können sich energetische Modernisierungen positiv auswirken.

### 3.1.6 Höhere soziale Sicherheit, weniger Energiearmut

Gemäß [Kopatz 2014] gilt als „energiearm“ „wer seine Wohnung nicht angemessen heizen kann oder einen überhöhten Anteil seines Einkommens für Energie verwenden muss“. Je nach Messverfahren (siehe Abschnitt 5.1) - in Deutschland gibt es bisher keine offiziell anerkannte Definition - sind laut [März/Kopatz 2016] 10 bis 30 % der deutschen Haushalte von Energiearmut betroffen. Obwohl die Ausgaben für Wärme häufig eine viel größere Belastung als die Stromkosten darstellen, wird in Deutschland fast ausschließlich über die gestiegenen Strompreise als Triebfeder für Energiearmut diskutiert. Als weitere Ursachen gelten die schlechte finanzielle Situation der betroffenen Haushalte, der Energiestandard der Wohngebäude und Haushaltsgeräte sowie ineffiziente Verhaltensweisen [Kopatz 2014].

Die sozialverträgliche Gebäudesanierung wird als Stellschraube im Kampf gegen die Energiearmut angesehen, da hierdurch energiebedingte Nebenkosten gesenkt und unabhängiger von Preisschwankungen werden.

Die Vielschichtigkeit der positiven Auswirkungen energetischer Modernisierungen auf der makroökonomischen Ebene sollte insbesondere in politischen Zusammenhängen stärker berücksichtigt werden.

## 3.2 Mögliche positive Aspekte energetischer Modernisierungen auf der mikroökonomischen Ebene

Auch für Gebäudeeigentümer und Nutzer entstehen durch energetische Modernisierungen Zusatznutzen verschiedener Kategorien. Einen Überblick liefert Tab. 68. Nachfolgend sind zudem die wesentlichsten Vorteile näher erläutert.

Insbesondere können durch Sanierungsmaßnahmen auch das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bewohner positiv beeinflusst werden. Nach der Erhebung zum Healthy Homes Barometer 2016 wäre es 82 % der in Deutschland Befragten sehr oder extrem wichtig, dass sich nach einer Sanierung das allgemeine Wohlbefinden zu Hause verbessert, während niedrigere Energiekosten von 78 % der Befragten als wichtig angesehen wurden. Dabei sind die Deutschen besonders sensibel für ein gutes Innenraumklima. Für 60 % der Befragten ist die Verbesserung der Innenraumluftqualität sehr oder extrem wichtig [VELUX Gruppe 2016].

**Tab. 68: Mögliche mikroökonomische Nutzen energetischer Modernisierungen (in Anlehnung an [Ferreira/Almeida 2015], S. 2401] und [Ürge-Vorsatz et al. 2009], S. 187)**

Kategorie	Unterkategorie	Beschreibung
Gebäudequalität	Bauphysik	Weniger Kondensat-, Feuchte- und Schimmelprobleme
	Einfachere Handhabung und Kontrolle durch den Nutzer	Z. B. durch automatisierte Thermostatsteuerungen, einfachere Filterwechsel, schnellere Warmwasserversorgung
	Ästhetik und architektonische Einbindung	Aufwertung des Erscheinungsbildes
	Nutzflächen	Vergrößerung oder Verkleinerung der Nutzflächen
	Sicherheit (Einbruch und Unfälle)	Ersatz von Bauteilen durch solche mit aktuellen Standards, weniger Risiken (Unfall, Feuer, Einbruch)
Ökonomie	Weitestgehende Unabhängigkeit von Preisanstiegen	Weitgehende Unabhängigkeit von Preisanstiegen gibt dem Nutzer ein Gefühl der Kontrolle und eine größere Sicherheit, den Level an Komfort halten zu können
	Wertsteigerung der Immobilie	Erzielbarkeit höherer Verkaufs- und Mietpreise aufgrund der ökologischen und ökonomischen Merkmale.
Wohlbefinden	Thermischer Komfort	Höherer thermischer Komfort aufgrund angenehmerer Raum- und Strahlungstemperaturen, geringerer Temperaturdifferenzen, weniger Zugluft und Luftfeuchte
	Innenraumlufthqualität	Bessere Innenraumlufthqualität (weniger Abgase, Feinstaub und mikrobielle Kontaminanten, die sich negativ auf die Gesundheit auswirken), bessere Gesundheit und höherer Komfort
	Lärmschutz	Besserer Lärmschutz gegen Geräusche von außen
	Stolz, Prestige, Ansehen	Gesteigerter Stolz/gesteigertes Prestige/Ansehen, ein besseres Verständnis für Umweltbewusstsein oder ein besseres Gewissen

### 3.2.1 Verbesserter winterlicher Wärmeschutz / Dämmung der Gebäudehülle

Laut [VELUX Gruppe 2016] hatte im Winter 2014/2015 mehr als jeder zweite Deutsche (54 %) sein Zuhause manchmal oder oftmals kälter als es dem Wohlempfinden entspricht - der europäische Durchschnitt lag bei 48 %. Dabei finden lediglich 41 % der Mieter die Temperatur in ihrem Zuhause in der Regel angemessen.

Im Sommer 2015 war es hingegen 40 % der Deutschen meistens oder immer zu heiß in ihrer Wohnung. Bei Bewohnern aus den westlichen und südlichen europäischen Ländergruppen war dies dagegen nur zu 25 % bzw. 29 % der Fall. Das Überhitzungsproblem trifft in dieser Größenordnung auf Gebäude aller Baujahre zu [ebd.].

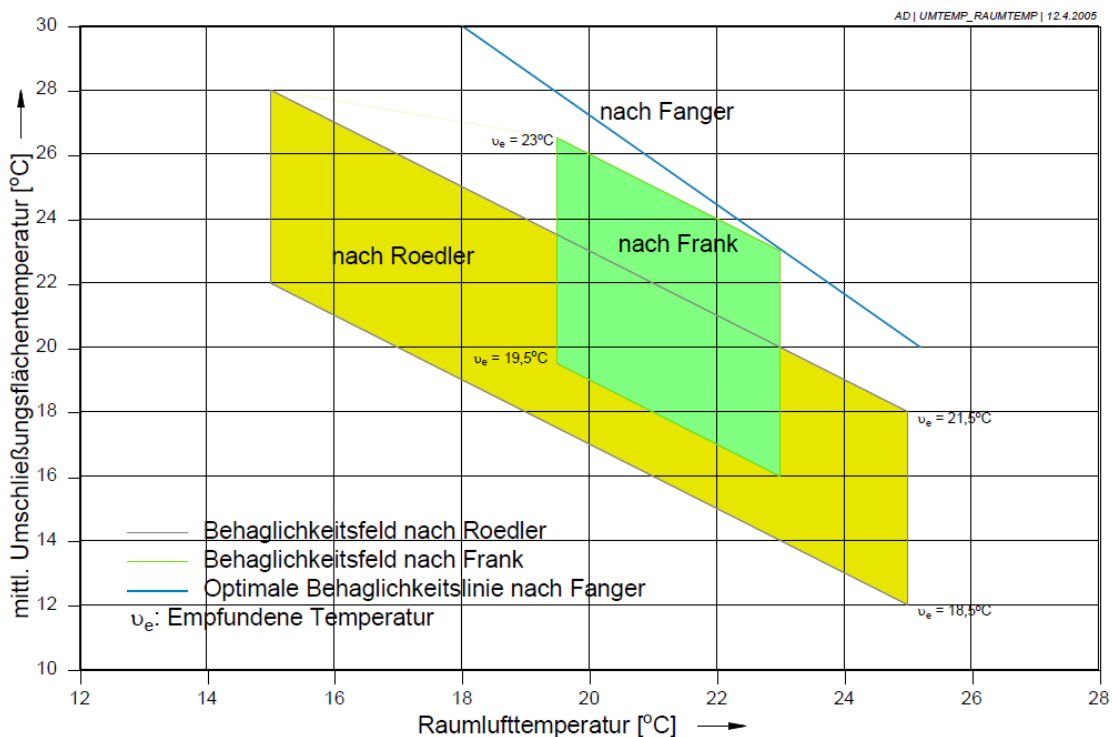
Diverse Parameter energetischer Sanierungen können Behaglichkeitsempfinden – sowohl im Winter als auch im Sommer - sowie Gesundheit der Bewohner positiv beeinflussen. Wesentliche Aspekte werden im Folgenden dargestellt.

## Verbesserte Behaglichkeit durch gleichmäßig höhere Oberflächen- und Raumtemperaturen

Die Verringerung der Temperaturdifferenz zwischen der Raumluft und den Raumoberflächen trägt zu einem größeren Behaglichkeitsgefühl bei, weil ein annäherndes Strahlungsgleichgewicht zwischen der Körperoberfläche der Bewohner und den Oberflächen entsteht. Die Abweichung der durchschnittlichen Oberflächentemperatur aller Umschließungsbauteile gegenüber der Raumlufttemperatur soll bei hauptsächlich sitzender Tätigkeit gemäß DIN EN ISO 7730:2006-05 und DIN EN 15251:2012-12 idealerweise nicht mehr als 2 bis 3 K betragen. Da auch asymmetrische Strahlungstemperaturen zu Unbehaglichkeit führen, sollten zudem die Unterschiede zwischen den einzelnen Oberflächentemperaturen nicht größer als 3 bis 4 K sein (siehe auch [Wanner 1984], zitiert nach [Zürcher/Frank 2004]) und das vertikale Temperaturgefälle zwischen Kopf- und Fußknöchel sollte 3 K nicht überschreiten. Aus diesem Grund werden insbesondere Räume als behaglich empfunden, deren Hüllflächen alle auf einem gleichmäßig hohen Niveau gedämmt sind, siehe Abb. 102. Vor allem im Bereich der Fenster kann es zu störendem Kaltluftabfall und Strahlungswärmeentzug kommen, wenn die minimale, mittlere Temperatur des Fensters um mehr als 4,2 K gegenüber der operativen Raumtemperatur abweicht ([Passivhaus Institut 2016], siehe Abschnitt „Vermeidung von Zuglufterscheinungen und Kaltluftabfall an den Fenstern“).

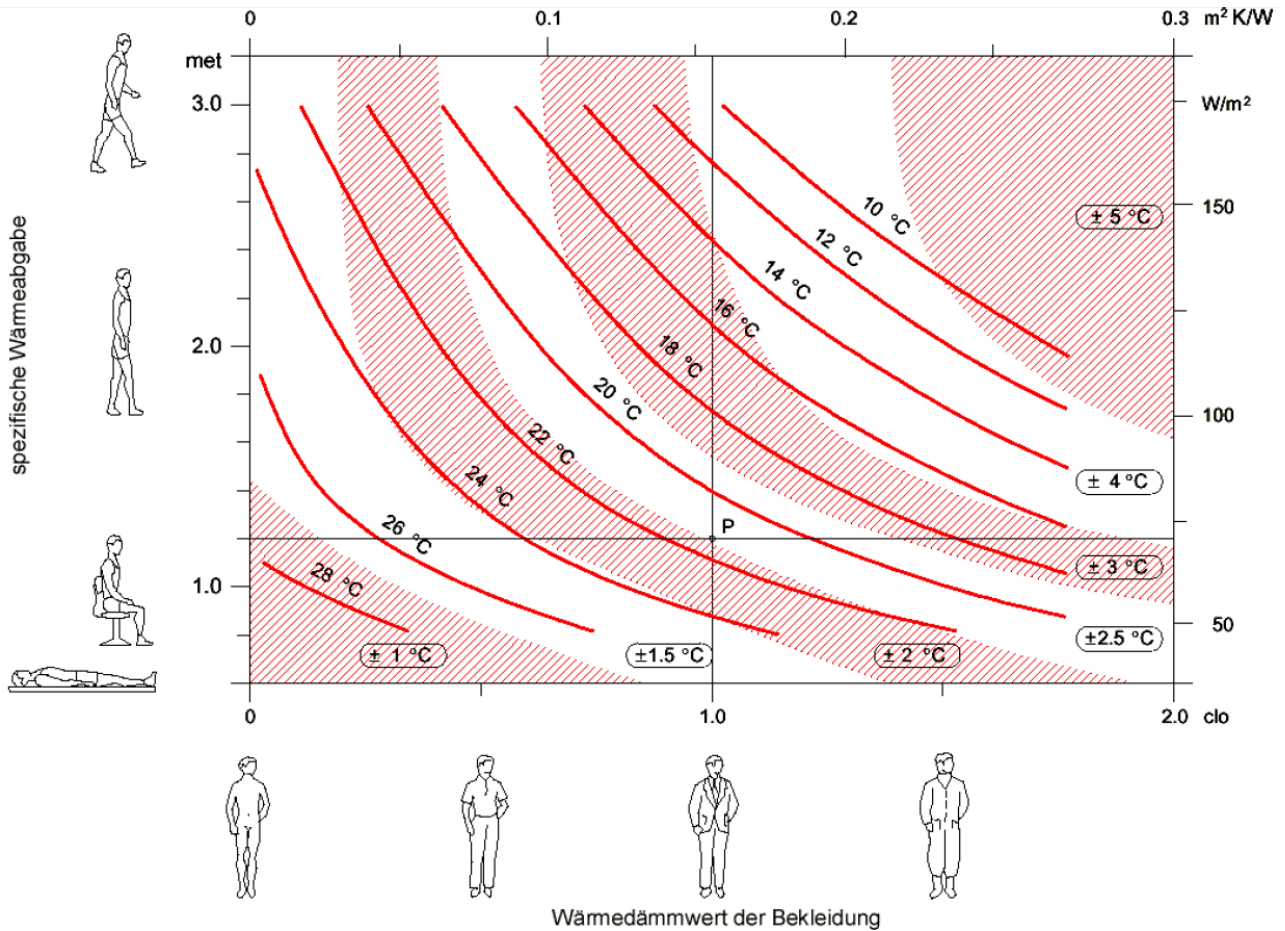
Die Oberflächentemperaturen steigen mit der Dämmstärke. Deshalb sind erst in Gebäuden mit U-Werten  $< 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  bei einer Lufttemperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  Wandtemperaturen von  $> 19 \text{ }^\circ\text{C}$  gegeben, die von den Bewohnern nicht mehr als kalt wahrgenommen werden. Dass die Behaglichkeitsfelder unterschiedlicher Studien in der Höhe variieren liegt daran, dass die Autoren von verschiedenen Bekleidungsgraden (T-Shirt oder Pullover) bzw. Aktivitäten der Bewohner ausgehen. Abb. 103 macht den Zusammenhang zwischen der „Wohlfühltemperatur“ und den Faktoren körperliche Wärmeabgabe und Bekleidung deutlich. Die Spanne reicht dabei von  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  (ohne Kleidung liegend) bis  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  (Aktivität in warmer Kleidung). In dem für Wohnräume relevanten Bereich ist der Grafik zu entnehmen, dass bei geringer Aktivität allein durch die Wahl entsprechender Bekleidung die Raumtemperatur bei gleicher Behaglichkeit um 3 K gesenkt werden kann.

**Abb. 102: Behaglichkeitsfeld nach Fanger, Roedler und Frank (Quelle: [Frank 1975] zitiert nach [Dentel/Dietrich o. J.]**

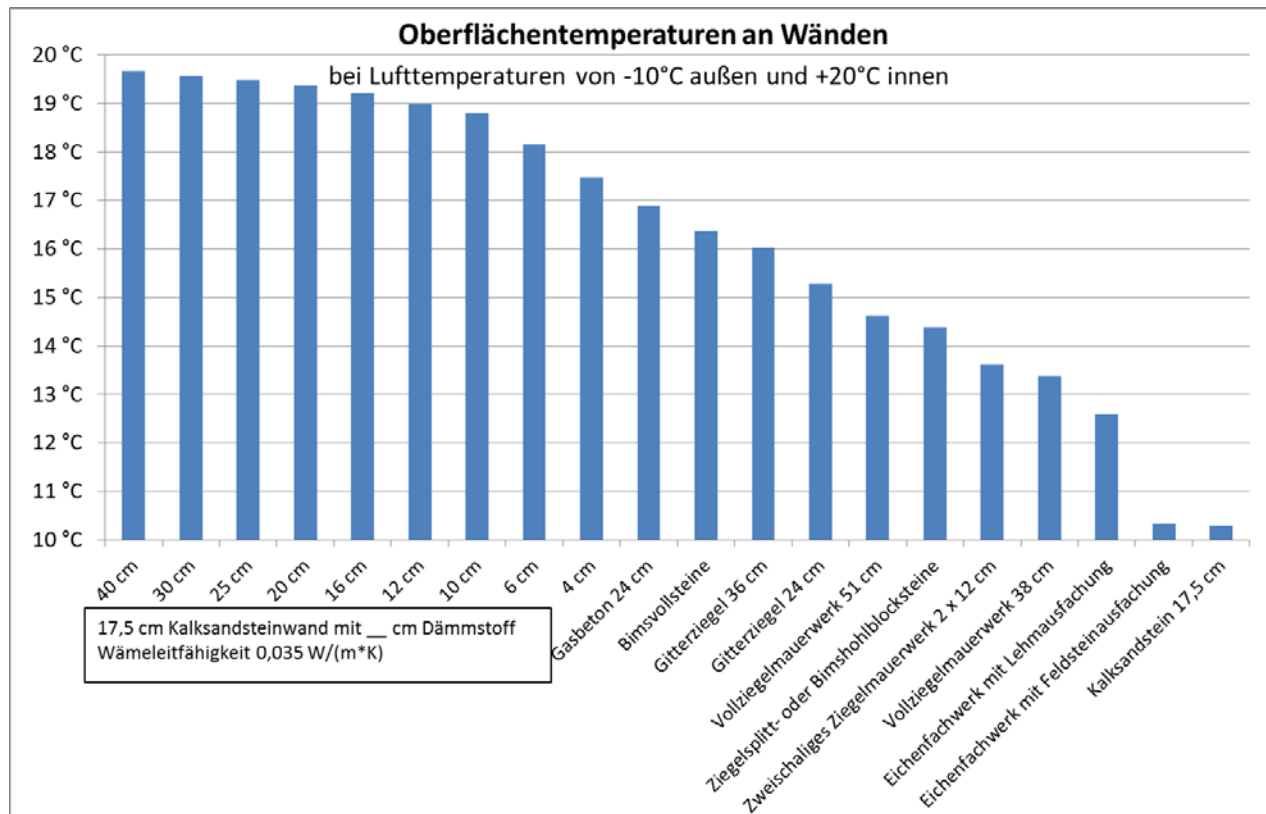




**Abb. 103: Behaglichkeitstemperatur (operative Temperaturen) in Abhängigkeit von Aktivität und Kleidung (nach: [Zürcher/Frank 2004], S. 12)**



**Abb. 104: Wandoberflächentemperaturen in Abhängigkeit der Dämmstärke**



## Vermeidung von Schimmelschäden

Weiterhin vermeiden hohe Bauteiloberflächentemperaturen die Bildung von Schimmelschäden. Auch bei hohen Lufttemperaturen und –feuchten wie sie in Bädern und Küchen auftreten kann es nicht zur Kondensation von Wasserdampf an Bauteiloberflächen kommen.

**Abb. 105: Kondensation und Schimmelgefahr (roter Bereich) an kalten Bauteilen**

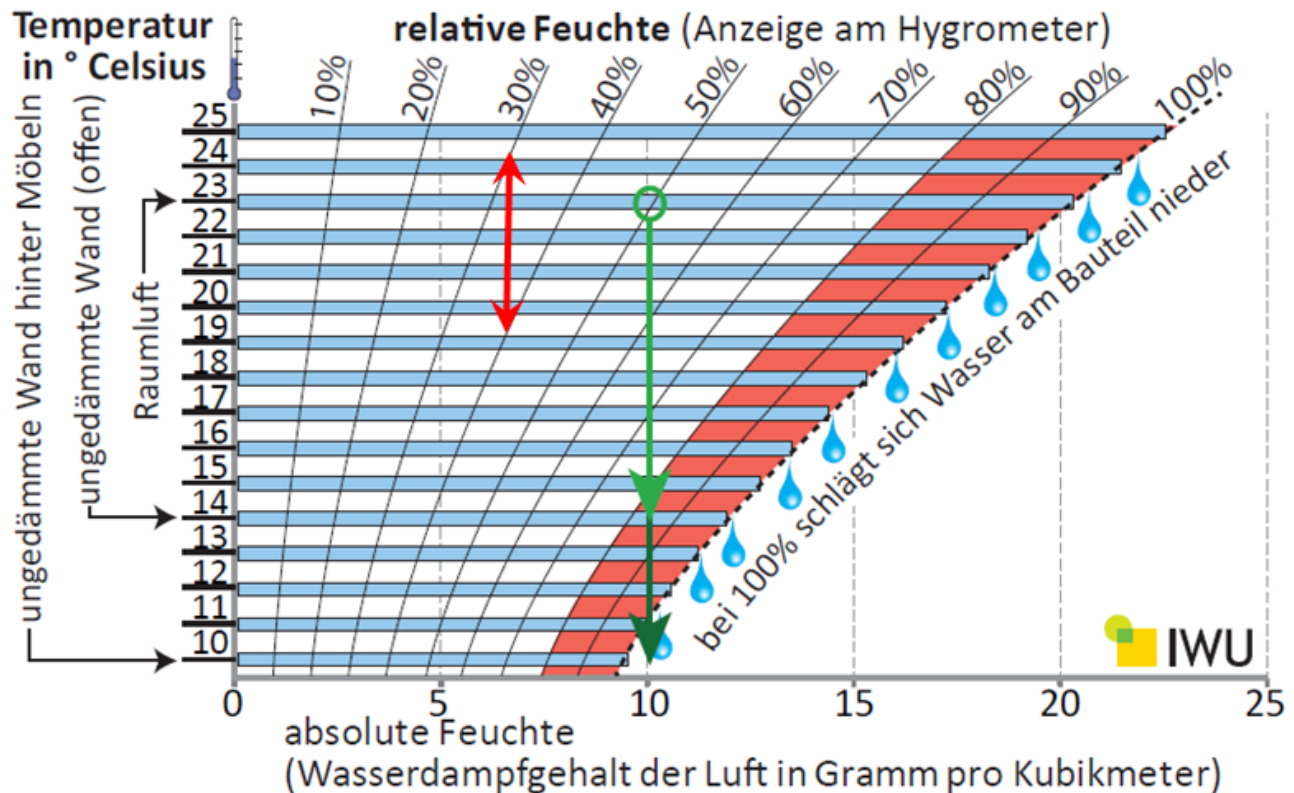


Abb. 105 zeigt auch, dass aus physiologischen Kriterien empfohlene Luftfeuchten in einem Bereich von 40 bis 70 % in unsanierten Bestandsgebäuden bei üblichen Raumtemperaturen fast zwangsläufig zu Schimmelschäden führen würden. Das eingezeichnete Beispiel (grüne Pfeile) korrespondiert mit den Beschriftungen an der Temperaturskala linke Achse: In einem unsanierten Altbau werden z. B. in der Küche 23 °C bei 50 % relativer Luftfeuchte gemessen. Das entspricht einer absoluten Feuchte von 10 g Wasserdampf je m<sup>3</sup> Luft (Skala unten). Weil unmittelbar vor der Wand die Lufttemperatur auf 14 °C sinkt, und die Fähigkeit der Luft Wasserdampf zu halten mit sinkender Temperatur abnimmt, erreicht bei gleichbleibender absoluter Feuchte der relative Wert ca. 85 %. In diesem Bereich von oberhalb 80 % droht bereits Schimmel, obwohl noch keine Kondensation stattfindet. Hinter Möbeln, wo die Luftzirkulation behindert ist, sinken die Oberflächentemperaturen der Wand auf ca. 10 °C und unterschreiten damit den Wert an dem sich Tauwasser niederschlägt. Hier sind Schimmelschäden geradezu unausweichlich. In gut gedämmten Gebäuden hingegen sind gesunde Luftfeuchten unproblematisch.

Weiterhin kann man dem Diagramm entnehmen, dass der Trend zu immer höheren Raumlufttemperaturen, speziell in thermisch besser gedämmten Gebäuden, dazu beiträgt die relative Luftfeuchte abzusinken, was von einigen Bewohnern/Nutzern auch beklagt wird. Zieht man eine senkrechte Linie zwischen den Punkten 19 °C / 40 % zu 24 °C / 30 % rel. Feuchte (roter Doppelpfeil), dann wird deutlich, dass allein durch das steigende Komfortbedürfnis die Luftfeuchte den physiologisch optimalen Bereich verlassen kann. Um der Bevölkerung diesen Zusammenhang deutlich zu machen, ist Aufklärungsarbeit nötig, denn das Maßhalten bei den Raumtemperaturen spart einerseits Energie und ist gleichzeitig der Gesunderhaltung der Atemwege förderlich.

In diesem Zusammenhang wichtig ist die Einhaltung eines hygienisch notwendigen Mindestluftwechsels. Wie in Abschnitt 3.2.3 näher erläutert, bieten energetische Modernisierungen die Gele-

genheit, nutzerunabhängige und bedarfsgerechte Lüftungskonzepte umzusetzen und damit das Risiko von Schimmelbildungen deutlich zu reduzieren.

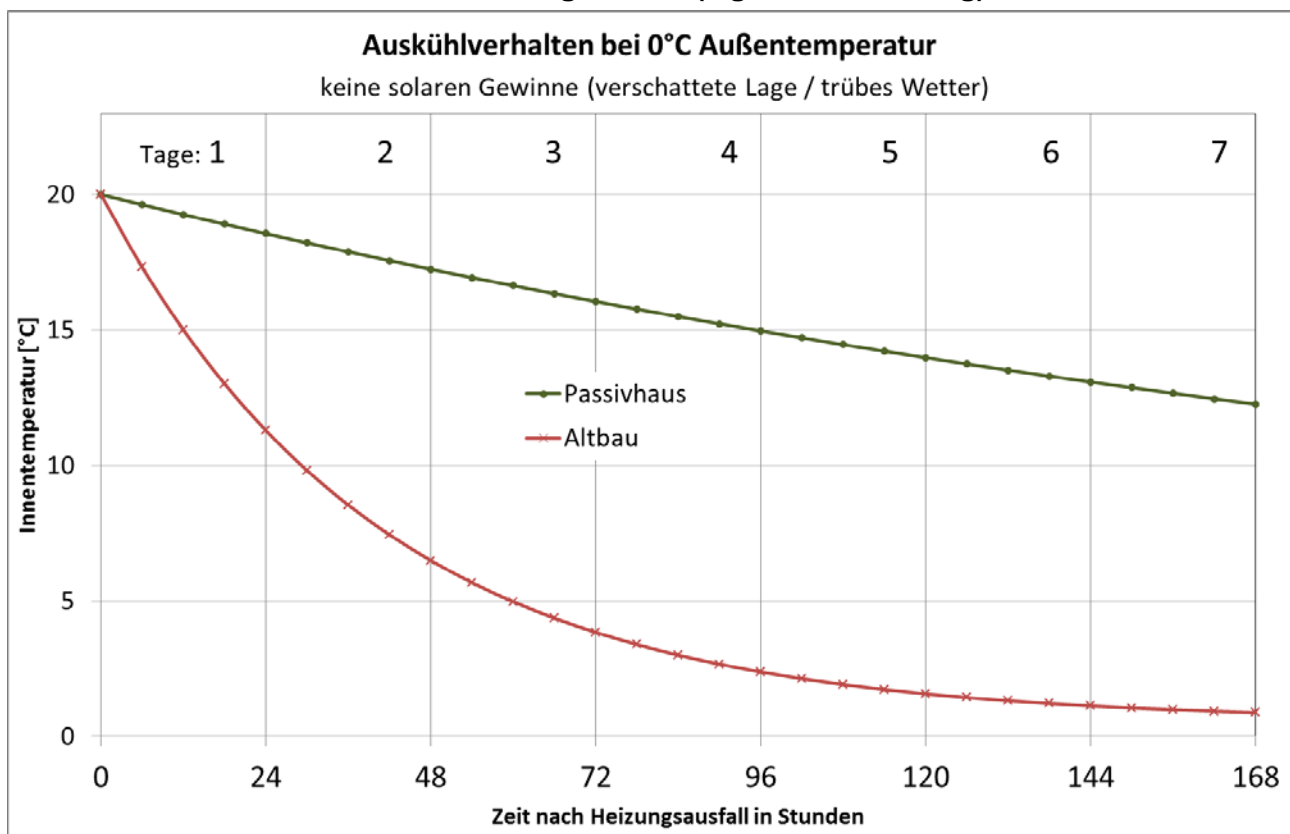
### Verlangsamung von Auskühlvorgängen und Regulierbarkeit von Innentemperaturen

Eine geschlossene hochwertige Gebäudehülle vergrößert zudem die Zeitkonstante bei Auskühlvorgängen; zum Beispiel bei einem Ausfall der Wärmeversorgung. Während ein Bestandsgebäude schon nach wenigen Stunden ausgekühlt ist, sinkt die Raumtemperatur in einem auf Passivhaus-Niveau gedämmten Gebäude selbst bei frostigen Außentemperaturen nur um ca. 1 Kelvin pro Tag. Das ist ein Zeichen für bessere Resilienz.

Abb. 106 stellt das Temperaturniveau in zwei gleich großen und gleichartig genutzten Modellgebäuden bei einem Heizungsausfall und ohne solare Gewinne dar. Die spezifischen Wärmeverluste liegen mit typischen Bauteil-U-Werten und Lüftungskonzepten für die Gebäude bei den gewählten Randbedingungen und 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche für das Passivhaus bei 70,9 W/K und im Altbau bei 541 W/K. Während der Altbau nach einer Woche fast seine Gleichgewichtstemperatur, die aufgrund der Abwärme von Personen und Geräten (in beiden Gebäuden 2,1 W/m<sup>2</sup><sub>Wfl</sub>) nur 0,58 K über der Außentemperatur liegt, erreicht, sinkt die Temperatur im Passivhaus nur langsam und liegt bei gleichen Randbedingungen nach 7 Tagen noch bei 12,3 °C. In der Praxis würde dieser Wert aber überschritten, denn selbst in dunklen Wintern gibt es einige Sonnenstunden, an denen die solaren Gewinne die Temperaturen schnell wieder steigen lassen würden.

Gemäß Healthy Homes Barometer 2016 haben 35 % der Befragten die Erfahrung gemacht, dass sie die Temperatur in ihrer Wohnung nicht leicht an ihre Wünsche anpassen können. Des Weiteren beklagen 31 %, dass sie ihre Innenraumtemperatur in den Wintermonaten zu oft nachregulieren müssen, um eine angenehme Temperatur zu halten. Sehr alte Gebäude sind deutlich schlechter regulierbar als neuere: 45 % der Bewohner von Gebäuden mit Baujahr vor 1900 sind nicht zufrieden. Jedoch sind auch bei Gebäuden mit Baujahr ab 1989 noch immer 25 % der Bewohner mit den notwendigen Regelungseingriffen im Winter unzufrieden [VELUX Gruppe 2016].

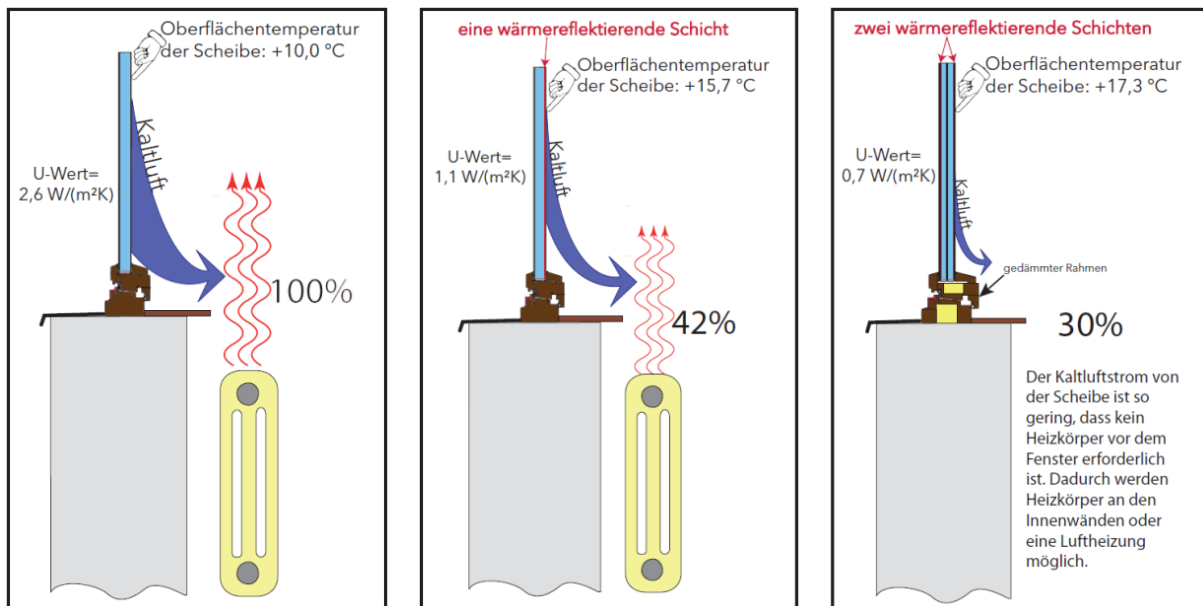
**Abb. 106: Auskühlverhalten bei Heizungsausfall (eigene Berechnung)**



## Vermeidung von Zuglufterscheinungen und Kaltluftabfall an den Fenstern

Da kalte Luft ein höheres spezifisches Gewicht hat als warme, fällt Kaltluft in einem Strom von kalten Oberflächen ab und verursacht Zugserscheinungen. Von Bewohnern wird dieser Effekt besonders vor Verglasungen mit U-Werten  $> 1,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  als unangenehm wahrgenommen. Deshalb wurden bei der Einführung von Zentralheizungen die Heizkörper überwiegend unter den Fenstern angeordnet, damit der vom Heizkörper aufsteigende Warmluftschleier die vom Fenster abfallende Kaltluft neutralisiert.

**Abb. 107: Wärmeverlust und Luftströmungen an Isolierglas sowie zweifacher und dreifacher Wärmeschutzverglasung (Randbedingungen: innen  $+20^\circ$  und außen  $-10^\circ\text{C}$ ) [Eicke-Hennig/Born 2012]**



Die fast vollständige Verringerung des Kaltluftabfalls an den Fenstern durch hochwertige Verglasung und gedämmte Rahmen machen den Verzicht auf Heizkörper unter den Fenstern möglich. Das erhöht die architektonische Freiheit, ermöglicht die Platzierung von Möbeln unter den Fenstern und ist eine gute Voraussetzung für den Einsatz von Luft- oder Flächenheizsystemen.

Die in sanierten Gebäuden gegebene Kombination aus hohen Oberflächentemperaturen und einer guten Dichtigkeit verringern darüber hinaus auch generell die Luftströmungen in den Räumen. Es bilden sich keine von kälteren Oberflächen herunter gleitenden Luftwalzen und auch bei starkem Wind dringen keine spürbaren Luftströme durch Fensterfugen oder Anschlüsse.

## Vermeidung von Fußkälte

In Erdgeschosswohnungen wird insbesondere bei gefliesten Böden die Fußkälte als besonders unbehaglich empfunden. Ähnlich wie bei Wänden steigt auch die Oberflächentemperatur von Fußböden durch Dämmmaßnahmen deutlich. Ein Problem besteht jedoch darin, dass sich durch Undichtigkeiten einströmende oder von kalten Oberflächen abfallende Kaltluft wie Wasser am Boden sammelt und so die Wirkung der Dämmung gefühlt vermindert. Die Wirkung einer Kellerdeckendämmung ist erst bei einer umfassenden energetischen Modernisierung optimal. Beim Einbau von Fußbodenheizungen ist der Einbau einer Dämmung unumgänglich, weil sonst ein erheblicher Teil der Heizwärme Richtung Keller abfließen würde.

## Verbesserte Nutzbarkeit von Wohnflächen im Winter

Die Erhöhung der Oberflächentemperaturen im sanierten Gebäude erlaubt eine freie Gestaltung der Wohnfläche. Eine Sitzgelegenheit kann auch unmittelbar vor einem Fenster stehen, und der Bewohner hat trotzdem kein unangenehmes Kältegefühl durch den Strahlungsentzug über die kalte Fensterfläche zu befürchten. Es können Schränke und Sofas auch an Außenwänden platziert werden, ohne dass Schimmelflecken hinter den Möbeln zu befürchten sind. Dies ist auch aus der Perspektive von Vermietern relevant, da nach einem Urteil des AG Osnabrück ein Wohnungsmangel vorliegt, wenn durch an Wänden aufgestellte Möblierung Feuchtigkeitsschäden oder Schimmelpilzbildung auftreten (AG Osnabrück, Urteil vom 4. Juli 2005, Az: 14 C 385/04).

## Voraussetzungen für die Erzielung dieser Qualitäten

Die Planung von Sanierungen setzt Sorgfalt und zumindest Grundkenntnisse der Bauphysik voraus. Dämmschichten müssen das Haus möglichst lückenlos umschließen und sollten nicht durch Wärmebrücken oder Fehlstellen gestört werden. Generell muss auch sichergestellt werden, dass Dämmschichten nicht hinterströmt werden können, was ihre Wirksamkeit beeinträchtigt. Noch gefährlicher ist eine Durchströmung von innen nach außen, weil es zu Kondensationsvorgängen und damit zu Bauschäden führen kann.

### Abb. 108: Luftdichte Ebene aus Baupappe [Eicke-Hennig/Krönig 2012]



## 3.2.2 Sommerlicher Wärmeschutz / Vermeidung von Überhitzung

Eine gute Wärmedämmung schützt Altbauten nicht nur vor Wärmeverlusten im Winter, sondern auch vor Überhitzung im Sommer [Feist 2007]. Besonders in Dachgeschosswohnungen kann eine effiziente Dämmung die Innentemperaturen im Sommer deutlich senken. In unzureichend gedämmten Dachwohnungen wird die Aufheizung durch Sonneneinstrahlung auf die Ziegel oft noch viel unangenehmer empfunden als der Wärmeverlust im Winter (gegen den man wenigstens heizen kann). Bei direkter Sonneneinstrahlung erreichen Ziegel schnell Temperaturen von ca. 60 °C. Nur Dachflächen mit kleinem U-Wert verhindern, dass diese Strahlungswärme an darunter liegende Wohnräume weiter gegeben wird.

Neue Wärmeschutzfenster und geeignete Sonnenschutzlösungen wie beispielsweise Lamellen, Markisen, Schiebe- oder Klappläden, verringern ebenfalls den Wärmeeintrag. Darüber hinaus tragen geeignete Lüftungsstrategien, beispielsweise durch gekippte oder geöffnete Fenster über Nacht, die Nutzung der Bypass-Funktion einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung oder den

Einsatz von Erdwärmetauschern bzw. Wärmepumpen mit Kühlfunktion zum sommerlichen Wärmeschutz bei.

Moderat gedämmte Bauteile sollten so konzipiert sein, dass eine Phasenverschiebung vom Tag in die Nacht erreicht wird, d. h. dass hohe Tagestemperaturen das Bauteil von der Außen- zur Innenseite nur langsam durchwandern und zeitversetzt (über Nacht) abgedämpft an den Raum abgegeben werden. Dieser Effekt wird bei zunehmendem Wärmeschutz weniger relevant und spielt bei auf Passivhaus-Niveau gedämmten Bauteilen nahezu keine Rolle mehr [ebd.].

Zudem sind Gebäude mit größerer wirksamer innerer Masse im Sommer etwas leichter auf kühleren Temperaturen zu halten als reine Leichtbauten. Da in bestehenden Altbauten die Voraussetzungen zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung häufig nicht erfüllt sind, kommt es insbesondere bei nicht oder nur mäßig sanierten Dachflächen zu sommerlichen Überhitzungen, die sich negativ auf Gesundheit und Wohlbefinden der Bewohner auswirken. Unter der Voraussetzung, dass eine ausreichende Lüftung im Sommer möglich ist, hilft ein verbesserter Wärmeschutz hingegen das sommerliche Innenklima kühl zu halten.

### 3.2.3 Nutzerunabhängige und bedarfsgerechte Lüftung

Die in aller Regel im Altbau umgesetzte Fensterlüftung ist eine Zufallslüftung. Sie ist abhängig von der momentanen Windgeschwindigkeit, Querströmungen in der Wohnung (Innentüren undicht/offen), dem Vorhandensein von Undichtigkeiten an den Fenstern und der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen. Lüftungsanlagen sichern dagegen kontinuierlich eine gute Raumluftqualität. Die gute Luftqualität kann zudem bei Einsatz von Anlagen mit Wärmerückgewinnung mit einem Höchstmaß an Energieeinsparung bei der Lüftung verbunden werden. Hinzu kommt die Bequemlichkeit sich nicht mehr um das Öffnen der Fenster und das vorherige Herunterstellen der Heizung kümmern zu müssen. Durch den Einbau feinerer Filter in die Lüftungsanlage (ab Filterklasse F7) kann die Pollenkonzentration auf ein Minimum reduziert werden, was insbesondere für Allergiker eine enorme Entlastung darstellt.

Eine Untersuchung des Passivhausinstituts [Kah et al. 2010] zeigt, dass der Außenluftwechsel in Wohnungen mit Fensterlüftung von Wohnung zu Wohnung sehr unterschiedlich ausfällt (Faktor 10). Auch innerhalb einer Wohnung kann das Lüftungsverhalten von Tag zu Tag sehr unterschiedlich sein. Als Mittelwert über die untersuchten Wohnungen mit Fensterlüftung ergab sich im Messzeitraum ein Außenluftwechsel zwischen  $0,18 \text{ h}^{-1}$  (untere Abschätzung) und  $0,33 \text{ h}^{-1}$  (obere Abschätzung). Wird die Weihnachtszeit mit intensiverem Lüftungsverhalten herausgerechnet, sinken die mittleren Außenluftwechsel um ca. 10 %. In den Wohnungen mit kontrollierter Lüftung wurde ein mittlerer maschineller Außenluftwechsel von  $0,48 \text{ h}^{-1}$  bestimmt.

Messungen zur Luftqualität belegen in diesem Zusammenhang deutlich bessere Verhältnisse in den Wohnungen mit kontrollierter Lüftung. In den Wohnungen mit ausschließlicher Fensterlüftung herrschte während durchschnittlich 70 % des Messzeitraums eine geringe Luftqualität ( $\text{CO}_2$ -Konzentration über 1400 ppm), in den Wohnungen mit kontrollierter Lüftung hingegen war dies nur während 34 % der Messzeit der Fall. Nochmals bedenklicher sind die Verhältnisse während typischer Anwesenheitszeiten, z. B. nachts im Schlafzimmer. Die Zeiten mit geringer Luftqualität nehmen im Schlafzimmer auf 81 % bei Fensterlüftung bzw. 44 % bei kontrollierter Lüftung zu. In den Wohnungen mit kontrollierter Lüftung wären eigentlich noch bessere Ergebnisse zu erwarten gewesen; Fehlfunktionen der Lüftung führten jedoch in einzelnen Wohnungen zu geringeren Zuluftvolumenströmen als in der Planung vorgesehen.

Im Rahmen einer in Aachen durchgeführten Studie wurde abgeschätzt, dass durch Kipplüftung in Deutschland ca. 20 bis 30mal mehr Energie als beim Stoßlüften verbraucht wird. Allerdings zeigte eine Analyse der straßenseitigen Fenster von 400 Wohnungen, dass in ca. 71 % der Fälle die Fenster so verstellt sind, dass ein vollständiges Öffnen nicht möglich ist. Auf erreichbaren Hofseiten war die Anzahl der verstellten Fenster tendenziell noch höher. Dies deutet darauf hin, dass in einem Großteil der Wohnungen nicht stoßgelüftet wird. Auch im Rahmen der Untersuchung durchgeführte Interviews bestätigen diesen Eindruck [Galvin 2013].

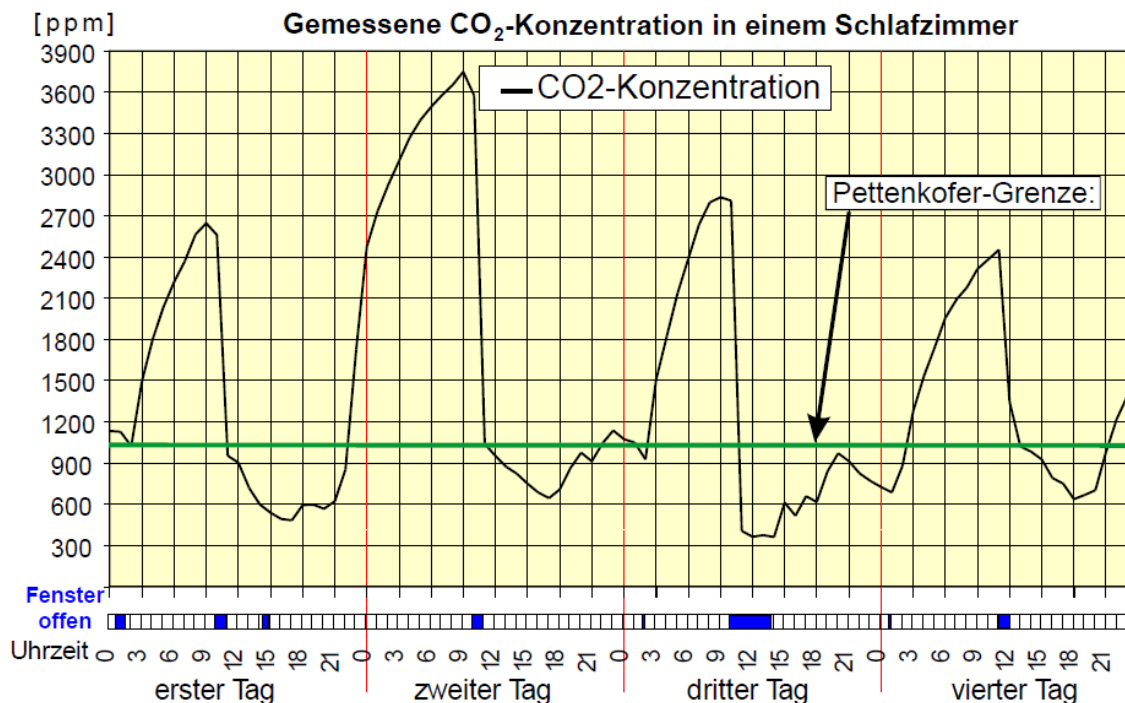
Praktikabilität und Bequemlichkeit spielen in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle. Denn wer sich bemüht wirklich regelmäßig und energiesparend zu lüften, muss dafür in nicht unwesentli-

chem Umfang Zeit investieren. Richtig wäre folgende Vorgehensweise mit 3 „Umläufen“ durch die gesamte Wohnung, die abhängig von der Mobilität der Bewohner jeweils mindestens eine Minute beansprucht:

1. Heizkörperventile schließen und anschließend **abwarten** bis die Heizkörper abgekühlt sind, damit beim Lüften nicht unnötig warme Luft durch die Fenster entweicht.
2. Alle Fenster zum Querlüften öffnen und **abwarten** bis die Raumluft ausgetauscht ist.
3. Die Fenster schließen und die Heizkörperventile wieder öffnen.

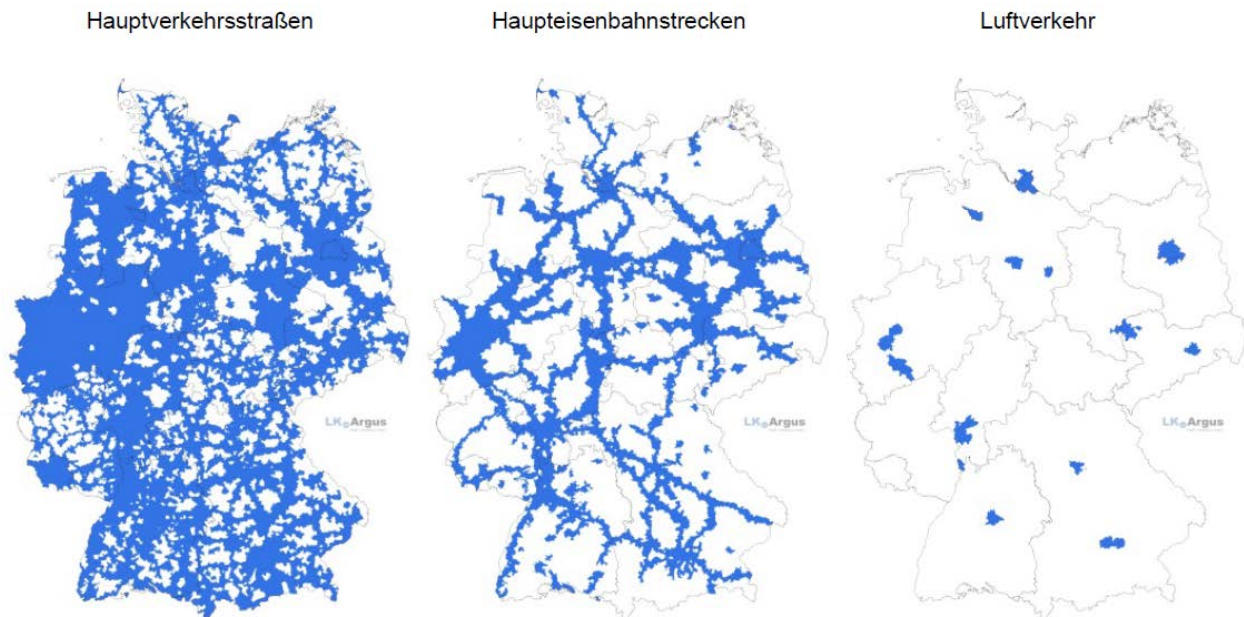
Der Zeitaufwand für diese „Umläufe“ **ohne** die nötige Wartezeit liegt zusammen bei etwa 5 Minuten, wobei die Praxis zeigt, dass das in der alltäglichen Eile das Herunterdrehen der Heizkörper meist weggelassen wird. Um die Qualität der Raumluft nicht zu schlecht (der entscheidende Parameter ist CO<sub>2</sub>-Gehalt) werden zu lassen, sind bei ganztägiger Anwesenheit mindestens 3 bis 4 Lüftungsvorgänge nötig. Während der Nacht wird bei geschlossenem Fenster im Schlafzimmer der CO<sub>2</sub>-Gehalt über den Normwert von 1000 ppm ansteigen. Somit bringt das Konzept „Fensterlüftung“ trotz eines nennenswerten Zeitaufwandes keine befriedigende Luftqualität. Den Aufwand für die aktive Fensterlüftung nicht mehr treiben zu müssen wird von Menschen, die in Haus mit Lüftungsanlage umziehen, als echte Entlastung wahrgenommen.

**Abb. 109: Luftqualität in einem Fensterbelüfteten Zimmer [Borsch-Laaks 2012]**



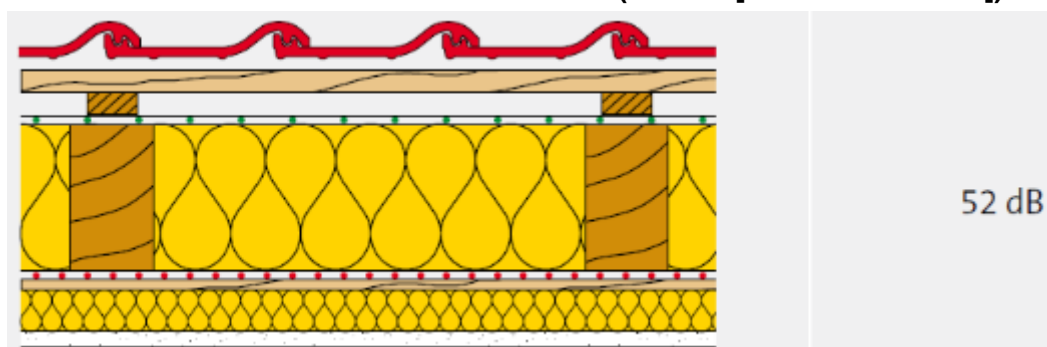
### 3.2.4 Verbesserter Schallschutz

Laut der EU-SILC Statistik (Statistics on Income and Living Conditions) [Eurostat 2017] sind etwa 26 % der Haushalte in Deutschland aus Nachbarwohnungen oder Treppenhäusern stammendem Lärm und/oder Straßenlärm ausgesetzt (von 2007 bis 2015 schwanken die Werte zwischen 25,8 % und 27,1 %). Abb. 110 zeigt Gemeinden und Regionen in denen die Belastung durch Verkehrslärm zu der Aufstellung von Lärmkartierungen geführt hat. Auf den ersten Blick ist zu erkennen, dass fast alle dicht besiedelten Gebiete ein erhebliches Problem mit Verkehrslärm haben.

**Abb. 110: Regionen, für die Lärmkartierungen erstellt wurden [Heinrichs et al. 2016]**

Lärmbelastigungen können ernsthafte direkte und indirekte gesundheitliche Effekte wie z. B. Bluthochdruck, hohe Stresslevel, Schlafstörungen und, in Extremfällen, Hörschädigungen verursachen. Nach Angaben der World Health Organisation (WHO) ist Lärm die zweitgrößte Umweltursache für Gesundheitsprobleme, gleich nach den Auswirkungen der Luftqualität (Feinstaub) [Eurostat 2015].

Energetische Modernisierungen können zu einer Verbesserung des Schallschutzes im Gebäude führen. Beispielsweise hat der zur Vermeidung von Feuchteschäden durch Kondensation im Holzbau ohnehin nötige Einbau von Dichtebenen den zusätzlichen Effekt, dass die Bauteile dadurch auch schalltechnisch aufgewertet werden. Testmessungen eines Dämmstoffherstellers belegen, dass ein mit Zwischen- und Untersparrendämmung saniertes Dach ein Schalldämmmaß von 52 dB erreicht. Für ein ausgebautes Dachgeschoss mit einer Minimaldämmung (Holzwolle-Leichtbauplatte) wurde ein Schalldämmmaß von nur 40 dB gemessen. Geht man von der Faustformel aus, dass ein Unterschied von 3 dB jeweils subjektiv als Verdoppelung der Lautstärke wahrgenommen wird, dann entspricht der Unterschied von 12 dB etwa einer Verminderung um den Faktor acht.

**Abb. 111: Schalldämmmaß einer Dachkonstruktion (Quelle: [Saint-Gobin 2017])**

Zudem helfen moderne, dichte Fenster und der Einsatz von Lüftungsanlagen Umgebungsgeräusche zu reduzieren und zumindest innerhalb der eigenen Wohnung ungestört leben zu können.

Auch der Einbau von Wärmedämmverbundsystemen kann mit einer Verbesserung des Schallschutzes einhergehen. Allerdings ist zu beachten, dass sich der Schallschutz beim Einbau von Dämmschichten insbesondere im Bereich der tiefen Frequenzen auch verschlechtern kann. Da die als am meisten störend empfundenen Straßenverkehrsgeräusche bei tiefen Frequenzen ihre Ma-



xima aufweisen und fast alle Fassadenbauteile hier die geringste Schalldämmung aufweisen, sind die tiefen Frequenzen besonders zu berücksichtigen [Pietruschka et al. 2011].

### **3.2.5 Weitere generelle Effekte bei Modernisierungen**

Abgesehen von den zuvor aufgeführten, eher bauphysikalisch bedingten Aspekten gibt es noch eine Reihe weiterer Vorteile energetischer Modernisierungen, von denen einige im Folgenden kurz erläutert werden.

#### **Verbesserung der Lagermöglichkeiten für Vorräte im Keller**

Eine Haustechnik, die keine oder kaum Wärme an den Keller abgibt, spart nicht nur diese Energie, sondern sorgt auch für gleichmäßig niedrigere Temperaturen. Das verbessert die Lagermöglichkeit für Lebensmittelvorräte und Getränke.

#### **Einbruchschutz**

Moderne Fenster können noch eine Reihe weiterer Vorteile mit sich bringen, wie Barrierefreiheit, Einbruchschutz und Wartungsarmut.

#### **Anpassung von Nutzflächen und Fenstergrößen**

Auch die Größe der beheizten Nutzflächen kann im Rahmen einer energetischen Modernisierung angepasst werden (z. B. durch An- oder Dachgeschossausbauten). Gleiches gilt für größere und vielfältiger benutzbare Außenräume wie verglaste und/oder vergrößerte Balkone und Wintergärten. Zudem bietet es sich an, im Rahmen der Modernisierungsarbeiten Fenstergrößen je nach Bedarf zu vergrößern (mehr Tageslichteinfall wirkt sich positiv auf Stimmung und Gesundheit aus) oder zu verkleinern (was sommerliche Überhitzung reduzieren kann).

#### **Möglichkeit der Aufwertung des Erscheinungsbilds des Gebäudes (z. B. Strukturierung Fassade)**

Die Sanierung eines Gebäudes bietet auch Möglichkeiten zur Aufwertung des Erscheinungsbildes, was sich zudem positiv auf den Wiederverkaufswert auswirkt. Zu benennen sind hier beispielsweise die Material- und Farbgestaltung von Fassade, Dach sowie Aufteilung von Farbigkeit von Türen und Fensterrahmen (siehe Abb. 112).

**Abb. 112: Beispiele für ästhetische Aufwertung im Zuge energetischer Modernisierungen; Fotos jeweils vor und nach Durchführung der Maßnahmen**

	vorher	nachher
<p>Gutswohnhaus im Beelitzer Ortsteil Zauchwitz (Effizienzhaus Plus, u.a. 24 cm dicke Außenwand-Dämmung) (Quellen: [Finanztip o. J.] [Zink 2014])</p>		
<p>MFH Nürnberg Kollwitzstraße; u.a. 20-24 cm dicke Außenwanddämmung (Quellen: [Schulze Darup 2015], [WBG 2013])</p>		
<p>Nürnberg Pfeifergasse (Quelle: [Schulze Darup 2015])</p>		
<p>MFH Dennheritz, Baujahr 1882, Effizienzhaus 70, u.a. 16 cm Außenwand-Dämmung (Quelle: [dena o. J.])</p>		

## **Wertsteigerung**

Aufgrund der positiven Effekte energetischer Modernisierungen gehen diese in der Regel mit einer Wertsteigerung der betroffenen Immobilien einher. Laut dem Healthy Homes Barometer 2016 [VELUX Gruppe 2016] ist für 45 % der Deutschen eine Wertsteigerung als Antrieb für eine Renovierung sehr wichtig. Bei Bewohnern von Gebäuden, die nach 1989 gebaut wurden, ist der Wunsch, den Wert zu steigern, sogar noch etwas stärker (56 %).

## **Unabhängigkeit von Energiepreissteigerungen**

Ein geringer Energieverbrauch und die Nutzung erneuerbarer Energien führen zu einer größeren Unabhängigkeit von Energiepreissteigerungen.

## **Stromerzeugung für Mieter und/oder Dritte**

Im Rahmen von energetischen Modernisierungen kann durch die Installation von Photovoltaik-Anlagen und/oder Blockheizkraftwerken Strom lokal am Gebäude bzw. in dessen unmittelbarer Nähe produziert werden. Dieser kann, je nach Konzept und Speichermöglichkeiten, zu unterschiedlichen Anteilen direkt von den Bewohnern des Gebäudes bezogen oder in das öffentliche Netz eingespeist und damit Dritten zur Verfügung gestellt werden. Die Bewohner können so ein aktiver Beitrag zum Klimaschutz leisten und ihre Stromkosten stabil auf einem niedrigen Niveau halten.

## **Reduktion des eigenen Anteils am Treibhauseffekt / Reduktion von Umweltauswirkungen**

Der Vollzug der persönlichen Energiewende durch die geminderten Wärmeverluste des eigenen Hauses und den Umstieg auf erneuerbare Energien wie Solarwärme und Photovoltaikstrom beseitigt die „kognitive Dissonanz“ für den Bereich Wohnen. Dies meint die Tatsache, dass wir um den Umfang und die Gefahren Treibhausgasemissionen für folgende Generationen wissen und gleichzeitig zu wenig dagegen unternehmen, weil der Einzelne meint, sein Verhalten ginge im statistischen Rauschen vollständig unter. Das schafft Zufriedenheit und gibt gleichzeitig das gute Gefühl von Preisschwankungen auf den Märkten für fossile Energie künftig nicht mehr abhängig zu sein.

Gemäß Healthy Homes Barometer 2016 [VELUX Gruppe 2016] wäre es 45 % der Befragten sehr wichtig, bei einer Renovierung die Umweltauswirkungen ihres Zuhauses zu reduzieren.

### 3.3 Beleg durch Ergebnisse von Befragungen

#### 3.3.1 Wohnzufriedenheit und Technikakzeptanz

Der im vorhergehenden Abschnitt diskutierte, zusätzliche Nutzen eines guten energetischen Gebäudestandards über die verbesserte Energieeffizienz hinaus war auch Thema in verschiedenen Bewohnerbefragungen, die nicht nur, aber vor allem im Rahmen von Modellprojekten in besonders energieeffizienten Gebäuden durchgeführt wurden. Häufig handelt es sich dabei um die bereits im Kapitel 1.4 betrachteten Studien (siehe nachfolgende Übersichtstabelle), die sich zusätzlich zur Ermittlung des Energienutzungsverhaltens auch mit Fragen des Wohnkomforts, der Nutzerzufriedenheit und -akzeptanz befassten. Insbesondere im Zusammenhang mit Passivhäusern (z. T. auch Niedrigenergiehäusern) hatte das Thema kontrollierte Wohnungslüftung dabei einen besonders großen Stellenwert. Im Zentrum standen dann zumeist Fragen zur Beurteilung des Raumklimas und der Luftqualität sowie zur Zufriedenheit und zum Umgang mit der Technik.

**Tab. 69: Übersicht über die einbezogenen sozialwissenschaftlichen Studien**

Studie	Design	Gebäude*	Fallzahl	Nutzertyp
[Rohrman 1994]	Längsschnitt mit 9 Zeitpunkten über 2 Jahre; standardisierte persönl. Interviews; zusätzl. Wohnprotokoll	PH (Reihenhaus, Neubau)	n=4	Eigentümer
[Ewert 2000]	Befragung vor und drei Jahre nach Bezug	NEH mit Lüftungsanlagen (Neubau)	n = 113 (vor Einzug) n= ca. 300 (nach Bezug)	nicht bekannt
[Danner 2001]	Längsschnitt zu 3 Zeitpunkten (Methodenmix aus schriftlich und mündlich sowie quantitativ und qualitativ)	PH (Reihenhäuser, Neubau), VG (andere Haustypen)	n=26 bzw. n=22	Eigentümer (+ 1 Mieter)
[Keul 2001] <i>Österreich</i>	qualitative Interviews und quantitative Befragung (Semantisches Differential)	7 Siedlungen in Salzburg: 3 energiesparend (Neubau), 4 konventionell [+ 1 Siedlung aus Hauptprojekt ausgegliedert]	n=114 (Energiespar n=44; konventionell n=70)	Eigentümer und Mieter
[Rohracher et al. 2001] <i>Österreich</i>	schriftliche Befragung, ergänzt durch offene Interviews	Energiesparhäuser (EFH und MFH, Häuser mit Lüftungsanlage, Neubau)	n=144, davon n=92 (schriftl.) n=36 (mündl.) n=16 (Kurzfragebogen); Leitfadeninterviews mit n=28	Eigentümer und Mieter
[Ornetzeder & Rohracher 2001] <i>Österreich</i>	schriftliche Befragung, ergänzt um zwei Fokusgruppeninterviews	PH und NEH (verschiedene Haustypen, Neubau)	n=350	Eigentümer und Mieter
[Stieldorf et al. 2001] <i>Österreich</i>	mündliche Interviews: 1. Teil: Leitfadeninterview, 2. Teil: standardisierter Fragebogen	12 PH und NEH (MFH/EFH, Neubau)	n=42	Eigentümer und Mieter
[Flade et al. 2003]	Längsschnitt mit 4 Zeitpunkten; standardisierte persönl. Interviews	PH + NEH (Reihenhäuser; Neubau), KG (konventionell)	PH: n=21 NEH: n=24 KG: n=11	Eigentümer

Studie	Design	Gebäude*	Fallzahl	Nutzertyp
[Hübner 2003]	Längsschnitt mit 3 Zeitpunkten (persönl. Interviews)	PH (2 MFH, Neubau)	n=31	Mieter
[Emmerich et al. 2004]	schriftliche Vorher-Nachher-Befragung und zusätzlich vertiefende Interviews mit n=23	NEH (mehrere Wohnblöcke, Sanierung)	n=142/135	Mieter
[Dehli & Bouse 2004]	schriftliche Befragung	PH in Baden-Württemberg (Neubau)	n=50 (Grundgesamtheit)	Eigentümer
[proKlima 2006]	Vorher-Nachher-Befragung, 3 Zeitpunkten (1 vorher, 2 nachher); mündliche Interviews	NEH (2 MFH aus 1950er Jahre, Sanierung)	n=26/23/22	Mieter
[Schmidt et al. 2007]	Längsschnitt mit 2 Zeitpunkten	3-Liter-Haus (6 MFH, Sanierung)	n=16	Mieter
[ILS NRW 2007]	schriftliche Befragung	PH (v.a. EF, Neubau)	n=176	Eigentümer
[Treberspurg et al. 2009] Kap. 6 entspricht [Keul 2009] <i>Österreich</i>	schriftliche Befragung (z.T. Telefoninterviews)	PH (Neubau) und konventionell (als KG); MFH (jeweils mind. 15 WE) (6 PH-Standorte)	PH: n=225 konventionell: n=156	Eigentümer (n=86) und Mieter (n=139)
[Keul 2010] <i>Österreich</i>	schriftliche Befragung	8 PH-Siedlungen (Neubau) im Vergleich zu konventionellen Bauten	PH: n=324 konventionell: n=244	Mieter und Eigentümer
[Hacke et al. 2012]	standardisierte schriftliche Befragung	PH (3 MFH-Wohnblöcke aus 1950er Jahre, Sanierung)	n=52	Mieter
Mlecnik (2013) <i>Belgien</i>	schriftliche Befragung und zusätzliche Interviews	PH (EFH)	n=16	Eigentümer
[Baumann & Hacke 2018]; noch unveröffentlicht	schriftliche Befragung	PH (3 MFH-Wohnblöcke aus 1950er Jahre, Sanierung; 1 MFH Neubau)	n=73 (Rotlintstr.: n=46; Geisenheimer Str.: n=27)	Mieter

„NEH“ = Niedrigenergiehaus / „PH“ = Passivhaus

Zu berücksichtigen ist, dass die betrachteten Studien häufiger in Neubau- als in Modernisierungskontexten angesiedelt sind. Für die Eruiierung der Wohnzufriedenheit in energetisch sehr guten Gebäuden ist dies aber nach derzeitigen Erkenntnissen nicht relevant, sofern der Wärmeschutz vergleichbar ist. Die wenigen Untersuchungen, die Bewohnermeinungen sowohl zur Wohnsituation vor als auch nach einer energetischen Modernisierung beinhalten, sind jedoch aufgrund der hier möglichen Direktvergleiche besonders aussagekräftig.

Die befragten **Bewohner hocheffizienter Gebäude sind mit ihrer Wohnsituation zumeist sehr zufrieden**. Dies gilt für selbstnutzende Eigentümer, z. B.:

- [Rohrmann 1994]: über zwei Jahre und neun Befragungszeitpunkte hinweg stabil positives Gesamtbild (n=4, Passivhaus-Neubau)
- [Danner 2001]: über drei Befragungszeitpunkte hinweg hohe Gesamtwohnozufriedenheit (40% sehr zufrieden, 56% zufrieden) (n=22-26, Passivhaus-Neubau)
- [Flade et al. 2003]: über vier Befragungszeitpunkte hinweg hohe Wohnzufriedenheit, wobei sich die Bewohner von Passivhäusern (n=21, Neubau) und Niedrigenergiehäusern (n=24, Neubau) nicht unterschieden

genauso wie für Mieter in freifinanzierten und Sozialmietwohnungen, z. B.:

- [Hübner 2003]: über drei Befragungszeitpunkte hinweg hohe Zufriedenheitswerte der Sozialmieter („Für den leichten Rückgang nach der 2. Heizperiode lagen keine Gründe bei Temperierung, Luftqualität oder anderen Wohnungsmängeln vor.“, S. 10) (n=31, Passivhaus-Neubau)
- [Hacke et al. 2012]: berichtete Wohnzufriedenheit hoch (77% sehr zufrieden, 17% eher zufrieden) (n=52, Passivhaus mit freifinanzierten Mietwohnungen, Sanierung)
- [Baumann & Hacke 2018]: berichtete Wohnzufriedenheit sowohl in freifinanzierten (89% (sehr) zufrieden) als auch in Sozialmietwohnungen (78% (sehr) zufrieden) hoch (n=45 bzw. 27, Passivhaus-Sanierung)

[Keul 2010], der acht österreichische Energiespar-Siedlungen (ein Objekt eigentumsgemischt, übrige ausschließlich Mietwohnungen) evaluiert und mit konventionellen Gebäuden verglichen hat, ermittelte für die „Passivhaussiedler“ eine höhere Wohnzufriedenheit als für die Bewohner von Altbauten. Voraussetzung dafür war aber eine entsprechende Information und Technikvermittlung (S. 80).

Die ebenfalls aus Österreich stammende Untersuchung von [Ornetzeder & Rohrer 2001], die 350 Nutzer (Eigentümer + Mieter) ökologisch optimierter Wohngebäude überwiegend schriftlich befragt hatten, fand die höchste Wohnzufriedenheit im Einfamilienhausbereich vor: Selbstnutzende Eigentümer waren mit 88 % Zustimmung deutlich zufriedener als die Mieter mit 50 %. Als maßgeblichen Grund für die geringere Zufriedenheit der Mieter wurden aber nicht die energetischen Komponenten, sondern vielmehr die geringere Wohnfläche der Mietwohnungen im Zusammenhang mit weiteren Aspekten (z.B. ältere Öko-Siedlung; mehrgeschossig) angenommen. Anderslautend konnten die von [Stieldorf et al. 2001] durchgeführten Interviews mit 42 Eigentümern und Mietern von Passiv- und Niedrigenergiehäusern in Österreich dagegen keine generellen Unterschiede in der Einschätzung der Wohnzufriedenheit zwischen beiden Gruppen feststellen – beide Bewohntypen waren ausnahmslos hoch zufrieden und betonten den hohen Wohnkomfort und die hohe Lebensqualität in den Häusern (S. 117).

Diese zuletzt referierten Ergebnisse machen die Wichtigkeit einer Definition des Bezugsrahmens für „**Wohnzufriedenheit**“ deutlich. Im vorliegenden Kontext ist die Wohnzufriedenheit dabei ein Konstrukt, welches sich aus verschiedenen Teilaspekten und Komfortbewertungen zusammensetzt, die primär mit der energetischen Gebäudequalität<sup>16</sup> in Zusammenhang stehen. Nach [Danner 2001] bspw. liefern die von ihm beforschten Passivhäuser in der positiven Einschätzung der Bewohner

- eine gleichmäßige und ausreichende Wärme im Winter<sup>17</sup> und – bei geschlossenen Fenstern – angenehme Kühle im Sommer
- keine Strahlungskälte durch die Wände
- ein gutes Raumklima und eine gute Luftqualität
- geringe Nebenkosten
- einen Verzicht auf Heizkörper (bei Lüftungsanlage mit Zuluftheizung) und
- ein ruhiges Wohnen u.a. durch gute Schalldämmung.

Die Analyse von [Flade et al. 2003] ergab, dass der Beurteilung des **Raumklimas** für die Einschätzung der Gesamtwohnozufriedenheit eine entscheidende Rolle zukam. Unter Raumklima wurde die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur, mit der Frische der Luft, mit der Luftqualität und mit der Effizienz, mit der schlechte Gerüche beseitigt werden, verstanden. Beide Aspekte – Raumklima und Gesamtwohnozufriedenheit – korrelierten hochsignifikant ( $r = 0,532$ ,  $p < .01$ ; S. 90).<sup>18</sup>

Von besonderer Relevanz sind in diesem Kontext Forschungsarbeiten, die nicht nur den Zustand des aktuellen Wohnens in einem energieeffizienten Gebäude beleuchten, sondern eine Verknüpfung zur vorherigen Wohnsituation im unsanierten Gebäude herstellen können. Die Untersuchung von [Emmerich et al. 2004], die die Sanierung mehrere Wohnblöcke zum Niedrigenergiehaus be-

<sup>16</sup> Die Wohnzufriedenheit beinhaltet darüber hinaus weitere Einflussfaktoren wie Wohnungsmerkmale (Größe, Zuschnitt, Ausstattung), Lage, Wohnumfeldqualität usw., die hier aber weitgehend ausgeklammert werden.

<sup>17</sup> 96 % (1. Befragung) bzw. 71% (2. Befragung) waren (sehr) zufrieden; Unterschiede zwischen beiden Jahren wurde erklärt durch die wahrgenommene niedrige Luftfeuchtigkeit [Danner 2001]

<sup>18</sup> Der Korrelationskoeffizient  $r$  kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen, wobei der Wert 0 keinen Zusammenhang zwischen beiden Variablen feststellt. Bei Werten zwischen  $> 0,5$  bis  $0,7$  wird von einem hohen (in diesem Fall positiven) Zusammenhang gesprochen.

gleitete und in der die Mieter (n=135-142) sowohl vor als auch nach Sanierung schriftlich befragt wurden, ermittelte, dass sich der Anteil der sowohl im Winter als auch im Sommer mit den tatsächlich herrschenden **Raumtemperaturen** Zufriedenen nach Modernisierung noch deutlich erhöht hat (S. 115). Besonders offensichtlich waren die Verbesserungen durch die Modernisierung bei der **Verminderung von Zugerscheinungen** in der Wohnung – in der Vorherbefragung fühlten sich noch zwei Drittel der Befragten dadurch erheblich beeinträchtigt, in der Nachherbefragung spürte gut die Hälfte überhaupt keinen Zug mehr (S. 116). Bei knapp der Hälfte der Befragten weiterhin festgestellte Zugerscheinungen wurden auf die möglicherweise nicht-optimale Funktion der Lüftungsschlitze als Ursache zurückgeführt. Insgesamt waren 80% der Befragten mit dem Ergebnis der Modernisierung (sehr) zufrieden. Die Aspekte mit besonders hoher Zustimmung waren: Erscheinungsbild, kein Zug mehr, Türen dicht, im Winter wärmer, Wohnqualität (S. 120).

Die von [proKlima 2006] durchgeführte sozialwissenschaftliche Begleitforschung der Modernisierung im bewohnten Zustand von zwei Mietwohngebäuden im Niedrigenergiehausstandard, bei der die Bewohner (n=22-26) sowohl einmal vorher als auch zweimal nachher mündlich interviewt wurden, ergab ebenfalls eine nach Modernisierung gestiegene Zufriedenheit mit der Wärmeversorgung. Diese beinhaltete eine Zunahme der **Zufriedenheit mit den Wand- und Fußbodentemperaturen** und die beinahe vollständige Zustimmung der Befragten, dass es **in Fensternähe wärmer** geworden ist. Nach der Sanierung wurde keine (bis kaum noch) Zugluft mehr wahrgenommen, die vorher von gut 40 % der Befragten häufig festgestellt wurde. Im Fazit der Autoren bezog sich die festgestellte Erhöhung des Wohnkomforts aufgrund der Modernisierung vor allem auf folgende Effekte (S. 45): gleichmäßige und dauerhafte Wärme in der Wohnung, keine Strahlungskälte an Außenwänden, keine Zugluft an Fenstern und Wohnungstür.

[Hacke et al. 2012] hatten ihre befragten Passivhaus-Mieter um einen Vergleich zur vorherigen Wohnung gebeten. Die Antworten auf die offen formulierte Frage nach Unterschieden im Passivhaus ähnelten dabei sehr den oben bereits aufgezählten Aspekten. So gaben knapp 40 % der 52 Befragten die niedrigen Heizkosten im Passivhaus als Vorteil an. Als weitere günstige Eigenschaften benannten sie ebenfalls dessen „angenehme und konstante raumklimatische Bedingungen, die gleichmäßige Wärme bei fehlenden störenden Heizkörpern (bei Lüftungsanlage mit Zuluftheizung) und die Möglichkeit, umweltfreundlich zu wohnen. Positiv beschrieben wurde zudem der Wohnkomfort sowie die gute Schalldämmung und Luftqualität.“ (S. 14)

Die bei [Hacke et al. 2012] ebenfalls benannten Nachteile, die zahlenmäßig einen deutlich geringeren Anteil aufwiesen, beschrieben – neben den vergleichsweise hohen Wohnkosten – die in allen Zimmern der Wohnung gleichmäßige Raumtemperatur, die vor allem als Kritik an den als zu warm empfundenen **Schlafzimmertemperaturen** in der Heizperiode gesehen wurde. 45% der Befragten fanden die Schlafzimmertemperaturen zu hoch. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch bereits die Studie von [Danner 2001], wonach 45% (Befragung 1) bzw. 57% (Befragung 2) die Möglichkeit einer raumspezifischen Temperaturregelung – insbesondere in Bezug auf die Regulierung der Schlafzimmertemperaturen – vermissten.<sup>19</sup> [Hacke et al. 2012] vermuteten in diesem Kontext jedoch Gewöhnungseffekte, denn die Befragten mit der längsten Wohndauer (drei Heizperioden) empfanden die Schlafzimmertemperaturen nur noch zu 35 % als problematisch, während die Befragten mit einer Heizperiode Wohnerfahrung zu 50 % zustimmten.

[Flade et al. 2003] ermittelten Gewöhnungseffekte auch hinsichtlich der für Gebäude mit Lüftungsanlage fehlenden Notwendigkeit zur Fensterlüftung: „Nach längerem Wohnen im Energiesparhaus wird das Geschlossenhalten der Fenster nicht mehr als Komfortminderung erlebt. Es scheint den Haushalten nicht schwer zu fallen, auf die im Normalfall vorhandenen zusätzlichen Funktionen des Fensteröffnens zu verzichten.“ (S. 64) Bei [Danner 2001] z.B. hatten 20 % seiner Befragten die Empfehlung des Geschlossenhaltens der Türen und Fenster im Winter als Komfortverlust beurteilt.

Zum Teil werden in den Studien auch Vorzüge für die **Innentemperaturen im Sommer** benannt. So waren z.B. bei [Danner 2001] 98% seiner Befragten mit den vergleichsweise kühlen Innentemperaturen im Sommer – bei geschlossenen Fenstern – zufrieden. Auch die von [Hübner et al. 2003] dreimalig befragten Mieter der ersten neugebauten Passivhaus-Mehrfamilienhäuser empfanden die neuen Technologien als Zugewinn an Komfort im Sommer. Bei Lüftungsanlagen mit

<sup>19</sup> Von 20 % wurde zudem ein kühler Vorratsraum vermisst [Danner 2001].

Erdwärmetauscher wird die Kühlung der Luft im Sommer als angenehm empfunden [Rohracher et al. 2001].

Hinsichtlich der **Luftqualität** bei maschineller Belüftung kommen etliche Studien ebenfalls zu einem positiven Schluss: Die meisten der jeweils Befragten bewerten die Luftqualität in der Wohnung insgesamt gut, Abstriche werden ggf. bei der Beurteilung der Luftfeuchte im Winter gemacht, z. B.:

- [Danner 2001]: 96 % der befragten Eigentümer halten Luftqualität im Winter für gut bis sehr gut; 20 % empfinden die Luftfeuchtigkeit für deutlich, 48 % für etwas zu trocken
- [Stieldorf et al. 2001]: bei hoher Gesamtzufriedenheit der Eigentümer und Mieter wird Luft im Winter oft als zu trocken empfunden (S. 117)
- [Hübner et al. 2003]: „Die für die Mieter als wesentliche Neuerung zu nutzende und zu bedienende Lüftungsanlage erreichte hohe Akzeptanz und liefert eine ausgezeichnete Raumluftqualität.“ (S. 51)
- [Schmidt et al. 2007]: „Die Effektivität der Lüftungsanlage bei akuter Geruchsbelästigung wurde als „gut“ eingestuft.“ (S. 73)
- [ILS 2007]: 21 % der knapp 180 befragten selbstnutzenden Eigentümer empfinden Raumluft im Winter als zu trocken
- [Hacke et al. 2012]: 90 % der befragten Mieter sind mit der Frische der Luft zufrieden (52 %) oder eher zufrieden (38 %; S. 46)

Ein weiteres häufiges Element in Bewohnerbefragungen zur Nutzerzufriedenheit ist die Ermittlung der **Akzeptanz von baulich-technischen Neuerungen wie z.B. Lüftungsanlagen**. Dabei geht es vor allem um Einschätzungen der zugrundeliegenden Anlagentechnik insgesamt oder im Hinblick auf Teilaspekte wie z.B. die individuelle Regelbarkeit oder Geräuschentwicklung.

Offensichtlich wird das Vorhandensein von Lüftungsanlagen von den Nutzern grundsätzlich geschätzt. Die von [Ewert 2000] ca. drei Jahre nach ihrem Einzug in ein hocheffizientes Gebäude befragten etwa 300 Bewohner fanden das Leben in einem Haus mit Lüftungsanlage zumeist ausgesprochen bequem (50 % „voll und ganz zutreffend“; 34 % „eher zutreffend“). Die Befragten von [Danner 2001] waren zu 96 % (sehr) zufrieden mit der Lüftungsanlage, zu 88 % fiel ihnen auch die Umgewöhnung leicht. Die von [Emmerich et al. 2004] befragten Bewohner bewerteten das nach der Modernisierung für sie neue Lüftungssystem zu 88 % als sinnvoll. Auch bei [Schmidt et al. 2007] schnitt nach Meinung der Befragten eine automatische Belüftung im Vergleich zu einer nur über die Fenster gelüfteten Wohnung positiv ab. Insbesondere bei einer starken Geruchsbelästigung (z.B. durch Rauchen) führte die Lüftungsanlage in der Einschätzung von Teilen der Befragten zu einer deutlich besseren Raumluftqualität – verglichen mit der früher bewohnten Wohnung ohne Lüftungsanlage. Die in der Nutzerbefragung von [Dehli & Bouse 2004] zusammengetragenen Erkenntnisse wiesen ebenfalls darauf hin, dass die überwiegende Zahl der Bewohner mit der Lüftungstechnik zufrieden war. Dies galt im Wesentlichen auch für die ebenfalls betrachtete Wärmepumpentechnik.

[Rohracher et al. 2001] konstatierten als ein Ergebnis ihrer Befragungen, dass ihren Interviewten nach einer gewissen Eingewöhnungszeit auffiel, dass das Raumklima in anderen Häusern ohne Lüftungsanlage nicht so angenehm war (S. 71). Die österreichischen Autoren, die sich in ihrer Studie schwerpunktmäßig mit Akzeptanzverbesserungen bei Niedrigenergiehaus-Komponenten auseinandergesetzt haben und dazu 144 Nutzer standardisiert befragt und mit weiteren 30 Personen ergänzende offene Interviews durchgeführt haben, stellten ferner fest, dass die Zufriedenheit mit einer kontrollierten Wohnungslüftung mit der Möglichkeit der individuellen Regulierbarkeit der Lüftungsanlagen korreliert. Außerdem seien unzureichender Informationsstand und mangelnde Funktionsfähigkeit wesentliche Faktoren für Unzufriedenheit. Dabei handelt es sich demnach um Aspekte, die grundsätzlich (leicht) behebbar erscheinen.

Kritik, die laut [Stieldorf et al. 2001] in (österreichischen) Mehrfamilienhäusern mit Passivhausstandard relativ häufiger als in Einfamilienhäusern geäußert wird, lässt sich auf die nach Meinung der Autoren – wie auch schon oben festgestellt – eingeschränkte Temperaturregelbarkeit der Woh-



nung insgesamt oder der Räume untereinander, die Luftqualität (Luft wird im Winter oft als zu trocken empfunden) sowie die Geräusentwicklung von Lüftungsanlagen zurückführen (S. 117).

Die Geräusentwicklung durch die Lüftungsanlage ist ein wiederkehrendes Thema in Befragungen dieser Art. Die Mehrheit der jeweils Befragten scheint sich jedoch keinen (erheblichen) Beeinträchtigungen ausgesetzt zu fühlen. So ermittelten z.B. [Danner 2001] für Eigentümer in Reihenhäusern und [ILS 2007] für Einfamilienhäuser (wahrscheinlich verschiedenen Typs) Anteile von 88 % bzw. 85 % der Befragten, die sich durch die Geräusentwicklung nicht gestört fühlen. Für die befragten Mieter bei [Hacke et al. 2012] lag dieser Anteil mit 55 % niedriger (Anteile „stimme überhaupt nicht zu“ bzw. „stimme eher nicht zu“ zur Aussage „Die Lüftungsanlage macht störende Geräusche.“) und scheint damit die oben bei [Stieldorf et al. 2001] festgestellten Unterschiede zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern zu bestätigen. Laut [Rohracher et al. 2001, S. 70ff] wird die Geräusentwicklung der Anlagen dann als Problem beschrieben, wenn es – wie in der Nacht – besonders ruhig ist. Auch wenn man sich prinzipiell daran gewöhnen könne, kann es dennoch störend für die Nachtruhe wirken und führte bei einem Teil der Interviewten zum nächtlichen Abschalten. Primär hoben die Befragten jedoch die hohe Luftqualität durch die permanente Lüftung als Vorteil und Steigerung der Wohnqualität hervor – auch mit Hinweis auf das Schlafzimmer.

Weitere Vorteile, die sich aus einer kontrollierten Wohnungslüftung ergeben, sind in sozialwissenschaftlichen Studien seltener beschrieben worden:

Die von [Rohracher et al. 2001] Befragten stellten eine **geringere Lärmbelästigung z.B. durch Verkehrslärm** beim Schlafen fest, weil mit geschlossenen Fenstern, aber trotzdem frischer Luft geschlafen werden kann. Die gute Schalldämmung wurde auch bei den von [Danner 2001] befragten Eigentümern und den von [Hacke et al. 2012] befragten Mietern als Komfortgewinn angeführt.

Die **bessere Nutzbarkeit der Räume durch fehlende Heizkörper** bei Lüftungsanlagen mit Zuluftheizung ist ebenfalls ein positiver Effekt, den sowohl Eigentümer (z. B. [Danner 2001]) als auch Mieter (z. B. [Hacke et al. 2012]) zu schätzen wissen.

[Keul 2001] beschäftigte sich zusätzlich mit dem Thema **Wohngesundheit** und ermittelte im Vergleich von verschiedenen Effizienzstandards, dass „Negativkommentare“ über Feuchte und Schimmelbefall in 20 % der konventionellen Gebäude, jedoch in keinem der einbezogenen Energiesparhäuser gegeben wurden. [Treberspurg et al. 2009] haben mit Hilfe einer SWOT-Analyse<sup>20</sup> die Stärken und Schwächen des Passivhausstandards zusammengetragen (für eine Übersicht siehe S. 111). Neben der fehlenden Schimmelbelastung finden sich dort für die Gesundheit förderliche Aspekte wie eine erholsamere Schlafphase sowie eine geringere Pollen- und Feinstaubbelastung. Genannt wurden aber auch **Vorteile monetärer Art** – z. B. geringere Lebenszykluskosten als im konventionellen Neubau, der irgendwann noch einmal thermisch verbessert werden müsse.

[Mlecnik et al. 2013] werteten verschiedene Studien, aber auch eigene Befragungsergebnisse mit dem Ziel aus, aus den Nutzererfahrungen Vorschläge für die Verbesserung der Passivhauszertifizierung zu erarbeiten. Dabei stellten sie u.a. fest, dass die Bewohner den energetischen Nutzen eines Passivhauses zwar wahrnahmen, den nicht-energetischen Aspekten (bessere Luftqualität, vermindertes Asthmarisiko, höhere Komfortlevels, höherer Marktwert) aber ein ebenso großes, wenn nicht sogar größeres Gewicht beimaßen.

### 3.3.2 Sanierungsmotive von Eigentümern

Neben Themen der Wohnzufriedenheit in einem energetisch ertüchtigten Gebäude ist es ferner interessant zu betrachten, welche Motive Eigentümer anführen, die eine energetische Modernisierung ihres Hauses durchgeführt haben. Dabei ist zu unterscheiden, ob es sich um selbstnutzende oder vermietende Eigentümer handelt. Dazu wurden weitere Forschungsarbeiten ausgewertet, über die in der nachfolgenden Tabelle eine Übersicht zu Studiendesign und Fallzahlen gegeben wird. Arbeiten, die auch die Sicht von vermietenden Privateigentümern erfasst haben, sind dabei besonders rar.

<sup>20</sup> SWOT = Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Bedrohungen)

**Tab. 70: Übersicht über die einbezogenen sozialwissenschaftlichen Studien**

Studie	Design	Fallzahl
[Stieß et al. 2009]	Leitfadengestützte qualitative Interviews; explorative Vorstudie zu [Stieß et al. 2010]	44 selbstnutzende Eigenheimbesitzer
[Stieß et al. 2010]	Standardisierte persönliche Interviews; bundesweite Stichprobenziehung mit Hilfe eines Screening-Bogens (Ziel: Personen, die in den Jahren 2005-2008 größere Sanierungsmaßnahmen an Gebäudehülle oder Heizungssystem durchgeführt)	1.008 selbstnutzende Eigenheimbesitzer, 541 „energetische Sanierer“ + 467 „Standard-Sanierer“
[KfW & IW Köln 2010]	Postalische Befragung; regional geschichtete Stichprobenauswahl aus den Teilnehmern entsprechender KfW-Förderprogramme	5.546 Private, 251 Unternehmen
[Achtnicht & Madlener 2012]	Standardisierte persönliche Interviews (inkl. Choice Experiment) nach telefonischem Screening	408 Eigenheimbesitzer
[Gossen & Nischan 2014]	Leitfadengestützte qualitative Interviews in einer wachsenden (Stadt Potsdam + Kreis Potsdam-Mittelmark) und einer schrumpfenden Region (Planungsregion Lausitz-Spreewald)	60 Eigenheimbesitzer, davon: 56 Selbstnutzer (38 Sanierer, 10 Planer, 8 Nicht-Sanierer) und 4 Vermieter
[Wohnen im Eigentum e.V. 2017]	Standardisierte Online-Befragung	2.035 Befragte (zu 90% WEG; 80% Selbstnutzer, 20% Vermieter)
[Renz & Hacke 2015]	Leitfadengestützte persönliche Interviews in drei Kommunen (wachsend: Heidelberg + Fürth/Bayern; schrumpfend: Herne); Rekrutierung mit Hilfe eines Screening-Bogens	32 Privateigentümer, davon: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 21 selbstnutzende Eigentümer und 11 Vermieter bzw.</li> <li>• 17 Ein-/Zwei- und 15 Mehrfamilienhäuser bzw.</li> <li>• 16 Sanierer (umfangreiche energetische Modernisierung max. 5 Jahre zurückliegend), 12 „Mischtypen“ (mit kleineren umgesetzten energetischen Maßnahmen), 4 Nicht-Sanierer</li> </ul> 4 institutionelle Vermieter unterschiedlicher Rechtsform

Wie die betrachteten Studien ähnlich lautend festgestellt haben, ist die Entscheidung für eine energetische Modernisierung komplex und von verschiedensten Einflussfaktoren – das Gebäude, die persönliche Lebenssituation und Zukunftsperspektive betreffend – abhängig.

### Sanierungsmotivation selbstnutzender Eigentümer

Für selbstnutzende Eigentümer nimmt die beabsichtigte **Senkung des Energieverbrauchs und der Energiekosten** eine prominente Position in ihren Überlegungen ein. Dies steht dabei häufig auch im Zusammenhang mit der Unabhängigkeit von fossiler Energie:

- So stellte die Erhebung [KfW & IW Köln 2010] mit mehr als 5.500 befragten Privateigentümern, die ein entsprechendes KfW-Förderprogramm in Anspruch genommen hatten, fest, dass über 80 % der Teilnehmenden in der Modernisierung eine Möglichkeit gesehen hatten, sowohl Energiekosten zu sparen als auch unabhängig von (steigenden) Energiepreisen zu sein.
- Bei [Stieß et al. 2010], die „energetische Sanierer“ mit „Standard-Sanierern“ verglichen hatten, stellten die Senkung des Energieverbrauchs (90 % Zustimmung) und der Heizkosten (Zustimmung 87 %) die wichtigsten Sanierungsmotive der energetischen Sanierer dar (zum Vergleich: Zustimmung der Standard-Sanierer 29 % bzw. 27 %). In der qualitativen Vorstudie [Stieß et al.

2009] war zudem die Unabhängigkeit von fossiler Energie als Grund für die Sanierungsentcheidung angeführt worden.

- Bei [Achnicht & Madlener 2012], die mit Hilfe eines Choice Experiment-Designs Treiber und Hemmnisse für energetische Modernisierungen bestimmten, waren die hohen Energiekosten mit 65 % Zustimmung das wichtigste Sanierungsmotiv.
- Bei [Gossen & Nischan 2014] gehörten für die 38 interviewten Sanierer die Energie- und Kosteneinsparungen (wichtigstes Motiv) und die Unabhängigkeit von fossiler Energie (drittwichtigstes Motiv), die erwartungsgemäß häufiger bei der Verwendung regenerativer Energien zum Tragen kam, zu den Treibern für die durchgeführten Modernisierungen. Letzteres hatte laut den Autorinnen eine starke emotionale Komponente, nämlich „autark von unberechenbaren Energiepreisentwicklungen zu sein“ (S. 24).
- Auch für die von [Renz & Hacke 2015] interviewten 16 Sanierer mit selbstgenutztem Eigentum gehörten ökonomische und ökologische Überlegungen zu den fünf wichtigsten Entscheidungsmotiven für eine energetische Modernisierung.
- Eine solche Argumentation ließ sich zumindest zum Teil auch in der Studie von [Wohnen im Eigentum e.V. 2017] wiederfinden, in der über 2.000 überwiegend Selbstnutzer in Wohneigentümergeinschaften befragt worden waren. Hier traf die Senkung der Energie- und Wasserkosten bei 44 % der Befragten auf Zustimmung.

Die **Verbesserung der Wohnqualität** ist ebenfalls ein wiederkehrend wichtiges Motiv bei Modernisierungen durch selbstnutzende Eigentümer:

- Die von [Stieß et al. 2009] qualitativ interviewten 44 Eigenheimbesitzer, die ihr Wohnhaus umfangreich energetisch saniert hatten, argumentierten mit mehr Behaglichkeit im Winter und einem besseren Raumklima im Sommer. Die Modernisierung kam ihrer Meinung nach dabei auch einer Wohnflächenerweiterung gleich – mit Verweis auf die ganzjährig bessere Nutzbarkeit des Dachgeschosses ohne Wärmeverluste nach oben im Winter und weniger Überhitzung im Sommer. Auch der Keller konnte nach der Sanierung besser genutzt werden. Diese Ergebnisse konnten in der anschließenden standardisierten Befragung [Stieß et al. 2010] von mehr als 540 „energetischen Sanierern“ (im Vergleich zu etwas 460 „Standard-Sanierern“) weitgehend bestätigt werden. Zwei Drittel der befragten Sanierer gaben dabei an, dass es im Haus angenehmer und gemütlicher geworden ist. In 44 % der Fälle heizten sich die Gebäude im Sommer weniger auf.
- Bei [Achnicht & Madlener 2012] war der Wunsch nach Komforterhöhung das drittwichtigste Sanierungsmotiv (37 % Zustimmung, n = 408).
- Auch bei [Gossen & Nischan 2014] stellte sich der Wunsch nach einer gesteigerten Wohnqualität als – in diesem Fall – zweitwichtigstes Sanierungsmotiv heraus. Die Zufriedenheit mit dem Wohnkomfort nach Sanierung war beinahe ausschließlich hoch. Die Verbesserung des Wohnklimas in Winter und Sommer ist dabei allerdings nur eines von mehreren Motiven, da aus Sicht der Befragten eine Verbesserung auch ohne energetische Modernisierung erreicht werden kann (notwendige Instandsetzung, optische Verbesserung). Als Fazit wurde daher das „Kopplungsprinzip“ besonders hervorgehoben.
- Auch bei [Renz & Hacke 2015] zählte die Erhöhung des Wohnkomforts zu den fünf am häufigsten genannten Argumenten für die Modernisierung des selbstgenutzten Eigentums.

Die oben angesprochene **Kopplung von Instandhaltung oder Instandsetzung mit energetischen Maßnahmen** stellt offensichtlich ein wichtiges Motiv für energetische Sanierer dar, dem z.B. in [KfW & IW Köln 2010] über 80 % der mehr als 5.500 befragten privaten KfW-Fördermittelnehmer mit Hinweis auf die Substanzerhaltung der Objekte zustimmten. [Achnicht & Madlener 2012] ermittelten einen Anteil von 46 % Befragten, die eine energetische Sanierung im Kontext von Renovierungsbedürftigkeit durchführten. Bei [Renz & Hacke 2015] zeigte allerdings der Vergleich mit den dort ebenfalls interviewten Nicht-Sanierern, dass die Behebung von Mängeln bzw. Schäden am Haus oder defekten bzw. nicht mehr zeitgemäßen baulich-technischen Elementen nicht zwangsläufig im Zusammenhang mit Verbesserungen in energetischer Hinsicht stehen (S. 32).

Zu weiteren Argumenten selbstnutzender Eigentümer im Hinblick auf durchgeführte energetische Modernisierungen, die ebenfalls deren nicht-energetischem Nutzen zugerechnet werden können, zählen:

➤ langfristiger Werterhalt und Wertsteigerung

- Bei [Stieß et al. 2009] wird der langfristige Werterhalt auch im Hinblick auf eventuelle Nutzungsänderungen gesehen. „Wertsteigerung ist ein verbreitetes Ziel von Maßnahmen zur Verbesserung von Wohnqualität und Komfort. Der konkrete Nutzen von Modernisierungen mit energetischem Charakter wird allerdings vielfach ambivalent eingeschätzt.“ (S. 25)
- Letztgenanntes deckt sich mit den Ergebnissen von [Gossen & Nischan 2014], wonach die Einschätzungen regional unterschiedlich ausfallen: Bezogen auf schrumpfende Regionen könne der allgemeine Wertverlust bei Immobilien auch nicht durch Sanierungsmaßnahmen aufgehoben werden (S. 25). Das Thema „Wertsteigerung“ wurde in der wachsenden Region zwar häufiger benannt, gleichwohl stellte dieser Aspekt kein prioritäres Sanierungsmotiv dar, weil im Regelfall keine Verkaufsabsichten bestanden.
- Die von [Wohnen im Eigentum e.V. 2017] befragten WEG-Bewohner befürworteten zu 86 % Sanierungsmaßnahmen zum Werterhalt der Wohnanlage, die – einschränkend – jedoch nicht unbedingt energetischer Natur sein müssen (z.B. Anbringen von Balkonen).

➤ Beitrag zum Umweltschutz bzw. Klimaschutz:

- Sanierungsmotive auf Basis ökologischer Überlegungen zeigten sich häufig in den Resultaten bei [KfW & IW Köln 2010], [Gossen & Nischan 2014], [Renz & Hacke 2015]. [Achtnicht & Madlener 2012] stellten dies als viertwichtigstes Sanierungsmotiv (Zustimmung 29 %) heraus.
- [Ornetzeder & Rohrer 2001], die in österreichischen Öko-Siedlungen Unterschiede zwischen Mietern und Eigentümern hinsichtlich ihrer Wohnmotive analysiert hatten, stellten fest, dass die befragten Eigentümer deutlich häufiger Motive mit Ökologiebezug (ein umweltfreundlichen Gebäude, reduzierter Energieverbrauch usw.) als wichtig erachteten als Mieter (S. 36f).

➤ z.T. Kopplung energetischer Sanierung mit Veränderungen im Hinblick eines altersgerechten Wohnens, was – insbesondere vor dem Hintergrund der finanziellen Leistungsfähigkeit der Eigentümer – gleichzeitig eine Konkurrenzentscheidung bedeuten kann [Stieß et al. 2009].

## Sanierungsmotivation vermietender Privateigentümer

Die beiden qualitativen Studien ([Gossen & Nischan 2014] und [Renz & Hacke 2015]), die Aussagen zu Modernisierungsmotiven von privaten Kleinvermietern erlauben, kommen gleichlautend zu dem Schluss, dass die Senkung des Energieverbrauchs oder die Steigerung des Wohnkomforts eine im Vergleich zu den Selbstnutzern deutlich niedrigrangigere Bedeutung haben. Hauptgrund dafür ist die Tatsache, dass die Vorteile dieser beiden Effekte einer energetischen Modernisierung allein den Mietern zugutekommen (Stichwort: Investor-Nutzer-Dilemma). Auch in der größer angelegten quantitativen Studie von [KfW & IW Köln 2010] wurde die Möglichkeit Energiekosten zu sparen von Vermietern als deutlich weniger wichtig erachtet als von Selbstnutzern.

Gleichwohl arbeiteten [Gossen & Nischan 2014] heraus, dass der Energieverbrauch vor dem Hintergrund der (besseren) Vermietbarkeit der Immobilien dennoch eine nicht unwesentliche Rolle spielt, die im Gegensatz zu den selbstnutzenden Eigentümern hier auch keine regionalen Unterschiede aufweist: „Die Wichtigkeit des Motivs [bessere Vermietbarkeit der Immobilie] hängt mit dem gestiegenen Bewusstsein für Energieeffizienz von (potenziellen) MieterInnen zusammen. Die Erfahrungen der VermieterInnen zeigen, dass Interessenten bzgl. der Energiekosten anspruchs-

voller geworden sind und durchaus nach dem Heizkostenverbrauch der Mietwohnungen fragen. Eine energetische Sanierung steigere dementsprechend die Attraktivität der Wohnobjekte.“ (S. 26) Ein wichtiges Motiv von Vermietern für eine energetische Sanierung ist demnach der Werterhalt der Immobilie bzw. die Sicherstellung der Vermietbarkeit: Bei [KfW & IW Köln 2010] sahen die befragten Vermieter bspw. die Substanzerhaltung als wichtigsten Sanierungsgrund an. Die von [Gossen & Nischan 2014] interviewten Vermieter erachteten Werterhalt und Wertsteigerung der Immobilien als tendenziell wichtig, da sie „einen direkten Einfluss auf die Höhe der Mietpreise haben können“ (S. 25). Gleichwohl fand von den Interviewten überwiegend keine Umlage der Sanierungskosten auf die Mieter statt, was auch auf zu wenig Erfahrung mit diesem Instrument zurückgeführt wurde. Auch bei [Renz & Hacke 2015] zogen die befragten Vermieter die Modernisierungsumlage als mögliches Instrument zur Refinanzierung der Modernisierungskosten nur sehr selten in Betracht.

Weitere seltener genannte Aspekte waren die Steigerung des Verkaufswerts oder die Realisierung anderer Vorteile wie Lärmschutz [KfW & IW Köln 2010].

### 3.4 Zusammenfassung

Die Bewertung des Nutzens energetischer Modernisierungen wird häufig auf den Vergleich der eingesparten Energiekosten mit den Kosten der Einsparmaßnahmen reduziert. Dieser Ansatz lässt andere relevante Vorteile außer Acht und unterschätzt den Gesamtnutzen, den die Modernisierungsmaßnahmen mit sich bringen.

Auf der makroökonomischen Ebene tragen energetische Modernisierungen dazu bei eine Volkswirtschaft vor Risiken zu schützen, die z. B. der Klimawandel, eine vom Ausland abhängige Energieversorgung oder hohe energiebedingte Nebenkosten mit sich bringen. Darüber hinaus sind weitere positive Effekte zu beachten, etwa in Bezug auf Wertschöpfung, Beschäftigung und Produktivität.

Auf der mikroökonomischen Ebene können diverse Parameter energetischer Modernisierungen insbesondere das Behaglichkeitsempfinden und die Gesundheit der Bewohner wesentlich beeinflussen. Hierzu zählen gleichmäßig höhere Oberflächen- und Raumtemperaturen im Winter, Vermeidung von Überhitzung im Sommer sowie ganzjährig eine nutzerunabhängige und bedarfsgerechte Lüftung. Als weitere positive Aspekte können u. a. ein verbesserter Schall- und/oder Einbruchschutz, die Aufwertung des Erscheinungsbilds oder die Wertsteigerung des Gebäudes benannt werden. Die Relevanz dieser Zusatznutzen wird unter anderem auch im Rahmen von Bewohnerbefragungen deutlich.

In diesem Zusammenhang lässt sich festhalten, dass befragte Bewohner gut gedämmter Gebäude – egal ob Mieter oder Eigentümer – das Wohnen darin im Allgemeinen als sehr komfortabel wahrnehmen. Dies wurde in verschiedenen Befragungen – zum Teil über längere Zeiträume mit mehreren Befragungszeitpunkten hinweg – gleichlautend positiv beschrieben. Besonders hervorgehoben wurden dabei die gleichmäßige Wärme aufgrund fehlender Strahlungskälte von Wänden, Fenstern und Böden und verminderte Zugserscheinungen im Winter sowie ein angenehmeres Innenklima im Sommer. Forschungsarbeiten, die Vergleiche zur (vorherigen) unsanierten Wohnsituation herstellen konnten, konstatierten hier unisono Zufriedenheitszuwächse hinsichtlich des allgemeinen Wohnkomforts und insbesondere der Raumtemperaturen während der Heizperiode und strichen auch – wo erhoben – das bessere Erscheinungsbild der Gebäude insgesamt heraus. In der Einschätzung selbstnutzender Einfamilienhausbesitzer kamen die durchgeführten Dämmmaßnahmen auch Wohnflächenerweiterungen gleich, weil Keller und Dachböden danach besser nutzbar waren.

In Gebäuden mit Lüftungsanlagen (vor allem Passivhäuser) wird die Luftqualität zumeist als sehr gut beurteilt – mit positiven Auswirkungen auf die Wohngesundheit. Bei Anlagen mit Zuluftheizung wird zudem die bessere Nutzbarkeit der Räume aufgrund fehlender Heizkörper geschätzt. Teilweise Kritik machte sich an einer zu geringen Luftfeuchte im Winter, der fehlenden raumweisen Regulierbarkeit (besonders bezogen auf gewünscht kühlere Schlafzimmer) und der anlagenbedingten Geräuschentwicklung fest. Hierzu ließen sich einerseits teilweise Gewöhnungseffekte feststellen. Andererseits stellten einzelne Befunde heraus, dass Nutzerinformation und sichergestellte Funkti-

onsfähigkeit der Anlage eng mit der Nutzerzufriedenheit verwoben sind und insbesondere im Mietwohnbereich noch optimiert werden sollten.

Die Motivation von privaten Eigentümern für eine energetische Sanierung wird von verschiedenen Themen beeinflusst, die sich zwischen selbstnutzenden und vermietenden Privateigentümern durchaus unterscheiden. Neben der von Selbstnutzern beabsichtigten Senkung des Energieverbrauchs/der Energiekosten – z. T. mit Wunsch nach Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern – spielt die Erhöhung des Wohnkomforts und der Behaglichkeit eine prominente Rolle. Dazu wurden laut Befragung der privaten KfW-Fördermittelnnehmer [KfW & IW Köln 2010] häufig anstehende Instandhaltungs-/Instandsetzungsanforderungen mit energetischen Maßnahmen gekoppelt. Energetische Sanierungen dienen nach Meinung befragter Sanierer demnach dem langfristigen Werterhalt der Immobilie. Zudem sehen Teile darin einen – persönlich wichtigen – Beitrag zum Klimaschutz. Für vermietende Privateigentümer haben die Senkung der Energiekosten und die Steigerung der Wohnqualität zwar keinen unmittelbaren persönlichen Nutzen, sie sehen in einer energetischen Sanierung aber ein Instrument zur Sicherstellung der (besseren) Vermietbarkeit der Immobilie, für das wiederum ein hoher Komfort und niedrige Energiekosten die Rahmenbedingungen verbessern.

### Literaturverzeichnis zum Kapitel 3

- [Achtnicht & Madlener 2012] Achtnicht, Martin; Madlener, Reinhard (2012): Factors Influencing German House Owners' Preferences on Energy Retrofits. RWTH Aachen: FCN Working Paper No. 4/2012.
- [Baumann & Hacke 2018] Baumann, Allegra; Hacke, Ulrike (2018): Wohnverhalten im Passivhaus. Eine Studie in zwei Mietwohnobjekten in Frankfurt am Main. Darmstadt: I-WU. (noch unveröffentlicht)
- [Bilak et al. 2016] Bilak, A.; Cardona-Fox, G.; Ginnetti, J.; Rushing, E. J.; Scherer, I.; Swain, M.; Walicki, N.; Yonetani, M. (2016): Global report on internal displacement 2016. <http://www.internal-displacement.org/assets/publications/2016/2016-global-report-internal-displacement-IDMC.pdf> (07.08.2017)
- [Borsch-Laaks 2012] Borsch-Laaks, Robert (2012): Lüftung im Wohngebäude. Energiesparinformation 08. Wiesbaden.
- [Burger 2014] Burger, Andreas (2014): Schätzung der Umweltkosten in den Bereichen Energie und Verkehr. Empfehlungen des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp\\_umweltkosten\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp_umweltkosten_0.pdf) (07.08.2017)
- [Danner 2001] Danner, Michael (2001): Wohnen in der Passivhaussiedlung Lummerlund im Neubaugebiet Hannover-Kronsberg. Abschlussbericht zur sozialwissenschaftlichen Evaluation. U-Konzept.
- [Dehli & Bouse 2004] Dehli, M. & Bouse, D. (2004): Moderne energieeffiziente Lüftungsanlagen für gesundes Wohnen. Stuttgart: Landesgewerbeamt Baden-Württemberg.
- [dena o. J.] Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (o. J.): Effizienzhaus-Datenbank der dena; Gebäude-ID 1731, [https://effizienzhaus.zukunft-haus.info/effizienzhaeuser/suche-effizienzhaeuser-zum-anschauen/einzelansicht/?tx\\_denagebaeuedb\\_search%5BshowEntity%5D=1731](https://effizienzhaus.zukunft-haus.info/effizienzhaeuser/suche-effizienzhaeuser-zum-anschauen/einzelansicht/?tx_denagebaeuedb_search%5BshowEntity%5D=1731) (07.08.2017)
- [Dentel/Dietrich o. J.] Dentel, Arno; Dietrich, Udo (o. J.): Thermische Behaglichkeit - Komfort in Gebäuden. [http://rom-umwelt-stiftung.de/wp-content/uploads/2006/02/Dokumentation\\_Thermische\\_Behaglichkeit.pdf](http://rom-umwelt-stiftung.de/wp-content/uploads/2006/02/Dokumentation_Thermische_Behaglichkeit.pdf) (07.08.2017)
- [Eicke-Hennig/Born 2012] Eicke-Hennig, W.; Born, R. (2012): Energieeinsparung an Fenstern und Außentüren. Energiesparinformationen 01. Wiesbaden. [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/espi/espi1.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/espi/espi1.pdf) (07.08.2017)

- [Eicke-Hennig/Krönig 2012] Eicke-Hennig, W.; Krönig, U. (2012): Wind- und Luftdichtigkeit bei geneigten Dächern. Energiesparinformation 07. Wiesbaden.  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/espi/espi7.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/espi/espi7.pdf) (07.08.2017)
- [Emmerich et al. 2004] Emmerich, W. et al. (2004): EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße. Integrale Sanierung auf Niedrigenergie-Standard unter Einschluss moderner Informations- und Regelungstechnik und Beeinflussung des Nutzerverhaltens. Bietigheim-Bissingen: Fachinstitut Gebäude Klima e.V.
- [Eurostat 2015] Eurostat (Hrsg.) (2015): Quality of life. Facts and views. Luxembourg. Publications Office of the European Union.  
<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/6856423/KS-05-14-073-EN-N/742aee45-4085-4dac-9e2e-9ed7e9501f23> (07.08.2017)
- [Eurostat 2017] Eurostat (Hg.) (2017): Noise from neighbours or from the street - EU-SILC survey. Online data code: ilc\_mddw01.  
[http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=ilc\\_mddw01&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=ilc_mddw01&lang=en) (07.08.2017)
- [Ewert 2000] Ewert, Markus (2000): Nutzerverhalten in Wohnhäusern mit Lüftungsanlage. In: HLH Bd. 51 (2000) Nr. 10, 94-99.
- [Flade et al. 2003] Flade, Antje; Hallmann, Sylke; Mack, Birgit; Lohmann, Günter (2003): Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern aus sozialwissenschaftlicher Sicht. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Feist 2007] Feist, Wolfgang (2007): Das Passivhaus im Sommer. Passivhaus Institut. Darmstadt.  
[http://passiv.de/former\\_conferences/Passivhaus\\_D/Sommer\\_Passivhaus.htm](http://passiv.de/former_conferences/Passivhaus_D/Sommer_Passivhaus.htm) (07.08.2017)
- [Ferreira/Almeida 2015] Ferreira, Marco; Almeida, Manuela (2015): Benefits from energy related building renovation beyond costs, energy and emissions. Energy Procedia, 78, 2397-2402.
- [Frank 1975] Frank, W. (1975): Berichte aus der Bauforschung - Raumklima und Thermische Behaglichkeit.. Berlin-München-Düsseldorf: Ernst & Sohn KG.
- [Finanztip o. J.] Finanztip Verbraucherinformation gemeinnützige GmbH (Hrsg.) (o. J.): Internetportal Finanztip  
[http://www.finanztip.de/fileadmin/images/Energie\\_und\\_Medien/Energetisch\\_sanieren/Vorher-Nachher-Sanierung.png](http://www.finanztip.de/fileadmin/images/Energie_und_Medien/Energetisch_sanieren/Vorher-Nachher-Sanierung.png) (07.08.2017)
- [Galvin 2013] Galvin, Ray (2013): Impediments to energy-efficient ventilation of German dwellings: A case study in Aachen. Energy and Buildings, 56, 32-40.
- [Gossen & Nischan 2014] Gossen, Maike; Nischan, Carolin (2014): Regionale Differenzen in der Wahrnehmung von energetischen Sanierungen. Ergebnisse einer qualitativen Befragung von privaten Gebäudeeigentümern zu energetischer Sanierung in zwei unterschiedlichen Regionen. Gebäudeenergiekunde, Arbeitspapier 1. Berlin
- [Hacke et al. 2012] Hacke, Ulrike; Großklos, Marc; Lohmann, Günter (2012): Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung Rotlintstraße 116-128 in Frankfurt a.M. – Mieterbefragung zum Wohnverhalten im Passivhaus und zur Akzeptanz des Warmmietenmodells. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt. [Heinrichs et al. 2016] Heinrichs, Eckhart; Kumsteller, Falk; Rath, Sibylle; Seidel, Phillip; Gurok, Sofia (2016): Lärmbilanz 2015 Wissenschaftlich-technische Unterstützung bei der Datenberichterstattung zur Lärmaktionsplanung, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_16\\_2016\\_laermbilanz\\_2015.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_16_2016_laermbilanz_2015.pdf) (07.08.2017)
- [Hübner 2003] Hübner, Hartmut (2003): Nutzungsorientierte Gestaltung von Passivhäusern auf der Grundlage psychologisch-physikalischer Untersuchungen. Untersuchungen an den Passivhäusern in Kassel-Marbachshöhe. Universität Kassel: Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung.
- [Hohmeyer 2015] Hohmeyer, Olav (2015): Nutzen des Klimaschutzes. Warum der fünfte Sachstandsbericht des IPCC zu kurz greift. Berlin: Germanwatch e. F.  
<http://germanwatch.org/de/download/13141.pdf> (07.08.2017)

- [IEA 2014] IEA (2014): Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency. A Guide to Quantifying the Value Added. Paris.  
<http://www.oecdbookshop.org/browse.asp?pid=title-detail&lang=en&ds=&ISB=9789264220706> (07.08.2017)
- [ILS NRW 2007] Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2007): Leben im Passivhaus. Baukonstruktion, Baukosten, Energieverbrauch, Bewohnererfahrung. Dortmund: ILS NRW.
- [IPCC 2014] IPCC (2014): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Genf. Deutsche Übersetzung durch deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016, [http://www.de-ipcc.de/media/content/IPCC-AR5\\_SYR\\_barrierefrei.pdf](http://www.de-ipcc.de/media/content/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf) (07.08.2017)
- [Kah et al. 2010] Kah, Oliver; Peper, Søren; Ebel, Witta; Kaufmann, Berthold; Feist, Wolfgang; Bastian, Zeno (2010): Untersuchung zum Außenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung. Passivhaus Institut. Darmstadt.  
[http://passiv.de/downloads/05\\_luftqualitaet\\_alltbausanierung.pdf](http://passiv.de/downloads/05_luftqualitaet_alltbausanierung.pdf) (07.08.2017)
- [Keul 2001] Keul, Alexander G. (2001): Energiesparprojekte und konventioneller Wohnbau – eine Evaluation. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- [Keul 2009] Keul, Alexander G. (2009): Umweltpsychologische Evaluation (POE) von sechs Wiener Passivhaussiedlungen (225 Wohneinheiten) im Vergleich zu konventionellen Bauten (156 Wohneinheiten). Bericht zum Wiener Wohnbauforschungstag 17.11.2009
- [Keul 2010] Keul, Alexander G. (2010): Zur Akzeptanz des Passivhauses im Massenvohnbau. Evaluation (POE) acht österreichischer Siedlungen im Vergleich mit konventionellen Bauten. In: Umweltpsychologie, 14. Jg., Heft 1, 2010, 66-88.
- [KfW & IW Köln 2010] KfW Bankengruppe & Institut der deutschen Wirtschaft Köln (2010): Wohngebäudesanierer-Befragung 2010. Hintergründe und Motive zur energetischen Sanierung des Wohngebäudebestands. Frankfurt am Main.
- [Kopatz 2014] Kopatz, Michael (2014): Energiearmut in Europa. Es bleibe Licht! politische ökologie, (136), 65-70.  
<https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/5259> (07.08.2017)
- [März/Kopatz 2016] März, Steven; Kopatz, Michael (2016): Energiearmut gezielt lindern. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 66 (10), 21-24.
- [Mlecnik 2013] Mlecnik, Erwin (2013): Improving passive house certification: recommendations based on end-user experiences. Architectural Engineering and Design Management, 9:4, 250-264.
- [Ornetzeder & Rohrer 2001] Ornetzeder, Michael; Rohrer, Harald (2001): Nutzererfahrungen als Basis für nachhaltige Wohnkonzepte. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2001. Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- [Passivhaus Institut 2016] Passivhaus Institut (Hrsg.) (2016): Informationen, Kriterien und Algorithmen für Zertifizierte Passivhaus Komponenten: Transparente Bauteile und Öffnungselemente in der Gebäudehülle.  
[http://passiv.de/downloads/03\\_zertifizierungskriterien\\_transparente\\_bauteile.pdf](http://passiv.de/downloads/03_zertifizierungskriterien_transparente_bauteile.pdf) (07.08.2017)
- [Pflüger 2013] Pflüger, Friedbert (2013): Resilienz - Schlüsselwort der Energiesicherheit. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 63 (11), 30-33.



- [Pietruschka et al. 2011] Pietruschka, Dirk; Varga, Edit; Drechsler, Andreas; Marin, Robert; Eicker, Ursula; Fischer, Heinz-Martin (2011): Energetische und akustische Sanierung von Wohngebäuden – vom Altbau zum akustisch optimierten Passivhaus. Hochschule für Technik Stuttgart. [https://www.hft-stuttgart.de/Forschung/Kompetenzen/zafh/Publikationen/publikationen\\_download/2011/2011\\_Energetische\\_und\\_akustische\\_Sanierung\\_Abschlussbericht\\_BWPlus\\_BWU27005.pdf](https://www.hft-stuttgart.de/Forschung/Kompetenzen/zafh/Publikationen/publikationen_download/2011/2011_Energetische_und_akustische_Sanierung_Abschlussbericht_BWPlus_BWU27005.pdf) (07.08.2017)
- proKlima 2006] proKlima (2006): Sozialwissenschaftliche Begleitung des Projekts „Energetische Gebäude-Modernisierung mit Faktor 10“ von April 2004 bis Juni 2006. Abschlussbericht im Auftrag von proKlima – Der enercity-Fonds Hannover.
- [Renz & Hacke 2015] Renz, Ina; Hacke, Ulrike (2015): Einflussfaktoren auf die Sanierung im deutschen Wohngebäudebestand. Ergebnisse einer qualitativen Studie zu Sanierungsanreizen und -hemmnissen privater und institutioneller Eigentümer. Eine Untersuchung im Auftrag der KfW Bankengruppe. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- [Rohracher et al. 2001] Rohracher, Harald; Kukovetz, Brigitte; Ornetzeder, Michael; Zelger, Thomas; Enzensberger, Gerhard; Gadner Johannes; Zelger Josef; Buber, Renate (2001): Akzeptanzverbesserung bei Niedrigenergiehaus-Komponenten. Endbericht einer Studie im Auftrag des BM für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Haus der Zukunft. Graz.
- [Rohrmann 1994] Rohrmann, Bernd (1994): Sozialwissenschaftliche Evaluation des Passivhauses in Darmstadt; Passivhaus-Bericht Nr. 11. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt
- [Schmidt et al. 2007] Schmidt, M., Schmidt, S., Treiber, M. Arold, J. (2007): Entwicklung eines Konzepts für energetische Modernisierungen kleiner Wohngebäude auf 3-Liter-Haus-Niveau in Mannheim-Gartenstadt. Stuttgart: Institut für Gebäude-Energetik der Universität Stuttgart.[Saint-Gobin 2017] Saint-Gobin (2017): Infobroschüre „Schallschutz-Lösungen von Rigips, Umfassend planen und sicher realisieren“ Saint-Gobain Rigips GmbH, Düsseldorf
- [Schulze Darup 2015] Schulze Darup, Burkhard (2015): Energie und Baukultur ästhetisch verbinden; energiezeitung, Heft 18, [http://www.energiezeitung.eu/fileadmin/user\\_upload/pdf/energiezeitung/energiezeitung\\_2015-18.pdf](http://www.energiezeitung.eu/fileadmin/user_upload/pdf/energiezeitung/energiezeitung_2015-18.pdf) (07.08.2017)
- [Stieldorf et al. 2001] Stieldorf, Karin; Juri, Helga; Haider, Robert; König, Ute; Unzeitig, Ulla (2001): Analyse des NutzerInnenverhaltens in Gebäuden mit Pilot- und Demonstrationscharakter. Endbericht Haus der Zukunft. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- [Stieß et al. 2009] Stieß, Immanuel; Birzle-Harder, Barbara; Deffner, Jutta (2009): „So ein Haus ist auch die Sparkasse von einem.“ Motive und Barrieren von Eigenheimbesitzerinnen und -besitzern gegenüber einer energieeffizienten Sanierung: Ergebnisse einer qualitativen Untersuchung. Frankfurt am Main: ISOE.
- [Stieß et al. 2010] Stieß, Immanuel; van der Land, Victoria; Birzle-Harder, Barbara; Deffner, Jutta (2010): Handlungsmotive, -hemmnisse und Zielgruppen für eine energetische Gebäudesanierung – Ergebnisse einer standardisierten Befragung von Eigenheimsanierern. Frankfurt am Main: ISOE.
- [Treberspurg et al. 2009] Treberspurg, Martin; Smutny, Roman; Ertl-Balga, Ulla; Grüner, Roman; Neururer, Christoph; Keul, Alexander G. (2009): Nachhaltigkeits-Monitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien (Projekt NaMAP). Wien: Universität für Bodenkultur.
- [Ürge-Vorsatz et al. 2009] Ürge-Vorsatz, Diana; Novikova, Aleksandra; Sharmina, Maria (2009): Counting good: quantifying the co-benefits of improved efficiency in buildings. In: Broussous, Christel; Jover, Cortes (2009): eceee 2009 Summer Study. Act! Innovate! Deliver! Reducing energy demand sustainably. Conference proceedings, [http://www.eceee.org/library/conference\\_proceedings/eceee\\_Summer\\_Studies/2009/Panel\\_1/1.316/paper](http://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2009/Panel_1/1.316/paper) (07.08.2017)

- [UBA 2009] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2009): Feinstaubbelastung in Deutschland. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3565.pdf> (07.08.2017)
- [UBA 2016] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016): Wirkungen auf die Gesundheit. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschadstoffen/wirkungen-auf-die-gesundheit#textpart-1> (07.08.2017)
- [UBA 2017] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2017): Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe nach Quellkategorien. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3\\_tab\\_emi-ausgew-luftschadst\\_2017-06-12.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3_tab_emi-ausgew-luftschadst_2017-06-12.pdf) (07.08.2017)
- [VELUX Gruppe 2016] VELUX Gruppe (Hrsg.) (2016): Healthy Homes Barometer 2016. [http://www.velux.de/~media/marketing/de/dokumente/pdf/healthy-homes-barometer/velux\\_healthy\\_homes\\_barometer\\_2016.pdf](http://www.velux.de/~media/marketing/de/dokumente/pdf/healthy-homes-barometer/velux_healthy_homes_barometer_2016.pdf) (07.08.2017)
- [Wanner 1984] Wanner, H. U. (1984): Gesundes Wohnen - Physiologische Grundlagen. Technik am Bau (TAB), (8/84), 559.
- [WBG 2013] wbg Nürnberg Immobilien (Hrsg.) (2013): Energetische Modernisierung und Umbau Kollwitzstraße 1-17, [https://wbg.nuernberg.de/uploads/pics/WBG\\_DINA4\\_Kollwitzstra\\_fe\\_221013\\_SCREEN.pdf](https://wbg.nuernberg.de/uploads/pics/WBG_DINA4_Kollwitzstra_fe_221013_SCREEN.pdf) (07.08.2017)
- [Weiß et al. 2014] Weiß, Julika; Prah, Andreas; Neumann, Anna; Schröder, André; Bettgenhäuser, Kjell; Hermelink, Andrad; John, Ashok; von Manteuffel, Bernhard (2014): Kommunale Wertschöpfungskette durch energetische Gebäudesanierung (KoWeG). Berlin. [https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/article/141028%20Endbericht\\_KoWeG\\_final\\_0.pdf](https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/article/141028%20Endbericht_KoWeG_final_0.pdf) (07.08.2017)
- [WHO 2004] WHO (2004): Wohngesundheits – Erste Ergebnisse einer Studie der WHO. Umweltmedizinische Gesellschaft, 17 (3), 2016-2019. [http://www.umg-verlag.de/umwelt-medizin-gesellschaft/3\\_04\\_who.pdf](http://www.umg-verlag.de/umwelt-medizin-gesellschaft/3_04_who.pdf) (07.08.2017)
- [Wohnen im Eigentum e.V. 2017] Wohnen im Eigentum – die Wohneigentümer e.V. (2017). Instandsetzen, modernisieren, sanieren: Wie hält Ihre WG das Gebäude in Schuss? Bonn. Online-Publikation: <https://www.wohnen-im-eigentum.de/system/files/WiE-Umfrage-MOD-Auswertung-2017-end.pdf> (23.10.2017)
- [Zink 2014] Zink, Ulrich (2014): Voll im Plus; Wohnungswirtschaft heute, <http://www.wohnungswirtschaft-heute.de/dokumente/WOWIheute-Technik-AG50.pdf> (07.08.2017)
- [Zürcher/Frank 2004] Zürcher, Christoph; Frank, Thomas (2004): Bauphysik. Bau und Energie: Leitfaden für Planung und Praxis. Zürich. Vdf

## 4 Methodik für die Bestimmung des erwarteten Energieverbrauchs und der typischen Streuung

Auf Grundlage der im Kapitel 2 dargestellten empirischen Daten und physikalischen Abhängigkeiten wird im vorliegenden Kapitel ein dreistufiges Konzept zur realistischen Einschätzung des Energieverbrauchs von Gebäuden vorgeschlagen. Es besteht aus den folgenden Bausteinen, die schrittweise und aufeinander aufbauend umgesetzt werden könnten:

### (A) Vergleichstabellen Energieverbrauch:

Hierin sind die in Deutschland verfügbaren empirischen Daten zum Energieverbrauch von Wohngebäuden so aufbereitet, dass Gebäudeeigentümer bzw. Nutzer ihre Verbrauchsdaten direkt mit den Werten vergleichen können.

### (B) Verbrauchsprognosefunktion:

Aus den empirischen Daten zum Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Normenergiebedarf werden Funktionsgleichungen ermittelt, die eine Kalibrierung der standardisierten EnEV-Berechnung mit typischen Werten des Energieverbrauchs ermöglichen und gleichzeitig auch die durch die Datenlage bedingten Bandbreiten des erwarteten Verbrauchs darstellen. Für die Anwendung in der Energieberatung wird ein Vorgehen vorgeschlagen, mit dem zur Verbesserung der Prognose ein vor der Modernisierung individuell gemessener Verbrauch einbezogen werden kann.

### (C) „Realbilanzierung“ mit typischen Werten für das Nutzerverhalten:

Es wird ein Vorschlag dargestellt, wie die energetische Bilanzierung in der Energieberatung so modifiziert werden kann, dass berechnete Bedarfswerte von vornherein realistischer ausfallen sowie die Bandbreite des erwarteten Energieverbrauchs auch die unterschiedliche Datenlage insbesondere bezüglich der Nutzung berücksichtigt.

In den folgenden Abschnitten werden Konzepte für diese drei Stufen vorgestellt und ihre möglichen Anwendungsbereiche beschrieben. Auf der Basis der derzeit verfügbaren empirischen Daten werden darüber hinaus erste Ansätze für Vergleichswerte, für Kalibrierungsfaktoren und typische Streuungen sowie für differenzierte Nutzungsprofile geliefert. Bestehende Lücken werden auf Basis plausibler Annahmen gefüllt, um jeweils erste Fassungen handhabbarer Verfahrens bereitzustellen – die Annahmen werden dabei als solche gekennzeichnet. Es werden Vorschläge gemacht, wie diese Lücken in Zukunft durch empirische Untersuchungen und Standardisierung bei der Datenerfassung gefüllt und in welcher Weise eine regelmäßige Überprüfung und Nachkalibrierung der Methodik erreicht werden könnte.

### 4.1 Grundsätzliche Betrachtungen zur Realitätsnähe der energetischen Bilanzierung

In der öffentlichen Diskussion wird immer wieder der Energiebedarfsausweis kritisiert, weil dessen Aussagen unrealistisch seien. Häufig wird damit die Sinnhaftigkeit von Energiebilanzberechnungen generell in Frage gestellt. Bei dieser Darstellung wird suggeriert, dass realistische Berechnungen insbesondere wegen des starken Nutzereinflusses grundsätzlich nicht möglich seien. Dabei wird verkannt, dass die physikalischen Prozesse sehr wohl schon durch einfache Gleichungen recht realistisch abgebildet werden können. Die Abbildungsgenauigkeit der Modelle hängt dabei von dem Wissen über die Eingangsdaten und Randbedingungen ab. Insbesondere bei einem unsanierten Bestandsgebäude ist dieses Wissen sehr unsicher bzw. unscharf. Bilanzierungsansätze unterscheiden sich insbesondere darin, ob sie normativ oder deskriptiv sind und wie sie mit unsicheren Eingangsdaten und Randbedingungen umgehen. Dabei gibt es keine per se richtige oder falsche Methodik, vielmehr leiten sich die Ansätze aus den unterschiedlichen Funktionen der energetischen Bilanzierung ab, wie im Folgenden gezeigt werden soll.

Die jeweilige Funktion der Bilanzierung prägt in folgender Weise den Bilanzansatz (vgl. [Loga et al. 2001] und [Pehnt et al. 2015]):

➤ **„Norm-Bilanz“: Berechnung mit standardisierten Randbedingungen für den gesetzlichen Nachweis**

Die "Norm-Berechnung" wird mit Standard-Randbedingungen (Klima, Nutzer) durchgeführt und ist als behördlicher Nachweis gedacht (Nachweis energetischer Anforderungen nach Energieeinsparverordnung EnEV). Dabei werden die entsprechend den geltenden Normen und Vorschriften aus thermischer und hygienischer Sicht erforderlichen Randbedingungen angesetzt. Für den Fall, dass Eingangsgrößen der Bilanzierung unsicher sind, werden bei der Norm-Berechnung vereinfachte Ansätze getroffen, die tendenziell den Energiebedarf höher abschätzen, das Gebäude also nicht zu gut bewerten, und somit auf der sicheren Seite liegen. Die Bestimmung des jährlichen Energiebedarfs ist ja historisch aus der Heizlastberechnung entstanden, wo das Prinzip der Zuschläge bei Unsicherheiten sehr sinnvoll ist (Wärmeleitfähigkeiten historischer Konstruktionen wurden für diesen Zweck ermittelt). Im EnEV-Nachweis sollen andererseits auch Anreize geschaffen werden, genauere Ermittlungen der Eingangsdaten bzw. Optimierungen (z.B. bei Wärmebrücken) vorzunehmen. Beim Vergleich der Energieeffizienz von Gebäuden stellt die "Norm-Berechnung" darüber hinaus sicher, dass jeweils die gleichen thermischen und hygienischen Bedingungen vorliegen (Standardansätze für Raumtemperatur, Luftwechsel, etc.). Der Anspruch der Vergleichbarkeit und des „Auf-der-sicheren-Seite-Liegens“ bringt es mit sich, dass sich die Ergebnisse der "Norm-Berechnung" im Bestand deutlich von mittleren Verbrauchswerten unterscheiden und daher z. B. bei der Anwendung im Energiebedarfsausweis zu Irritationen führen.

➤ **„Individuelle Bilanz“: an individuelle Bedingungen angepasste Berechnung im Rahmen der Energieberatung**

Wird die energetische Bilanzierung im Kontext einer Energieberatung durchgeführt, so ist sowohl die Datengrundlage als auch die Herangehensweise traditionell deutlich anders: Um möglichst realitätsnahe Aussagen über die möglichen Einsparungen treffen zu können, orientieren sich die Randbedingungen der Berechnung soweit wie möglich an den realen Randbedingungen. Sind Eingangsgrößen nur unzureichend bekannt (Nutzungsbedingungen, U-Werte, Flächen, ...), verwenden Energieberater Erfahrungswerte bzw. typische Werte. Da es kaum empirische Grundlagen gibt (z. B. real gemessene U-Werte für eine größere Gebäudegesamtheit), werden in der Energieberatungspraxis diese Werte innerhalb des Unsicherheitsbereichs so angesetzt, dass der berechnete Bedarf möglichst nahe am gemessenen Verbrauch des Gebäudes liegt. In der Praxis tun dies Energieberater ihrer Intuition folgend, da es keine empirisch abgesicherten Datengrundlagen gibt. Bei der Wahl der Randbedingungen für die hypothetische Berechnung nach Modernisierung muss berücksichtigt werden, dass das winterliche Temperaturniveau in gut gedämmten Gebäuden im Winter typischerweise höher liegt als in ungedämmten oder sich andere Änderungen der Nutzungsintensität nach Modernisierung ergeben können.

➤ **„Typische Bilanz“: an typische Bedingungen angepasste Berechnung für nutzerunabhängige Aussagen im Rahmen der Energieberatung**

Wird für ein einzelnes Gebäude eine realistische Abbildung der Energiebilanz vorgenommen und dabei nicht die individuelle Nutzung, sondern ein "durchschnittlicher Nutzer" angesetzt, so ergibt sich der "Erwartungswert des Verbrauchs". Dieser liefert eine Aussage darüber, welcher Verbrauch im Mittel für eine größere Anzahl von Gebäuden der gegebenen Größe, Bauweise und des Modernisierungsgrads zu erwarten sind.

In der Praxis gibt es zwar Anhaltspunkte für das Verhalten durchschnittlicher Nutzer (z.B. bezüglich tatsächlicher Raumtemperaturen in Mehrfamilienhäusern), jedoch reichen diese derzeit nicht aus, um den mittleren Energieverbrauch für Gebäude unterschiedlicher Größen und Modernisierungszustände zuverlässig berechnen zu können – insbesondere angesichts zusätzlicher Unsicherheiten bei der energetischen Qualität von Gebäude und Anlagentechnik. Daher ist – ähnlich wie bei der Energieberatung von Einzelgebäuden – eine Anpassung der unsicheren Größen notwendig, so dass die Ergebnisse der Energiebilanzberechnung mit statistisch erhobenen Verbrauchs-Benchmarks übereinstimmen. Im einfachsten Fall werden dabei alle berech-

neten Energiemengen in gleicher Weise kalibriert (also mit einem Faktor multipliziert, so dass in der Summe der mittlere Verbrauch abgebildet wird, siehe Ansatz in [Loga et al. 2015]).

In der Energieberatung können die "Erwartungswerte des Verbrauchs" in den Fällen nützlich sein, in denen individuelle Verbrauchswerte oder auch Informationen über die tatsächliche Nutzung nicht vorliegen. Die Aussagen über die erzielbare Energieeinsparung gelten dann für das gegebene Gebäude bei "typischer Nutzung" – wobei auch die Unsicherheiten beachtet werden müssen.

Einen besonderen Stellenwert nimmt die „typische Bilanz“ bei der Bewertung von Gebäudeportfolios oder -beständen ein – zum Beispiel im Kontext der Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale bei Wohnungsunternehmen, Quartieren, Kommunen, Bundesländern sowie auf Bundesebene. Bei Verwendung repräsentativer Daten für den Zustand von Gebäude und Anlagentechnik können durch die „typische Bilanz“ unmittelbar Aussagen zum Gesamtverbrauch und zu den durch verschiedene Maßnahmen erzielbare Einsparungen abgeleitet werden.

**Tab. 71: Überblick über die Ansätze für die energetische Bilanzierung von Gebäuden differenziert nach Funktion bzw. Anwendungsbereich**  
(vgl. [Loga et al. 2001] / [Pehnt et al. 2015])

Bilanzierungsverfahren / Energiekennwert	Funktion / Anwendung
<p><b>"Norm-Bilanz"</b> Standard-Randbedingungen bei unsicherer Datenlage Ansätze auf der sicheren Seite</p>	<p><b>Norm-Energiebedarf für den Nachweis</b> Behördlicher Nachweis der Einhaltung von Vorgaben für die energetische Qualität / Vergleich von Gebäuden unter Ansatz gleicher Randbedingungen</p>
<p><b>"Individuelle Bilanz"</b> Anpassung der Eingangsgrößen der Berechnung innerhalb der bestehenden Unsicherheiten, um den gemessenen Verbrauch im Ist-Zustand abzubilden</p>	<p><b>Abbildung des individuellen Verbrauchs</b> Energieberatung: Abschätzung der für das konkrete Gebäude bei Umsetzung von bestimmten Maßnahmen zu erwartenden Energieeinsparung</p>
<p><b>„Typische Bilanz“</b> Abbildung des typischen Energieverbrauchs Abgleich der Energiebilanzberechnung mit statistisch erhobenen Verbrauchs-Benchmarks</p>	<p><b>Abbildung des typischen Verbrauchs</b> Energieberatung: realistische Aussagen, für den Fall, dass der individuelle Verbrauchswert im Ist-Zustand nicht bekannt ist oder eine Nutzungsänderung stattfindet Aussagen im Kontext der Bewertung von Gebäudeportfolios bzw. Gebäudebeständen</p>

So wie alle physikalischen Modelle sollten auch Energiebilanz-Berechnungen im Grundsatz immer mit der Realität verglichen und gegebenenfalls korrigiert werden. Langfristig wird ein Mechanismus benötigt, der einen Vergleich der Ergebnisse von Norm-Energiebilanz und von Realbilanzierung mit gemessenen Energieverbrauchswerten sicherstellt. Ergebnis sind Korrekturfaktoren zur Ermittlung des Erwartungswertes des Energieverbrauchs und der typischen Spanne. Hierfür sollte ein Benchmarking-System entwickelt und eingeführt werden, das auf nachvollziehbare Weise in regelmäßigen Abständen empirische Informationen zum Energieverbrauch von Wohngebäuden, differenziert nach Gebäudetyp, -größe, Qualität des Wärmeschutzes und Art der Anlagentechnik ermittelt.

## 4.2 Baustein A: Vergleichstabellen Energieverbrauch

In den Vergleichstabellen für den Energieverbrauch werden die in Deutschland verfügbaren empirischen Daten zum Energieverbrauch von Wohngebäuden so aufbereitet, dass Gebäudeeigentümer bzw. Nutzer ihre Verbrauchsdaten direkt mit den Werten vergleichen können. Neben der Einordnung des eigenen Verbrauchs bieten die Vergleichswerte auch die Möglichkeit, bei Umzug in ein anderes Gebäude oder einer energetischen Modernisierung des eigenen Gebäudes den zu erwartenden Energieverbrauch abschätzen zu können. Die Vergleichstabellen könnten zum Beispiel Eingang finden

- in die jährliche Verbrauchsabrechnung von leitungsgebundenen Energieträgern;
- in die Heizkostenabrechnung;
- in den Energiebedarfs- und verbrauchsausweis als Vergleichsskala zur Einordnung des (realistisch kalibrierten) Energiebedarfs oder des Verbrauchs.

Darüber hinaus können die Benchmarks für die Kalibrierung von Energieeinsparungsberechnungen im Rahmen der Energieberatung für Einzelgebäude, Gebäudeportfolios von Wohnungsunternehmen oder Gesamtwohngebäudebestände von Quartieren, Kommunen, Bundesländern oder auf nationaler Ebene herangezogen werden.

### 4.2.1 Vergleichswerte Energieverbrauch nach Baualter

Im Zeitverlauf gab es erhebliche Änderungen von Konstruktionsweisen und Baustoffen, die sich auch bei durchschnittlicher Nutzung im Heizenergieverbrauch bemerkbar machen. Entscheidende Verbesserungen der thermischen Hülle neu errichteter Wohnhäuser gab es ab dem Ende der 1970er Jahre durch das in Folge der Ölkrise eingeführte Energieeinspargesetz und die darauf basierende Wärmeschutzverordnung und Heizungsanlagenverordnung. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, spiegelt sich das Baualter daher auch in den Verbrauchswerten von Gebäuden wieder – zumindest so lange keine relevanten energetischen Modernisierungen durchgeführt wurden.

Im Folgenden wird beispielhaft eine Tabellenstruktur vorgestellt, mit der Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Wohngebäuden in Zukunft publiziert werden könnten. Die Struktur wurde mit den jetzt schon verfügbaren Zahlenwerten aus zwei Untersuchungen gefüllt (siehe Kapitel 2.1). In Zukunft wäre eine Verbesserung der empirischen Grundlage wünschenswert.

**Tab. 72: Schema für die Angabe von Vergleichswerten Energieverbrauch nach Baualterklassen (unsanierte Gebäude) und provisorische Zahlenwerte aus zwei in Kap. 2.1 dargestellten Untersuchungen**

jährlicher Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser in kWh/(m <sup>2</sup> a)												
Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger												
	Erdgas / Heizöl (bez. auf Brennwert H <sub>s</sub> )						Fernwärme					
	1 bis 2 Wohneinheiten			≥ 3 Wohneinheiten			1 bis 2 Wohneinheiten			≥ 3 Wohneinheiten		
	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu- breite*
		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Baualterklassen (Altbauten bis 1994: nicht energetisch modernisierte Gebäude)												
... 1978	n=13.017	<b>249</b>	± 81	n=78.402	<b>231</b>	± 71	n=312	<b>194</b>	± 72	n=7.016	<b>169</b>	± 58
1979 ... 1994	n=1.300	<b>216</b>	± 71	n=18.200	<b>199</b>	± 61	n=40	<b>184</b>	± 80	n=1.950	<b>133</b>	± 53
1995 ... 2001	n=2.576	<b>160</b>	± 49	n=21.706	<b>159</b>	± 53	n=65	<b>139</b>	± 80	n=3.851	<b>114</b>	± 62
2002 ... 2009	n=334	<b>125</b>	± 45	n=3.758	<b>127</b>	± 41				n=739	<b>96</b>	± 66
2010 ...												

\*) Die "Streubreite" entspricht den in den Quellen genannten Werten für die Standardabweichung  
 Daten-Grundlagen:  
 (1) Brunata-Metrona 2009 / 2014  
 (2) IGS 2012

Hier einige Anmerkungen zu Einzelaspekten der Tabelle:

- **Flächenbezug:** Wichtig ist bei dieser Tabelle, dass Energiekennwerte auf der Basis der Verbrauchswerte direkt mit den bei Gebäudeeigentümern bzw. Nutzern bekannten Flächen gebildet werden können. Daher beziehen sich die Kennwerte auf die beheizte bzw. beheizbare Wohnfläche, die bei Mehrfamilienhäusern auch Grundlage der Heizkostenabrechnung ist.
- **Bezug auf Brennwert H<sub>s</sub>:** Da kWh-Angaben in Erdgas-Rechnungen auf den Brennwert bezogen sind, werden auch die Benchmark-Werte brennwertbezogen dargestellt.
- **Differenzierung nach Energieträgern:** Auf Grund der Datenlage und der vergleichbaren Anlagentechnik werden die Brennstoffe Erdgas und Heizöl zusammengefasst. Getrennt davon wird Fernwärme behandelt, da hier keine Wärmeerzeugerverluste anfallen und die Anlagentechnik und Betriebsführung durchaus unterschiedlich sein kann. Ergänzt werden müssten langfristig noch weitere Tabellenbereiche mit den Versorgungstechniken Stromdirektheizung, Elektrowärmepumpe und Biomassekessel. Als Übergangslösung könnten im Fall von Biomassekesseln auch die empirischen Daten für Erdgas- und Heizölkessel verwendet werden.
- **Kombi-Betrieb Heizung und Warmwasser:** Die Tabelle gilt für Gebäude, in denen die Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser kombiniert erfolgt. Eine entsprechende Version nur für Heizbetrieb wäre in Zukunft zu ergänzen.
- **„Streubreite“:** Die „Streubreite“ ist die in den Untersuchungen angegebene Standardabweichung. Der Begriff wurde gewählt, um das Verständnis der Werte auch für Nicht-Experten zu erleichtern.
- **Anzahl Gebäude der Stichprobe:** Diese Angabe dient der Einschätzung der Qualität der jeweiligen Aussagen. Die direkte Aufnahme der Stichprobenzahl in die Tabelle soll das Vertrauen in die Zahlenangaben stärken. Bei der Ermittlung der Mittelwerte und „Streubreiten“ der Verbrauchskennwerte aus den beiden Untersuchungen wurde die Anzahl der jeweils enthaltenen Gebäude zur Gewichtung herangezogen.

## Vorschläge zur Verbesserung der empirischen Grundlage

Nicht alle aus der Abrechnungswirtschaft vorliegenden Zahlen konnten für die Angabe von provisorischen Zahlenwerten herangezogen werden, da teilweise wichtige Informationen zu den Daten fehlten (siehe Beschreibungen in Abschnitt 2.1). Zur Verbesserung der empirischen Grundlage wird empfohlen, einen vereinheitlichten Indikatorsatz für die Erfassung der wichtigsten energierelevanten Gebäudedaten sowie ein Dokumentationsschema für empirisch ermittelte Verbrauchswerte zu entwickeln. Dieses könnte außer in der Heizkostenabrechnung auch in weiteren Bereichen wie der Abrechnung leitungsgebundener Energieträger, in Mietspiegel-Erhebungen, in Heizkostenspiegeln, in der Antragstellung für Förderung (insbes. KfW-Programm), in der strategischen Entwicklung und im Energiemanagement von Gebäude-Portfolios (Wohnungsunternehmen, Stadtquartieren, ...), in der Gebäudewertermittlung (z.B. als Grundlage für die Kreditvergabe), etc. verwendet werden (vgl. Kapitel 7 „Weiterer Forschungsbedarf“).

### 4.2.2 Vergleichswerte Energieverbrauch nach Effizienzstandards

Der zweite Typ von Vergleichswerttabellen bezieht sich auf Qualitätsstandards von Neubau und Modernisierung. Er soll Eigentümern und Nutzern eine Einschätzung zu erlauben, welche Verbrauchskennwerte typischerweise mit diesen Standards erreicht werden. Als Kategorien können EnEV-Neubaustandards, die Effizienzhausstandards der KfW sowie weitere Qualitätsstandards, insbesondere der Passivhaus-Standard, verwendet werden.

Damit diese Tabelle für unterschiedliche Anwendungsfälle geeignet ist, wurden unter „Zusammenführung“ zusätzliche Zeilen aufgenommen, die jeweils die besseren Standards mit einschließen.

Leider reicht die in Kapitel 2.1 beschriebene Datenlage derzeit nicht aus, um bereits erste Einträge von empirisch gesicherten Verbrauchsmittelwerten vorzunehmen.



**Tab. 73: Schema für die Darstellung von Vergleichswerten für unterschiedliche Neubau-Standards (auf Grund der Datenlage derzeit noch ohne Werte)**

jährlicher Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser in kWh/(m <sup>2</sup> a)												
Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger												
	1 bis 2 Wohneinheiten			≥ 3 Wohneinheiten			1 bis 2 Wohneinheiten			≥ 3 Wohneinheiten		
	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu-breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu-breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu-breite*	Stichprobe Anzahl Gebäude	Verbrauch Mittelwert	Streu-breite*
		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	<b>Kessel betrieben mit Erdgas oder Heizöl</b> (bez. auf Brennwert H <sub>s</sub> )						<b>Fernwärme</b>					
<b>Neubau-Klassen, jeweils ohne bessere Standards</b>												
EnEV 2009												
EnEV 2016												
Effizienzhaus 70 (EH 70)												
Effizienzhaus 55 (EH 55)												
Effizienzhaus 40 (EH 40)												
Passivhaus												
<b>Zusammenführung</b>												
EnEV 2009 und besser												
EnEV 2016 und besser												
EH 70 und besser												
EH 55 und besser												
	<b>Pellets-Kessel (Zentralheizungen)</b> (bez. auf Brennwert H <sub>s</sub> )						<b>Elektrische Wärmepumpen</b>					
<b>Neubau-Klassen, jeweils ohne bessere Standards</b>												
EnEV 2009												
EnEV 2016												
Effizienzhaus 70 (EH 70)												
Effizienzhaus 55 (EH 55)												
Effizienzhaus 40 (EH 40)												
Passivhaus												
<b>Zusammenführung</b>												
EnEV 2009 und besser												
EnEV 2016 und besser												
EH 70 und besser												
EH 55 und besser												
*) Streubreite = Standardabweichung Daten-Grundlagen:												

## Vorschläge zur Verbesserung der empirischen Grundlage

Zur Verbesserung der empirischen Grundlage wird empfohlen, zumindest für Neubauten eine Berichtspflicht Energieverbrauch als Ergänzung zum Energiebedarfsausweis einzuführen. Die Energieausweiseinsteller wären durch einen solchen Ansatz verpflichtet, nach Ablauf von 3 bis 4 Jahren den gemessenen Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser in eine aktualisierte Fassung des Energieausweises einzutragen und die zugehörigen Daten in eine zentrale Datenbank zu transferieren. Ein solches Verfahren wurde in Luxemburg bereits erfolgreich umgesetzt (siehe Abschnitt 2.1).

Ein Nebeneffekt einer solchen Regelung wäre, dass auf diesem Weg erreicht wird, dass nach einer angemessenen Zeit eine Überprüfung der Verbrauchszielerreichung stattfindet und in Fällen überhöhten Verbrauchs mögliche Mängel und Funktionsfehler aufgedeckt und behoben werden könnten.

### 4.2.3 Vergleichswerte Energieverbrauch: Zuordnung zum Normenergiebedarf

In der Praxis liegt bei modernisierten Bestandsgebäuden nur im Ausnahmefall eine Zuordnung zu energetischen Standards entsprechend dem letzten Abschnitt vor. Daher wird über die Zuordnung zu Baualter/Gebäudegröße und zu Effizienzstandards hinaus auch eine Einordnung der Verbrauchswerte in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität bzw. vom Modernisierungszustand benötigt. Dabei kommen insbesondere folgende Möglichkeiten in Frage:

- **Zuordnung der Verbrauchskennwerte zum Norm-Energiebedarf**

Als Merkmal wird der nach dem EnEV-Nachweis ermittelte Endenergiebedarf verwendet. Dabei sollten Strom-Direktheizungen und Elektrowärmepumpen separat ausgewiesen werden.

- **Zuordnung der Verbrauchskennwerte zum Wärmetransferkoeffizienten Transmission  $H_T$**

Gegenüber der Zuordnung zum Norm-Energiebedarf müsste eine feinere Differenzierung nach Anlagentechniken vorgenommen werden (z.B. mit/ohne thermische Solaranlage; mit/ohne WRG-Lüftungsanlage), was die Einflüsse verdeutlicht aber auch die Komplexität erhöht.

Die  $H_T$ -Werte könnten in Anlehnung an die Angabe im Energieausweis auf die Hüllfläche bezogen werden, müssten dann allerdings nach Gebäudetyp bzw. -größe unterschieden werden (typisches Verhältnis Hülle zu Wohnfläche sehr unterschiedlich). Methodisch besser wäre es, auf die Wohnfläche bezogene  $H_T$ -Werte als Parameter zu verwenden, da dann keine weitere Differenzierung nach Gebäudetypen und -größen erfolgen muss.

Exemplarisch wird im Folgenden auf der Grundlage der in Kapitel 2.1 dokumentierten Stichprobensammlung eine Zuordnung zum rechnerischen Endenergiebedarf (Normnachweis) vorgenommen. Die Wärmetransferkoeffizienten sind nur für einen Teil der Gebäude dokumentiert, können daher hier nicht als Parameter verwendet werden. Zur Bildung der Klassen wird der Norm-Energiebedarf pro  $m^2$  Wohnfläche in Intervalle von jeweils  $50 \text{ kWh}/(m^2a)$  aufgeteilt. Für jede dieser 12 Klassen werden Mittelwerte der Verbrauchskennwerte gebildet (siehe Abb. 113a und Tab. 74<sup>21</sup>). Das Verhältnis aus Norm-Energiebedarf und Verbrauch, aufgetragen über dem Norm-Energiebedarf sowie die zugehörigen Standardabweichungen zeigt Abb. 113b.

Auch hier sind die Zahlenwerte als provisorisch anzusehen, da die empirischen Grundlagen teilweise schon älter sind und unterschiedliche Varianten der DIN V 4108-6 / 4701-10 verwendet wurden (Kennwerte nach DIN V 18599 sind nicht enthalten). Eine Verbesserung und Aktualisierung der Datenbasis wäre anzustreben.

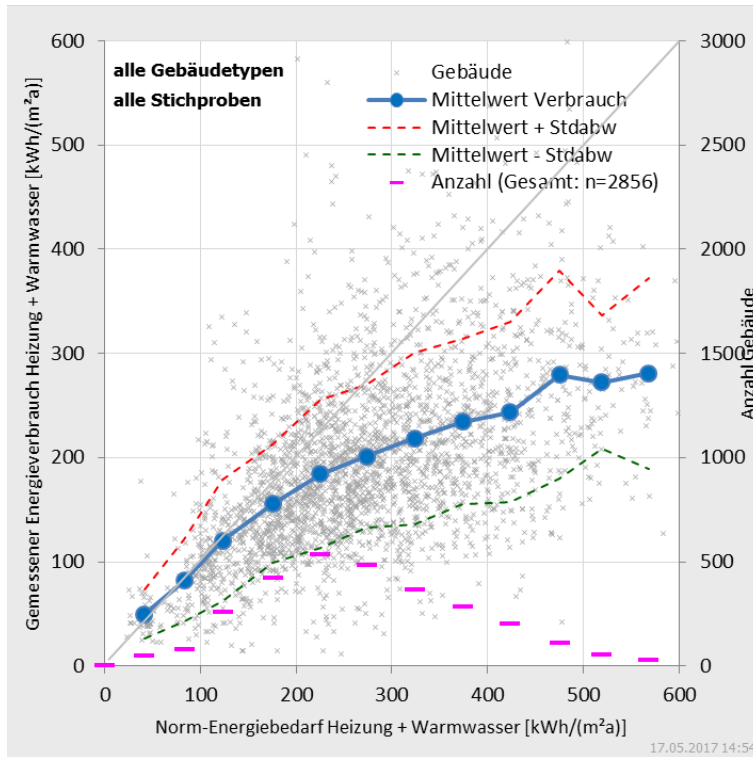
Grundsätzlich wird als Flächenbezug die beheizte Wohnfläche verwendet, damit die Kennwerte auf der Basis der realen Fläche vom Verbraucher selbst gebildet werden können und diese auch mit Werten der Heizkostenabrechnung kompatibel sind. Ebenfalls der Verbrauchernähe dient der Bezug auf den oberen Heizwert (Brennwert), der Grundlage der Gasabrechnung ist.

<sup>21</sup> Die kleine Diskrepanz bei der Gebäudeanzahl erklärt sich daraus, dass in der Datentabelle des Diagramms noch einzelne Gebäude enthalten sind, die einen rechnerischen Energiebedarf  $> 600 \text{ kWh}/(m)$  aufweisen.

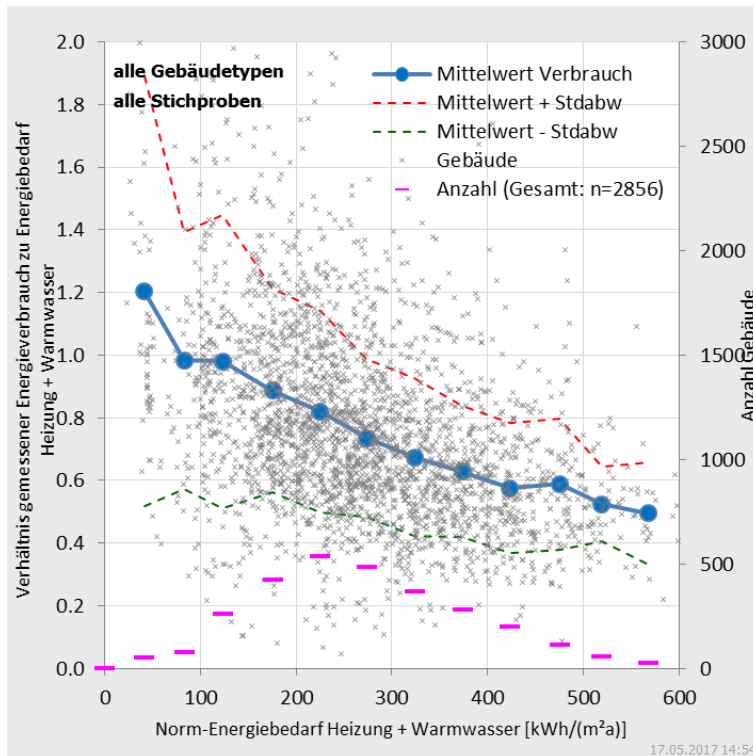
**Abb. 113 Exemplarische Auswertung der Verbrauchs-Bedarfs-Datensammlung / mittlere Energieverbrauchswerte für Intervalle des Norm-Energiebedarfs**

Auswertung der in Kapitel 2.1 analysierten Studien / Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Brennwert-Bezug bei Brennstoffen / Gebäude ohne zusätzliche Wärmezeuger

**(a) gemessener Energieverbrauch über Norm-Energiebedarf, jeweils bezogen auf die beheizte Wohnfläche**



**(b) Verhältnis Energieverbrauch zu Norm-Energiebedarf, aufgetragen über den Norm-Energiebedarf pro m² beheizte Wohnfläche**



**Tab. 74: Exemplarische Auswertung der Verbrauchs-Bedarfs-Datensammlung / mittlere Energieverbrauchswerte für Intervalle des Norm-Energiebedarfs**

Auswertung der in Kapitel 2.1 analysierten Studien / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger

Bedarfskennwert*	Intervall	>	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	kWh m <sup>2</sup> a	
		≤	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600		
	Mittelwert		41	83	123	176	225	274	324	374	424	475	519	569		
Verbrauchs-kennwert**	Mittelwert		50	82	121	156	184	201	218	235	244	280	272	281	kWh m <sup>2</sup> a	
Quotient aus mittlerem Verbrauchskennwert und mittlerem Bedarfskennwert			1,20	0,98	0,98	0,89	0,82	0,74	0,67	0,63	0,58	0,59	0,52	0,49		
Analyse der Quotienten Verbrauchs-kennwert zu Bedarfs-kennwert	Mittelwert		1,26	0,97	0,99	0,89	0,82	0,74	0,67	0,63	0,58	0,59	0,52	0,50		
	Standardabweichung (absolut)		±0,66	±0,42	±0,47	±0,32	±0,32	±0,25	±0,25	±0,21	±0,21	±0,21	±0,12	±0,17		
	relative Standardabweichung***		±55%	±42%	±48%	±37%	±39%	±34%	±37%	±33%	±36%	±36%	±23%	±34%		
	relative Standardunsicherheit des Mittelwerts****		±8%	±5%	±3%	±2%	±2%	±2%	±2%	±2%	±3%	±3%	±3%	±7%		
	Perzentile absolut (50 = Median)	95		2,37	1,72	2,01	1,43	1,29	1,21	1,16	1,05	0,88	0,97	0,77	0,70	
		75		1,38	1,15	1,10	1,06	0,99	0,85	0,79	0,73	0,70	0,68	0,57	0,56	
		50		1,02	0,93	0,91	0,83	0,78	0,70	0,64	0,61	0,54	0,58	0,52	0,48	
		25		0,87	0,68	0,72	0,68	0,61	0,58	0,50	0,48	0,44	0,45	0,45	0,42	
		05		0,66	0,40	0,34	0,50	0,40	0,41	0,34	0,33	0,29	0,31	0,35	0,29	
	Perzentile relativ (bezogen auf Median)	95		+132%	+85%	+120%	+73%	+65%	+72%	+82%	+73%	+62%	+66%	+48%	+44%	
75			+35%	+23%	+21%	+28%	+27%	+21%	+24%	+19%	+29%	+17%	+10%	+16%		
25			-15%	-28%	-21%	-18%	-22%	-17%	-21%	-21%	-20%	-23%	-13%	-13%		
05			-35%	-58%	-63%	-39%	-49%	-42%	-47%	-46%	-46%	-47%	-33%	-41%		
Anzahl Datensätze			49	76	257	421	534	482	364	281	199	109	52	25		
<p>*) auf den Brennwert bezogener Norm-Energiebedarf, berechnet nach DIN V 4108-6 &amp; DIN V 4701-10 (bzw. ähnliche Verfahren); Flächenbezug: beheizte Wohnfläche</p> <p>**) auf den Brennwert bezogener gemessener Jahresverbrauch; Flächenbezug: beheizte Wohnfläche</p> <p>***) relative Standardabweichung: bezogen auf den Quotienten der beiden Mittelwerte</p> <p>****) relative Standardunsicherheit des Mittelwerts, auch bezeichnet als relativer Standardfehler</p>																

**Tab. 75: Vergleichswerte Energieverbrauch für Intervalle des Norm-Energiebedarfs abgeleitet aus Tab. 74**

Flächenbezug: beheizte Wohnfläche (bei Bedarfskennwerten zusätzlich „Gebäudenutzfläche“  $A_N$  nach EnEV) / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Brennwert-Bezug bei Brennstoffen / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger

Auswertung von Analysen zum Verhältnis aus Verbrauch zu Bedarf								
Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser								
Verbrauch Erdgas / Heizöl / Fernwärme für Heizung und Warmwasser (bei Brennstoffen bezogen auf Brennwert $H_s$ )								
Norm-Energiebedarf**				Stich- probe	gemessener Verbrauch, bezogen auf beheizte Wohnfläche			
bezogen auf beheizte Wohnfläche		nach Energiebedarfsausweis (bezogen auf "Gebäude- nutzfläche" $A_N$ nach EnEV)			Mittel- wert	Kalibrierungsfaktor: Verhältnis Verbrauch zu Bedarf		Streubreite* zugeordneter Verbrauch
Intervall	Mittel- wert	Intervall	Mittel- wert	Anzahl Gebäude		Mittelwert	relative Streubreite*	
kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)		kWh/(m <sup>2</sup> a)			kWh/(m <sup>2</sup> a)
1 ... 50	41	1 ... 42	34	n=49	50	1,20	±57%	± 24
51 ... 100	83	43 ... 83	69	n=76	82	0,98	±42%	± 40
101 ... 150	123	84 ... 125	103	n=257	121	0,98	±48%	± 58
151 ... 200	176	126 ... 167	147	n=421	156	0,89	±37%	± 57
201 ... 250	225	168 ... 208	187	n=534	184	0,82	±39%	± 71
251 ... 300	274	209 ... 250	228	n=482	201	0,74	±34%	± 68
301 ... 350	324	251 ... 292	270	n=364	218	0,67	±37%	± 82
351 ... 400	374	293 ... 333	311	n=281	234	0,63	±33%	± 79
401 ... 450	424	334 ... 375	353	n=199	244	0,58	±36%	± 86
451 ... 500	475	376 ... 417	396	n=109	280	0,59	±35%	± 100
501 ... 550	519	418 ... 458	433	n=52	272	0,52	±23%	± 64
551 ... 600	568	459 ... 500	474	n=25	281	0,49	±33%	± 91

\*\*\*) Bedarf berechnet nach DIN V 4108-6 & DIN V 4701-10 (bzw. ähnliche Verfahren) n=2849

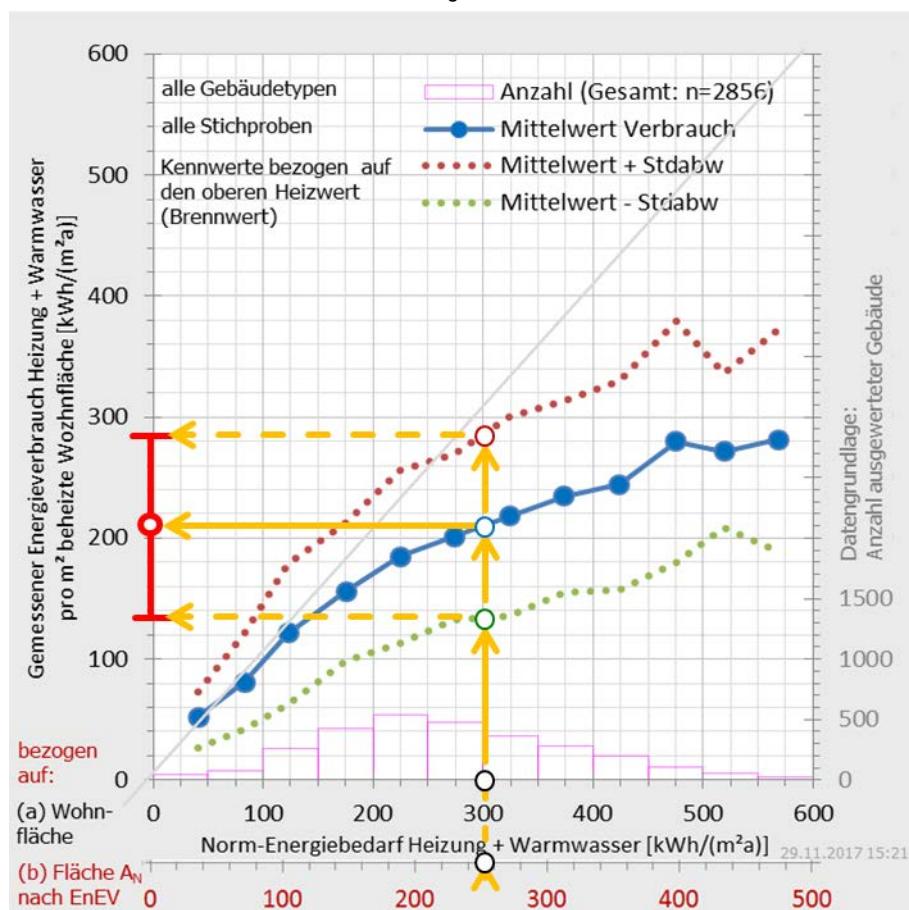
\*) „Streubreite“ = Standardabweichung

Die auf dieser Analyse basierende Vergleichswert-Tabelle (Tab. 75) und das zugehörige Diagramm (Abb. 113) könnten Gebäudeeigentümern oder -nutzern dazu dienen, ausgehend von den Angaben im Energiebedarfsausweis typische Verbrauchskennwerte und Streubreiten zuzuordnen. Das in Abb. 114 dargestellte Diagramm veranschaulicht dies an einem Beispiel. Es wird angenommen, dass der nach EnEV berechnete und im Energieausweis dargestellte Norm-Energiebedarf bei 250 kWh pro m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“  $A_N$  liegt – bezogen auf die Wohnfläche sind dies 300 kWh/(m<sup>2</sup>a). Durch Ablesen auf der zugeordneten Verbrauchsskala zeigt sich, dass der Energieverbrauch typischerweise in einem Intervall zwischen 140 und 290 kWh/(m<sup>2</sup>a) erwartet wird und dass er für diese Art von Gebäuden im Mittel bei etwa 210 kWh pro m<sup>2</sup> Wohnfläche liegt. Dabei ist zu beachten, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 30% auch Verbrauchswerte außerhalb des genannten Intervalls auftreten.

Die Verhältnisse zwischen Verbrauch und Bedarf stellen natürlich gleichzeitig auch schon Stützstellen einer möglichen Kalibrierungsfunktion dar, deren einfachste Variante zwischen den Stützstellen interpoliert (siehe nächster Abschnitt).

### Abb. 114: Zuordnung des erwarteten Energieverbrauchs und der typischen Streuung zu einem gegebenen Energiebedarf

Auswertung der in Kapitel 2.1 analysierten Studien / Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Brennwert-Bezug bei Brennstoffen / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger



### Vorschläge zur Verbesserung der empirischen Grundlage

Die vorliegenden Vergleichswerte können nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnis für Zentralheizungen mit Wärmeerzeuger Kessel (Energieträger Erdgas, Heizöl, Biomasse) sowie für Gebäude mit Fernwärmebeheizung verwendet werden. Eine Ausdehnung der empirischen Grundlage auf strombetriebene Systeme (Stromdirektheizung, Elektro-Wärmepumpe) wäre wünschenswert.

### 4.3 Baustein B: Verbrauchsprognosefunktion als Ergänzung zur EnEV

Dieser Abschnitt geht der Frage nach, mit welchen Funktionsgleichungen die oben dargestellte händische Zuordnung von Vergleichswerten und Spannen sinnvoll automatisiert werden kann. Ziel ist es, eine direkte Ausgabe des erwarteten Verbrauchs zum Beispiel als Add-On des Energieausweises zu ermöglichen.

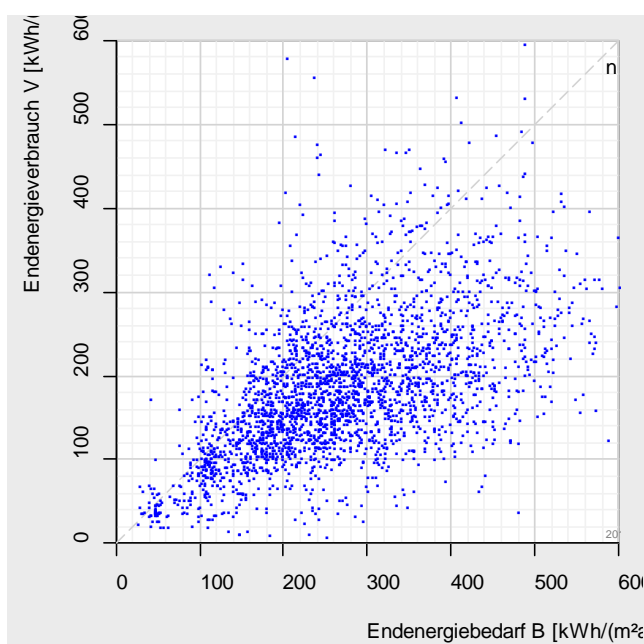
#### 4.3.1 Statistische Analyse des Zusammenhangs zwischen Verbrauch und Bedarf

In Abb. 115a sind die Werte des gemessenen Endenergieverbrauchs  $v_i$  für Heizung und Warmwasser über dem berechneten Norm-Endenergiebedarf  $b_i$  für jedes Gebäude  $i$  der im Kapitel 2.1 zusammengetragenen Sammlung von Gebäudestichproben aufgetragen. Bei einem idealen Berechnungsverfahren für den Energiebedarf, in das alle beeinflussenden Größen einschließlich der Nutzung und des Klimas mit ihren realen Werten eingehen und korrekt erhobenen Werten für den Energieverbrauch würde man erwarten, dass der Verbrauch identisch mit dem Bedarf ist und deshalb alle Punkte auf der Winkelhalbierenden, also der Geraden mit der Steigung 1, liegen. Es ergibt sich aber das aus anderen Untersuchungen bereits bekannte Bild (vgl. [Hörner et al. 2016]). Zum einen hat die Punktwolke eine starke Streuung: Für ein gegebenes Bedarfsintervall liegen die Verbrauchswerte teilweise um einen Faktor 2 bis 3 auseinander. Zum anderen ist der Schwerpunkt der Punktwolke insbesondere für hohe Bedarfswerte systematisch unter die Winkelhalbierende verschoben.

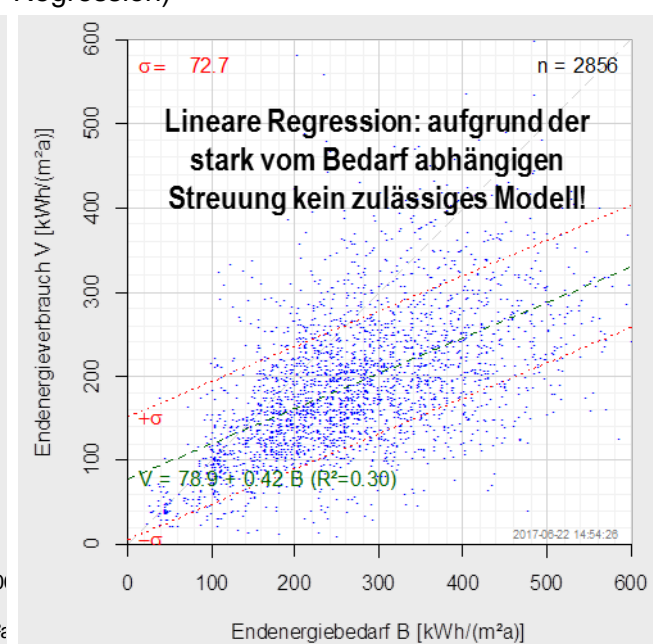
#### Abb. 115 Gemessener Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser, aufgetragen über dem Norm-Endenergiebedarf Wärme für die in Kapitel 2.1 analysierten Gebäude (Stichprobensammlung)

Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Brennwert-Bezug bei Brennstoffen / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger

(a) Wertepaare  
Verbrauch  $V$  über Bedarf  $B$



(b) Wertepaare und **nicht zulässiges lineares Modell** mit Angabe der Standardabweichung und des Bestimmtheitsmaßes (Ergebnis der einfachen linearen Regression)



### 4.3.2 Darstellung der einfachen lineare Regression (nicht zulässiges Modell)

Um den Zusammenhang zwischen den Größen Verbrauch und Bedarf zu analysieren, liegt es zunächst nahe eine lineare Regression durchzuführen. Wie im nächsten Abschnitt erläutert wird, ist bei der vorliegenden Art von Verteilung diese jedoch kein adäquates Verfahren für die Herleitung einer Schätzfunktion, da eine wichtige Voraussetzung nicht eingehalten wird. Auch schon rein optisch scheint das lineare Modell die Abhängigkeit nicht passend wiederzugeben (Abb. 115b). Da diese Methode jedoch in der Praxis häufiger zu finden ist, soll sie hier in Anlehnung an die Ausführungen in [Hörner et al. 2016] zunächst erläutert werden. Der für die Bildung der Schätzfunktion als geeignet erachtete Ansatz der Regression mit logarithmierten Größen wird darauf aufbauend dann im folgenden Absatz erläutert.

Die Regressionsgerade in Abb. 115b macht zumindest deutlich, was man aufgrund der physikalischen Zusammenhänge auch erwarten würde: Je höher der rechnerische Bedarf umso höher ist auch der Verbrauch. Der genaue Zusammenhang ist zwar unbekannt, aber man kann in erster Näherung folgende Funktion zwischen Bedarf  $B$  als unabhängiger Variablen und Verbrauch  $V(B)$  als abhängiger Variablen zur Erklärung der Punktwolke ansetzen:

$$(1) \quad V(B) = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot B + u$$

bzw. für jedes Gebäude  $i$

$$v_i = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot b_i + u_i$$

Aufgrund physikalischer Überlegungen wurde also eine einfache Ursache-Wirkungs-Hypothese entworfen, die allerdings von einer Störgröße  $u$  überlagert wird. Die unbekannte Störgröße repräsentiert im Modell bis jetzt nicht quantifizierbare Einflüsse wie menschliches Verhalten, Messungenauigkeiten, Unschärfe des Bilanzverfahrens oder ähnliches. Auf der Grundlage der Stichprobe in der Datenbank wird nun eine Geradengleichung „geschätzt“,

$$(2) \quad \hat{V}(B) = \beta_0 + \beta_1 \cdot B$$

wobei die **Regressionskoeffizienten**  $\beta_1$  und  $\beta_2$  Schätzwerte für die unbekannt Koeffizienten  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  aus Gleichung (1) darstellen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Geradengleichung zu schätzen, d.h. die Koeffizienten  $\beta_1$  und  $\beta_2$  zu bestimmen. In dieser Untersuchung wird die gebräuchlichste Methode der kleinsten Quadrate angewendet, in der die Summe der Quadrate der Abweichungen von gemessenem Verbrauchswert und Schätzwert minimiert wird. Für jedes Gebäude  $i$  erhält man dann als **Schätzung des Verbrauchs**:

$$(3) \quad \hat{v}_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot b_i$$

Für die einzelnen Punkte (sprich: Gebäude) in der Punktwolke, beschrieben durch die Wertepaare  $(b_i, v_i)$ , liefert die Gl. 2 für jeden rechnerisch ermittelten Norm-Endenergiebedarf Wärme  $b_i$  einen Schätzwert des Verbrauchs  $\hat{v}_i$ , also ein Wertepaar  $(b_i, \hat{v}_i)$ , das einen Punkt auf der Trendgeraden darstellt. Dieser Schätzwert stellt bei der gegebenen Datenlage die bestmögliche Näherung an den tatsächlichen Verbrauch dar und weicht von diesem um das Residuum  $v_i - \hat{v}_i = \hat{u}_i \neq 0$  ab. Das Residuum  $\hat{u}_i$  stellt den Betrag dar, der durch die Regressionsfunktion bzw. die unabhängige Variable  $b_i$  alleine nicht erklärt werden kann. Für die vorliegende Stichprobe ergibt sich durch das oben beschriebene Verfahren die konkrete Schätzgleichung (vgl. Abb. 115b):

$$(4) \quad \hat{V}(B) = 78,9 + 0,42 \cdot B$$

Erklärungsbedürftig ist die Tatsache, dass sich mit dem Koeffizienten  $\beta_0 = 78,9$  ein beträchtlicher Achsenabschnitt ergibt. Das würde bedeuten, dass bei einem Gebäude mit dem Norm-Endenergiebedarf Wärme von  $b_i = 0$  kWh/m<sup>2</sup>a ein gemessener Verbrauch von fast 80 kWh/m<sup>2</sup>a erwartet werden würde. Die Wertepaare für sehr niedrige Energiebedarfswerte zeigen jedoch im Mittel deutlich niedrigere Verbrauchswerte, wie man auch den Vergleichswerten in Tab. 75 entnehmen kann. Der Koeffizient  $\beta_1 = 0,42$  entspricht der Steigung der Geraden und bedeutet, dass



bei einer Erhöhung des Norm-Endenergiebedarfs Wärme um 1 kWh/m<sup>2</sup>a der Verbrauch mutmaßlich nur um 0,42 kWh/m<sup>2</sup>a ansteigt.

Eine verlässliche Schätzfunktion würde folgende Möglichkeit eröffnen. Liegt bei einem neuen Energieausweis mit Norm-Wärmebedarf  $b_k$  noch kein Verbrauch  $v_k$  vor, kann man mit der Regressionsgleichung unter Nutzung der bisherigen Erkenntnisse aus der Datenbank einen Wert des Verbrauchs  $\hat{v}_k$  schätzen. Wie verlässlich diese Schätzung ist, das geben die folgenden Prüfparameter an.

### Bestimmtheitsmaß und Standardfehler

Die Güte der Regressionsfunktion kann mit Hilfe des Bestimmtheitsmaßes und des Standardfehlers bewertet werden.

Die Regressionsgerade kann nur einen Teil der Gesamtstreuung, also der Summe der quadrierten Abweichungen vom Mittelwert  $\bar{v}$ , erklären. Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  gibt das Verhältnis der erklärten Streuung zur Gesamtstreuung an, da die Summe der Residuenquadrate ein Maß für die nicht erklärte Streuung ist.

$$(5) \quad R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N \hat{u}_k^2}{\sum_{k=1}^N (v_k - \bar{v})^2} = 1 - \frac{\text{nicht erklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}}$$

Im Beispiel oben kann die Regressionsgerade mit einem Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,30$  etwa ein Drittel der Streuung der Punktwolke erklären. Auch bei der Wahl anderer Funktionen, z. B. einer Hyperbel, ergibt sich kein besseres Bestimmtheitsmaß. Wäre es möglich weitere Einflussgrößen auf den Schätzwert zu finden, so könnte ein größerer Anteil der Streuung erklärt werden und das Bestimmtheitsmaß würde steigen.

Der **Standardfehler**  $\sigma(\hat{v})$  der Regression gibt die Standardabweichung des geschätzten Verbrauchs an und entspricht der Streuung der Schätzwerte verschiedener Stichproben um den „wahren“ Verbrauchswert. Dieser wahre Verbrauchswert ist unbekannt, solange er nicht gemessen werden konnte. Der (geschätzte) Standardfehler der oben dargestellten einfachen linearen Regression beträgt  $\hat{\sigma}(\hat{v}) = 72,7$  kWh/(m<sup>2</sup>a). Für ein Gebäude k mit einem Norm-Endenergiebedarf Wärme von  $b_k = 100$  kWh/(m<sup>2</sup>a) ergibt sich nach Gleichung 3 ein Schätzwert des Verbrauches mit Standardfehler von  $\hat{v}_k = 120 \pm 73$  kWh/m<sup>2</sup>a. Die Interpretation für den Eigentümer ist dann: Der später zu messende „wahre“ Verbrauch wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% in der Spanne des Standardfehlers des geschätzten Verbrauchs, also zwischen 47 und 193 kWh/m<sup>2</sup>a liegen.

### Voraussetzung für das lineare Regressionsmodell

Die Punktwolke in Abb. 115b zeigt eine Besonderheit, die bereits in Abb. 113 durch die Darstellung der Standardabweichung für jedes Intervall augenfällig ist: Die Streubreite der Verbrauchswerte ist stark abhängig vom Bedarfswert. Je größer der Bedarf, umso größer ist auch die Streuung des Verbrauchs, die Punktwolke öffnet sich trichterförmig zu höheren Bedarfswerten hin. Die Verteilung scheint heteroskedastisch<sup>22</sup> zu sein, womit eine wichtige Voraussetzung für das lineare Regressionsmodell, nämlich die Homoskedastizität, nicht erfüllt ist (vgl. [Backhaus et al. 2005]). Ein entsprechender Nachweis mit Hilfe des Goldfeld-Quandt-Tests<sup>23</sup> findet sich weiter unten in Infobox 2. Man kann die Problematik beispielhaft durch Vergleich von zwei Intervallen der in Tab. 75 dargestellten Verbrauchsbenchmarks anschaulich erklären: Für das erste Bedarfsintervall 0 ... 50

<sup>22</sup> Heteroskedastizität beschreibt eine nicht konstante Streuung der Residuen in Abhängigkeit der Werte der abhängigen Variablen.

<sup>23</sup> Der Goldfeld-Quandt-Test ist ein statistischer Test zum Nachweis von Heteroskedastizität bei der Regressionsanalyse. Der Test basiert auf dem Vergleich zweier Stichprobenhälften.

kWh/(m<sup>2</sup>a) wurde die Standardabweichung zu 24 kWh/(m<sup>2</sup>a) bestimmt, für das zehnte Bedarfsintervall 451 ... 500 kWh/(m<sup>2</sup>a) zu 100 kWh/(m<sup>2</sup>a). Da die Qualität der Abbildungsgenauigkeit bei der Regression durch die Quadrate der Abweichungen bestimmt wird, setzen wir die Quadrate der Standardabweichungen zueinander in Beziehung:  $100^2 / 24^2 = 17,4$ . Das bedeutet anschaulich, dass die Streuung der Verbrauchswerte im Bereich hoher Bedarfswerte das Ergebnis 17 mal stärker beeinflusst als die Streuung der Verbrauchswerte im Bereich niedriger Bedarfswerte. Bei der linearen Regression, die auf die Minimierung der Summe der Residuenquadrate abzielt, bestimmen also vor allem die Bereiche mit den großen Streuungen die Lage der gesuchten Funktion. Daher darf sie nur angewendet werden, wenn die Streuung nicht zu sehr von der unabhängigen Variablen abhängt.

Das Beispiel verdeutlicht auch noch einmal, wie sensibel die Regressionsanalyse auf die Behandlung von Ausreißern reagiert. Der Einfluss ist bei der Mittelwertbildung weniger stark ausgeprägt, da hier die Residuen nur linear eingehen. Angesichts dieses Punktes bedarf es in Zukunft noch weiterer grundsätzlicher Erwägungen, um zu klären, welche Kriterien für die Qualität eines Modells zur Schätzung des Energieverbrauchs von Gebäuden eigentlich die besten sind.

#### 4.3.3 Lineare Regression der logarithmierten Variablen („Modell 1“)

Durch eine nicht-lineare Transformation der Variablen können die Bedingungen für die lineare Regression erfüllt werden. Als Transformationsansatz wird die Logarithmierung gewählt – die neuen Variablen sind also die logarithmierten Werte des Verbrauchs und des Bedarfs. Dieses Regressionsmodell genügt damit dem Kriterium des Goldfeld-Quandt-Tests<sup>23</sup> für Homoskedastizität (Durchführung des Tests siehe Infobox 2).

Durch die Logarithmierung wird die Regressionsgleichung (2) dann zu:

$$(6) \quad \text{Ln}(\hat{V}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Ln}(B)$$

In den folgenden Abschnitten sollen die Variablen des physikalischen Modells verwendet werden. Damit wird Gleichung (6) zu:

$$(7) \quad \text{Ln}(\hat{q}_{del,m}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Ln}(q_{del,c})$$

mit	$\hat{q}_{del,m}$	Schätzwert für den Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]
	$q_{del,c}$	Norm-Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]
		<i>Bezug auf Heizwert oder Brennwert bei beiden Größen jeweils gleich</i>	
	$\beta_1, \beta_2$	Regressionskoeffizienten	

Der Schätzwert des Verbrauchs berechnet sich somit aus der Beziehung:

$$(8) \quad \hat{q}_{del,m} = e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Ln}(q_{del,c})} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

$$= q_{del,c}^{\beta_1} \cdot e^{\beta_0}$$

Aus der Regression ergeben sich die Werte für die Koeffizienten:

$$\beta_0 = 1,58$$

$$\beta_1 = 0,65$$

Während bei der einfachen linearen Regression der Regressionskoeffizient  $\beta_1$  eine Steigung ist, wird dieser bei logarithmierten Variablen anders interpretiert. Bei Erhöhung des (nicht logarithmierten) Bedarfs um 1% steigt der (nicht logarithmierte) Verbrauch um  $\beta_1\%$  an, in dieser Variante heißt das also, dass bei Erhöhung des Bedarfs  $B$  um 1% der Schätzwert des Verbrauchs  $\hat{q}_{del,m}$  um ca. 0,7% steigt.

$e^{\beta_0}$  ist der Achsenabschnitt der Schätzfunktion  $\hat{q}_{del,m}$  bei einem rechnerischen Bedarf von  $q_{del,c} = 0$  kWh/m<sup>2</sup>a. Das Bestimmtheitsmaß  $R_{adj}^2$  ist gleich 0,399, also ca. 40% der Streuung der Punktwolke können durch die unabhängige Variable  $\ln(q_{del,c})$  erklärt werden.

Der Standardfehler beträgt  $\hat{\sigma}(\ln(\hat{q}_{del,m})) = \pm 0,391$  des geschätzten logarithmierten Verbrauchs, d.h. mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% wird der Logarithmus des gemessenen Verbrauchs in diesem Intervall um den Schätzwert liegen.

Bezogen auf den Schätzwert des (nicht logarithmierten) Verbrauchs  $\hat{q}_{del,m}$  würde sich diese Standardabweichung als Faktor  $e^{\pm\hat{\sigma}} = e^{\pm 0,39}$  bemerkbar machen, also als Faktor 1,48 für das obere und 0,68 für das untere Intervall.

## Beispiele für die Interpretation der Größen

Die Bedeutung dieser Größen soll an zwei Beispielen erläutert werden:

- Betrachtet werden soll ein nicht modernisiertes Einfamilienhaus, das einen wohnflächenbezogenen Normenergiebedarf von 400 kWh/(m<sup>2</sup>a) hat. Bei Gebäuden dieser energetischen Qualität ist gemäß Gl. (8) im Mittel ein Verbrauch von 239 kWh/(m<sup>2</sup>a) zu erwarten (Schätzwert des Verbrauchs), wobei die Verbrauchswerte typischerweise zwischen  $0,68 \cdot 239 = 162$  kWh/(m<sup>2</sup>a) und  $1,48 \cdot 239 = 353$  kWh/(m<sup>2</sup>a) liegen. Tatsächlich gemessen wurde ein Verbrauch von 206 kWh/(m<sup>2</sup>a), der damit also innerhalb der angegebenen Bandbreite liegt. Dies wäre auch für die Mehrzahl derartiger Gebäude zu erwarten, allerdings muss für 32 % der Fälle sogar mit einem Verbrauch außerhalb dieses Intervalls gerechnet werden.
- Für ein modernisiertes Gebäude wird aus den Planungsdaten ein Normenergiebedarf von 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) ermittelt. Der Verbrauch wird bei dieser Gebäudequalität gemäß Gl. (8) im Mittel bei 62 kWh/(m<sup>2</sup>a) in einem Intervall zwischen  $0,68 \cdot 62 = 42$  kWh/(m<sup>2</sup>a) und  $1,48 \cdot 62 = 91$  kWh/(m<sup>2</sup>a) erwartet. Die Unsicherheit in kWh/(m<sup>2</sup>a) ist also vier Mal kleiner als bei dem unsanierten Altbau. Der tatsächliche Verbrauch liegt bei 43 kWh/(m<sup>2</sup>a), also innerhalb der angegebenen Bandbreite.

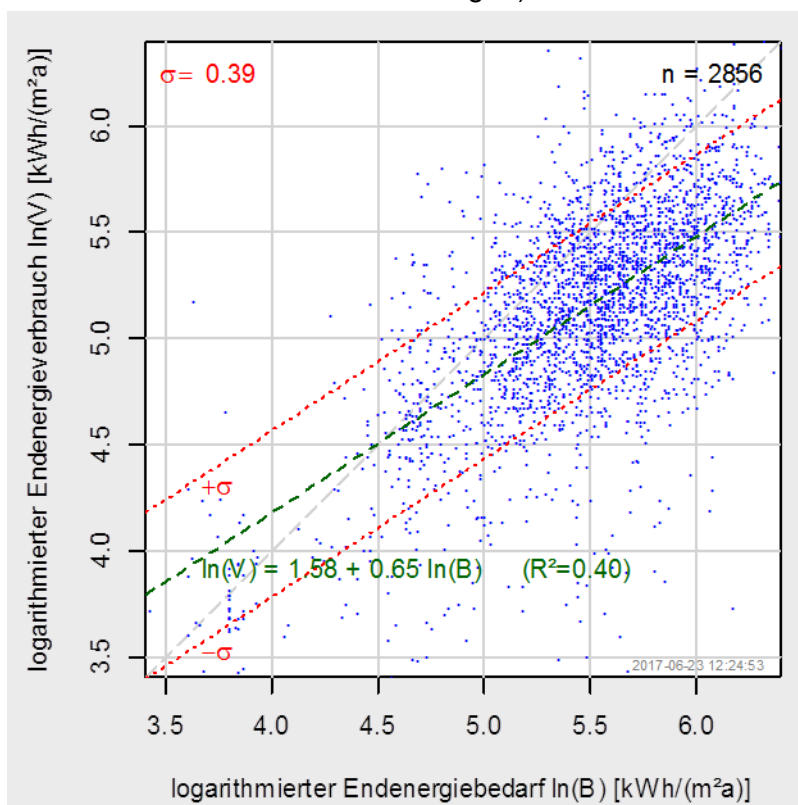
Bei den effizienteren Gebäuden ergibt sich also eine erhebliche Verbesserung der Güte der Schätzung gegenüber den unsanierten Bestandsgebäuden – dies ist auch ein wesentlicher Unterschied im Vergleich zur Regression nicht logarithmierter Größen.

## Verschiedene Diagramm-Darstellungen

Abb. 116 zeigt die Verbrauchs-Bedarfs-Datenpunkte bei Darstellung mit logarithmierten Achsen sowie die auf dieser Basis durchgeführte lineare Regression. Bei der Darstellung der tatsächlichen und der geschätzten Werte des logarithmierten Verbrauchs über den Einflussparameter logarithmierter Bedarf wird deutlich, dass die Schätzung nach wie vor nur einen Teil der Streuung erklären kann. Allerdings ist die Streubreite durch die Logarithmierung homogener geworden, was besser mit der konstanten Standardabweichung des logarithmierten Verbrauchs korrespondiert.

Bei Abb. 117 handelt es sich im Prinzip um die gleiche Darstellung, jedoch geben die logarithmischen Achsen direkt Verbrauch und Bedarf ohne Transformation wieder. Die entsprechenden Werte können also direkt abgelesen werden. In Abb. 118 ist dann noch einmal das gleiche mit linearen Achsen dargestellt: Aus der bei transformierten Variablen konstanten Streubreite (Standardabweichung, rote gepunktete Linien) wird eine relative. Damit liegen 68% der Fälle in einem Bereich, der durch die mit den Faktoren  $e^{+0,39}=1,48$  und  $e^{-0,39}=0,68$  multiplizierten Schätzfunktion aufgespannt wird.

**Abb. 116: Stichprobe und lineare Regressionsgleichung der logarithmierten Variablen / Darstellung  $\ln(q_{del,m})$  als Funktion von  $\ln(q_{del,c})$  / lineare Skalierung beider Diagrammachsen (mit Angabe der Regressionsformel, des Bestimmtheitsmaßes  $R^2$  und der Standardabweichung  $\sigma$ )**

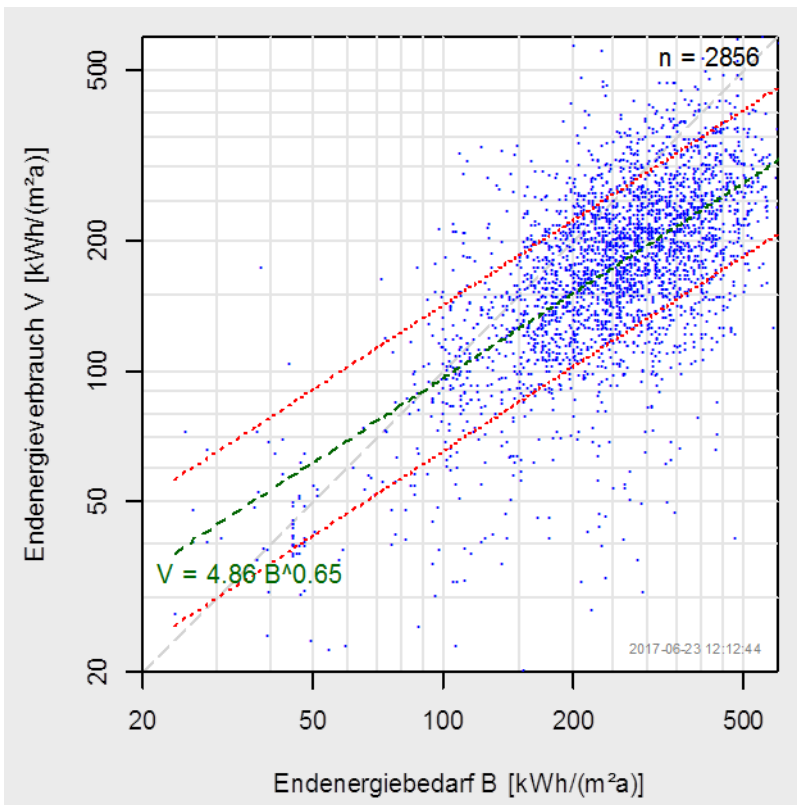


Zuordnung Formelzeichen

V:  $q_{del,m}$

B:  $q_{del,c}$

**Abb. 117: Stichprobe und lineare Regressionsgleichung der logarithmierten Variablen / Darstellung  $q_{del,m}$  als Funktion von  $q_{del,c}$  / logarithmische Skalierung beider Diagrammachsen**



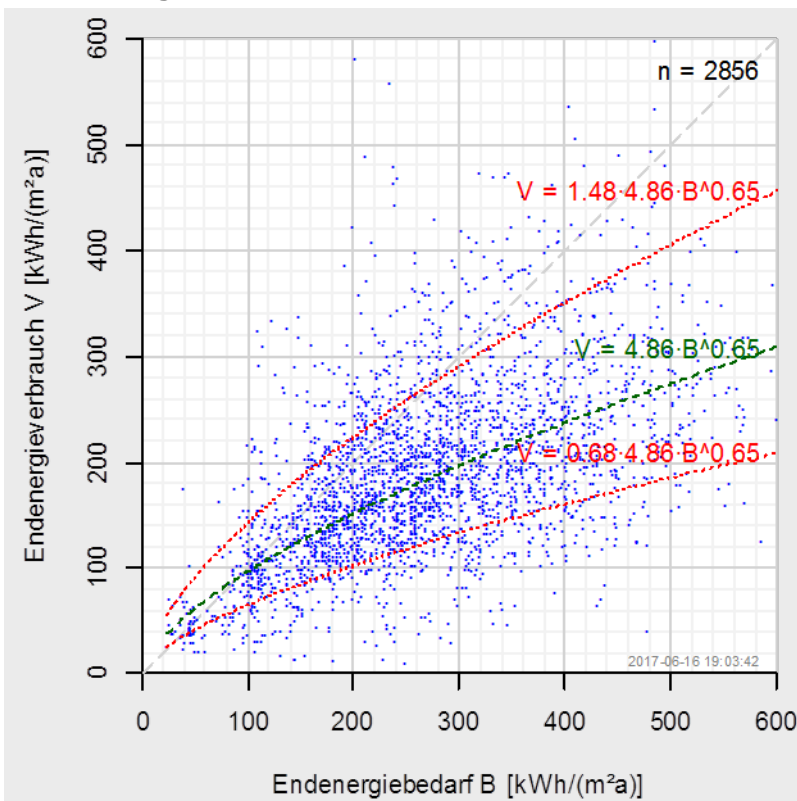
Flächenbezug: beheizte Wohnfläche  
 Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser  
 Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger  
 Energieträger: Erdgas und Fernwärme  
 Brennwert-Bezug bei Brennstoffen  
 (gleich für alle folgenden Auswertungen bzw. Abbildungen)

Zuordnung Formelzeichen

V:  $q_{del,m}$

B:  $q_{del,c}$

**Abb. 118: Stichprobe und lineare Regressionsgleichung der logarithmierten Variablen / Darstellung  $q_{del,m}$  als Funktion von  $q_{del,c}$  / lineare Skalierung beider Diagrammachsen**



Zuordnung Formelzeichen

V:  $q_{del,m}$

B:  $q_{del,c}$

## Kalibrierungsfaktor

Eine Umformung von Gleichung (8) ergibt das geschätzte Verhältnis aus Verbrauch und Bedarf, der auch direkt als Kalibrierungsfaktor angewendet werden kann.

$$(9) \quad \hat{f}_{cal} = \frac{\hat{q}_{del,m}}{q_{del,c}} = \frac{q_{del,c}^{\beta_1} \cdot e^{\beta_0}}{q_{del,c}} = q_{del,c}^{\beta_1-1} \cdot e^{\beta_0}$$

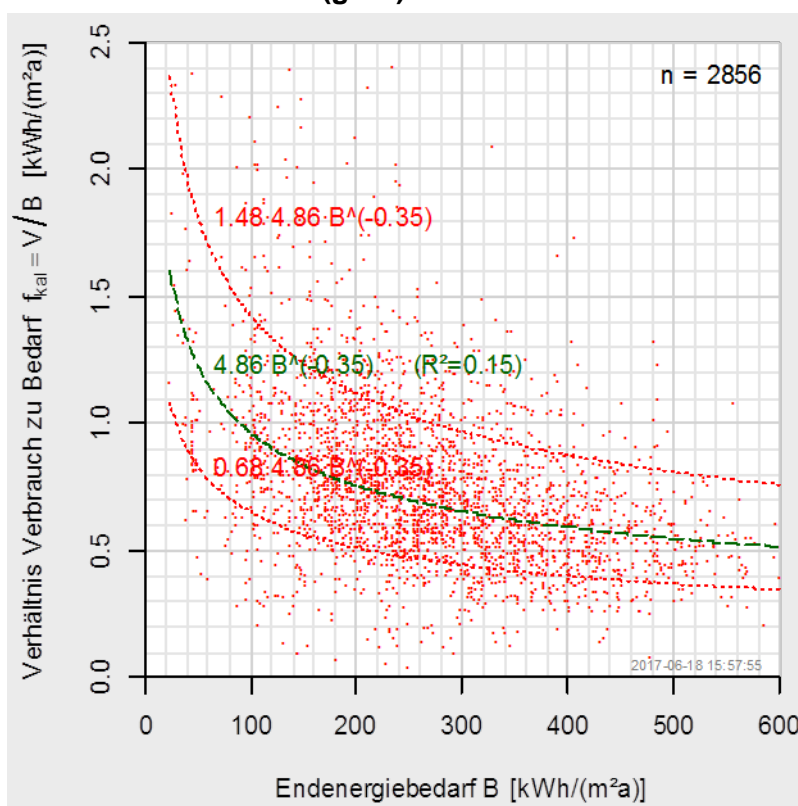
Mit den Koeffizienten aus der Regression ( $\beta_0 = 1,58$  und  $\beta_1 = 0,65$ ) ergibt sich aus der vorliegenden Stichprobe die folgende Kalibrierungsfunktion:

$$(10) \quad \hat{f}_{cal} = e^{1,58} \cdot q_{del,c}^{-0,35} = 4,86 q_{del,c}^{-0,35}$$

Der typische Streubereich wird wie oben dargestellt aus der aus der Analyse der logarithmierten Größen gebildeten Standardabweichung ermittelt. Es ergeben sich für die obere und die untere Grenze des Streubereichs, in dem sich 68% der Fälle befinden:

$$(11) \quad \begin{aligned} \hat{f}_{cal,sup} &= 1,48 \cdot 4,86 q_{del,c}^{-0,35} = 7,19 q_{del,c}^{-0,35} \\ \hat{f}_{cal,inf} &= 0,68 \cdot 4,86 q_{del,c}^{-0,35} = 3,30 q_{del,c}^{-0,35} \end{aligned}$$

**Abb. 119: Kalibrierungsfunktionen: Faktoren für das erwartete Verhältnis aus Verbrauch und Bedarf (grün) und für den oberen und unteren Streubereich**



Flächenbezug: beheizte Wohnfläche  
Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser  
Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger  
Energieträger: Erdgas und Fernwärme  
Brennwert-Bezug bei Brennstoffen  
(gleich für alle folgenden Auswertungen bzw. Abbildungen)

Zuordnung Formelzeichen

V:  $q_{del,m}$

B:  $q_{del,c}$

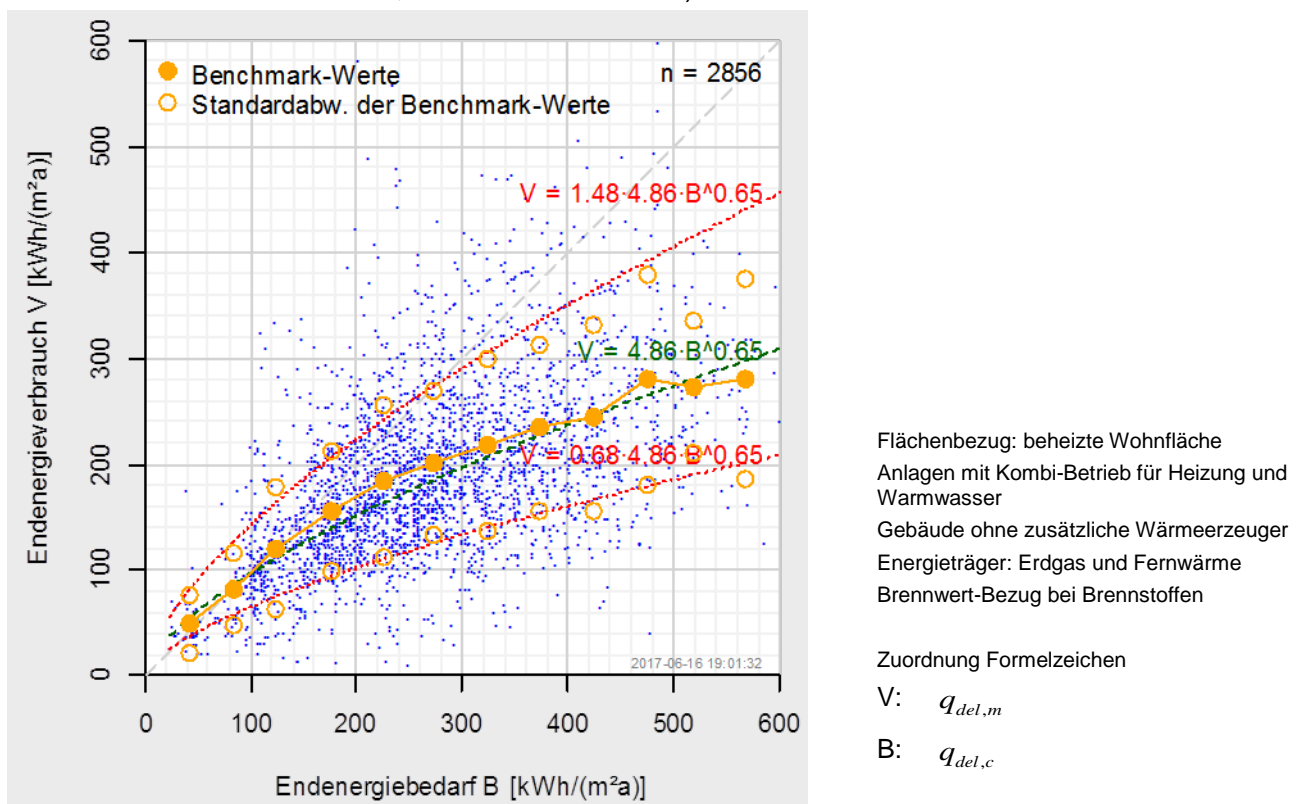
## Vergleich der Schätzfunktion mit der Vergleichswert-Tabelle

In Abb. 120 wird zur Kontrolle die Schätzfunktion mit den für Bedarfsintervalle bestimmten tabellierten Vergleichswerten (Tab. 75) verglichen. Es zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung. Erwartungsgemäß sind die Mittelwerte und Standardabweichungen in den Intervallen mit kleinen Fallzahlen (sehr hohe Bedarfswerte) stärker dem Zufall unterworfen, wodurch sich insbesondere größere Abweichungen gegenüber der aus der Gesamtstichprobe ermittelten Schätzfunktion für den Streubereich ergeben.

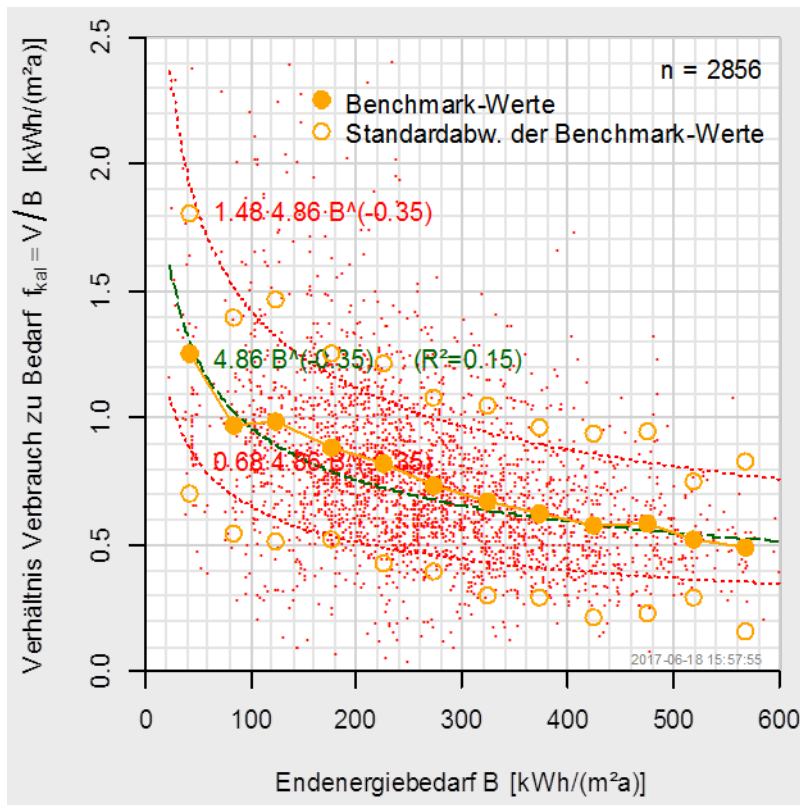
Dies wird beim Vergleich der Kalibrierungsfaktoren in Abb. 121 noch etwas deutlicher. Hier fällt besonders auf, dass gerade im Mittelfeld mit einer hohen Stichprobenzahl die Kalibrierungsfunktion systematisch um ca. 10% niedriger ist als die für Intervalle gebildeten Mittelwerte. Ein Grund hierfür sind vermutlich die unterschiedlichen Kriterien für die Maximierung der Güte bei der Regressionsanalyse (Minimierung der Summe der Residuenquadrate der logarithmierten abhängigen Variablen) und bei der Mittelwertbildung (rein lineare Betrachtung). Dabei spielen besonders bei der Regression durch die Quadrierung die Ausreißer eine wichtige Rolle.

Für die Praxis hätte dies den Effekt, dass die Schätzung der Energieeinsparung bei Teil-Modernisierungen im Mittel höher und bei umfassenden Maßnahmen an bereits teilmodernisierten Gebäuden im Mittel niedriger ausfällt als auf der Grundlage der Benchmark-Tabelle zu erwarten wäre. Welches Modell besser ist kann derzeit nicht gesagt werden, insbesondere da die Kriterien für ein gutes Modell nicht definiert sind. Aus diesem Grund sollten in Zukunft – insbesondere wenn differenziertere, aktuellere Daten vorliegen – verschiedene Modelle bzw. Formalismen einschließlich der Behandlung von Ausreißern in Bezug auf ihre Qualität in der Anwendung bei der individuellen Gebäudebewertung und bei der Abbildung von Gesamtbeständen untersucht werden.

**Abb. 120: Vergleich der Schätzfunktion für den Energieverbrauch mit den für Bedarfsintervalle bestimmten Vergleichswerten** (dem Normenergiebedarf zugeordnete Mittelwerte des Verbrauchs, siehe Abschnitt 4.2.3)



**Abb. 121: Vergleich der Schätzfunktion für das Verbrauchs-Bedarfs-Verhältnis mit den für Bedarfsintervalle bestimmten Verhältnissen aus Vergleichswerten und mittleren Bedarfswerten (siehe Abschnitt 4.2.3)**



Zuordnung Formelzeichen

V:  $q_{\text{del},m}$

B:  $q_{\text{del},c}$



## Infobox 2: Prüfung der Varianzen des Verbrauchs und des logarithmierten Verbrauchs bezüglich Homoskedastizität (Voraussetzung der linearen Regressionsanalyse)

Wie im Text ausgeführt, ist eine Voraussetzung für die Anwendbarkeit der linearen Regressionsanalyse die Homoskedastizität der Daten, die im Folgenden mit dem Goldfeld-Quandt-Test überprüft werden soll.<sup>24</sup> Der Test kann auch für Teilmengen der Daten durchgeführt werden, so dass hier vereinfachend zwei der schon in Tab. 75 dargestellten Stichprobenteile geprüft werden, deren Standardabweichung mit dem einfachen Mittelwert-Modell ermittelt wurde. Die beiden Teilmengen mit ausreichender Fallzahl weisen die kleinste und die größte Standardabweichung aller Intervalle auf.

### (a) Prüfung der Verbrauchswerte

Die für den Test herangezogene erste Teilmenge Bedarfsintervall 451...500 kWh/(m<sup>2</sup>a) hat eine Fallzahl  $n_1 = 109$ , die zweite im Bedarfsintervall 0...50 kWh/(m<sup>2</sup>a) eine Fallzahl  $n_2 = 49$ . Die Standardabweichung beträgt  $\sigma_1 = \pm 100$  kWh/(m<sup>2</sup>a) und  $\sigma_2 = \pm 24$  kWh/(m<sup>2</sup>a). Für den Quotient der Varianzen ergibt sich ein Prüfwert von  $f = s_1^2/s_2^2 = 100^2 / 24^2 = 10000 / 576 = 17,4$ .

Der kritische Wert für ein Signifikanzniveau  $\alpha = 5\%$  aus der F-Verteilung mit  $109-1=108$  und  $49-1=48$  Freiheitsgraden ergibt sich zu ca.  $1,5^{25}$ . Da der Prüfwert  $17,4$  größer ist als der kritische Wert  $1,5$  muss die Nullhypothese der Homoskedastizität abgelehnt werden, d.h. **es liegt Heteroskedastizität vor**.

Die Voraussetzung für eine lineare Regressionsanalyse ist im Fall der linearen Verbrauchswerte also **nicht erfüllt**.

### (b) Prüfung der logarithmierten Verbrauchswerte

Die Standardabweichung des logarithmierten Verbrauchs beträgt für die beiden genannten Intervalle  $\sigma_1 = \pm 0,38$  und  $\sigma_2 = \pm 0,35$ . Für den Quotient der Varianzen ergibt sich ein Prüfwert von  $f = s_1^2/s_2^2 = 0,38^2 / 0,35^2 = 0,14/0,12 = 1,2$ .

Der kritische Wert für ein Signifikanzniveau  $\alpha = 5\%$  liegt wieder bei ca.  $1,5$ . Da der Prüfwert  $1,2$  kleiner ist als der kritische Wert  $1,5$  muss der Nullhypothese der Homoskedastizität zugestimmt werden, d.h. **es liegt keine Heteroskedastizität vor**.

Die Voraussetzung für eine lineare Regressionsanalyse ist im Fall der logarithmierten Verbrauchswerte also **erfüllt**.

### 4.3.4 Alternativer Ansatz: Verbrauchsprognosefunktion („Modell 2“), abgeleitet aus der IWU-Altbau-Stichprobe aus dem Jahr 2006

Aus den in [Knissel et al. 2006] analysierten Daten (siehe Kapitel 2.1) ist eine Kalibrierungsfunktion abgeleitet worden<sup>26</sup>. Die Formel findet sich auch in der Dokumentation der Berechnungsgrundlagen zur deutschen Wohngebäudetypologie [Loga et al. 2015] als Grundlage für die tabellierten Anpassungsfaktoren. Für brennstoffbefeuerte Systeme ist die Kalibrierungsfunktion wie folgt definiert:

<sup>24</sup> Für eine leicht nachvollziehbare Darstellung des Goldfeld-Quandt-Tests siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/Goldfeld-Quandt-Test>.

<sup>25</sup> Werte aus: <http://eswf.uni-koeln.de/glossar/fvert3.htm>

<sup>26</sup> Die Formel findet sich in der 2007 publizierten Excel-Mappe für das „Kurzverfahren Energieprofil“ [Loga et al. 2005] (Download: <http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/kurzverfahren-energieprofil/>)

$$(12) \quad \hat{f}_{cal,h} = -0,2 + \frac{1,3}{1 + \frac{q_{del,h,c}}{500}} \quad [ - ]$$

mit  $q_{del,h,c}$  berechneter Endenergiebedarf für Heizung (Normbilanzverfahren), bezogen auf die beheizte Wohnfläche, bei Brennstoffen bezogen auf den unteren Heizwert [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

Diese Formel ist auch im Handbuch für den individuellen Sanierungsfahrplan enthalten [dena / ifeu / PHI 2017].

Eine verallgemeinerte Form wäre:

$$(13) \quad f_{cal,h} = C_1 + \frac{C_2}{1 + \frac{q_{del,h,c}}{C_3}} \quad [ - ]$$

mit  $q_{del,h,c}$  berechneter Endenergiebedarf für Heizung (Normbilanzverfahren), bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$C_1$  konstanter Parameter mit dem Wert -0,2 [ - ]

$C_2$  konstanter Parameter mit dem Wert 1,3 [ - ]

$C_3$  konstanter Parameter mit den Werten: [kWh/(m<sup>2</sup>a)]  
 500 wenn sich der berechnete Energiebedarf auf den unteren Heizwert bezieht  
 550 wenn sich der berechnete Energiebedarf auf den Brennwert (oberen Heizwert) bezieht

Der Schätzwert für den Verbrauchskennwert Heizung ist dann:

$$(14) \quad \hat{q}_{del,h,m} = \hat{f}_{cal,h} \cdot q_{del,h,c} \quad [kWh/(m^2a)]$$

mit  $q_{del,h,c}$  Endenergiebedarf Heizung, bezogen auf die beheizte Wohnfläche; Bezug auf Heizwert oder Brennwert abhängig von dem für  $q_{del,h,c}$  verwendeten Bezug [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

### Erweiterung auf den gemessenen Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser

Die Kalibrierungsfaktoren für den Zusammenhang zwischen Verbrauch und Bedarf waren in der Datenanalyse nur für den Heizenergieverbrauch ermittelt worden. Für Fälle, in denen nur der Verbrauch für Heizung und Warmwasser bekannt war und Warmwasser nicht extra gemessen wurde, war ein pauschaler Abzug des Warmwassers vorgenommen worden [Knissel et al. 2006].

Soll auf dieser Basis ein Schätzwert für den Verbrauchskennwert einschließlich Warmwasser angegeben werden, so ist die nachfolgend dargestellte Erweiterung notwendig.

$$(15) \quad \hat{q}_{del,h+w,m} = \hat{f}_{cal,h} \cdot q_{del,h,c} + \hat{f}_{cal,w} \cdot q_{del,w,c} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

mit  $\hat{f}_{cal,w}$  Kalibrierungsfunktion Warmwasser, bisher unbekannt (im Folgenden =1 angesetzt)  $[-]$

$\hat{q}_{del,h+w,m}$  Schätzwert für den Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche  $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$

$q_{del,w,c}$  berechneter Endenergiebedarf Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche  $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$

Bezug auf Heizwert oder Brennwert jeweils konsistent für alle in dieser Formel verwendeten Größen

Da bisher keine Erkenntnisse zur Genauigkeit der Abbildung des Warmwasserverbrauchs durch die Normberechnung vorliegt, wird für die Erweiterung des Modells im Folgenden die Annahme  $\hat{f}_{cal,w} = 1$  getroffen. Es wird also zunächst davon ausgegangen, dass im Fall der Warmwasserbereitung die Berechnung den Verbrauch im Mittel richtig wiedergibt.

### Anwendung des Modells 2 für die vorliegende Stichprobensammlung

Gleichung (15) setzt voraus, dass die Werte des Norm-Endenergiebedarfs für Heizung und für Warmwasser jeweils einzeln vorliegen. Dies ist jedoch für die vorliegende Stichprobensammlung nicht der Fall. Daher muss für die Anwendung und Überprüfung des Modells 2 eine Annahme für den Warmwasserbedarf getroffen werden: Falls  $q_{del,w,c}$  nicht bekannt ist, wird ein Pauschalwert von 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei Bezug auf den unteren Heizwert und von 33 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei Bezug auf den Brennwert angesetzt. Im Folgenden wird die Brennwert-bezogene Darstellung gewählt. Der zunächst nur für den Bereich Heizung definierte Kalibrierungsfaktor  $f_{cal,h}$  wird dann in einen auf Bedarfswerte für Heizung und Warmwasser anwendbaren Kalibrierungsfaktor  $f_{cal}$  überführt:

Im Regelfall ist der Heizenergiebedarf größer als der Warmwasserbedarf:

$$q_{del,h,c} > 33 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \text{ und folglich } q_{del,h+w,c} > 66 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}).$$

Dann wird Gl. (16) zu:

$$(16) \quad \begin{aligned} \hat{q}_{del,h+w,m} &= \hat{f}_{cal} \cdot q_{del,h,c} + q_{del,w,c} && [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})] \\ &= \hat{f}_{cal} \cdot (q_{del,h+w,c} - q_{del,w,c}) + q_{del,w,c} \\ &= \hat{f}_{cal} \cdot (q_{del,h+w,c} - 33) + 33 \end{aligned}$$

$q_{del,h+w,c}$  berechneter Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche  $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$

Weiterhin ist zu beachten, dass die Anwendung der Kalibrierungsfunktion ab einem bestimmten Wert des Bedarfs (der allerdings praktisch kaum vorkommt) wieder zu absinkenden Schätzwerten führt. Daher wird der Kalibrierungsfaktor auf einen Wertebereich  $> 0,4$  eingeschränkt.

Somit ist im Regelfall der Kalibrierungsfaktor  $f_{cal}$  wie folgt definiert:

**(a) Regelfall:**  $q_{del,h+w,c} > 66 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ :

$$(17) \quad f_{cal} = \max \left( -0,2 + \frac{1,3}{1 + \frac{q_{del,h+w,c} - 33}{550}} ; 0,4 \right) \quad [ - ]$$

Es muss aber noch berücksichtigt werden, dass sehr niedrige Verbrauchswerte für Heizung und Warmwasser im Einzelfall auch unter dem oben genannten Standardwert nur für Warmwasser von 33 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegen können. Damit würde das Modell von einem negativen Heizenergiebedarf ausgehen. Um dies zu verhindern wird schon ab einer Grenze  $q_{del,h+w,c} \leq 66 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  von einer gleichmäßigen Aufteilung des vorliegende Gesamtenergiebedarfs auf Heizung und Warmwasser ausgegangen:

**(b) Sonderfall:**  $q_{del,h+w,c} \leq 66 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ :

$$(18) \quad q_{del,h,c} = 0,5 \cdot q_{del,h+w,c} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

$$q_{del,w,c} = 0,5 \cdot q_{del,h+w,c}$$

$$(19) \quad \hat{q}_{del,h+w,m} = f_{cal} \cdot (q_{del,h+w,c} - 0,5 \cdot q_{del,h+w,c}) + 0,5 \cdot q_{del,h+w,c} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

$$= 0,5 \cdot (f_{cal} + 1) \cdot q_{del,h+w,c}$$

Der Kalibrierungsfaktor  $f_{cal}$  ist in diesem Sonderfall dann:

$$(20) \quad f_{cal} = -0,2 + \frac{1,3}{1 + \frac{0,5 q_{del,h+w,c}}{550}} \quad [ - ]$$

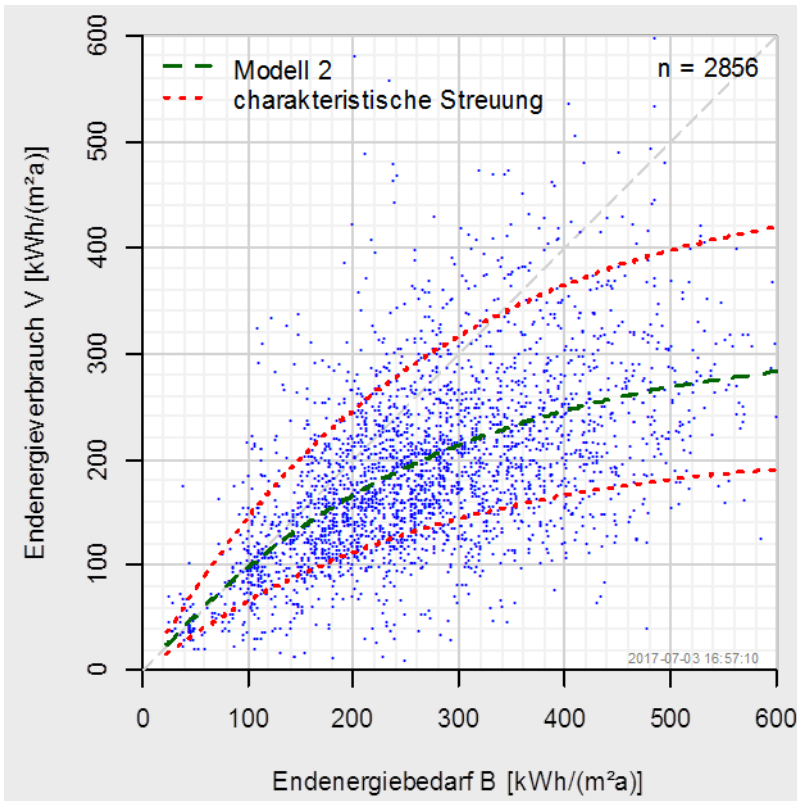
### Bestimmtheitsmaß des logarithmierten Verbrauchs $R^2(\ln(\hat{q}_{del,m}))$ von Modell 2

Auch für das Modell entsprechend Gleichungen (13), (16) und (19) soll das Bestimmtheitsmaß des logarithmierten Energieverbrauchs ermittelt werden. Es entspricht mit  $R^2 = 0,389$  ziemlich genau dem des exponentiellen Modells aus Abschnitt 4.3.3 ( $R^2 = 0,399$ ). Auch hier kann also knapp 40% der Varianz des logarithmierten Verbrauchs mit dem Modell erklärt werden.

### Standardabweichung des logarithmierten Verbrauchs $\sigma(\ln(\hat{q}_{del,m}))$ von Modell 2

Der Logarithmus der Verbrauchsmesswerte streut mit einer Standardabweichung von  $\hat{\sigma}(\ln(\hat{q}_{del,m})) = \pm 0,393$  um den geschätzten logarithmierten Verbrauch, d.h. mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% wird der Logarithmus des gemessenen Verbrauchs in diesem Intervall um den Schätzwert liegen. Die Standardabweichung entspricht damit ziemlich genau der des exponentiellen Modells aus Abschnitt 4.3.3 ( $\sigma = \pm 0,391$ ). Genauso wie dort wirkt sich diese Standardabweichung als Faktor  $e^{\pm \hat{\sigma}} = e^{\pm 0,39}$  auf den Schätzwert des (nicht logarithmierten) Verbrauchs  $\hat{V}$  aus, also als Faktor 1,48 für das obere und 0,68 für das untere Intervall.

**Abb. 122: Schätzfunktion für den Energieverbrauch gemäß Modell 2 (Gln. (13), (16) und (19))**  
 Bestimmtheitsmaß des logarithmierten Energieverbrauchs:  $R^2 = 0,389$

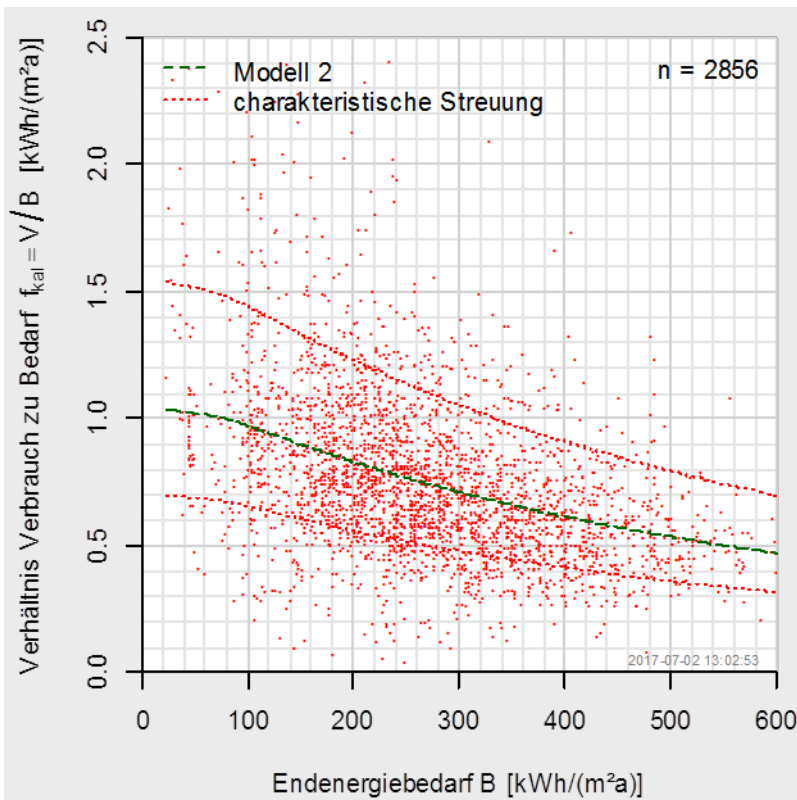


Zuordnung Formelzeichen

V:  $q_{del,m}$

B:  $q_{del,c}$

**Abb. 123: Kalibrierungsfunktion für den Energieverbrauch gemäß Modell 2**



Zuordnung Formelzeichen

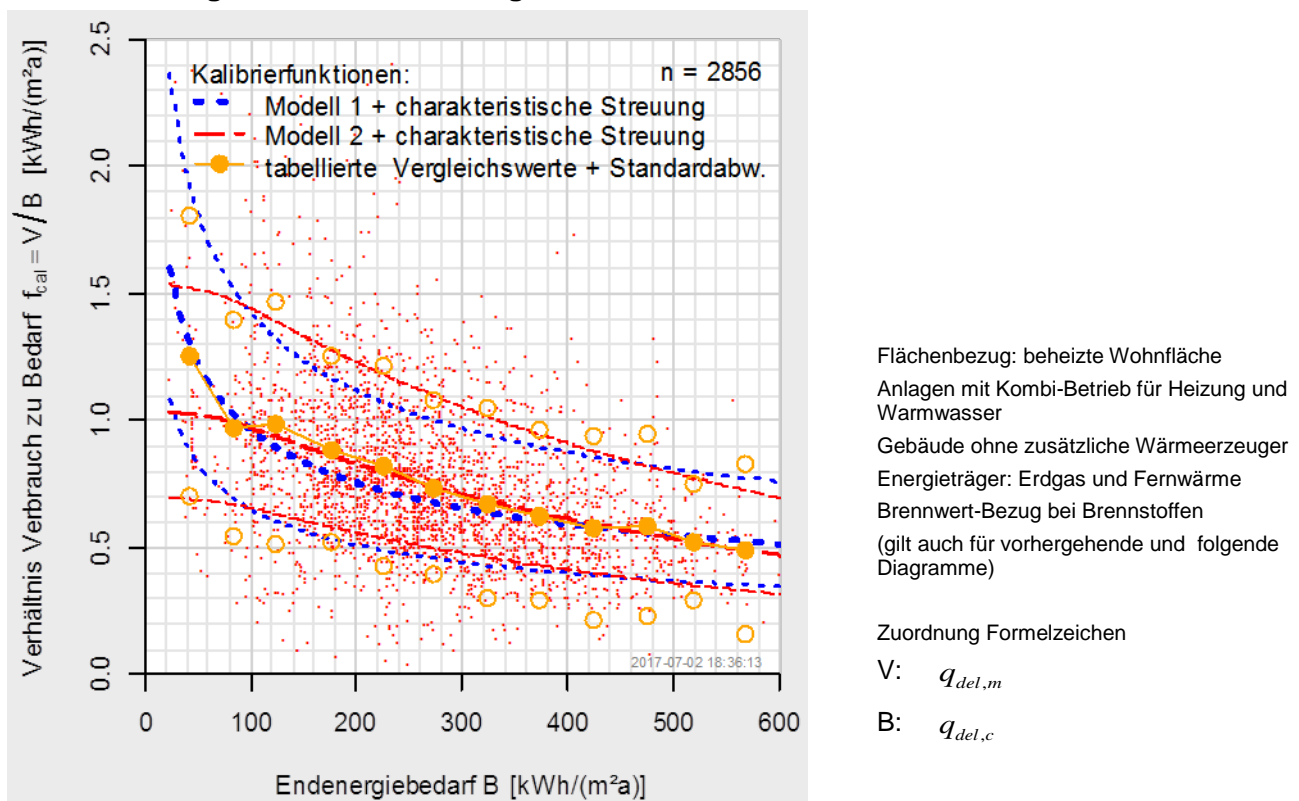
V:  $q_{del,m}$

B:  $q_{del,c}$

### 4.3.5 Gegenüberstellung der Kalibrierungsfaktoren von „Modell 1“, „Modell 2“ und „tabellierten Vergleichswerten“

Bei Vergleich von Modell 1 und Modell 2 mit den tabellierten Vergleichswerten fällt auf, dass im mittleren Bereich (mit besonders hoher Fallzahl) das Modell 2 näher an den Vergleichswerten liegt. Bei sehr kleinen Bedarfswerten unter 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) passt Modell 1 besser zu den Benchmark-Werten. Allerdings ist im sehr niedrigen Bereich die Fallzahl noch sehr gering, so dass die Aussagen noch nicht sehr belastbar sind. Falls Modell 1 praktisch verwendet werden soll, wäre es evtl. sinnvoll eine Begrenzung der exponentiell verlaufenden Kalibrierungsfunktion und der zugehörigen Grenzen des unteren und oberen Streubereichs auf die durch die Vergleichstabelle wiedergegebenen Werte vorzunehmen (also für die Kalibrierungsfunktion  $\leq 1,3$ ; für den oberen und unteren Bereich  $\leq 1,8$  und  $\leq 0,7$ ).

**Abb. 124: Vergleich der Kalibrierungsfaktoren**



### 4.3.6 Verbrauchsprognose-Funktionen – Auswirkung der Kalibrierungsformeln

#### Vergleich der Verbrauchswerte und der Schätzwerte für den Verbrauch

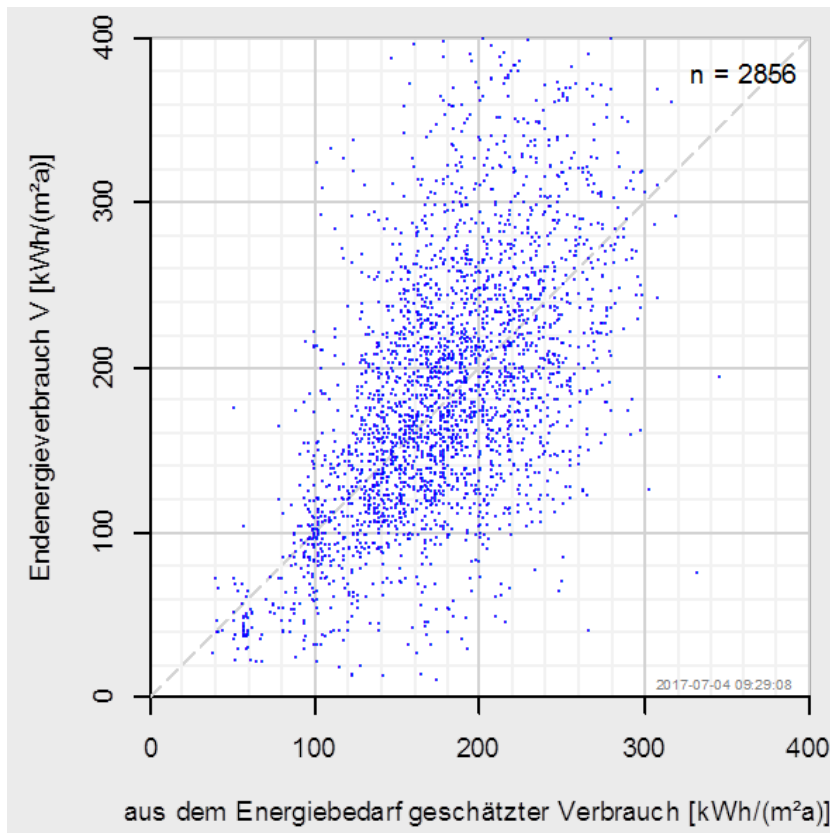
In Zukunft soll auf der Basis eines rechnerischen Energiebedarfs eines Gebäudes die erwartete Bandbreite des Energieverbrauchs angegeben werden können – sowohl ex post für die Bewertung von vorliegenden Messwerten als auch ex ante für eine zuverlässige Prognose.

Abb. 125 zeigt für alle Gebäude jeweils den gemessenen Verbrauch aufgetragen über den mit Hilfe der Regressionsgleichung aus dem Norm-Energiebedarf bestimmten Schätzwert des Verbrauchs. Durch die Kalibrierung wird die Punktwolke jetzt zur Winkelhalbierenden geschoben. Die systematische Abweichung ist damit korrigiert, die Streuung bleibt jedoch erhalten. Sie ist verursacht durch die Ungenauigkeiten bzw. großen Unsicherheiten bei der rechnerischen Abbildung von

Gebäude und Anlagentechnik (zum Beispiel Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen), aber auch durch unterschiedliches Verhalten von Nutzern (vgl. Kapitel 2.2 und 2.3).

**Abb. 125: Anwendung des Modells 1 auf die Stichprobensammlung**

Datenpunkte: Endenergieverbrauch der Gebäude aufgetragen über dem aus dem jeweiligen Norm-Energiebedarf bestimmten Schätzwert des Verbrauchs



Zuordnung Formelzeichen

V:  $q_{del,m}$

Führt man zur Kontrolle wieder eine lineare Regression auf der Basis der logarithmierten Größen durch, so ergibt sich als Regressionsgleichung die in Abb. 126 eingezeichnete grün gestrichelte Linie (eine fast perfekte Winkelhalbierende) – der durch die Standardabweichung definierte Streubereich, in dem sich 68% der Werte befinden – ist durch die rot punktierten Linien dargestellt.

Die Regressionskoeffizienten gemäß Gleichung (6) sind dann erwartungsgemäß:

$$\beta_0 = 2,21 \cdot 10^{-15} \approx 1.000$$

$$\beta_1 = 1.000$$

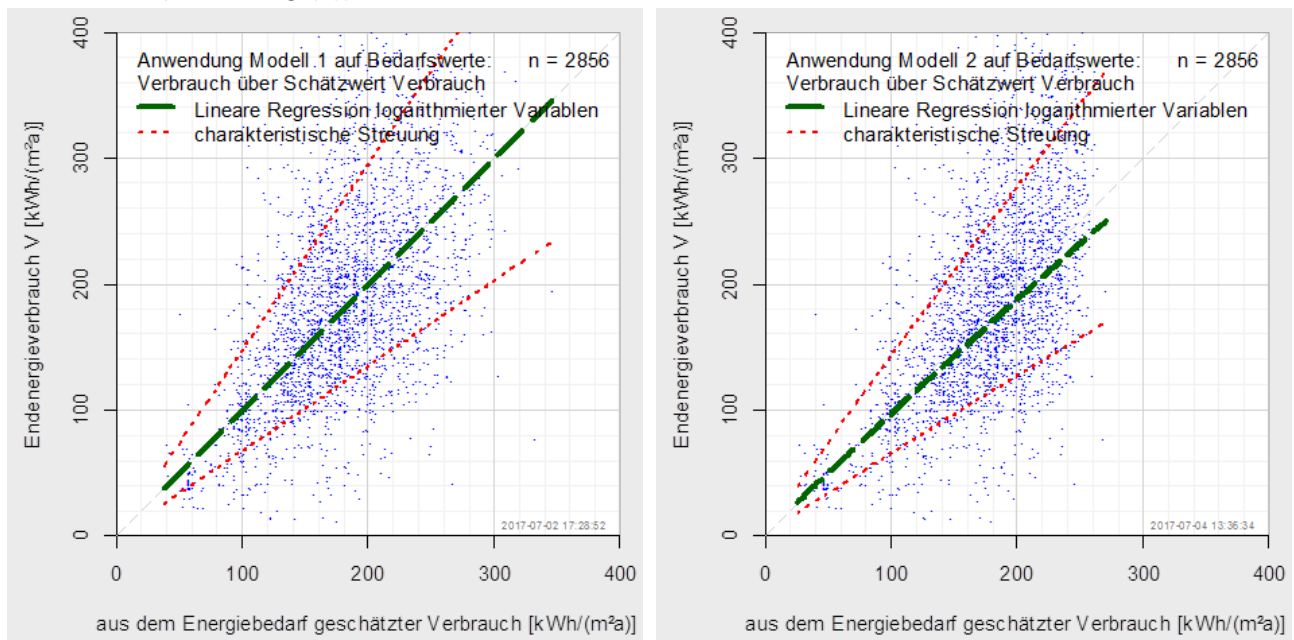
Diese Koeffizienten eingesetzt in Gleichung (9) ergibt exakt die Winkelhalbierende.

Führt man diese Kontrolle auch für Modell 2 durch, so erzielt man ein ähnliches Resultat. Da hierbei die Erwartungswerte von Modell 2 mit den Gleichungen von Modell 1 überprüft werden, ist das Resultat erwartungsgemäß nicht perfekt.

**Abb. 126: Anwendung der Modelle 1 und 2 auf die Stichprobensammlung**

**Datenpunkte:** Endenergieverbrauch der Gebäude aufgetragen über dem aus dem jeweiligen Norm-Energiebedarf bestimmten Schätzwert des Verbrauchs

**gestrichelte Linien:** Ergebnis der linearen Regression der logarithmierter Variablen Verbrauch und Schätzwert des Verbrauchs entsprechend dem Ansatz von Modell 2 (Gleichung (7))



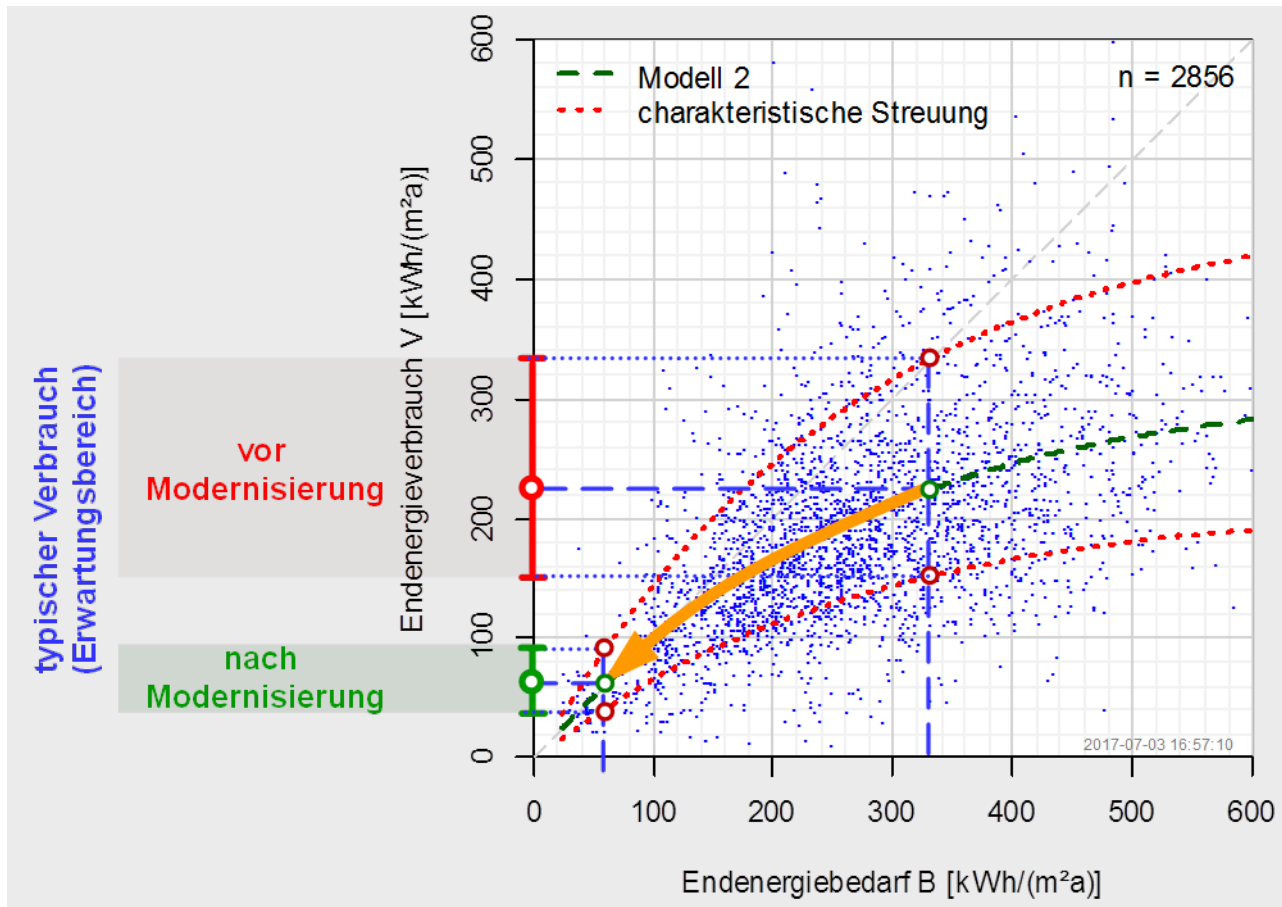
Zuordnung Formelzeichen:  $V = q_{del,m}$ ;  $B = q_{del,c}$

**4.3.7 Einsparberechnung: individueller Verbrauch unbekannt**

Wird die Kalibrierung im Zuge der Energieberatung angewendet, so wird zunächst dem für den Ist-Zustand ermittelten Normenergiebedarf ein Erwartungswert des Verbrauchs und die entsprechende Bandbreite zugeordnet (Abb. 127). Der nach Ansatz eines Maßnahmenpakets ermittelte Normenergiebedarf wird ebenso in eine Bandbreite des erwarteten Energieverbrauchs übersetzt. Im Mittel über viele Gebäude wird die auf der y-Achse durch die zwei Kreise ausgewiesene Energieeinsparung erzielt. Zu beachten ist jedoch, dass die tatsächliche Energieeinsparung im Einzelfall eine Differenz ist, die von jedem Punkt der Spanne vor Modernisierung zu jedem Punkt der Spanne nach Modernisierung reichen kann – zumindest sofern es keinen systematischen Zusammenhang zwischen den beiden Streuungen gibt.



**Abb. 127: Kalibrierung der Energiesparberechnung, wenn kein individueller Verbrauchswert vorliegt: Abgleich mit Durchschnittswerten des Verbrauchs**



Zuordnung Formelzeichen:  $V = q_{del,m}$ ;  $B = q_{del,c}$

#### 4.3.8 Einsparberechnung: Abgleich mit dem individuellen Verbrauch vor Modernisierung

Wenn der Verbrauch vor der energetischen Modernisierung als Messwert vorliegt und eine Änderung des Nutzerverhaltens nach Modernisierung nicht wahrscheinlich ist, sollte dieser als Ausgangsbasis für die Ermittlung von Einsparungen im Zuge einer Energieberatung herangezogen werden. Damit kann die Genauigkeit des Prognoseverfahrens verbessert werden. Wenn bei einem Gebäude eine deutliche Abweichung des gemessenen individuellen Verbrauchs vom Erwartungswert für den gegebenen Zustand vorliegt, stellt sich die Frage, ob nach Modernisierung nicht eine ähnliche Abweichung erwartet werden kann. Derzeit liegen keine empirischen Informationen hierzu vor. Allerdings kann vermutet werden, dass man diesen Zusammenhang häufig finden wird. Wenn die Bewohner nicht wechseln, ist eine gewisse Korrelation zwischen der relativen Einsortierung in die Spanne zwischen intensiver und wenig intensiver Nutzung vor und nach Modernisierung nahe liegend. Entsteht die Verbrauchsabweichung vor Modernisierung durch besonders sparsames Verhalten im Vergleich zum Durchschnittsnutzer, so ist dies auch für den Zustand nach Modernisierung bei gleichen Bewohnern wahrscheinlich. Aber auch eine Reihe anderer Einflüsse (Wärmebrücken, Standort mit hoher oder geringer solarer Einstrahlung, usw.) bewirkt vor und nach der Modernisierung eine ähnliche Abweichung. Daher wird im Folgenden in Anlehnung an [Pehnt et al. 2015] ein Verfahren vorgeschlagen, mit dem der Prognosewert nach Modernisierung entsprechend modifiziert wird, wenn Gründe für die deutliche Abweichung vom Erwartungswert offensichtlich sind und auch nach der Modernisierung ein Weiterbestehen der Effekte vermutet wird.

Aufbauend auf der Normberechnung des Endenergiebedarfs  $q_{del,c}$  und des daraus abgeleiteten Schätzwerts des Verbrauchs  $\hat{q}_{del,m}(q_{del,c})$  für den Ist-Zustand wird ein zusätzlicher individueller Kalibrierungsfaktor  $f_{ind}$  für den Ist-Zustand vor Modernisierung definiert (Zustand A):

$$(21) \quad f_{ind,A} = \frac{q_{del,m,A}}{\hat{q}_{del,m,A}} = \frac{q_{del,m,A}}{\hat{f}_{cal}(q_{del,c,A}) \cdot q_{del,c,A}} \quad [ - ]$$

mit  $q_{del,m,A}$  für den Zustand A (vor Modernisierung) gemessener Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$\hat{q}_{del,m,A}$  aus dem Endenergiebedarf für den Zustand A geschätzter Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$q_{del,c,A}$  Norm-Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser ermittelt für den Zustand A, bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$\hat{f}_{cal}(q_{del,c,A})$  Funktion zur Kalibrierung des rechnerischen Endenergiebedarfs im Zustand A auf den Schätzwert des Endenergieverbrauchs [ - ]

Wenn auch nach Modernisierung aus den oben genannten Gründen eine entsprechende Abweichung zu erwarten ist, kann der Schätzwert des Energieverbrauchs für den hypothetischen Zustand nach Modernisierung (Zustand B) in analoger Weise mit einem Faktor  $f_{ind,B}$  korrigiert werden. Der korrigierte Schätzwert für den Verbrauch nach Modernisierung  $\hat{q}'_{del,m,B}$  ist dann:

$$(22) \quad \hat{q}'_{del,m,B} = \hat{f}_{ind,B} \cdot \hat{f}_{cal}(q_{del,c,B}) \cdot q_{del,c,B} \quad [ - ]$$

mit  $q_{del,c,B}$  Norm-Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser ermittelt für den fiktiven Zustand B, bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$\hat{f}_{cal}(q_{del,c,B})$  Funktion zur Kalibrierung des rechnerischen Endenergiebedarfs im fiktiven Zustand B auf den Schätzwert des Endenergieverbrauchs [ - ]

$\hat{f}_{ind,B}$  individueller Kalibrierungsfaktor für den Zustand B [ - ]

Wird vermutet, dass die Ursachen für ein deutlich von 1,0 abweichendes  $f_{ind,A}$  auch nach der energetischen Modernisierung (zumindest teilweise) weiterbestehen, so wird folgendes Verfahren vorgeschlagen:

Für Fälle mit nicht zu großer Abweichung zwischen individuellem Verbrauch und typischem Verbrauch im Ausgangszustand wird  $f_{ind,B}$  gleich  $f_{ind,A}$  gesetzt. Übersteigt oder unterschreitet  $f_{ind,A}$  jedoch die durch die charakteristische Streuung definierte Bandbreite ( $e^{\pm\hat{\sigma}} = e^{\pm 0,39}$ ; Werte gerundet), so werden die jeweiligen Grenzen angesetzt.

$$(23) \quad \begin{array}{ll} f_{ind,B} = f_{ind,A} & \text{für } 0,7 \leq f_{ind,A} \leq 1,5 \\ f_{ind,B} = 0,7 & \text{für } f_{ind,A} < 0,7 \\ f_{ind,B} = 1,5 & \text{für } f_{ind,A} > 1,5 \end{array} \quad [ - ]$$

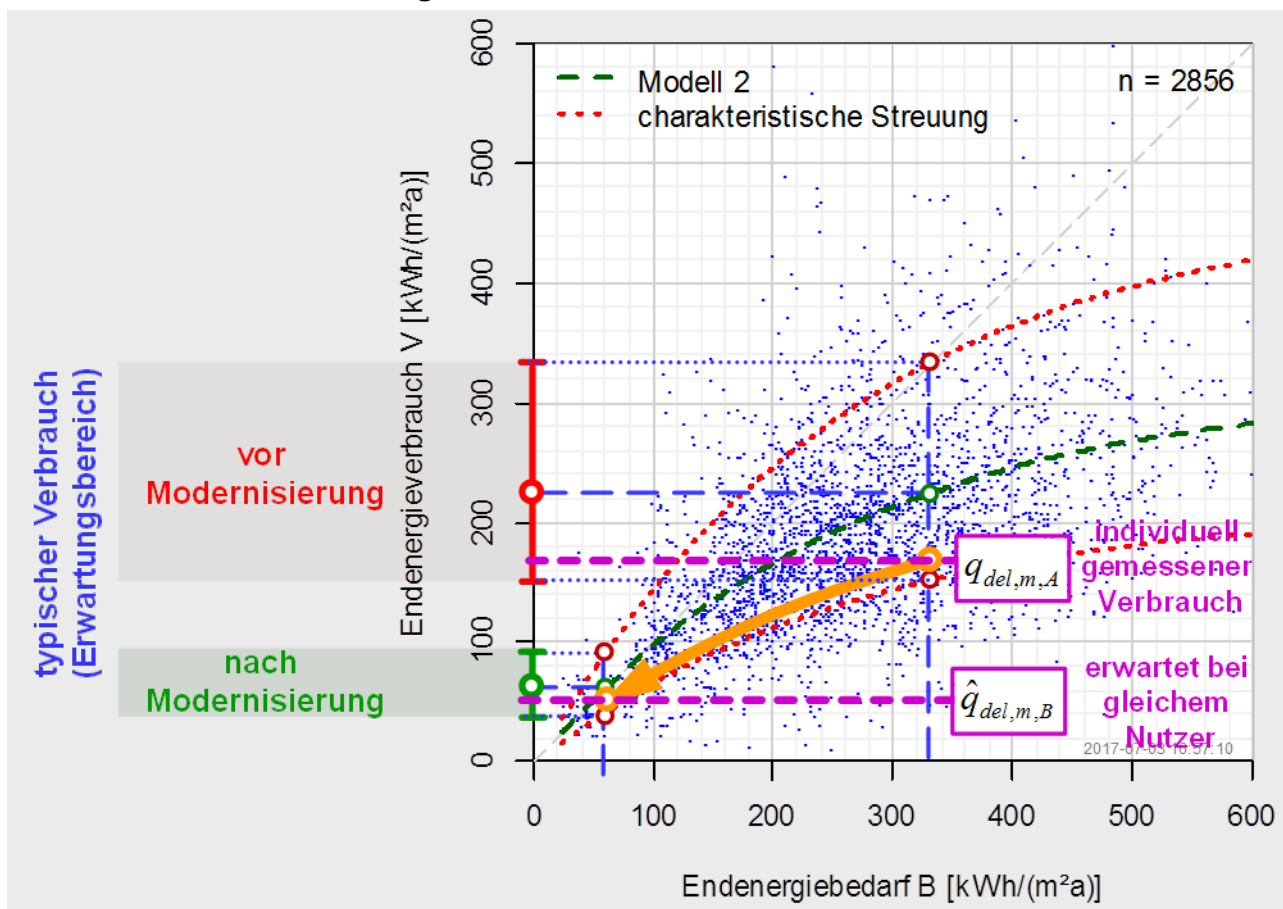
mit 1,5 obere und untere Begrenzungen, entsprechen etwa der durch die charakteristische Streuung definierten Bandbreite (aus der nichtlinearen Regression abgeleitete Faktoren 1,48 und 0,68, siehe oben) [ - ]

0,7

Alternativ zur Begrenzung ist es auch denkbar, dass bei Überschreiten der Grenzen  $f_{ind,A} = 1$  gesetzt wird und der gemessene Verbrauchswert bei der Energieberatung nicht als Ausgangsbasis für die Einsparberechnung verwendet wird.

Das Vorgehen soll an dem in Abb. 128 gezeigten Beispiel erläutert werden: Liegt der individuelle Verbrauch  $q_{del,m,A}$  z.B. 28% unter dem Erwartungswert im Ist-Zustand, würde ein entsprechender Faktor 0,72 auch für die Ermittlung des voraussichtlichen Verbrauchs nach Modernisierung angesetzt werden. Dieser würde dann auf einen Wert von 28% unter dem Erwartungswert für die entsprechende Gebäudequalität geschätzt.

**Abb. 128: Abgleich mit dem individuellen Verbrauch: Beispiel für die Auswirkung einer Vollmodernisierung**

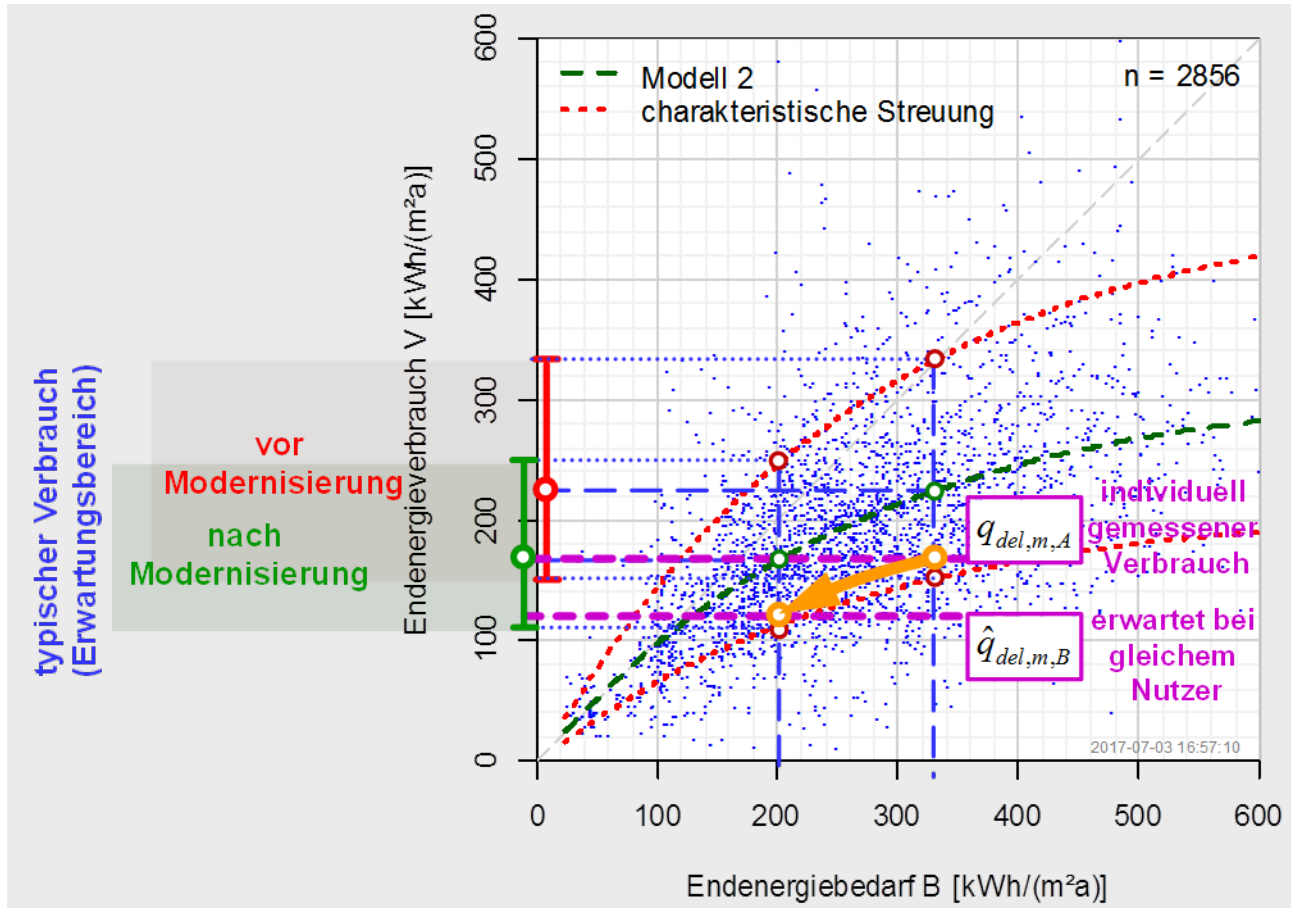


Zuordnung Formelzeichen:  $V = q_{del,m}$ ;  $B = q_{del,c}$

Die Auswirkung der individuellen Kalibrierung auf den erwarteten Verbrauch nach Modernisierung und auf die Energieeinsparung ist bei diesem Beispiel nur sehr klein. Daher stellt sich die Frage, ob es nicht reichen würde, einfach den Schätzwert nach Modernisierung zu verwenden, ohne diesen auf der Basis des Verbrauchs vor Modernisierung zu korrigieren. Dass ein solches generelles Vorgehen in bestimmten Fällen problematisch sein kann, zeigt die in Abb. 129 dargestellte Teilmodernisierung eines Gebäudes. Durch die entsprechenden Maßnahmen kann im Mittel der Energieverbrauch von ca. 230 auf 170 kWh/(m²a) reduziert werden. In dem vorliegenden Gebäude liegt der gemessene Energieverbrauch zufälligerweise auch bei 170 kWh/(m²a) und damit noch innerhalb des charakteristischen Streubereichs für diese energetische Qualität. Würde nach Modernisierung immer nur mit dem typischen Verbrauchswert gerechnet, wäre die prognostizierte Einsparung für die Maßnahme gleich Null. Dies kann zwar im Einzelfall auch vorkommen, jedoch wird sich im Mittel auch eine Einsparung für die Maßnahme einstellen. Auch für Fälle, in denen im Aus-

gangszustand der reale Verbrauch deutlich unter dem Schätzwert des Verbrauchs liegt, wäre es sinnvoll, dass die Energieberatung Energieeinsparpotenziale ausweist. Diese wären natürlich kleiner als für Fälle mit einem individuellen Energieverbrauch, der über dem Schätzwert liegt.

**Abb. 129: Abgleich mit dem individuellen Verbrauch: Beispiel für die Auswirkung einer Teilmodernisierung**



Zuordnung Formelzeichen:  $V = q_{del,m}$ ;  $B = q_{del,c}$

Es sei jedoch noch angemerkt, dass Korrekturen mit dem Faktor  $f_{ind}$  nicht in jedem Fall sinnvoll sind: Wenn beispielsweise ein besonders niedriger individueller Verbrauch durch eine ungewöhnliche Nutzung des Gebäudes bedingt ist, erscheint es nicht gerechtfertigt, diese individuelle Besonderheit in die Abschätzung des zukünftigen Energieverbrauchs nach Modernisierung einfließen zu lassen. Außerdem ist davon auszugehen, dass diese individuellen Besonderheiten in vielen Jahren häufig gar nicht mehr zutreffen werden. Typische Beispiele wären hier etwa eine regelmäßige Abwesenheit der Gebäudenutzer (Bewohner wohnen an Werktagen in der Stadt und am Wochenende auf dem Land oder machen regelmäßig ungewöhnlich lange Winterurlaube) oder eine stark eingeschränkte Beheizung (großes Einfamilienhaus wird von einer Person<sup>27</sup> bewohnt, nur wenige Zimmer werden beheizt).

Es gilt also, Augenmaß zu behalten und bei besonders untypischen Fällen der Nutzung (bzw. auffällig hohen oder niedrigen Verbrauchswerten) nur die (unkorrigierten) Schätzwerte zu verwenden. Der Energieberater sollte dann dem Gebäudeeigentümer einen entsprechenden Hinweis geben, warum der reale Verbrauch nicht zum Abgleich der voraussichtlichen Energieeinsparung verwendet wird.

<sup>27</sup> In diesem Fall wäre nach Dämmung der Gebäudehülle selbst bei gleichbleibendem Nutzerverhalten mit einer deutlichen Reduzierung des Effekts der räumlichen Teilbeheizung zu rechnen.

#### 4.3.9 Aus den Analysen abgeleiteter Vorschlag für die Kalibrierung des Normenergiebedarfs nach DIN V 4108-6 / 47010-10 auf das typische Verbrauchsniveau

Die Unterschiede der von Modell 1 und 2 ermittelten Schätzwerte für den Verbrauch sind nur geringfügig. Insbesondere unterscheiden sie sich bezüglich des Verlaufs bei sehr kleinen Normbedarfskennwerten. In diesem Bereich ist jedoch die empirische Grundlage bisher noch sehr dünn, so dass die Unterschiede bezüglich ihrer Realitätsnähe nicht beurteilt werden können. Auch die Handhabung der Formeln ist vergleichbar.

Da das Modell 2 bereits eingeführt ist, schlagen wir seine Verwendung auch für ergänzende Angaben zum Energieausweis vor. Im Folgenden findet sich eine geschlossene Darstellung des vorgeschlagenen Verfahrens, das Formeln für den Schätzwert und typische Spannen des Verbrauchs für Zentralheizungssysteme mit und ohne Warmwasserbereitung umfasst. Dieser Vorschlag wird auch für das in Abschnitt 4.7.2 vorgeschlagene Add-On des Energieausweises verwendet.

Die dargestellten Aussagen gelten nur für Wärmeversorgungssysteme mit Kessel oder über Nah-/Fernwärme. Für andere Wärmeversorgungssysteme können im Energieausweis auf Grund der fehlenden empirischen Grundlagen derzeit keine Angaben zum erwarteten Energieverbrauch gemacht werden. Wichtig wäre insbesondere eine Schätzfunktion für (gut gedämmte) Gebäude mit Elektrowärmepumpen, da diese in der Praxis der Energieberatung und Modernisierungsplanung eine besondere Rolle spielen. In jedem Fall wäre es sinnvoll bei Wärmepumpen einen Hinweis auf die Unsicherheit des berechneten Energiebedarfs nach Modernisierung zu geben, wofür als erste Orientierung auch die bei Kesseln abgeleiteten Spannen genannt werden könnten.

#### Methodikvorschlag: Schätzwert des Energieverbrauchs als zusätzliche Angabe im Energieausweis (für Zentralheizungen mit Kessel und Nah-/Fernwärme)

Ausgehend vom Norm-Endenergiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10 wird der Schätzwert für den Verbrauchskennwert wie folgt ermittelt:

#### Bilanzraum „H“: Vergleich mit gemessener Endenergie nur für Heizung:

$$(24) \quad \hat{q}_{del,h,m} = \hat{f}_{cal,h} \cdot q_{del,h,c} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

mit  $\hat{q}_{del,h,m}$  Schätzwert für den Endenergieverbrauch für Heizung, bezogen auf die beheizte Wohnfläche  $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$

$\hat{f}_{cal,h}$  Kalibrierungsfaktor Endenergie Heizung (Schätzfunktion, abhängig vom Norm-Energiebedarf)  $[-]$

$q_{del,h,c}$  berechneter Endenergiebedarf für Heizung, bezogen auf die beheizte Wohnfläche (Norm-Energiebedarf)  $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$

*(Bezug auf Heizwert oder Brennwert jeweils konsistent für alle in dieser Formel verwendeten Größen)*

Der Kalibrierungsfaktor  $\hat{f}_{cal,h}$  ist in diesem Fall:

$$(25) \quad \hat{f}_{cal,h} = \max \left( -0,2 + \frac{1,3}{1 + \frac{q_{del,h,c}}{550}}; 0,4 \right) \quad [-]$$

## Bilanzraum „H+W“: Vergleich mit gemessener Endenergie für Heizung + Warmwasser (kombiniert):

Für diesen Fall wird eine Vereinfachung vorgeschlagen, deren Auswirkung in Anbetracht der Unsicherheiten der Verbrauchszuordnung zu vernachlässigen ist. Sie besteht darin, einen Anteil des Endenergiebedarfs für Heizung und Warmwasser zu kalibrieren, der sich aus dem Gesamtwert abzüglich eines Pauschalwerts für Warmwasser zusammensetzt.<sup>28</sup>

### Regelfall ( $q_{del,h+w,c} > 66 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ )

Im Regelfall wird der Schätzwert für den Endenergieverbrauch Heizung und Warmwasser dann wie folgt ermittelt:

$$(26) \quad \hat{q}_{del,h+w,m} = 33 + \hat{f}_{cal,h} \cdot (q_{del,h+w,c} - 33) \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

mit  $\hat{q}_{del,h+w,m}$  Schätzwert für den Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$\hat{f}_{cal,h}$  Kalibrierungsfaktor Endenergie Heizung (Schätzfunktion, abhängig vom Norm-Energiebedarf) [ - ]

$q_{del,h+w,c}$  berechneter Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche (Norm-Energiebedarf) [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

*(Bezug auf Heizwert oder Brennwert jeweils konsistent für alle in dieser Formel verwendeten Größen)*

Der Kalibrierungsfaktor  $\hat{f}_{cal,h}$  ist

$$(27) \quad \hat{f}_{cal,h} = \max \left( -0,2 + \frac{1,3}{1 + \frac{q_{del,h+w,c} - 33}{550}}; 0,4 \right) \quad [ - ]$$

<sup>28</sup> Im Prinzip könnte man im Fall einer kombinierten Anlagentechnik für Heizung und Warmwasser auf beiden Seiten von Gleichung (24) einfach den Term für die Warmwasserbereitung addieren. Allerdings gäbe es dann keine allgemeingültige Kalibrierungsfunktion und kein universelles Zuordnungsdiagramm Verbrauch <-> Bedarf. Der Verlauf der Kalibrierungsfunktion würde von dem Endenergiekennwert für Warmwasser abhängen. Dies wäre deshalb vor allem unpraktisch, weil der gemessene Endenergieverbrauch in der Regel für beides, für Heizung und Warmwasser vorliegt.

Der hier vorgeschlagene Pauschalwertansatz wurde bereits bei der Analyse der Stichprobensammlung in Abschnitt 4.3.4 verwendet, da für diese Daten der Energiebedarf für Warmwasser nicht separat vorlag.

**Sonderfall eines sehr niedrigen Endenergiebedarfs** ( $q_{del,h+w,c} \leq 66 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ )

In Fall sehr niedriger Werte für den Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser wird angenommen, dass der Endenergiebedarf sich jeweils zur Hälfte aus dem Kennwert für Heizung und zur Hälfte aus dem Kennwert für Warmwasser zusammensetzt. Dabei wird wie oben nur der Anteil für die Heizung auf das typische Verbrauchsniveau kalibriert:

$$(28) \quad \hat{q}_{del,h+w,m} = \frac{1 + \hat{f}_{cal,h}}{2} q_{del,h+w,c} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

Der Kalibrierungsfaktor  $f_{cal,h}$  bestimmt sich dann aus:

$$(29) \quad f_{cal} = -0,2 + \frac{1,3}{1 + \frac{0,5 q_{del,h+w,c}}{550}} \quad [-]$$

Soll für alle genannten Größen ein Bezug auf den Heizwert verwendet werden, so werden wie im Abschnitt 4.3.4 beschrieben, statt der hier angegebenen Konstanten 550, 66 und 33 die durch 1,1 geteilten Werte 500, 60 und 30 verwendet.

**Methodikvorschlag: Typische Spanne des Verbrauchs**

Die typische Spanne des Verbrauchs wird durch folgende Funktionsgleichungen begrenzt.

**Bilanzraum „H“ (nur Heizung):**

$$(30) \quad \begin{aligned} \text{obere Spanne: } \hat{q}_{del,h,m,\text{sup}} &= f_{\text{sup},h} \cdot \hat{q}_{del,h,m} & [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})] \\ \text{untere Spanne: } \hat{q}_{del,h,m,\text{inf}} &= f_{\text{inf},h} \cdot \hat{q}_{del,h,m} \end{aligned}$$

**Bilanzraum „H+W“ (Heizung und Warmwasser):**

$$(31) \quad \begin{aligned} \text{obere Spanne: } \hat{q}_{del,hw,m,\text{sup}} &= f_{\text{sup},hw} \cdot \hat{q}_{del,hw,m} & [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})] \\ \text{untere Spanne: } \hat{q}_{del,hw,m,\text{inf}} &= f_{\text{inf},hw} \cdot \hat{q}_{del,hw,m} \end{aligned}$$

Die Faktoren für die Definition der oberen und unteren Spanne werden wie folgt angesetzt. Dabei wird vereinfachend nicht zwischen Systemen mit und ohne Warmwasser unterschieden:

$$(32) \quad \begin{aligned} \text{obere Spanne: } f_{\text{sup},h} &= f_{\text{sup},hw} = 1,5 & [-] \\ \text{untere Spanne: } f_{\text{inf},h} &= f_{\text{inf},hw} = 0,7 \end{aligned}$$

## Methodikvorschlag: Prognose des Energieverbrauchs nach Durchführung von Maßnahmen

Hierzu wird das im Abschnitt 4.3.7 beispielhaft vorgestellte Konzept mit den zusätzlichen individuellen Kalibrierungsfaktoren  $f_{ind,A}$  und  $f_{ind,B}$  vorgeschlagen.

Der individuelle Kalibrierungsfaktor  $f_{ind}$  für den Ist-Zustand vor Modernisierung (Zustand A) ist definiert als das Verhältnis gemessener Verbrauch zu Schätzwert des Verbrauchs:

$$(33) \quad f_{ind,A} = \frac{q_{del,m,A}}{\hat{q}_{del,m,A}} \quad [ - ]$$

mit  $q_{del,m,A}$  für den Zustand A (vor Modernisierung) gemessener Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$\hat{q}_{del,m,A}$  aus dem Norm-Endenergiebedarf für den Zustand A geschätzter Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche ermittelt gemäß Gl. (24) oder Gl. (26) [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

Wenn auch nach Modernisierung aus den oben genannten Gründen eine entsprechende Abweichung zu erwarten ist, kann der Schätzwert des Energieverbrauchs für den hypothetischen Zustand nach Modernisierung (Zustand B) in analoger Weise mit einem Faktor  $f_{ind,B}$  korrigiert werden. Der korrigierte Schätzwert für den Verbrauch nach Modernisierung  $\hat{q}'_{del,m,B}$  ist dann für  $0,7 \leq f_{ind,A} \leq 1,5$ :

$$(34) \quad \hat{q}'_{del,m,B} = f_{ind,B} \cdot \hat{q}_{del,m,B} \quad [kWh/(m^2a)]$$

mit  $\hat{q}_{del,m,B}$  aus dem Norm-Endenergiebedarf für den Zustand B geschätzter Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser, bezogen auf die beheizte Wohnfläche ermittelt gemäß Gl. (24) oder Gl. (26) [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$f_{ind,B}$  individueller Kalibrierungsfaktor für den Zustand B [ - ]  
 mit  $f_{ind,B} = f_{ind,A}$  für  $0,7 \leq f_{ind,A} \leq 1,5$   
 und  $f_{ind,B} = 1,0$  sonst.

Bei Überschreiten der für  $f_{ind,A}$  gesetzten Grenzen wird also der im Ausgangszustand gemessene Verbrauchswert für die Schätzung des Verbrauchs nach Modernisierung nicht verwendet. Hier findet wie in den Fällen ohne Verbrauchswert nur die Kalibrierung auf das typische Verbrauchsniveau statt.



## 4.4 Übertragung der hergeleiteten Verbrauchsprognosefunktion auf Berechnungen nach DIN V 18599

### 4.4.1 Ansatz für eine provisorische Überbrückung des „Energy Performance Gap“ der DIN V 18599

Die in Kapitel 4.3 abgeleitete „Verbrauchsprognosefunktion“ ermöglicht es, einem für ein konkretes Wohngebäude nach DIN V 4108-6 / 4701-10 berechneten Normenergiebedarf einen Erwartungswert des Verbrauchs zuzuordnen sowie die charakteristische Streuung (die Unsicherheit der Prognose) anzugeben. Da die EnEV für die Energiebilanzierung von Wohngebäuden auch die Anwendung der DIN V 18599 vorsieht, werden Verbrauchsprognosefunktionen ebenfalls für diese Norm benötigt. Empirische Erhebungen zum Vergleich von Bilanzdaten nach DIN V 18599 mit realen Verbräuchen liegen derzeit jedoch nicht vor.

Um Anhaltspunkte zur Spanne des zu erwartenden Energieverbrauchs für einen bestimmten nach DIN V 18599 ermittelten Endenergiekennwert zu ermitteln, wurde für neun Beispielgebäude eine systematische Analyse durchgeführt, die den Zusammenhang von nach DIN V 18599 und DIN V 4108-6 / 4701-10 ermittelten Endenergiekennwerten aufzeigt.

### 4.4.2 Durchführung der Berechnungen

Für einen Satz von neun Beispielgebäuden (siehe Tab. 76) wurde der Endenergiebedarf sowohl nach DIN V 18599 als auch nach DIN V 4108-6 / 4701-10 ermittelt. Hierfür wurde die Software ZUB HELENA<sup>29</sup> verwendet. Dabei wurden verschiedene Modernisierungszustände der thermischen Hülle angesetzt (siehe Tab. 78).<sup>30</sup> Als Basisfall für die anlagentechnische Ausstattung wurde für alle Wärmeschutz-Varianten ein älterer Gas-Brennwertkessel berücksichtigt, die Wärmeschutz-Variante 4 (Sanierung mit Passivhauskomponenten) wurde ergänzend mit einem neuen Gas-Brennwertkessel sowie neuen, nach EnEV gedämmten Verteilleitungen und Übergabesystemen bilanziert. Für die Gebäude EFH2 und MFH1 wurden darüber hinaus eine thermische Solaranlage zur Trinkwarmwasserbereitung und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung als Zusatzsysteme sowie Holzpelletkessel und Luft/Wasser-Wärmepumpe als alternative Erzeuger betrachtet. Die Eingabedaten der anlagentechnischen Varianten sind in Tab. 79, die Eingaben bezüglich der jeweiligen Verteilsysteme in Tab. 80 zusammengefasst. Sofern nicht anders angegeben wurde mit Standardwerten (z. B. bei Leitungslängen oder Flächen und Deckungsanteilen der solarthermischen Anlagen) gerechnet.

<sup>29</sup> ZUB Helena® Ultra v7.56

<sup>30</sup> Durch zusätzliche Dämmmaßnahmen entstehende Änderungen der thermischen Hüllflächen und der Bruttovolumina wurden dabei vernachlässigt.

**Tab. 76: Grunddaten der Beispielgebäude**

Gebäudekennung	EFH1	EFH2	EFH3	RH1	RH2	RH3	MFH1	MFH2	MFH3
Anzahl Vollgeschosse	2	1	2	2	2	2	4	8	5
Anzahl Wohneinheiten	2	1	1	1	1	1	8	48	10
Anzahl direkt angrenzender Nachbargebäude	0	0	0	2	1	2	1	0	2
Berücksichtigung von Flächen im Kellergeschoss	Keller unbeheizt, KG und EG durch Innenwände und Tür im EG getrennt	Keller unbeheizt, Kellerabgang im KG berücksichtigt	Gebäude nicht unterkellert	Etwa 2/3 der Fläche im Kellergeschoss beheizt	Keller unbeheizt, Kellerabgang im KG berücksichtigt	Keller vollständig beheizt	Keller unbeheizt, Kellerabgang im KG berücksichtigt	Keller unbeheizt, Kellerabgang im KG berücksichtigt	Keller unbeheizt, Kellerabgang im KG berücksichtigt
Berücksichtigung von Flächen im Dachgeschoss	Walmdach, unbeheizter Spitzboden	Satteldach, unbeheizter Spitzboden	Satteldach, Spitzboden innerhalb der thermischen Hüllfläche	Satteldach, Spitzboden innerhalb der thermischen Hüllfläche	Pultdach	Satteldach, Spitzboden innerhalb der thermischen Hüllfläche	Satteldach, unbeheizter Spitzboden	Flachdach	Satteldach, unbeheizter Spitzboden
Mittlere Geschosshöhe [m]	2,95	2,70	2,94	3,15	2,69	2,85	2,75	2,75	3,09
Gebäudenutzfläche $A_N$ [m <sup>2</sup> ]	317,1	160,6	243,5	161,1	91,0	236,2	740,9	4.352,2	1.023,7
Beheizte Wohnfläche [m <sup>2</sup> ]	275,3	155,3	195,8	147,7	71,0	187,2	658,5	3.933,8	863,2
Beheizte Nettogrundfläche [m <sup>2</sup> ]	293,8	172,8	232,4	158,3	83,7	205,9	740,9	4.271,3	947,0
Beheiztes Bruttovolumen [m <sup>3</sup> ]	990,8	525,6	760,8	580,6	284,5	738,1	2.315,3	13.600,5	3.609,2
A/V-Verhältnis [1/m]	0,66	0,87	0,65	0,41	0,81	0,36	0,44	0,36	0,37

**Tab. 77: U-Werte und Bauteilflächen der vier betrachteten Wärmeschutz-Varianten**

	U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]				Bauteilflächen [m <sup>2</sup> ]								
	WS.1	WS.2	WS.3	WS.4	EFH1	EFH2	EFH3	RH1	RH2	RH3	MFH1	MFH2	MFH3
Bodenplatte gegen Erdreich	1,20	0,60	0,50	0,23		10	108	39	8	68	10	63	20
Treppen gegen Kellergeschoss	1,00	0,60	0,30	0,23	9								
Kellerdecke	1,00	0,60	0,30	0,23	133	106		21	39		196	547	208
Außenwand	1,40	0,60	0,24	0,13	239	131	209	72	93	57	432	2781	590
Außenwand gegen Erdreich	1,40	0,60	0,30	0,23		8				34		37	
Außenwand gegen unbeheizte Gebäudeteile	1,40	0,60	0,30	0,23	11								
Fenster	2,70	2,70	1,30	0,80	47	28	41	16	14	26	124	723	173
Dachflächenfenster	2,70	2,70	1,40	0,80	1			1		3			
Hauseingangstür	2,90	2,90	1,80	0,80	2	2	3	3	2	3	2	8	3
Weitere Außentüren	2,90	2,90	1,80	1,20				2			2		
Gaubeiwände Holzkonstruktion	0,50	0,40	0,24	0,13	7	12							4
Innenwände KG	1,40	0,60	0,30	0,23	13	22		15	26		21	104	37
Innentüren KG	2,90	2,90	1,80	1,20	2	2		2	2		2	11	6
Innenwände DG	1,40	0,60	0,24	0,23							23	12	44
Innentüren DG	2,90	2,90	1,80	1,20							2		4
Oberste Geschossdecke Holzkonstruktion	0,70	0,30	0,24	0,12	48	48							224
Oberste Geschossdecke massive Konstruktion	2,10	0,30	0,24	0,12							196		
Steildach Holzkonstruktion	1,40	0,50	0,24	0,12	109	69	138	70		76			8
Steildach massive Konstruktion	1,30	0,40	0,24	0,12							11		
Dachfläche Gauben	1,40	0,50	0,24	0,12	13	12							2
Dachterrasse	1,30	0,40	0,20	0,12		7			47				
Flachdach	1,30	0,40	0,20	0,12	16							610	

**Tab. 78: Definition der Wärmeschutz-Varianten**

Varianten- Bezeichnung	<b>WS.1 unsaniert</b>	<b>WS.2 verbessert/ teilsaniert</b>	<b>WS.3 vollständig saniert</b>	<b>WS.4 energetisch hochwertig saniert</b>
	Pauschale U-Werte gem. [BMWi/BMUB 2015] Baualtersklasse 1958 bis 1968	Pauschale U-Werte gem. [BMWi/BMUB 2015] Baualtersklasse 1984 bis 1994	Einhaltung der EnEV-Bauteil- anforderungen	Sanierung mit Passivhaus- komponenten
Dach	1,30 (massiv) / 1,40 (Holz)	0,40 (massiv) / 0,50 (Holz)	0,24 / 0,20 (Dachflächen mit Abdichtung)	0,12
Oberste Geschossdecke	2,10 (massiv) / 0,70 (Holz)	0,30	0,24	0,12
Außenwand	1,40	0,60	0,24	0,13
Fenster	2,70	2,70	1,30	0,80
Kellerdecke / Fußboden	1,00 / 1,20	0,60	0,30 / 0,50	0,23
Wärmebrücken- zuschlag [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,10	0,10	0,10	0,05
Dichtheitsprüfung gem. DIN V 4108 / 4701	ohne Dichtheitsprüfung	ohne Dichtheitsprüfung	ohne Dichtheitsprüfung	mit Dichtheitsprü- fung, Fensterlüf- tung
Dichtheitsprüfung gem. DIN V 18599	Kategorie III (Bestandsgebäude ohne Dichtheits- prüfung)	Kategorie III (Bestandsgebäude ohne Dichtheits- prüfung)	Kategorie III (Bestandsgebäude ohne Dichtheits- prüfung)	Kategorie I (Dichtheitsprüfung nach Fertigstel- lung)

**Tab. 79: Definition der Anlagentechnik-Varianten**

	Bilanzierungsverfahren	
	DIN V 4108-06 / 4701-10	DIN V 18599
Basisfall: Brennwertkessel Bestand  (alle WS-Varianten)	<b>Erzeugung (Heizung und Warmwasser)</b> Brennwert Standard, Erdgas H, Baujahr 1987-1994 <b>Speicherung Warmwasser</b> Indirekt beheizter Speicher, Baujahr 1986-1994 <b>Verteilung</b> Baujahr vor 1995, siehe Tab. 80 <b>Übergabe</b> Radiatoren Außenwand, Thermostatventile 2 K, 70°C/55°C (bei WS.1 und WS.2) bzw. 55°C/45°C (bei WS.3 und WS.4), Baujahr 1990–1994, kein hydraulischer Abgleich <b>Lüftung</b> Ohne Lüftungsanlage	<b>Erzeugereinheit (Heizung und Warmwasser)</b> Brennwertkessel, Erdgas H, Baujahr 1990, 70°C/55°C (bei WS.1 und WS.2) bzw. 55°C/45°C (bei WS.3 und WS.4) <b>Speicherung Warmwasser</b> Indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher, stehend, Baujahr 1990 <b>Verteilung</b> Zweirohrnetz, kein hydraulischer Abgleich, keine Vorlauftemperaturadaption, weitere Einstellungen siehe Tab. 80 <b>Übergabe</b> Heizkörper (freie Heizflächen), Außenwand, P-Regler <b>Lüftung</b> Ohne Lüftungsanlage
Basisfall: Brennwertkessel erneuert  (WS-Variante 4)	<b>Erzeugung (Heizung und Warmwasser)</b> Brennwert verbessert, Erdgas H, Baujahr ab 1995 <b>Speicherung Warmwasser</b> Indirekt beheizter Speicher, Baujahr ab 1995 <b>Verteilung</b> Standardverteilung Baujahr ab 1995 <b>Übergabe</b> Radiatoren Außenwand, Thermostatventile 1 K, 55°C/45°C, Baujahr ab 1995, hydraulisch abgeglichen <b>Lüftung</b> Ohne Lüftungsanlage	<b>Erzeugereinheit (Heizung und Warmwasser)</b> Brennwertkessel, Erdgas H, Baujahr 2017, 55°C/45°C <b>Speicherung Warmwasser</b> Indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher, stehend, Baujahr 2017 <b>Verteilung</b> Zweirohrnetz, hydraulischer Abgleich mit mehr als 8 Heizkörper pro Durchflussregler oder nur statisch abgestimmt, keine Vorlauftemperaturadaption, Baujahr/Dämmung nach 1995 <b>Übergabe</b> Heizkörper (freie Heizflächen), Außenwand, P-Regler <b>Lüftung</b> Ohne Lüftungsanlage
Zusatzsystem: Thermische Solaranlage für Trinkwarmwasser	<b>Erzeugung</b> Heizung wie Variante „Brennwertkessel“, Warmwasser zusätzlich mit Solaranlage, Flach-Kollektor <b>Speicherung Warmwasser</b> Trinkwasserspeicher (bivalent oder separat), Baujahr ab 1995 <b>Verteilung, Übergabe und Lüftung</b> wie Variante „Brennwertkessel“	<b>Erzeugereinheit (Heizung und Warmwasser)</b> Heizung wie Variante „Brennwertkessel“, Warmwasser zusätzlich mit Solaranlage, Flachkollektor <b>Speicherung Warmwasser</b> Bivalenter Solarspeicher, stehend, Baujahr 2017 <b>Verteilung, Übergabe und Lüftung</b> wie Variante „Brennwertkessel“
Zusatzsystem: Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	<b>Erzeugung, Speicherung, Verteilung, Übergabe und Lüftung</b> wie Variante „Brennwertkessel“ <b>Lüftung</b> Abluft/Zuluftanlage mit Wärmerückgewinnung, 80% Wärmerückgewinnung, DC-Ventilator; Verteilleitungen innerhalb; ohne Einzelraumregelung, Auslässe Innenwand <b>Dichtheitsprüfung</b> Mit Dichtheitsprüfung, Zu- und Abluftanlage	<b>Erzeugereinheit, Speicherung, Verteilung, Übergabe und Lüftung</b> wie Variante „Brennwertkessel“ <b>Lüftung</b> Zu- und Abluftsystem, Baujahr 2017, Ganzjahresbetrieb, elektrische Vorerwärmung vorhanden, DC-Motoren, mit Abluft-/Zuluft-Wärmetauscher, Wärmebereitstellungsgrad 0,8, Aufstellung im beheizten Bereich <b>Dichtheitsprüfung</b> Kategorie I – Dichtheitsprüfung nach Fertigstellung

	Bilanzierungsverfahren	
	DIN V 4108-06 / 4701-10	DIN V 18599
Alternativer Hauptwärmerezeuger: Holzpelletkessel*	<p><b>Erzeugung (Heizung und Warmwasser)</b> Pelletheizung, Holzpellets, Baujahr ab 1995</p> <p><b>Speicherung Heizung</b> Heizkreis-Pufferspeicher, Baujahr ab 1995</p> <p><b>Speicherung Warmwasser</b> Indirekt beheizter Speicher, Baujahr ab 1995</p> <p><b>Übergabe</b> Radiatoren Außenwand, Thermostatventile 2 K bzw. bei der Variante WS.4 + neues Verteilsystem 1 K, 70°C/55°C (bei WS.1 und WS.2) bzw. 55°C/45°C (bei WS.3 und WS.4), Baujahr 1990–1994</p>	<p><b>Erzeugung (Heizung und Warmwasser)</b> Biomassekessel (automatisch beschickt), Holzpellets, Baujahr 2017, 70°C/55°C (bei WS.1 und WS.2) bzw. 55°C/45°C (bei WS.3 und WS.4)</p> <p><b>Speicherung Heizung</b> Speicher, Baujahr 2017</p> <p><b>Speicherung Warmwasser</b> Indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher, stehend, Baujahr 2017</p> <p><b>Verteilung</b> Zweirohrnetz, kein hydraulischer Abgleich, keine Vorlauftemperaturadaption</p> <p><b>Übergabe</b> Heizkörper (freie Heizflächen), Außenwand, P-Regler</p>
Alternativer Hauptwärmerezeuger: Luft/Wasser-Wärmepumpe	<p><b>Erzeugung (Heizung und Warmwasser)</b> Luft/Wasser-Wärmepumpe, Strom, Baujahr ab 1995, Spitzenlast-Erzeuger: elektr. Heizstab, Strom, Baujahr ab 1995, Betriebsart bivalent-parallel,</p> <p><b>Speicherung Heizung</b> Heizkreis-Pufferspeicher, außerhalb der therm. Hülle, Baujahr ab 1995</p> <p><b>Speicherung Warmwasser</b> Indirekt beheizter Speicher, Baujahr ab 1995</p> <p><b>Übergabe</b> Radiatoren Außenwand, Thermostatventile 2 K bzw. bei der Variante WS.4 + neues Verteilsystem 1 K, 55°C/45°C, Baujahr 1990–1994</p>	<p><b>Erzeugung (Heizung und Warmwasser)</b> (Außen)Luft-Wasser Wärmepumpe, elektrisch angetrieben, Baujahr 2017, 55°C/45°C, Teilparallelbetrieb</p> <p><b>Speicherung Heizung</b> Speicher, Baujahr 2017</p> <p><b>Speicherung Warmwasser</b> Indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher, stehend, Baujahr 2017</p> <p><b>Verteilung</b> Zweirohrnetz, kein hydraulischer Abgleich, keine Vorlauftemperaturadaption</p> <p><b>Übergabe</b> Heizkörper (freie Heizflächen), Außenwand, P-Regler</p>

\* Die Standardwerte der DIN V 4701-10 zur Energiebedarfsberechnung von Biomassefeuerungen stammen aus dem Jahr 2003 und sind veraltet. Alternativ kann mit Herstellerkennwerten gearbeitet werden. Da jedoch davon auszugehen ist, dass weiterhin häufig zunächst auf Standardwerte zurückgegriffen wird, wurden diese für den hier durchgeführten Vergleich der EnEV-Rechenverfahren verwendet.

**Tab. 80: Übersicht der Eingaben zu Verteilleitungen für den Basisfall „Brennwertkessel Bestand“**

	EFH1	EFH2	EFH3	RH1	RH2	RH3	MFH1	MFH2	MFH3 Var. 1	MFH3 Var. 2
Zirkulation	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	mit	mit	mit	mit
Installationswand	ohne	mit	ohne	ohne	mit	ohne	mit	mit	mit	mit
Aufstellung Kessel und Speicher	im unbeheizten Bereich	im unbeheizten Bereich	im beheizten Bereich	im beheizten Bereich	im unbeheizten Bereich	im beheizten Bereich	im unbeheizten Bereich	im unbeheizten Bereich	im unbeheizten Bereich	im unbeheizten Bereich
Lage der horizontale Verteilleitungen der Heizungsverteilung	außerhalb der thermischen Hülle	innerhalb der thermischen Hülle	innerhalb der thermischen Hülle	innerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle	innerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle
Lage der vertikalen Steigleitungen der Heizungsverteilung				im Gebäudeinnern				im Gebäudeinnern		
Lage der horizontale Verteilleitungen der Warmwasserverteilung	außerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle	innerhalb der thermischen Hülle	innerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle	innerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle	außerhalb der thermischen Hülle

**Eingaben zur Heizungsverteilung nach DIN V 4108-06 / 4701-10**

Horizontale Verteilleitungen	freiliegend, mäßig gedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, mäßig gedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, mäßig gedämmt	freiliegend, mäßig gedämmt	freiliegend, mäßig gedämmt	freiliegend, mäßig gedämmt
Vertikale Strangleitungen	ungedämmt unter Putz in ungedämmter/gedämmter Außenwand	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, mäßig gedämmt	ungedämmt unter Putz in ungedämmter/gedämmter Außenwand	ungedämmt unter Putz in ungedämmter/gedämmter Außenwand	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, mäßig gedämmt	freiliegend, ungedämmt	ungedämmt unter Putz in ungedämmter/gedämmter Außenwand
Anbindeleitungen	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, mäßig gedämmt	freiliegend, ungedämmt	freiliegend, ungedämmt

**Eingaben zur Warmwasserverteilung nach DIN V 4108-06 / 4701-10**

Horizontale Verteilung	freiliegend, mäßig gedämmt
Vertikale Steigstränge	freiliegend, mäßig gedämmt
Stichleitungen	freiliegend, ungedämmt

Eingaben zur Heizungsverteilung nach DIN V 18599										
Netztyp	Steigstrangtyp	Etagenringtyp	Etagenringtyp	Etagenringtyp	Steigstrangtyp	Steigstrangtyp	Steigstrangtyp	Etagenverteiltertyp	Steigstrangtyp	Steigstrangtyp
Verteilleitung	Dämmung bis 1980	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	Dämmung bis 1980	ungedämmt	ungedämmt	Dämmung bis 1980	Dämmung bis 1980	Dämmung bis 1980
Strangleitung	ungedämmt, in ungedämmter/gedämmter Außenwand	ungedämmt	ungedämmt	Dämmung bis 1980	ungedämmt, in ungedämmter/gedämmter Außenwand	ungedämmt, in ungedämmter/gedämmter Außenwand	ungedämmt	Dämmung bis 1980	ungedämmt	ungedämmt, in ungedämmter/gedämmter Außenwand
Anbindeleitung	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	Dämmung bis 1980	ungedämmt	ungedämmt
Eingaben zur Warmwasserverteilung nach DIN V 18599										
Netztyp	Steigstrangtyp									
Verteilleitung	Dämmung bis 1980									
Strangleitung	Dämmung bis 1980									
Stichleitung	ungedämmt									

#### 4.4.3 Anmerkung zu den Berechnungen nach DIN V 18599

Während die Wärmeverluste von Anlagenkomponenten innerhalb der thermischen Gebäudehülle im Rechenverfahren nach DIN V 4108 / 4701 pauschal verringert werden, sind diese im Bilanzverfahren der DIN V 18599 iterativ in die Zonenbilanz eingebunden.

Gemäß DIN V 18599-1:2011-12 (S. 63) ist die Iteration

*„so lange zu wiederholen, bis zwei aufeinander folgende Ergebnisse für den Nutzwärmebedarf und den Nutzkältebedarf sich jeweils um nicht mehr als 0,1 % voneinander unterscheiden, jedoch höchstens 10-mal. Die sich ergebende Abweichung zwischen den letzten beiden Iterationsschritten soll bei der Berechnung angegeben werden.“*

Insbesondere bei ungedämmten Leitungen in Gebäuden mit verbessertem Wärmeschutz wird in der Regel innerhalb von 10 Iterationsschritten keine entsprechende Konvergenz erreicht. In diesem Fall wird mit dem Ergebnis des 10. Iterationsschrittes weiter bilanziert (siehe auch [Friederichs 2011]). Im Falle der hier betrachteten Beispielberechnungen liegt die verbleibende Differenz im Basisfall „Brennwertkessel Bestand“ für die Wärmeschutz-Varianten WS.1 und WS.2 in der Regel unter 5 % (in einem Fall bei 9 %), für WS.3 0 bis zu 90 % und für WS.4 bis zu 3.460 %. In einem Fall liefert die Bilanzierung für den WS.4 kein Ergebnis. Für die Wärmeschutz-Varianten mit Passivhauskomponenten (WS.4) sind deshalb die ausgegebenen Endenergiekennwerte nach DIN V 18599 unter Beibehaltung des alten Brennwertkessels und ohne weitere Veränderungen an Erzeuger, Speicherung, Verteil- und Übergabesystem niedriger als die unter Berücksichtigung eines neuen Brennwertkessels mit neuem, nach EnEV gedämmten Verteilnetz.



#### 4.4.4 Überblick über die Ergebnisse

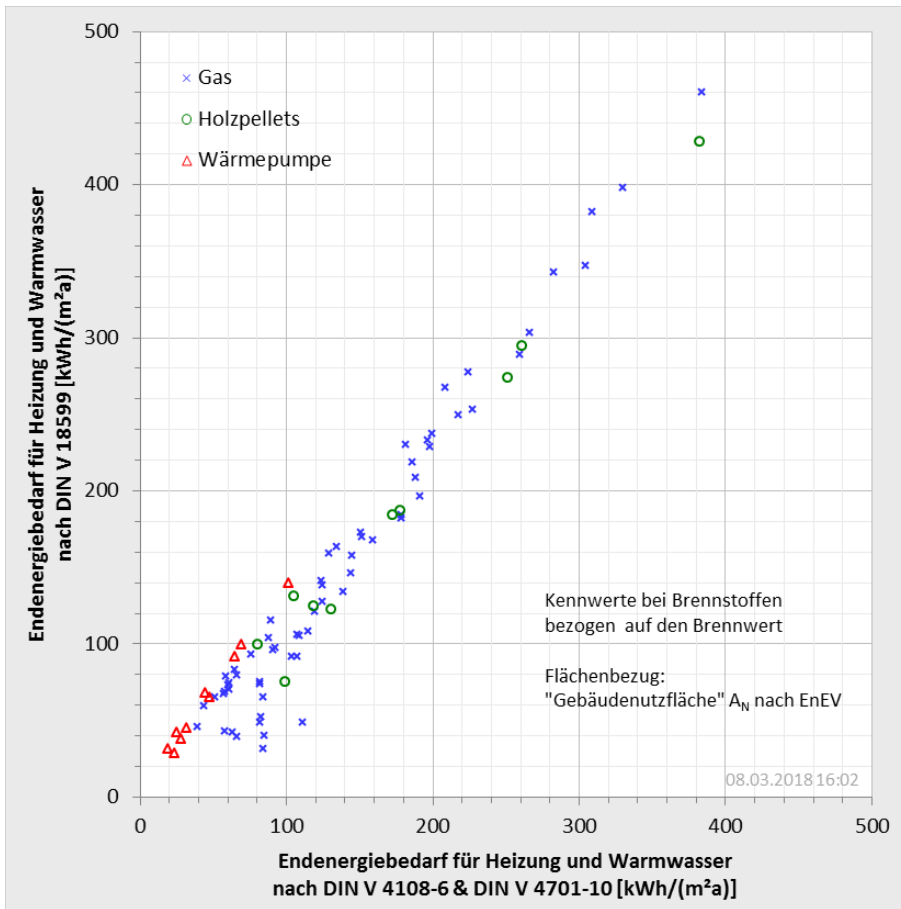
Im Folgenden ist der Zusammenhang zwischen dem Endenergiebedarf nach DIN V 18599 und nach DIN V 4108-6 / 4701-10 für alle 85 Varianten grafisch dargestellt. Es wurden je Diagramm unterschiedliche Kriterien farblich markiert:

- Abb. 130: Differenzierung nach Energieträger
- Abb. 131: Differenzierung nach Anlagentechnik
- Abb. 132: Differenzierung nach Beispielgebäude
- Abb. 133: Differenzierung nach Wärmeschutz und Energieträger
- Abb. 134: Differenzierung nach der verbleibenden Differenz des Nutzwärmebedarfs beim Iterationsende der der Berechnung nach DIN V 18599

Es zeigt sich ein grob linearer Zusammenhang mit einem über die gesamte x-Achse ähnlich großen Streubereich. Eine Ausnahme bilden eine Reihe von Datenpunkten im Bereich 60 bis 120 kWh/(m<sup>2</sup>a), die stark nach unten abweichen. In Abb. 134 ist erkennbar, dass für diese Punkte die Iteration der DIN V 18599 vor Erreichen des vom Verfahren gesetzten Kriteriums abgebrochen hat und besonders hohe Restdifferenzen von mehr als 10 %, bei einigen sogar mehr als 100 % bestehen bleiben (siehe vorangegangener Abschnitt 4.4.3). Daher liegt die Interpretation nahe, dass die Berechnung hier keine für die Kalibrierung der Verfahren brauchbaren Ergebnisse liefert. Bei der im folgenden Abschnitt durchgeführten Regressionsanalyse sind daher die Fälle mit einem Abbruch der Iteration und einem verbleibenden Delta von mehr 10 % entfernt worden.

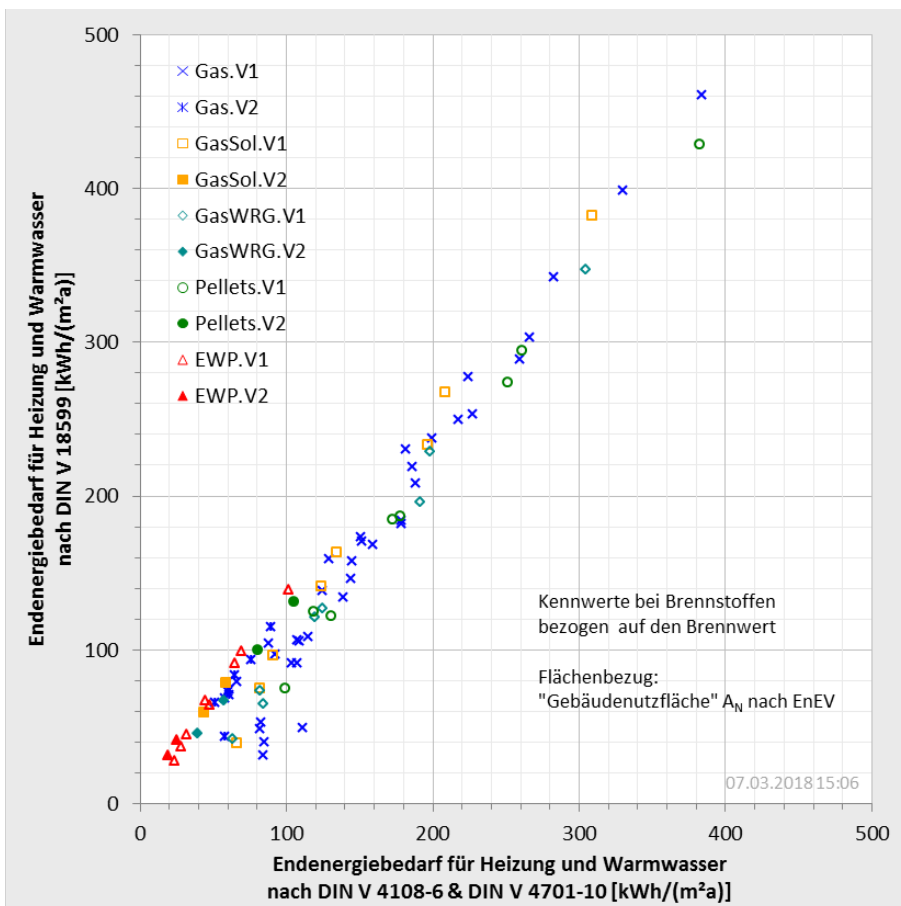
Dem Augenschein nach ist der Zusammenhang beider Verfahren im Fall von Elektro-Wärmepumpen etwas anders als bei Kesseln (Abb. 130). Daher wird bei der folgenden Regressionsanalyse zwischen diesen Systemen mit Kesseln und Systemen mit Wärmepumpen unterschieden.

### Zusammenhang zwischen den Endenergiekennwerten (H + W) nach DIN V 18599 und nach DIN V 4108-6 / 4701-10



Bezugsgrößen:  
 · Brennwert  
 · Gebäudenutzfläche  $A_N$

**Abb. 130:**  
**Differenzierung nach**  
**Energieträger**

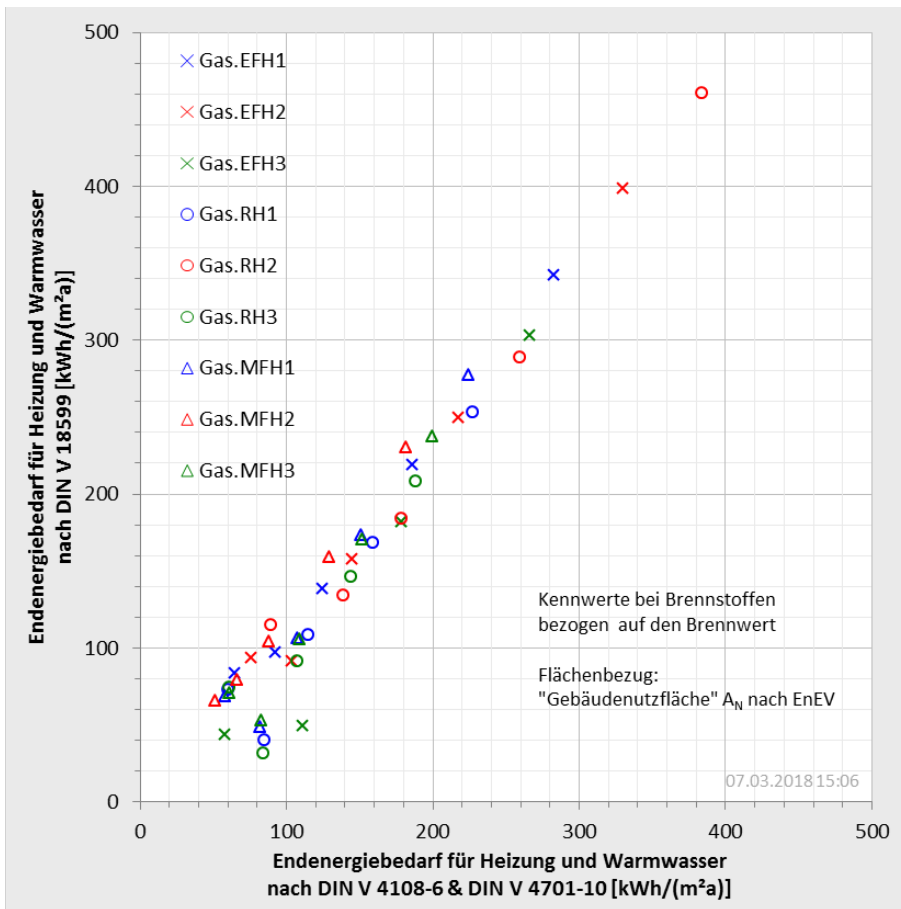


**Abb. 131:**  
**Differenzierung nach**  
**Anlagentechnik**

Erläuterung der Kürzel:

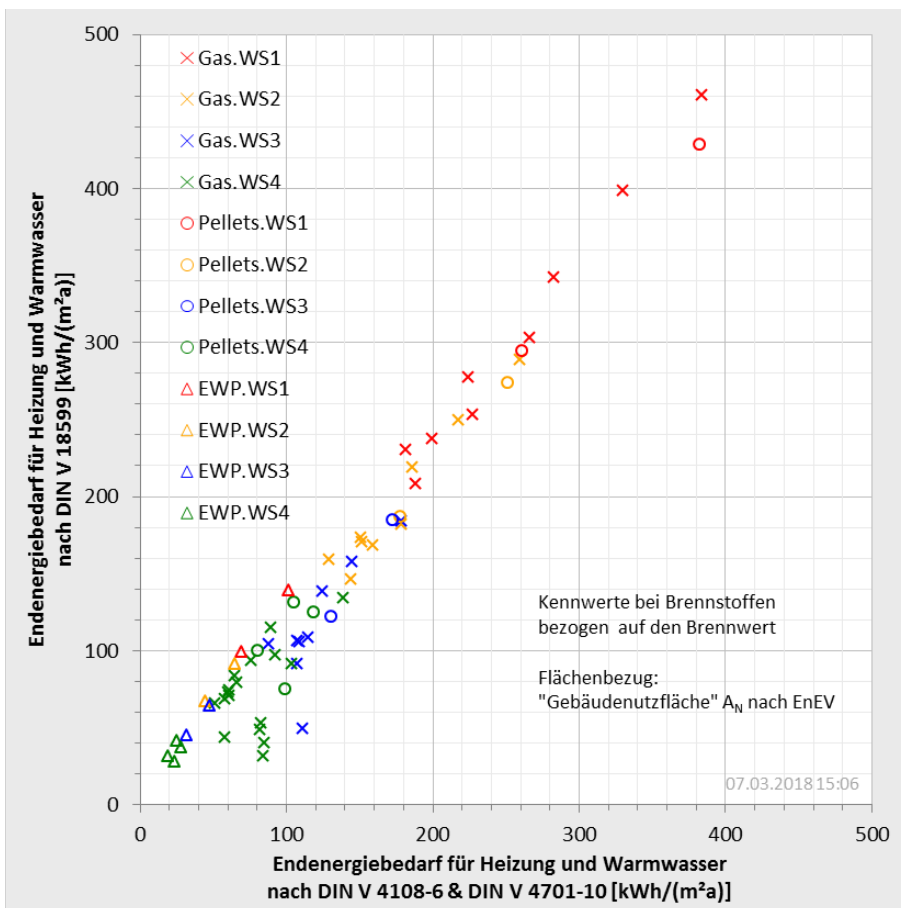
- „Gas“: Gas-Zentralheizung
- „GasSol“: Gas-Zentralheizung mit thermischer Solaranlage für Warmwasserbereitung
- „GasWRG“: Gas-Zentralheizung mit Lüftungsanlage und Wärmerückgewinnung
- „Pellets“: Zentralheizung mit Holzpellet-Kessel
- „EWP“: Zentralheizung mit Elektrowärmepumpe
- „V1“: altes Verteilnetz
- „V2“: neues Verteilnetz

### Zusammenhang zwischen den Endenergiekennwerten (H + W) nach DIN V 18599 und nach DIN V 4108-6 / 4701-10



Bezugsgrößen:  
 · Brennwert  
 · Gebäudenutzfläche  $A_N$

**Abb. 132:**  
**Differenzierung nach Beispielgebäude**  
 (nur Gebäude mit Gas-Zentralheizung)

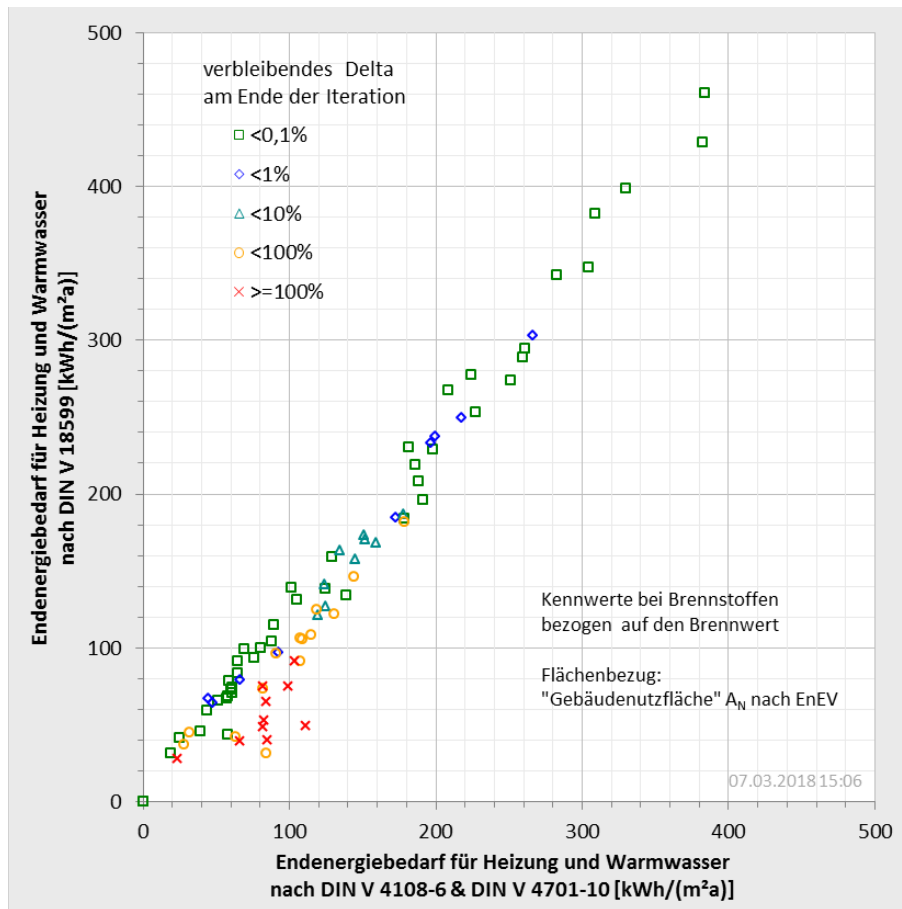


**Abb. 133:**  
**Differenzierung nach Wärmeschutz und Energieträger**

Erläuterung der Kürzel für die Wärmeschutzniveaus:

- „WS1“: pauschale U-Werte gemäß Baualtersklasse 1958 ... 1968
- „WS2“: pauschale U-Werte gemäß Baualtersklasse 1984 ... 1994
- „WS3“: Bestand modernisiert / EnEV-Standard
- „WS4“: Bestand modernisiert / hochwertiger Standard

## Zusammenhang zwischen den Endenergiekennwerten (H + W) nach DIN V 18599 und nach DIN V 4108-6 / 4701-10



Bezugsgrößen:  
 · Brennwert  
 · Gebäudenutzfläche  $A_N$

### Abb. 134: Differenzierung nach dem Delta beim Iterationsende der Berechnung nach DIN V 18599

Erläuterung: In der Legende sind jeweils nur die oberen Grenzen der Kategorien genannt.

#### 4.4.5 Schätzung des Endenergiebedarfs nach DIN V 4108-6 / 4701-10

Auf der Basis dieser Vergleichsberechnungen soll im Folgenden ein Verfahren hergeleitet werden, dass eine Übertragung der in Kapitel 4.3 dargestellten Methodik zur Kalibrierung auf das typische Verbrauchsniveau auf nach DIN V 18599 ermittelte Bedarfskennwerte erlaubt.

Es wird also eine Funktionsgleichung gesucht, mit der man – ausgehend von einem für ein konkretes Gebäude gemäß DIN V 18599 berechneten Endenergiebedarf – schätzen kann, welcher Endenergiebedarf sich gemäß DIN V 4108-6 / 4701-10 am wahrscheinlichsten einstellt. Im Gegensatz zu den Abbildungen oben wird hier eine Darstellung DIN V 4108-6 / 4701-10 in Abhängigkeit von DIN V 18599 gewählt.

Für die Analyse und Herleitung der Schätzfunktion werden die im vorangegangenen Abschnitt gezeigten Datenpaare wie folgt gefiltert:

- Die Fälle mit einem Abbruch der Iteration und einem verbleibenden Delta von mehr als 10 % werden entfernt (siehe Hinweise zur Iteration in Abschnitt 4.4.3). Es verbleiben 60 der 85 Datensätze.
- Da sich die Aufwandszahlen von Kesseln und Wärmepumpen um den Faktor 3 unterscheiden werden die Datensätze entsprechend in diese beiden Gruppen aufgeteilt und jeweils separat analysiert.

## Schätzfunktion für Kessel-Systeme

Tab. 81 zeigt Mittelwerte und Standardabweichungen für Intervalle des Bedarfskennwertes nach DIN V 18599 („BKW 18599“). Die Bedarfskennwerte nach DIN V 4108-6 / 4701-10 („BKW 4108/4701“) liegen typischerweise zwischen 9 und 16 % niedriger als die Bedarfskennwerte nach DIN V 18599.

Für die vorliegenden Datensätze mit Kesselheizungen (Abb. 135) wird eine lineare Regression durchgeführt. Abb. 136 zeigt das Ergebnis in grafischer Form. Mit einem Bestimmtheitsmaß von 98,5 % und einer Standardabweichung von 11 kWh/(m<sup>2</sup>a) ist die Güte des linearen Modells sehr hoch. Ein ähnlich gutes Ergebnis erzielt ein linearer Ansatz mit erzwungenem Nullpunktdurchgang (Abb. 137). Da der resultierende einfache Anpassungsfaktor für die Anwendung deutlich praktischer ist, wird dieser als Modell für die Umrechnung vorgeschlagen (Abschnitt 4.4.6).

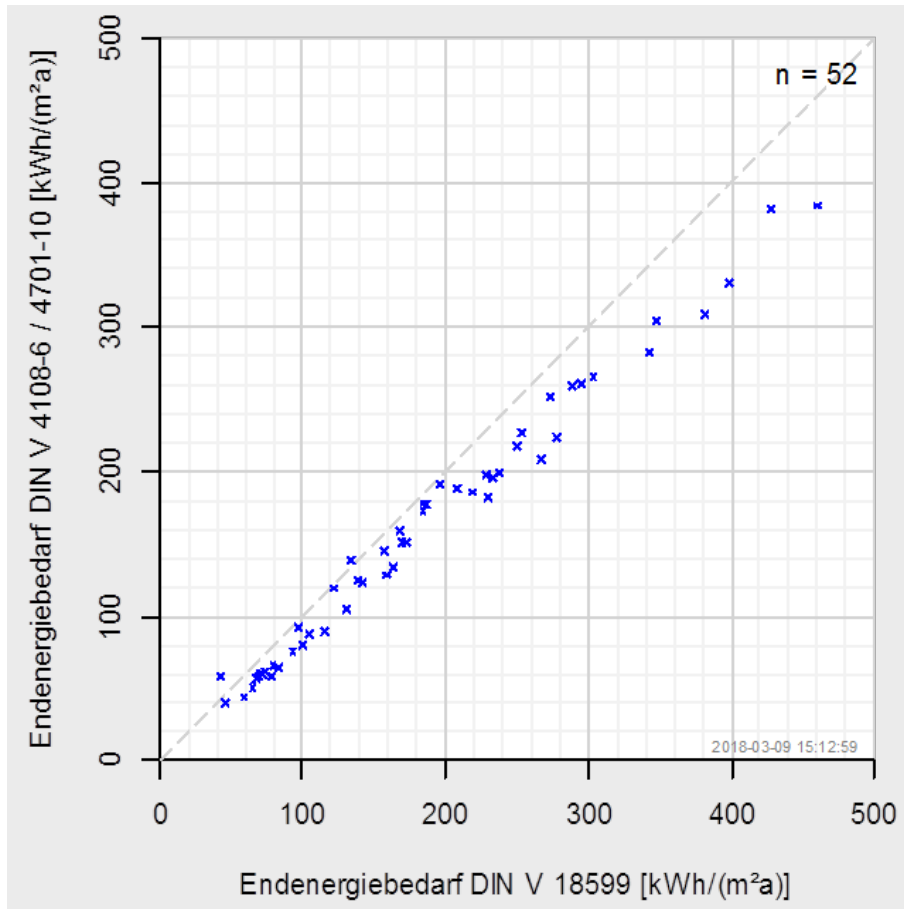
In Abb. 138 ist ein Vergleich mit den Mittelwerten für Intervalle des Bedarfs nach DIN V 18599 (Tab. 81) dargestellt. Das einfache lineare Modell mit dem Anpassungsfaktor 0,86 zeigt gute Übereinstimmung mit den Mittelwerten und Standardabweichungen.

**Tab. 81: Analyse der Bedarfskennwerte nach DIN V 4108-6 / 4701-10 für Intervalle des Bedarfskennwertes DIN V 18599 – Heizungsanlagen mit Kessel**

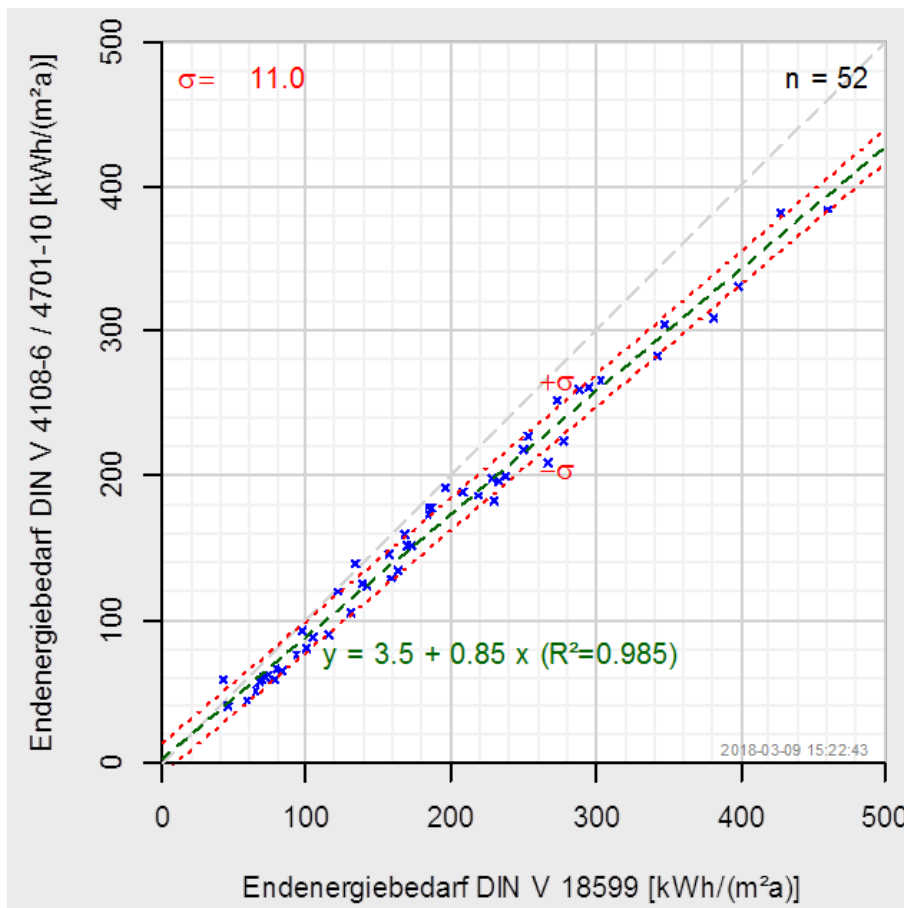
„BKW 18599“ Bedarfskennwert DIN V 18599*	Intervall	>	0	100	200	300	400	kWh/(m <sup>2</sup> a)
		≤	100	200	300	400	500	
	Mittelwert		73	155	251	355	444	
„BKW 4108/4701“ Bedarfskennwert DIN V 4108-6 / 4701-10*	Mittelwert		62	140	215	299	383	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Quotient aus mittlerem BKW 4108/4701 und mittlerem BKW 18599</b>			<b>0,85</b>	<b>0,91</b>	<b>0,86</b>	<b>0,84</b>	<b>0,86</b>	
<b>Analyse der Quotienten der Wertepaare BKW 4108/4701 zu BKW 18599</b>	Mittelwert		0,86	0,90	0,86	0,84	0,86	
	Standardabweichung (absolut)		±0,14	±0,07	±0,04	±0,03	±0,04	
	<b>relative Standardabweichung**</b>		<b>±17 %</b>	<b>±8 %</b>	<b>±5 %</b>	<b>±4 %</b>	<b>±5 %</b>	
	relative Standard- Unsicherheit des Mittelwerts***		±4 %	±2 %	±1 %	±2 %	±3 %	
<b>Anzahl Datensätze</b>			<b>15</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	
*) auf den Brennwert bezogener Norm-Energiebedarf; Flächenbezug: „Gebäudenutzfläche“ A <sub>N</sub> nach EnEV **) relative Standardabweichung: bezogen auf den Quotienten der beiden Mittelwerte ***) relative Standardunsicherheit des Mittelwerts, auch bezeichnet als relativer Standardfehler								

**Ermittlung einer Schätzfunktion für den Endenergiekennwert (H+W) nach DIN V 4108-6 / 4701-10 bei Kessel-Systemen**

Bezugsgrößen:  
 · Brennwert  
 · Gebäudenutzfläche  $A_N$



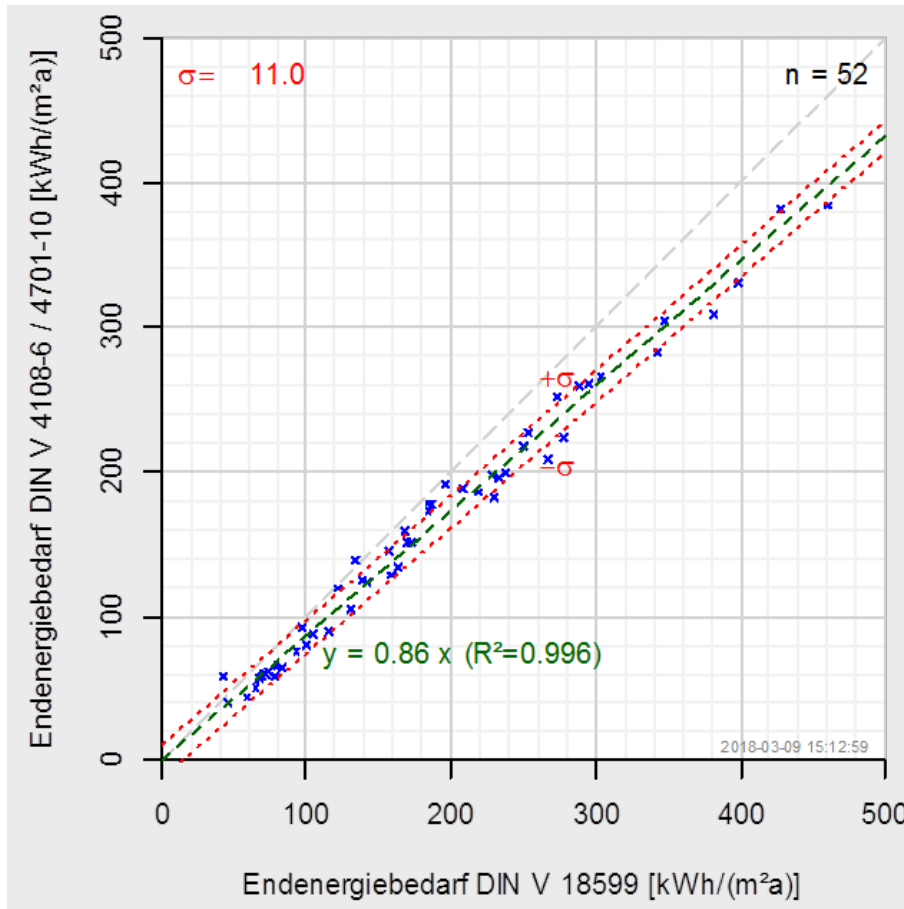
**Abb. 135:**  
**Ausgangsdatensätze**  
**Kessel-Systeme**



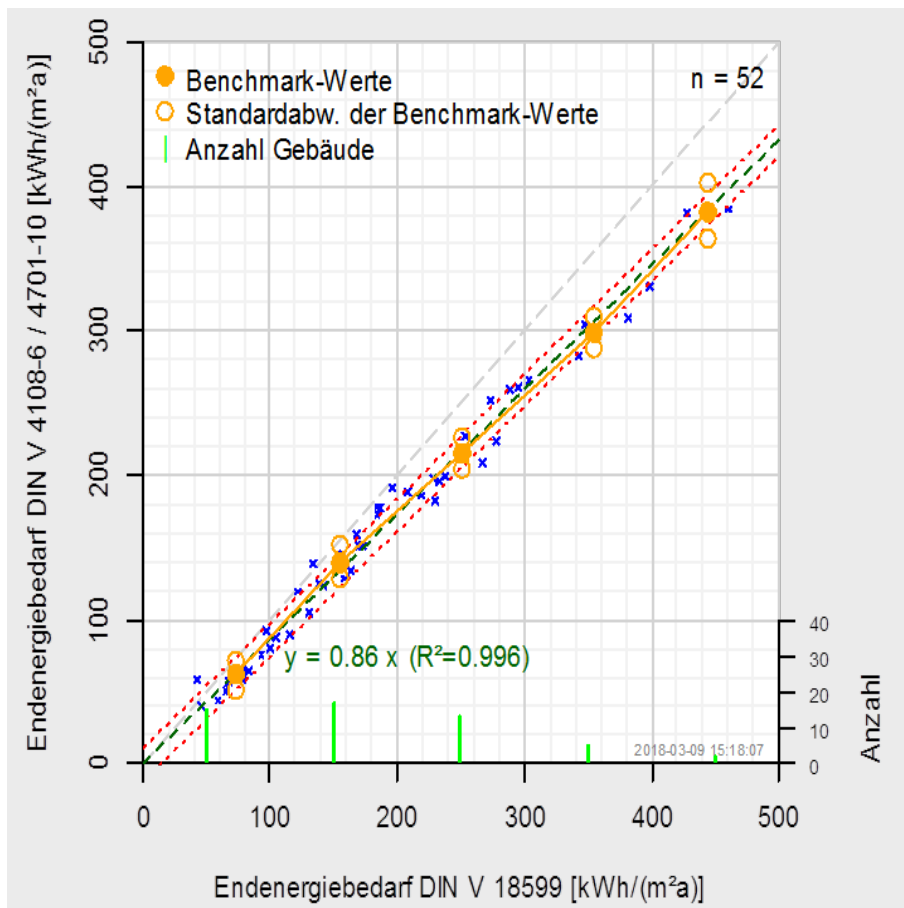
**Abb. 136:**  
**Lineares Regressions-**  
**modell**  
 mit Angabe der Regressi-  
 onsgleichung, des Be-  
 stimmtheitsmaßes ( $R^2$ )  
 und der Standardabwei-  
 chung ( $\sigma$ )

**Ermittlung einer Schätzfunktion für den Endenergiekennwert (H+W) nach DIN V 4108-6 / 4701-10 bei Kessel-Systemen**

Bezugsgrößen:  
 · Brennwert  
 · Gebäudenutzfläche  $A_N$



**Abb. 137:**  
**Lineare Regression mit erzwungenem Nullpunkt-Durchgang**  
 mit Angabe der Regressionsgleichung, des Bestimmtheitsmaßes ( $R^2$ ) und der Standardabweichung ( $\sigma$ )



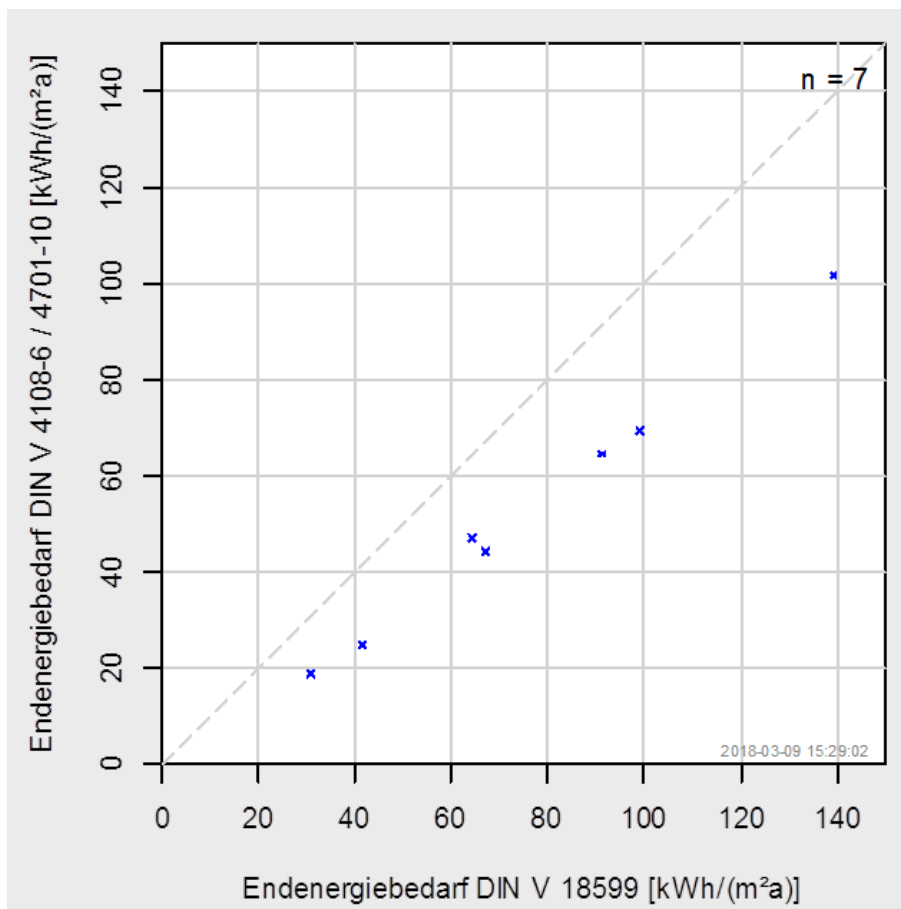
**Abb. 138:**  
**Mittelwerte für Intervalle und lineare Regression (mit erzwungenem Nullpunkt-Durchgang) im Vergleich**

## Schätzfunktion für Systeme mit Elektrowärmepumpen

Bei den Wärmepumpen liegen nur sieben auswertbare Datensätze vor (Abb. 139). Auch hier wird wie bei Kessel-Systemen eine lineare Regression ohne und mit erzwungenem Nullpunktdurchgang durchgeführt (Abb. 140 und Abb. 141). Die Güte beider Modelle ist ähnlich hoch, so dass auch in diesem Fall ein einfacher Anpassungsfaktor angewendet werden kann. Der Wert des Faktors ist mit 0,71 jedoch ca. 17% niedriger als bei den Kesselsystemen. Grund hierfür sind vermutlich die unterschiedlichen Ansätze für die Erzeugeraufwandszahlen von Wärmepumpen in beiden Verfahren.

### Ermittlung einer Schätzfunktion für den Endenergiekennwert (H+W) nach DIN V 4108-6 / 4701-10 bei Wärmepumpen

Bezugsgrößen:  
· Gebäudenutzfläche  $A_N$

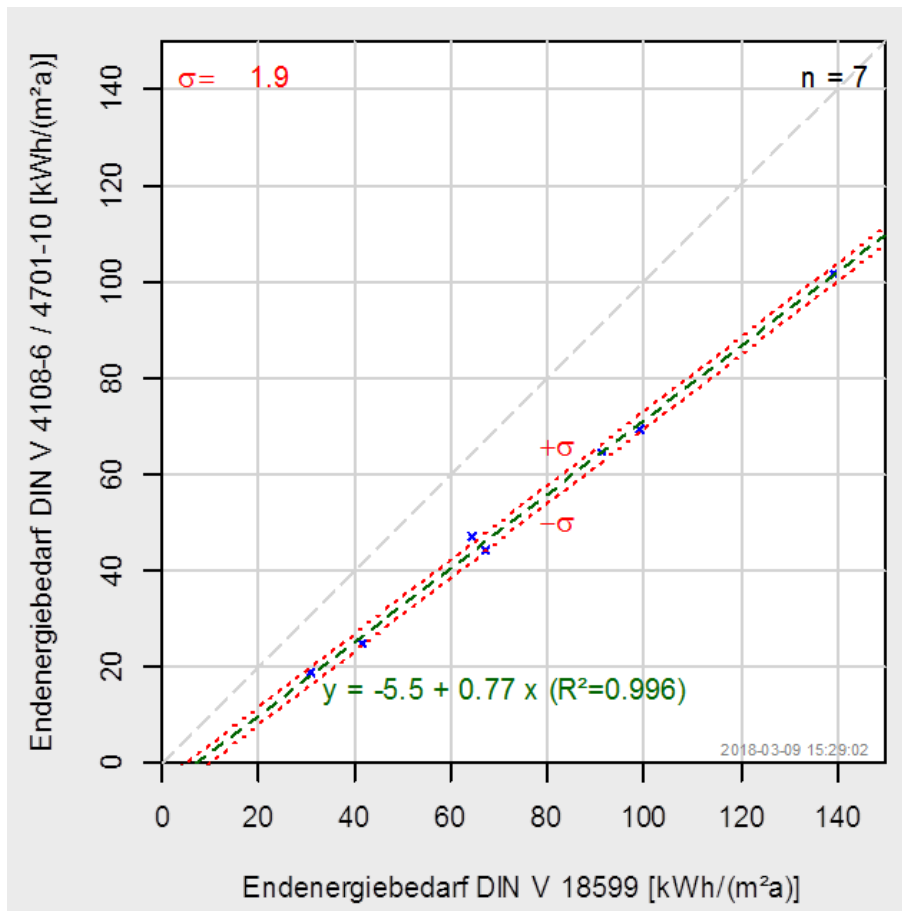


**Abb. 139:**  
**Ausgangsdatensätze**  
**Systeme mit Elektrowärmepumpen**

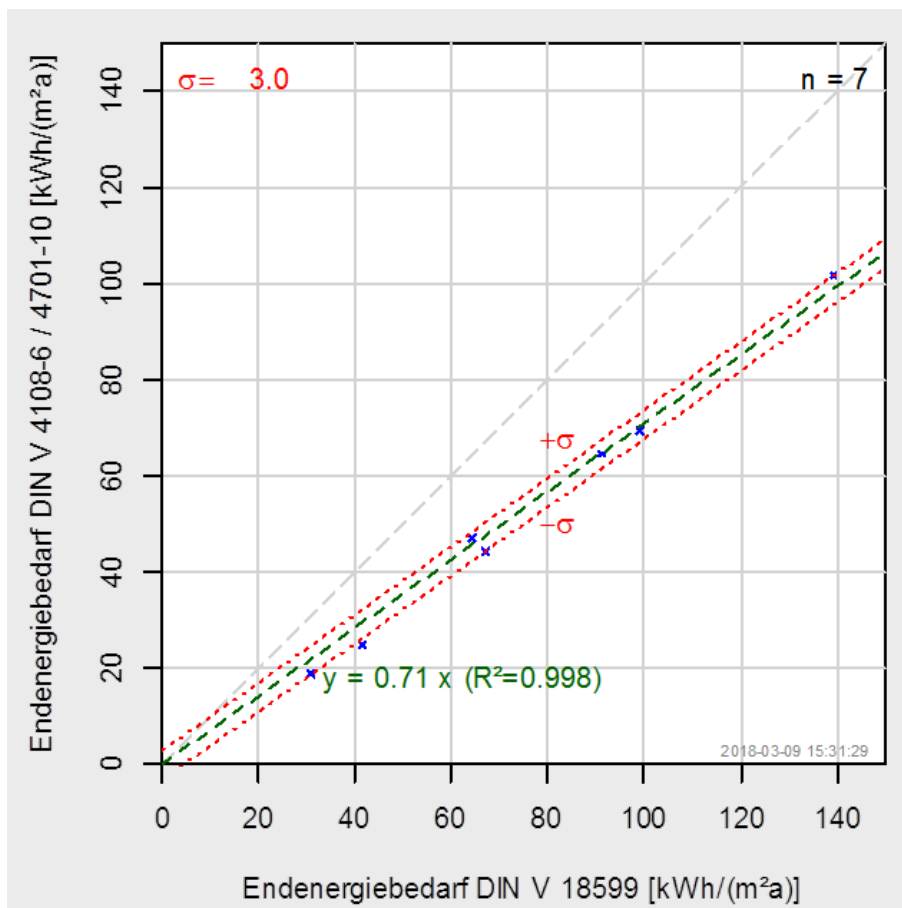


**Ermittlung einer Schätzfunktion für den Endenergiekennwert (H+W) nach DIN V 4108-6 / 4701-10 bei Wärmepumpen**

Bezugsgrößen:  
· Gebäudenutzfläche  $A_N$



**Abb. 140:**  
**Lineare Regression**  
mit Angabe der Regressionsgleichung, des Bestimmtheitsmaßes ( $R^2$ ) und der Standardabweichung ( $\sigma$ )



**Abb. 141:**  
**Lineare Regression mit erzwungenem Nullpunkt-Durchgang**  
mit Angabe der Regressionsgleichung, des Bestimmtheitsmaßes ( $R^2$ ) und der Standardabweichung ( $\sigma$ )

#### 4.4.6 Vorschlag für ein Verfahren zur Schätzung des Verbrauchswerts auf der Grundlage des berechneten Endenergiebedarfs nach DIN V 18599

Ausgehend von den vorangestellten Analysen werden folgende Faktoren zur Schätzung des Energiebedarfs nach DIN V 4108-6 / 4701-10 für vorliegende Kennwerte nach DIN V 18599 vorgeschlagen:

(35a) Heizungsanlagen mit Kessel  
 $\hat{y} = 0,86 x \quad (\sigma = 11 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}))$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

(35b) Heizungsanlagen mit Wärmepumpen  
 $\hat{y} = 0,71 x \quad (\sigma = 2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}))$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

mit:  $x$  Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser nach DIN V 18599, bezogen auf Gebäudenutzfläche  $A_N$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$\hat{y}$  Schätzwert für den Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser nach DIN V 4108-6 / 4701-10, bezogen auf Gebäudenutzfläche  $A_N$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$\sigma$  Standardabweichung (Maß für die erwartete Abweichung bei der Anwendung des Modells für Einzelgebäude)

*(Die Schätzformel ist auch anwendbar, wenn die Bezugsgrößen für beide Variablen jeweils die beheizte Wohnfläche ist oder wenn beide Größen sich auf den unteren Heizwert beziehen.)*

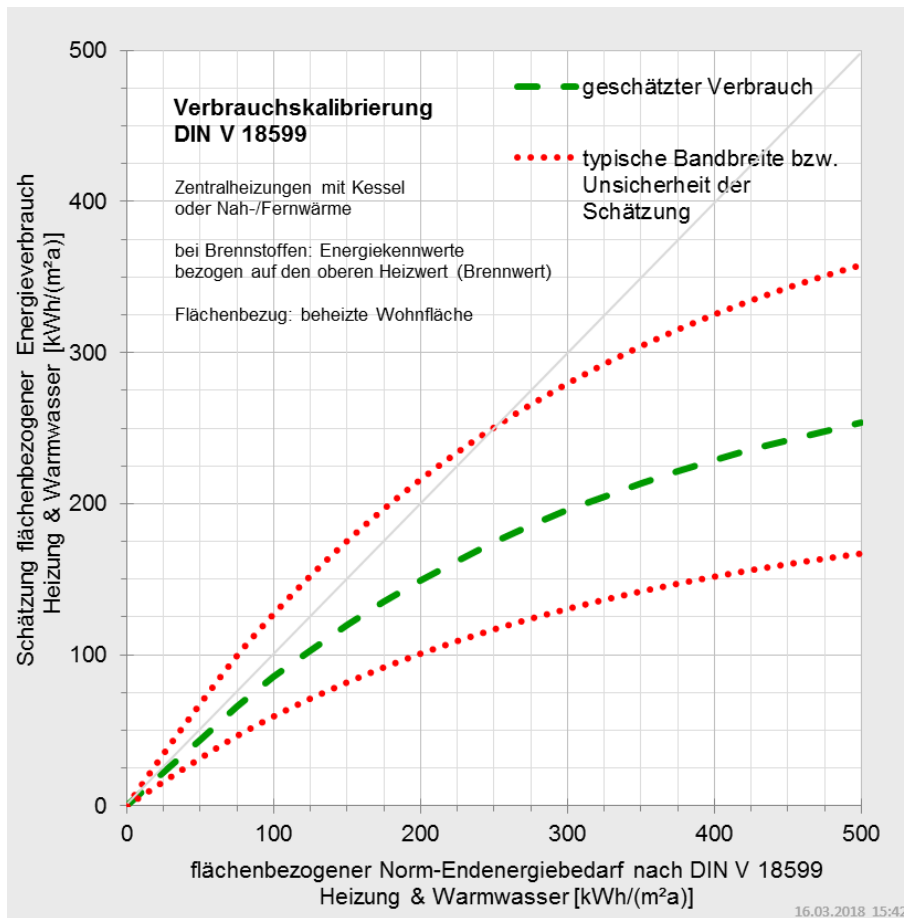
Die erwartete Abweichung bei der Anwendung der Anpassungsfaktoren gegenüber den nach DIN V 4108-6 berechneten Werten (Standardabweichung  $\sigma$ ) beträgt bei den Kessel-Systemen 11, bei den Wärmepumpensystemen 2 kWh/(m<sup>2</sup>a). Sie ist im Regelfall deutlich kleiner als die Bandbreite der Verbrauchsschätzung (Faktoren 0,7 und 1,4, siehe Abschnitt 4.3). Erst bei einem Endenergiebedarf von 28 kWh/(m<sup>2</sup>a) (bei Systemen mit Kessel) und 5 kWh/(m<sup>2</sup>a) (bei Elektro-Wärmepumpen) wird sie rechnerisch vergleichbar groß. Solche niedrigen Bedarfskennwerte kommen bei den hier betrachteten Beispielgebäuden jedoch nicht vor.

Es scheint daher vertretbar, auf eine explizite Berücksichtigung der zusätzlichen Unsicherheit bei der Ermittlung des Schätzwerts des Energieverbrauchs und des zugehörigen Erwartungsintervalls für Bedarfskennwerte nach DIN V 18599 zu verzichten.

Somit können die in Abschnitt 4.3 vorgeschlagenen Schätzfunktionen auf Berechnungsergebnisse nach DIN V 18599 angewendet werden, wenn die Kennwerte für den Endenergiebedarf  $q_{del,c}$  jeweils mit dem in Gleichung (35) dargestellten Faktor multipliziert werden. Den so hergestellten Zusammenhang zwischen Verbrauchsschätzung und Energiebedarf nach DIN V 18599 zeigt Abb. 142, den zugehörigen Kalibrierungsfaktor zeigt Abb. 143 (Energiekennwerte jeweils bezogen auf die beheizte Wohnfläche).

## Vorgeschlagene Schätzfunktion für Zentralheizungen mit Kessel

Bezugsgrößen:  
 · Brennwert  
 · beheizte Wohnfläche



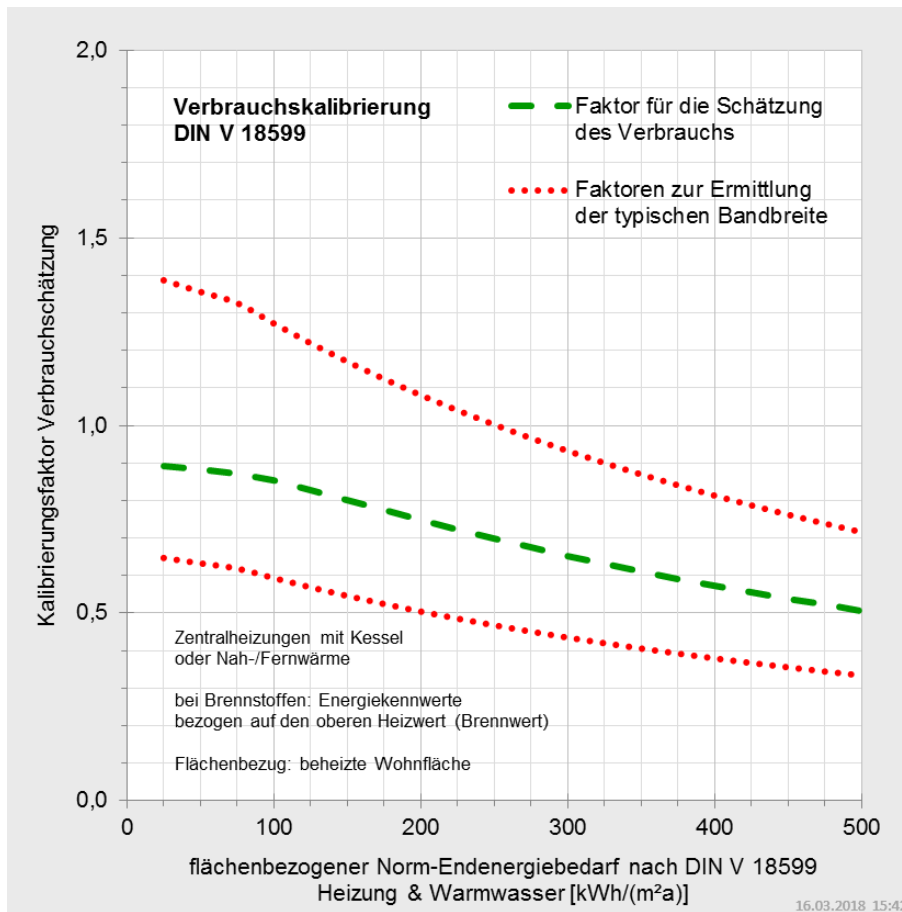
**Abb. 142:**  
**Schätzung des klimabereinigten Verbrauchskennwertes auf der Basis des Normenergiebedarfs nach DIN V 18599**

ermittelt durch Kombination der folgenden Schätzformeln:

- Verbrauch als Funktion des Normenergiebedarfs nach DIN V 4108-6/4701-10
- Normenergiebedarf nach DIN V 18599 als Funktion des Normenergiebedarfs nach DIN V 4108-6/4701-10

## Vorgeschlagene Schätzfunktion für Zentralheizungen mit Kessel

Bezugsgrößen:  
 · Brennwert  
 · beheizte Wohnfläche



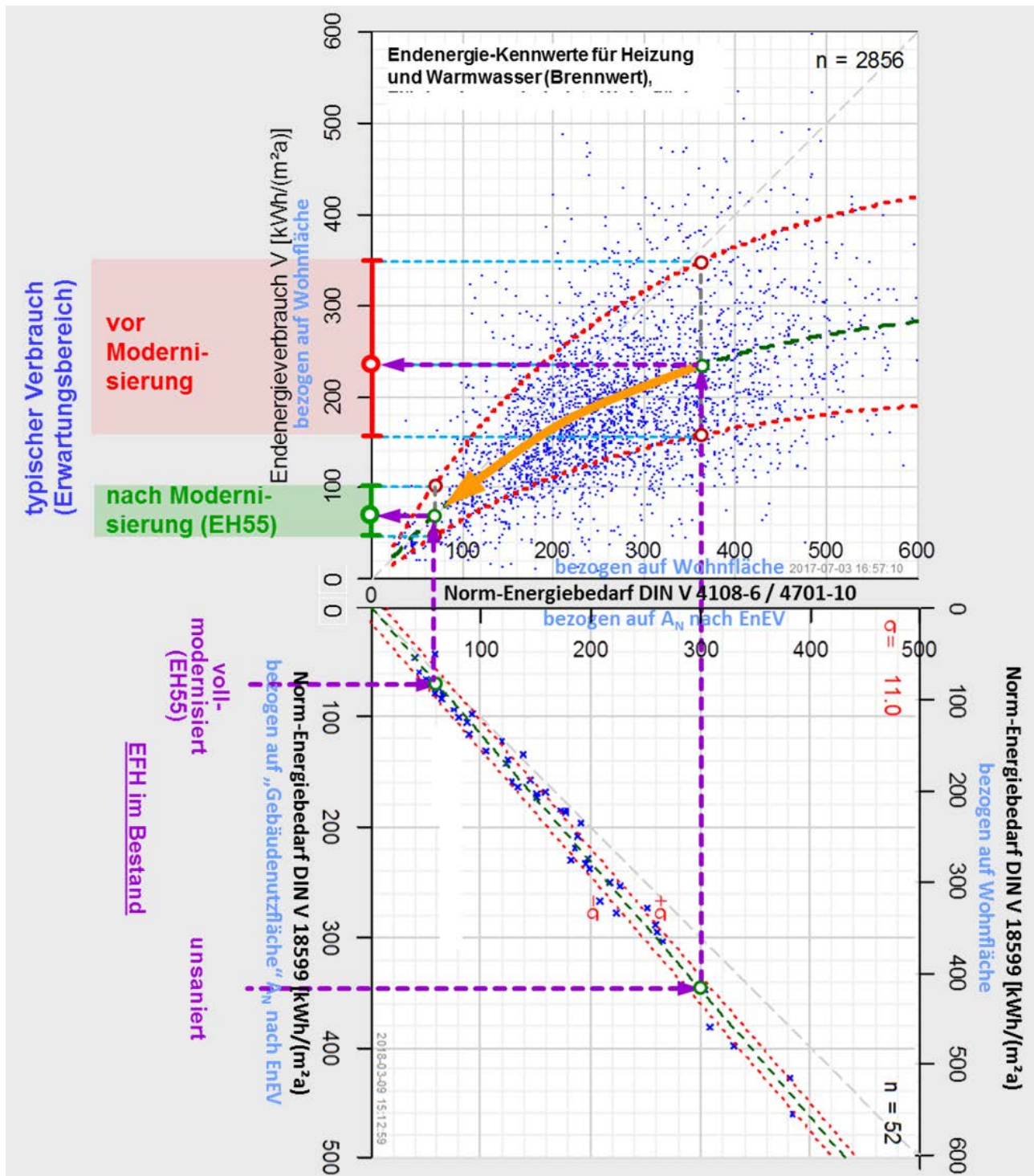
**Abb. 143:**  
 zugehöriger Kalibrierungsfaktor Verbrauchsschätzung als Funktion des Normenergiebedarfs nach DIN V 18599

Es muss an dieser Stelle aber noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die vorliegende Parameterstudie nur für eine begrenzte Zahl von Beispielgebäuden und Versorgungstechniken durchgeführt wurde. Es ist unklar, inwiefern damit die in der Praxis vorkommende Variationsbreite abgebildet wird. Weiterhin muss beachtet werden, dass die Eingabedaten für die Anlagentechnik in beiden Verfahren sehr unterschiedlich strukturiert sind und die Abfragen an vielen Stellen mit unterschiedlichen Begriffen arbeiten. Es ist zu vermuten, dass bei einem Praxistest mit mehreren Energieausweiserstellern sich jeweils leichte bis deutlich unterschiedliche Zusammenhänge zwischen beiden Verfahren je nach Verständnis des Normenwerks und zugestandenem Zeitaufwand ergeben. Die angegebene Unsicherheit gilt also nur für die hier gemachte Analyse mit einem Bearbeiter und hohem zeitlichen Aufwand für konsistente Eingaben.

Es sei abschließend auch noch einmal auf die Anomalien der Berechnung nach DIN V 18599 bei bestehenden Verteilleitungen in gut gedämmten Häusern hingewiesen, die offensichtlich durch nicht ausreichende Konvergenz des Iterationsalgorithmus entstehen. In diesen Fällen liefert derzeit nach unserer Einschätzung die Berechnung nach DIN V 18599 im Gegensatz zur DIN V 4701-10 keine brauchbaren Ergebnisse.

Das vorgeschlagene Verfahren zur Zuordnung des typischen Verbrauchsniveaus zum Endenergiebedarf nach DIN V 18599 stellt also einen provisorischen Ansatz dar. Es besteht somit weiterhin die Aufgabe, den direkten Zusammenhang zwischen den Aussagen der nach DIN V 18599 ermittelten Kennwerte im Energieausweis und dem gemessenen Energieverbrauch für eine größere Stichprobe unter praxisnahen Bedingungen zu ermitteln (siehe Darstellung des Forschungsbedarfs in Kapitel 7).

**Abb. 144: Schätzung des Energieverbrauchs auf der Basis des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599 / Visualisierung des Mechanismus und der zu Grunde liegenden empirischen Informationen**



## 4.5 Baustein C: „Realbilanzierung“ mit realitätsnahen Randbedingungen

### 4.5.1 Ansatz der „Realbilanzierung“

Im Gegensatz zur Normbilanzierung werden bei der Realbilanzierung Eingangsdaten verwendet, die möglichst nahe an den tatsächlichen Werten liegen. Bei unsicherer Datenlage werden Ansätze verwendet, die sich eher im mittleren Bereich der praktisch vorkommenden Spannen bewegen. Je nach Kenntnis über die energetische Qualität des Gebäudes wird der Energieberater grobe Schätzwerte mit einer großen Unsicherheit, typische Werte mit kleinerer Unsicherheit oder exakt bekannte Produkt- bzw. Messdaten verwenden.

Da die Unsicherheiten bei vielen Eingangsdaten – insbesondere im unsanierten Gebäudebestand – recht groß sind, ist auch bei der „Realbilanzierung“ eine Kalibrierung mit empirischen Daten zum Energieverbrauch notwendig – analog zur Beschreibung im vorangegangenen Kapitel. Damit wird erreicht, dass die Bilanzierung für eine große Zahl von Gebäuden den mittleren Energieverbrauch abbildet. Durch Verbesserung der Datenlage zum Gebäudebestand sollte es langfristig möglich sein, dass bei Ansatz von typischen Eingangsdaten die Kalibrierungsfunktion für die Realbilanzierung über ihren gesamten Definitionsbereich nahe bei 1,0 liegt.

Die Systematik der Realbilanzierung eines Wohngebäudes und des Abgleichs mit empirisch ermittelten Verbrauchsdaten ist in Abb. 145 dargestellt.

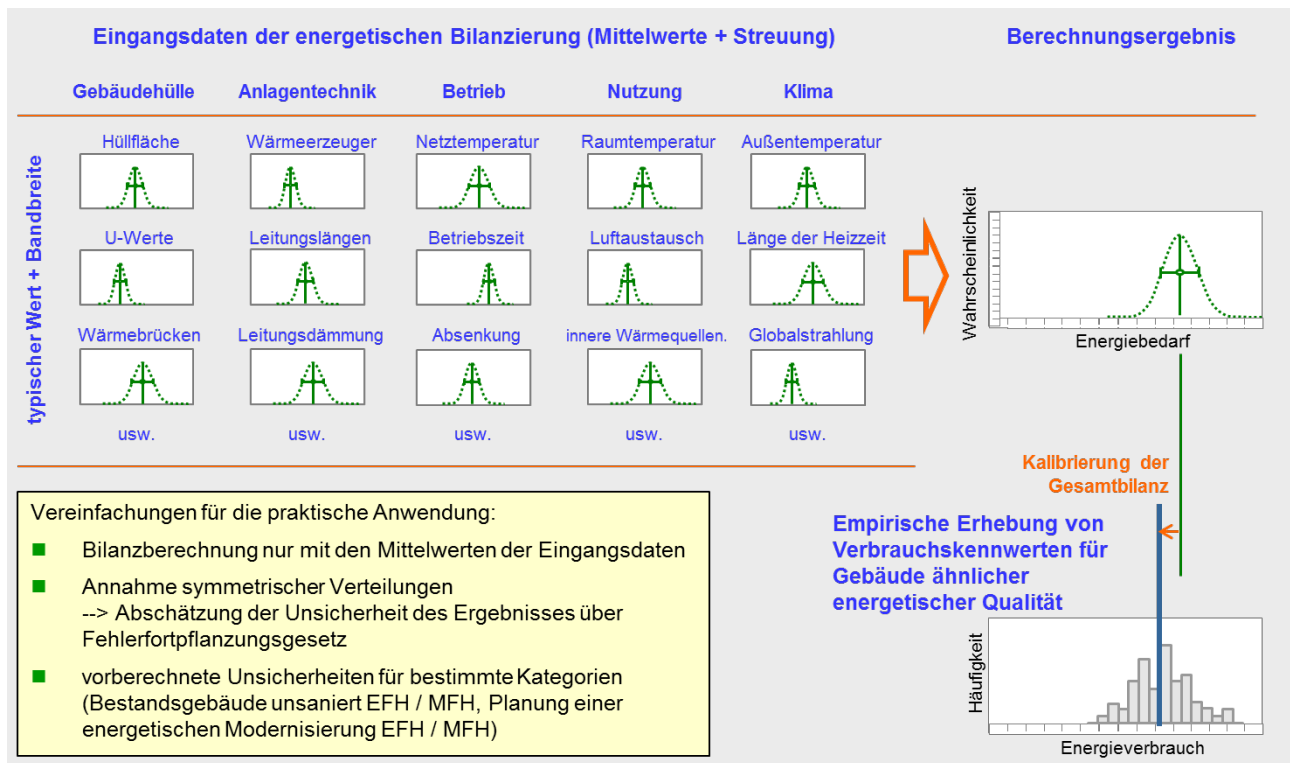
Für die Nutzungsdaten werden im folgenden Abschnitt erste Anhaltswerte für die Eingangsdaten geliefert. Für die weiteren Eingangsgrößen wie Klimadaten (Temperaturen, Solarstrahlungsdaten), bauliche Daten (Hüllfläche, U-Werte, Wärmebrückenverluste, ...), anlagentechnische Daten (Leitungslängen, Verlustkoeffizienten, Erzeugeraufwandszahlen, ... ) und Daten zur Betriebsführung (Netztemperaturen, ...) stehen derzeit weder typische Werte noch Spannen zur Verfügung. Die Ermittlung dieser Eingangsdaten der Realbilanzierung wird Aufgabe zukünftiger Projekte sein.<sup>31</sup>

### 4.5.2 Anhaltswerte für die Nutzungsdaten der Realbilanzierung bei Wohngebäuden

Im Folgenden sollen für die wesentlichen von den Bewohnern bestimmten Eingangsdaten der Energiebilanzierung typische Werte und Spannen dargestellt werden. Hierfür wurden soweit wie möglich die in Abschnitt 2.3 dargestellten empirischen Grundlagen verwendet. In vielen Fällen war die empirische Grundlage jedoch so schwach, dass als erste Anhaltswerte Schätzungen der Autoren dieser Studie eingetragen wurden. Diese sind in den entsprechenden Tabellen gesondert als Expertenschätzung gekennzeichnet und sollten in Zukunft durch empirisch gesicherte Daten ersetzt werden.

<sup>31</sup> Die in der Fehlerbetrachtung im nachfolgenden Kapitel 4.6 dargestellten Ansätze für diese Unsicherheiten sind reine Schätzungen – sie dienen nur dem qualitativen Vergleich des Nutzereinflusses auf die Gesamtunsicherheit im Vergleich mit möglichen anderen Unsicherheiten.

**Abb. 145: Schema für eine realistische Bilanzierung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Eingangsdaten sowie des Abgleichs an empirisch ermittelten Verbrauchsdaten – Idealverfahren und Vereinfachungen für die praktische Anwendung**



## Typische Werte und Spannen für die Raumtemperatur

Die wichtigste vom Nutzer bestimmte Eingangsgröße der Energiebilanz ist die Raumtemperatur. In Tab. 82 sind für Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) für zwei extrem weit auseinanderliegende energetische Standards (unsaniertes Altbau, Passivhaus) Ansätze für die typischen Raumtemperaturen in der Heizperiode, für niedrige und hohe Werte sowie der Mittelwert und die Standardabweichung dargestellt. Die grün dargestellten Werte sind aus Monitoringprojekten abgeleitet, rote Zahlen stellen Schätzungen der Bearbeiter dieser Studie dar und blaue Werte wurden aus den anderen Zahlen rechnerisch ermittelt. Die Ansätze „niedrig“ und „hoch“ sollen dabei etwa die typische Spanne wiedergeben die in der Praxis zu finden sind und können im Fall von empirischen Untersuchungen aus dem Mittelwert plus / minus Standardabweichung abgeleitet werden.

Die „EFH“-Werte gelten im Prinzip auch für Reihenhäuser, wobei hier auch die Temperaturdifferenzen zu den Nachbarhäusern eine Rolle spielen, die sich besonders bei hochwertigen energetischen Modernisierungen von Bestandsgebäuden mit einschaligen Trennwänden relativ stark auswirken können. Bei der Berücksichtigung in der energetischen Bilanzierung für Mittel- oder Endhäuser kann die typische Spanne dann jeweils durch den Ansatz von Temperaturen „hoch“ und „niedrig“ für die angrenzenden Wohneinheiten abgebildet werden.

**Tab. 82: Typische Eingangsgrößen und Spannen für die Raumtemperatur differenziert nach Gebäudeart für zwei extrem auseinanderliegende energetische Standards**  
(Werte beim MFH jeweils bezogen auf eine Wohnung, die Gesamtwirkung kann mit der im nächsten Abschnitt dargestellten Gl. (36) ermittelt werden.)

	Einflussgröße	Einheit	Gebäudegröße	Gebäudestandard	Wert			Mittelwert	Standardabweichung
					typisch	niedrig	hoch		
vereinfacht	Raumtemperatur (Heizperiodenmittelwert, räumlich, zeitlich)	°C	EFH	Altbau unsaniert	16,5	15	20	17,2	2,6
				Passivhaus	20,5	19,5	23	21,0	1,8
			MFH	Altbau unsaniert	18,5	16	21	18,5	2,5
				Passivhaus	21,7	20	23	21,6	1,5
detaillierte Berechnung	Raumtemperatur in der Nutzungszeit (direkt beheizte Räume)	°C	EFH	Altbau unsaniert	20	18	22	20,0	2,0
				Passivhaus	22,5	19,5	23	21,7	1,9
			MFH	Altbau unsaniert	20	18	22	20,0	2,0
				Passivhaus	22,5	20	23	21,8	1,6
	räumliche Teilbeheizung	% teilbeheizte Wohnfläche	EFH	Altbau unsaniert	40	0	60	33	31
				Passivhaus	40	0	60	33	31
			MFH	Altbau unsaniert	14	0	50	21	26
				Passivhaus	14	0	50	21	26
	zeitliche Teilbeheizung (Nacht-/Wochenendabsenkung)	h Absenkung	EFH	Altbau unsaniert	8	0	12	6,7	6,1
				Passivhaus	8	0	12	6,7	6,1
			MFH	Altbau unsaniert	8	0	10	6,0	5,3
				Passivhaus	8	0	10	6,0	5,3
Legende		blau:	berechnet						
		rot:	Schätzung						
		grün:	Messwerte						

Die Tabelle enthält sowohl über die Heizperiode gemittelte Raumtemperaturen als auch Raumtemperaturen in der Nutzungszeit für direkt beheizte Räume. Die Differenzierung ermöglicht den Vergleich mit in unterschiedlicher Art durch Befragung oder Messung ermittelten Temperaturen. Wie im folgenden Abschnitt gezeigt wird, können beide Temperaturtypen durch einfache Funktionen zur Abbildung der zeitlichen und räumlichen Teilbeheizung ineinander umgerechnet werden [Loga et al. 2003].



## Erläuterungen zu den mittleren Raumtemperaturen

In Tab. 82 dargestellt sind zeitlich und räumlich gemittelte Raumtemperaturen in der Heizperiode sowie differenzierte Informationen zur Raumtemperatur in der Nutzungszeit (direkt beheizte Räume) und zu den entsprechenden Reduktionsfaktoren. Die folgende Tabelle zeigt die Zwischenschritte des vereinfachten Rechenschemas. In Abhängigkeit vom wohnflächenbezogenen Wärmetransferkoeffizienten und vom angesetzten Flächenanteil der nicht direkt beheizten Räume werden die Reduktionsfaktoren für Nachtabsenkung und für die räumliche Teilbeheizung bestimmt (siehe [Loga et al. 2003]). Die Reduktionsfaktoren wirken auf die Differenz zwischen der Raumtemperatur direkt beheizter Räume und der mittleren Außentemperatur in der Heizzeit (Klima Potsdam, Heizgrenze 12°C).

Da in Tab. 82 nur die Extreme der Eingangsgrößen illustriert werden sollen, wurde dort das Reihenhaus nicht noch einmal extra dargestellt.

**Tab. 83: Bestimmung der zeitlich und räumlich gemittelten Raumtemperaturen in der Heizzeit für die Spalte „typisch“ in Tab. 82**

		beheizte Wohnfläche je Wohnung	Wärmetransferkoeffizient bezogen auf beheizte Wohnfläche	Raumtemperatur direkt beheizte Räume, zu Zeiten der Beheizung	mittlere Außentemperatur in der Heizzeit	Reduktionsfaktor Nachtabsenkung*	Anteil Flächen, die nicht direkt beheizt werden	Reduktionsfaktor räumlich eingeschränkte Beheizung*	Reduktionsfaktor zeitlich und räumlich eingeschränkte Beheizung	zeitlich und räumlich gemittelte Raumtemperatur in der Heizzeit
		m <sup>2</sup> /WE	W/(m <sup>2</sup> K)	°C	°C					°C
EFH	Altbau, unsaniert	147	5,00	<b>20,0</b>	4,4	0,92	40%	0,85	0,78	<b>16,5</b>
	Passivhaus	147	0,80	<b>22,5</b>	4,4	0,96	40%	0,93	0,89	<b>20,5</b>
RH	Altbau, unsaniert	109	3,50	<b>20,0</b>	4,4	0,92	29%	0,93	0,86	<b>17,8</b>
	Passivhaus	109	0,60	<b>22,5</b>	4,4	0,96	29%	0,97	0,93	<b>21,3</b>
MFH	Altbau, unsaniert	69	3,50	<b>20,0</b>	4,4	0,92	14%	0,98	0,91	<b>18,5</b>
	Passivhaus	69	0,55	<b>22,5</b>	4,4	0,96	14%	0,99	0,96	<b>21,7</b>

\*) Rechenformeln für die Bestimmung der Reduktionsfaktoren für die zeitliche und räumliche Teilbeheizung nach [Loga et al. 2003]

Die **rot** umrandeten Temperaturwerte wurden in Tab. 82 übernommen.

Die Wohnflächen je Wohnung wurden aus der folgenden Tabelle abgeleitet. Da in der zu Grunde liegenden Informationsquelle Ein- und Zweifamilienhäuser in einer Kategorie zusammengefasst dargestellt werden, wird in diesem Fall die Wohnfläche pro Gebäude und nicht pro Wohnung verwendet. Im Fall der Mehrfamilienhäuser wurden die Kategorien „MFH“ und „GMH“ zusammengeführt.

**Tab. 84: Ansätze für die Wohnfläche bzw. die mittlere Wohnungsgröße differenziert nach Gebäudetyp**

	Anzahl Wohngebäude	Anzahl Wohnungen	Wohnfläche in Mio. m <sup>2</sup>	Wohnfläche pro Gebäude m <sup>2</sup>	Wohnfläche pro Wohnung m <sup>2</sup>
	in Tsd.	in Tsd.			
EZFH	9976	12263	1463	147	119
RH	5030	5796	633	126	109
MFH	3023	16495	1168	386	71
GMH	210	4674	288	1371	62
EFH+RH	15006	18059	2096	140	116
MFH+GH	3233	21169	1456	450	69

Werte ermittelt aus: [Loga et al. 2015] Tab. 4

Die rot umrandeten Werte für die Wohnfläche bzw. Wohnungsgröße wurden in Tab. 75 übernommen.

Die Ansätze für die verwendeten wohnflächenbezogenen Wärmetransferkoeffizienten wurden aus den Berechnungen zu den Beispielgebäuden der deutschen Wohngebäudetypologie abgeleitet (siehe folgende Tabelle).

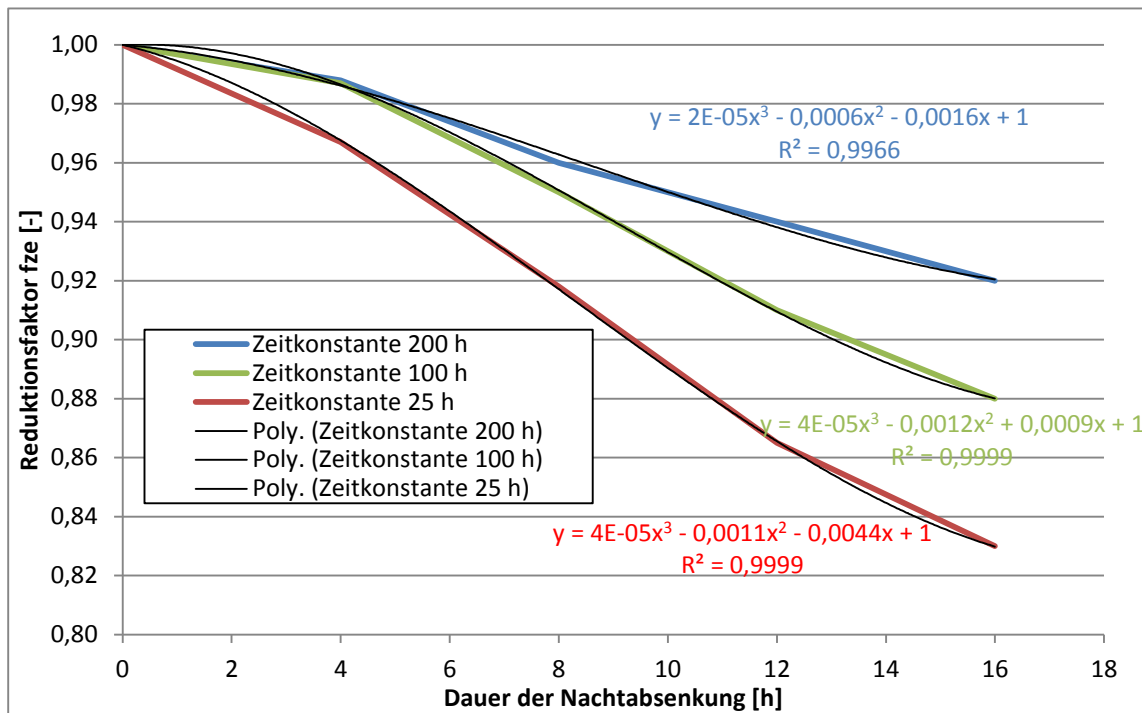
**Tab. 85: Ansätze für Wärmetransferkoeffizienten, bezogen auf die beheizte Wohnfläche, differenziert nach Gebäudetyp**

	Wärmetransferkoeffizienten, bezogen auf die beheizte Wohnfläche					
	[W/(m <sup>2</sup> K)]					
	Altbau unsaniert			Passivhaus		
	EFH	RH	MFH	EFH	RH	MFH
Transmission	4,50	3,00	3,00	0,70	0,50	0,45
Lüftung	0,50	0,50	0,50	0,10	0,10	0,10
<b>Gesamt</b>	<b>5,00</b>	<b>3,50</b>	<b>3,50</b>	<b>0,80</b>	<b>0,60</b>	<b>0,55</b>

Zahlen grob abgeleitet aus den Beispielgebäuden der deutschen Wohngebäudetypologie ([Loga et al. 2015] Anhang C.3);  
Ansatz für Lüftung enthält den Effekt der Wärmerückgewinnung

Die Ansätze für die Reduktionsfaktoren einer von 8 Stunden abweichenden Nachtabsenkung wurden entsprechend den in Abb. 146 für mittelschwere Gebäude dargestellten Polynomen ermittelt.

**Abb. 146: Reduktionsfaktor für zeitliche Teilbeheizung nach [Loga et al. 1999] für den unsanierten Altbau (Zeitkonstante ca. 25 h), ein Passivhaus (Zeitkonstante ca. 200 h) und einen mittleren Standard mit 100 h Zeitkonstante**



### Typische Werte und Spannen für die weiteren Nutzungsdaten

Ansätze für weitere nutzungsbedingte Einflussgrößen nach dem oben dargestellten Schema sind in Tab. 86 dargestellt. Auch diese Werte können als Eingangsgrößen in die Energiebilanz verwendet werden, wenn keine Informationen über das Verhalten der Bewohner vorliegen.

Da die Reduzierung des Stromverbrauchs mit zum Konzept des Passivhauses gehört, wurden bei den inneren Wärmequellen entsprechend niedrigere Werte als beim unsanierten Altbau angesetzt. Wurden an dieser Stelle keine Anstrengungen unternommen, ist der Wert für den unsanierten Altbau passender.

Liegt der energetische Standard der Gebäude zwischen den in den Tabellen genannten Randwerten, so können die Zwischenwerte bilinear interpoliert werden. Für die Interpolation können die angesetzten Werte für den wohnflächenbezogenen Wärmetransferkoeffizienten (Tab. 85) als Grenzen verwendet werden.

**Tab. 86: Weitere typische Eingangsgrößen und Spannen für die Nutzung differenziert nach Gebäudeart für zwei extrem auseinanderliegende energetische Standards**  
(Werte beim MFH jeweils bezogen auf eine Wohnung, die Gesamtwirkung kann mit der im nächsten Abschnitt dargestellten Gl. (36) ermittelt werden.)

Einflussgröße	Einheit	Gebäudegröße	Gebäudestandard	Wert			Mittelwert	Standardabweichung
				typisch	niedrig	hoch		
Fensteröffnung im Winter	h/(d·Fenster)	EFH	Altbau unsaniert	1	0,5	5	2,2	2,5
			Passivhaus	0,5	0,07	3,85	1,5	2,1
		MFH	Altbau unsaniert	1	0,5	5	2,2	2,5
			Passivhaus	0,5	0,07	3,85	1,5	2,1
Nutzungsbedingter Luftwechsel	1/h	EFH	Altbau unsaniert	0,1	0,05	0,5	0,22	0,25
			Passivhaus Anlagen-LW	0,35	0,2	0,5	0,35	0,15
			Passivhaus Fenster-LW	0,05	0,01	0,39	0,15	0,21
		MFH	Altbau unsaniert	0,1	0,05	0,5	0,22	0,25
			Passivhaus Anlagen-LW	0,35	0,2	0,5	0,35	0,15
			Passivhaus Fenster-LW	0,05	0,01	0,39	0,15	0,21
Wärmequellen	W/m <sup>2</sup>	EFH	Altbau unsaniert	3,0	1,5	4,0	2,8	1,3
			Passivhaus	2,1	1,5	4,0	2,5	1,3
		MFH	Altbau unsaniert	3,5	1,5	4,0	3,0	1,3
			Passivhaus	2,1	1,5	4,0	2,5	1,3
Warmwasser	kWh/(m <sup>2</sup> a)	EFH	Altbau unsaniert	12	5	40	19,0	18,5
			Passivhaus	12	5	40	19,0	18,5
		MFH	Altbau unsaniert	17	5	50	24,0	23,3
			Passivhaus	17	5	50	24,0	23,3

Legende

berechnet
Schätzung
Messwerte

## 4.6 Fehlerbetrachtung: Abschätzung des Einflusses der Bandbreiten der Nutzung und anderer Parameter auf den Energiebedarf

Es soll im Folgenden grob abgeschätzt werden, wie sich die im Abschnitt 4.4 dargestellte Spanne von Eingangsgrößen insgesamt auf den rechnerischen Energiebedarf auswirkt. Ziel ist es, die in den empirischen Verbrauchsdaten vorgefundenen Streuungen zu erklären und Möglichkeiten einer Verbesserung der Verbrauchsschätzung auszuloten. Die hier vorgenommene grobe Abschätzung sollte in Zukunft durch differenziertere Betrachtungen erweitert werden, die das lokale Klima und die Betriebsführung mit einbeziehen und weitere empirische Belege für die Unsicherheiten von Daten heranziehen.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Basis der Fehlerbetrachtung die Standardabweichungen der verschiedenen Größen sind. Der größte Teil der Gebäude (68%) befindet sich also jeweils innerhalb der angegebenen Streuung.

### 4.6.1 Unsicherheiten der Nutzungsdaten

Es sollen im Folgenden nur Unsicherheiten der Nutzungsparameter mit dem größten Einfluss berücksichtigt werden:

- mittlere Raumtemperatur im aktiv beheizten Bereich
- Luftwechsel infolge Fensteröffnung
- innere Wärmequellen
- "Warmwasserzapfung als Funktion der Personenzahl"

Die aus Kapitel 2 zusammengetragenen Anhaltswerte für die jeweiligen Bandbreiten der Eingangsgrößen und deren Auswirkung auf den Endenergieverbrauch sind im vorangegangenen Abschnitt dargestellt. In Tab. 87 werden diese in der Spalte „Nutzer nicht spezifiziert“ dargestellt. Ergänzend sollen noch Fälle berücksichtigt werden, in denen nähere Angaben zur Nutzung vorliegen. Die hier gebildeten drei Kategorien der Datenlage zum Nutzerverhalten sind:

- **Nutzer nicht spezifiziert**  
Die Unsicherheiten gelten für alle Fälle, bei denen Angaben zur Nutzung nicht vorliegen oder bei denen eine Änderung der Nutzung ansteht. Da keine näheren Angaben zur Nutzung benötigt werden, sind entsprechende Aussagen zur erwarteten Bandbreite des Energieverbrauchs immer anwendbar. Die Werte in Tab. 87 geben den derzeitigen Stand der empirischen Daten wieder, noch bestehende Lücken wurden mit Annahmen ergänzt (siehe Abschnitt 4.5.2).
- **Angaben zur Nutzung liegen vor**  
Auf der Basis von Angaben zur Nutzung (Anzahl Bewohner, Alter, Anwesenheiten, ...) wird die Spanne der Nutzungsdaten eingegrenzt. Dies ist typisch für die Energieberatungspraxis. Die Angaben in Tab. 87 sind Annahmen, die in Zukunft durch empirische Daten abgesichert werden sollten.
- **Messwerte für Nutzung liegen vor**  
Die Energiebilanz eines Gebäudes soll möglichst genau abgebildet werden und mit dem gemessenen Verbrauch verglichen werden. Es liegen Messwerte für die Randbedingungen bzw. für das Nutzerverhalten (Raumtemperaturen, Fensteröffnung, Haushaltsstromverbrauch, Warmwasserzapfung) vor. Ein typischer Anwendungsfall ist die Begleitung von Modellvorhaben im Rahmen von Forschungsprojekten. Die Angaben in Tab. 87 sind Annahmen für die Unsicherheiten von Messdaten.

Bei den Mehrfamilienhäusern (MFH) bezieht sich die im vorangegangenen Abschnitt behandelte Streuung jeweils auf einzelne Wohnungen. Um entsprechende Abschätzungen für Gebäude zu ermöglichen, wird die mittlere Streuung gemäß folgender Gleichung ermittelt:

$$(36) \quad \sigma_{Geb}(x_{Geb}) = \frac{\sigma_{WE}(x_{WE})}{\sqrt{n_{WE}}}$$

mit  $\sigma_{Geb}(x_{Geb})$  Gesamtstreuung der Eingangsgröße für die Gebäudeenergiebilanz  $x_{Geb}$  bei Ansatz der mittleren Nutzung

$\sigma_{WE}(x_{WE})$  Streuung der je Wohnung erfassten Größe  $x_{WE}$

$n_{WE}$  Anzahl der Wohneinheiten

Je mehr Wohnungen ein Gebäude enthält, desto schmaler wird also die nutzerbedingte Unsicherheit des erwarteten Energieverbrauchs für das Komplettgebäude. Unter Annahme exakt baugleicher Gebäude würde also mit zunehmender Anzahl von Wohnungen die Bandbreite des erwarteten Energieverbrauchs immer schmaler werden. Auch für den erwarteten Energieverbrauch einer Reihenhauszeile kann eine entsprechende Aussage bei gegebener Zahl von Wohneinheiten abgeleitet werden.

Nicht berücksichtigt sind bei der Fehlerbetrachtung Wärmeströme zwischen einzelnen Wohneinheiten auf Grund von unterschiedlichen Temperaturniveaus, die – insbesondere bei gut nach außen gedämmten Gebäuden – stark den Verbrauch zwischen einzelnen Wohneinheiten verschieben können ohne dass sich der Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes ändert. Daher gelten die folgenden Betrachtungen insbesondere nicht für einzelne Reihenhaus-Einheiten.

**Tab. 87: Auswirkung der Unsicherheiten bezüglich der Nutzung auf den Endenergiebedarf / drei Kategorien für das Wissen über die Nutzung**  
(Werte für den typischen Streubereich aus Abschnitt 4.5.2  
Werte für die Sensitivität des Energiebedarfs aus Abschnitt 2.2)

Einflussgröße	Einheit	Gebäudestandard	Gebäudegröße		typischer Streubereich			Sensitivität des Endenergiebedarfs			Unsicherheit des Endenergiebedarfs				
			Typ	Anzahl Wohneinheiten je Gebäude	Nutzer nicht spezifiziert	Nutzertyp bekannt *	Messwerte für Nutzung*	Änderung um		Auswirkung auf Endenergiebedarf	Nutzer nicht spezifiziert	Nutzertyp bekannt	Messwerte für Nutzung		
								Eingangsgröße	Einheit					kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
Raumtemperatur (Heizperiodenmittelwert, räumlich, zeitlich)	°C	Altbau unsaniert	EFH	1	±2,6	±1,0	±0,5	+1,0	K	+29,0	±74,4	±29,0	±14,5		
				MFH	Einzelwohnung	±2,5	±1,0	±0,5							
			5		±1,1	±0,4	±0,2	+1,0	K	+26,0	±29,1	±11,6	±5,8		
			12		±0,7	±0,3	±0,1	+1,0	K	+26,0	±18,8	±7,5	±3,8		
			40		±0,4	±0,2	±0,1	+1,0	K	+26,0	±10,3	±4,1	±2,1		
			Passivhaus	EFH	1	±1,8	±1,0	±0,5	+1,0	K	+3,0	±5,4	±3,0	±1,5	
		MFH			Einzelwohnung	±1,5	±1,0	±0,5							
				5	±0,7	±0,4	±0,2	+1,0	K	+2,0	±1,3	±0,9	±0,4		
				12	±0,4	±0,3	±0,1	+1,0	K	+2,0	±0,9	±0,6	±0,3		
				40	±0,2	±0,2	±0,1	+1,0	K	+2,0	±0,5	±0,3	±0,2		
		Luftwechsel infolge Fensteröffnung		1/h	Altbau unsaniert	EFH	1	±0,25	±0,10	±0,05	+0,1	1/h	+8,0	±19,7	±8,0
			MFH				Einzelwohnung	±0,25	±0,10	±0,05					
5	±0,11					±0,04	±0,02	+0,1	1/h	+8,0	±8,8	±3,6	±1,8		
12	±0,07					±0,03	±0,01	+0,1	1/h	+8,0	±5,7	±2,3	±1,2		
40	±0,04					±0,02	±0,01	+0,1	1/h	+8,0	±3,1	±1,3	±0,6		
Passivhaus (mit Lüftungsanlage)	EFH		1			±0,21	±0,10	±0,05	+0,1	1/h	+6,0	±12,5	±6,0	±3,0	
			MFH		Einzelwohnung	±0,21	±0,10	±0,05							
	5				±0,09	±0,04	±0,02	+0,1	1/h	+6,0	±5,6	±2,7	±1,3		
	12				±0,06	±0,03	±0,01	+0,1	1/h	+6,0	±3,6	±1,7	±0,9		
	40				±0,03	±0,02	±0,01	+0,1	1/h	+6,0	±2,0	±0,9	±0,5		
	innere Wärmequellen		Wärmeleistung je m² (Abgabe innerhalb der thermischen Hülle)		EFH	1	±1,26	±1,00	±0,50	+1,0	W/m²	-5,0	±6,3	±5,0	±2,5
MFH						Einzelwohnung	±1,32	±1,00	±0,50						
		5		±0,59	±0,45	±0,22	+1,0	W/m²	-5,0	±2,9	±2,2	±1,1			
		12		±0,38	±0,29	±0,14	+1,0	W/m²	-5,0	±1,9	±1,4	±0,7			
		40		±0,21	±0,16	±0,08	+1,0	W/m²	-5,0	±1,0	±0,8	±0,4			
Warmwasserzapfung als Funktion der Personenzahl		Anzahl Bewohner je 100 m² Wohnfläche		EFH	1	±2,25	±1,00	±0,50	+1,0	P/100m²	+7,9	±17,8	±7,9	±4,0	
	MFH		Einzelwohnung		±2,52	±1,00	±0,50								
			5	±1,13	±0,45	±0,22	+1,0	P/100m²	+7,9	±8,9	±3,5	±1,8			
			12	±0,73	±0,29	±0,14	+1,0	P/100m²	+7,9	±5,8	±2,3	±1,1			
			40	±0,40	±0,16	±0,08	+1,0	P/100m²	+7,9	±3,2	±1,3	±0,6			

\*) Im Fall des Luftwechsels bezogen auf das Fensteröffnungsverhalten

#### 4.6.2 Unsicherheiten der baulichen und anlagentechnischen Daten

Um den Einfluss der Unsicherheiten der baulichen und anlagentechnischen Eingangsdaten der Energiebilanz mit dem der Nutzungsdaten vergleichen zu können, wurden die in der folgenden Tabelle dargestellten Ansätze gemacht. Dabei wird im Fall eines Neubaus oder modernisierten Altbaus unterschieden zwischen einer nachträgliche Datenerhebung und der unmittelbaren Nutzung von Planungsdaten, deren Umsetzung durch eine Qualitätssicherung sichergestellt wird. Beachtet werden sollte, dass bei den Ansätzen die relativen Unsicherheiten bei nachträglicher Erhebung nicht vom Standard abhängen, diese jedoch absolut gesehen stark unterschiedlich sind.

**Tab. 88: Ansätze für die Unsicherheiten des Endenergiebedarfs bedingt durch Unsicherheiten bei den baulichen und anlagentechnischen Eingangsdaten**

	Altbau unsaniert	Neubau oder modernisierter Altbau (Passivhaus-Niveau)	Neubau oder modernisierter Altbau (Passivhaus-Niveau)
	Daten erhoben	Daten erhoben	Planungsdaten (Umsetzung qualitätsgesichert)
Fläche der thermischen Hülle	±10%	±10%	±5%
energetische Qualität der thermischen Hülle	±20%	±20%	±5%
energetische Qualität der Wärmeversorgung	±10%	±10%	±5%

#### 4.6.3 Gesamt-Unsicherheit des erwarteten Energieverbrauchs (Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz)

Unter der Annahme, dass der Standardwert eines Nutzungsparameters  $x$  durch den Mittelwert einer Normalverteilung mit der Unsicherheit  $u(x)$  beschrieben wird, dann lässt sich das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz zur Bestimmung der Unsicherheit  $u(q_{del,c})$  des spezifischen Bedarfs anwenden:

$$(37) \quad u(q_{del,c}) = \sqrt{\left(\frac{\partial q_{del,c}}{\partial \vartheta_{nti}} \cdot u(\vartheta_{int})\right)^2 + \left(\frac{\partial q_{del,c}}{\partial n_{eff}} \cdot u(n_{eff})\right)^2 + \left(\frac{\partial q_{del,c}}{\partial q_{int}} \cdot u(q_{int})\right)^2 + \left(\frac{\partial q_{del,c}}{\partial q_{ww}} \cdot u(q_{ww})\right)^2 + \dots} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

mit  $u(q_{del,c})$  Unsicherheit des spezifischen Energiebedarfs [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

$u(\vartheta_{int})$ , Streuung der Raumtemperatur, des effektiven Luftwechsels, der Leistung innerer Wärmequellen, der Warmwasserzapfmengen sowie weiterer Eingangsdaten der Energiebilanz [K],

$u(n_{eff})$ , [1/h],

$u(\varphi_{int})$ , [W/m<sup>2</sup>],

$u(q_{ww})$ , [kWh/(m<sup>2</sup>a)],

...



In der Realität ist die Streuung von einigen Größen (z.B. effektiver Luftwechsel) tendenziell nicht normalverteilt. Die Anwendung des Gesetzes stellt daher eine Vereinfachung dar, die jedoch angesichts der Vielzahl von Einflussgrößen und dem Fehlen genauerer empirischer Belege für vertretbar erscheint.

Für zwei Extremfälle, unsanierte Altbauten und energetisch hochwertig modernisierte Gebäude bzw. Neubauten (Passivhaus-Niveau) wird mit Hilfe von Gl. (37) nun die Gesamtunsicherheit bestimmt. Während für die Gebäude- und Anlagentechnik der unsanierten Altbauten eine schlechte Datenlage angenommen wird, wird bei den energetisch hochwertigen Gebäuden differenziert zwischen einer Ex-Post-Erhebung des energetischen Zustands (grobe Daten) und der Verwendung von Planungsdaten (unter Voraussetzung einer Qualitätssicherung bei der Umsetzung). Den Rechengang zeigen die folgenden drei Tabellen.

**Tab. 89: Einfluss von unsicheren Eingangsgrößen auf den Endenergiebedarf der Realbilanz / unsanierte Altbauten**

energetische Qualität Gebäude		Altbau, unsaniert											
Art der Daten		Ex-post Erhebung des energetischen Zustands											
Information über Nutzerverhalten		unbekannt				Nutzertyp bekannt				gemessene Daten zum Nutzerverhalten			
Gebäudegröße		EFH		MFH		EFH		MFH		EFH		MFH	
Anzahl Wohneinheiten	Bereich	1 ... 2	3 ... 8	9 ... 20	21 ...	1 ... 2	3 ... 8	9 ... 20	21 ...	1 ... 2	3 ... 8	9 ... 20	21 ...
	ermittelt für	1	5	12	40	1	5	12	40	1	5	12	40
Unsicherheit des Endenergiebedarfs, verursacht durch die Unbestimmtheit der jeweiligen Eingangsgröße													
Raumtemperatur	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±74,4	±29,1	±18,8	±10,3	±29,0	±11,6	±7,5	±4,1	±14,5	±5,8	±3,8	±2,1
Luftwechsel	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±19,7	±8,8	±5,7	±3,1	±8,0	±3,6	±2,3	±1,3	±4,0	±1,8	±1,2	±0,6
innere Wärmequellen	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±6,3	±2,9	±1,9	±1,0	±5,0	±2,2	±1,4	±0,8	±2,5	±1,1	±0,7	±0,4
Warmwasser (abhängig von Personenzahl)	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±17,8	±8,9	±5,8	±3,2	±7,9	±3,5	±2,3	±1,3	±4,0	±1,8	±1,1	±0,6
Fläche der thermischen Hülle	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±25,0	±23,0	±23,0	±23,0	±25,0	±23,0	±23,0	±23,0	±25,0	±23,0	±23,0	±23,0
energetische Qualität der thermischen Hülle	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±50,0	±46,0	±46,0	±46,0	±50,0	±46,0	±46,0	±46,0	±50,0	±46,0	±46,0	±46,0
energetische Qualität der Wärmeversorgung	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±25,0	±23,0	±23,0	±23,0	±25,0	±23,0	±23,0	±23,0	±25,0	±23,0	±23,0	±23,0
<b>Gesamt- Unsicherheit</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>±100</b>	<b>±65</b>	<b>±60</b>	<b>±57</b>	<b>±69</b>	<b>±58</b>	<b>±57</b>	<b>±57</b>	<b>±63</b>	<b>±57</b>	<b>±56</b>	<b>±56</b>
Typischer Energieverbrauch	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	250	230	230	230	250	230	230	230	250	230	230	230
<b>relative Gesamtunsicherheit</b>	[ ]	<b>±40%</b>	<b>±28%</b>	<b>±26%</b>	<b>±25%</b>	<b>±28%</b>	<b>±25%</b>	<b>±25%</b>	<b>±25%</b>	<b>±25%</b>	<b>±25%</b>	<b>±25%</b>	<b>±25%</b>
Anteil des Nutzereinflusses an der Gesamtunsicherheit	[ ]	56%	36%	27%	17%	34%	19%	13%	7%	20%	10%	7%	4%

**Tab. 90: Einfluss von unsicheren Eingangsgrößen auf den Endenergiebedarf der Realbilanz / Neubau oder modernisierter Altbau (Passivhaus-Niveau) / Ex-post Erhebung des energetischen Zustands**

energetische Qualität Gebäude		Neubau oder modernisierter Altbau (Passivhaus-Niveau)											
Art der Daten		Ex-post Erhebung des energetischen Zustands											
Information über Nutzerverhalten		unbekannt				Nutzertyp bekannt				gemessene Daten zum Nutzerverhalten			
Gebäudegröße		EFH		MFH		EFH		MFH		EFH		MFH	
Anzahl Wohneinheiten	Bereich	1 ... 2	3 ... 8	9 ... 20	21 ...	1 ... 2	3 ... 8	9 ... 20	21 ...	1 ... 2	3 ... 8	9 ... 20	21 ...
	ermittelt für	1	5	12	40	1	5	12	40	1	5	12	40
Unsicherheit des Endenergiebedarfs, verursacht durch die Unbestimmtheit der jeweiligen Eingangsgröße													
Raumtemperatur	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±5,4	±1,3	±0,9	±0,5	±3,0	±0,9	±0,6	±0,3	±1,5	±0,4	±0,3	±0,2
Luftwechsel	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±12,5	±5,6	±3,6	±2,0	±6,0	±2,7	±1,7	±0,9	±3,0	±1,3	±0,9	±0,5
innere Wärmequellen	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±6,3	±2,9	±1,9	±1,0	±5,0	±2,2	±1,4	±0,8	±2,5	±1,1	±0,7	±0,4
Warmwasser (abhängig von Personenzahl)	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±17,8	±8,9	±5,8	±3,2	±7,9	±3,5	±2,3	±1,3	±4,0	±1,8	±1,1	±0,6
Fläche der thermischen Hülle	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±5,0	±4,0	±4,0	±4,0	±5,0	±4,0	±4,0	±4,0	±5,0	±4,0	±4,0	±4,0
energetische Qualität der thermischen Hülle	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±10,0	±8,0	±8,0	±8,0	±10,0	±8,0	±8,0	±8,0	±10,0	±8,0	±8,0	±8,0
energetische Qualität der Wärmeversorgung	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±5,0	±4,0	±4,0	±4,0	±5,0	±4,0	±4,0	±4,0	±5,0	±4,0	±4,0	±4,0
<b>Gesamt- Unsicherheit</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>±26</b>	<b>±15</b>	<b>±12</b>	<b>±11</b>	<b>±17</b>	<b>±11</b>	<b>±10</b>	<b>±10</b>	<b>±14</b>	<b>±10</b>	<b>±10</b>	<b>±10</b>
Typischer Energieverbrauch	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	50	40	40	40	50	40	40	40	50	40	40	40
<b>relative Gesamtunsicherheit</b>	[ ]	<b>±53%</b>	<b>±37%</b>	<b>±30%</b>	<b>±26%</b>	<b>±34%</b>	<b>±28%</b>	<b>±26%</b>	<b>±25%</b>	<b>±27%</b>	<b>±25%</b>	<b>±25%</b>	<b>±25%</b>
<b>Anteil des Nutzereinflusses an der Gesamtunsicherheit</b>	[ ]	66%	53%	42%	28%	48%	34%	25%	15%	32%	20%	14%	8%

**Tab. 91: Einfluss von unsicheren Eingangsgrößen auf den Endenergiebedarf der Realbilanz / Neubau oder modernisierter Altbau (Passivhaus-Niveau) / Planungsdaten, Umsetzung qualitätsgesichert**

energetische Qualität Gebäude		Neubau oder modernisierter Altbau (Passivhaus-Niveau)											
Art der Daten		Planungsdaten, Umsetzung qualitätsgesichert											
Information über Nutzerverhalten		unbekannt				Nutzertyp bekannt				gemessene Daten zum Nutzerverhalten			
Gebäudegröße		EFH		MFH		EFH		MFH		EFH		MFH	
Anzahl Wohneinheiten	Bereich	1 ... 2	3 ... 8	9 ... 20	21 ...	1 ... 2	3 ... 8	9 ... 20	21 ...	1 ... 2	3 ... 8	9 ... 20	21 ...
	ermittelt für	1	5	12	40	1	5	12	40	1	5	12	40
Unsicherheit des Endenergiebedarfs, verursacht durch die Unbestimmtheit der jeweiligen Eingangsgröße													
Raumtemperatur	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±5,4	±1,3	±0,9	±0,5	±3,0	±0,9	±0,6	±0,3	±1,5	±0,4	±0,3	±0,2
Luftwechsel	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±12,5	±5,6	±3,6	±2,0	±6,0	±2,7	±1,7	±0,9	±3,0	±1,3	±0,9	±0,5
innere Wärmequellen	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±6,3	±2,9	±1,9	±1,0	±5,0	±2,2	±1,4	±0,8	±2,5	±1,1	±0,7	±0,4
Warmwasser (abhängig von Personenzahl)	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±17,8	±8,9	±5,8	±3,2	±7,9	±3,5	±2,3	±1,3	±4,0	±1,8	±1,1	±0,6
Fläche der thermischen Hülle	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±2,5	±2,0	±2,0	±2,0	±2,5	±2,0	±2,0	±2,0	±2,5	±2,0	±2,0	±2,0
energetische Qualität der thermischen Hülle	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±2,5	±2,0	±2,0	±2,0	±2,5	±2,0	±2,0	±2,0	±2,5	±2,0	±2,0	±2,0
energetische Qualität der Wärmeversorgung	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	±2,5	±2,0	±2,0	±2,0	±2,5	±2,0	±2,0	±2,0	±2,5	±2,0	±2,0	±2,0
<b>Gesamt- Unsicherheit</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>±24</b>	<b>±12</b>	<b>±8</b>	<b>±5</b>	<b>±12</b>	<b>±6</b>	<b>±5</b>	<b>±4</b>	<b>±7</b>	<b>±4</b>	<b>±4</b>	<b>±4</b>
Typischer Energieverbrauch	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	50	40	40	40	50	40	40	40	50	40	40	40
<b>relative Gesamt- unsicherheit</b>	[ ]	<b>±47%</b>	<b>±29%</b>	<b>±20%</b>	<b>±13%</b>	<b>±25%</b>	<b>±15%</b>	<b>±12%</b>	<b>±10%</b>	<b>±14%</b>	<b>±11%</b>	<b>±10%</b>	<b>±9%</b>
<b>Anteil des Nutzereinflusses an der Gesamt- unsicherheit</b>	[ ]	84%	76%	67%	53%	73%	59%	48%	34%	57%	42%	32%	20%

Tab. 92 gibt einen Überblick über die Ergebnisse, Abb. 147 zeigt den Vergleich mit der empirisch ermittelten Streuung des Verbrauchs entsprechend den Abschnitten 4.2 und 4.3. Es zeigt sich, dass die Höhe der Streuungen im Prinzip vergleichbar ist. Die in der Praxis beobachtete Streuung kann also durch das Modell relativ gut erklärt werden. Beachtet werden muss dabei, dass die Unsicherheiten der baulichen und anlagentechnischen Daten einen starken Einfluss auf das Gesamtergebnis haben, jedoch bei dieser Abschätzung reine Annahmen sind.

Bei den hochenergieeffizienten Einfamilienhäusern fällt auf, dass die Verbesserung der Datenlage zum Gebäude keine merkliche Verringerung der Unsicherheit bringt, da hier der Einfluss der Bewohner dominiert. Anders sieht dies bei den Mehrfamilienhäusern aus, für die bei detaillierter Berechnung der geplanten Modernisierung und einer qualitätsgesicherten Umsetzung eine deutliche Verringerung der Bandbreite des erwarteten Energieverbrauchs erreicht wird (Abb. 147).

Dies wird allerdings durch die typischen Spannen der Kalibrierungsfunktion für die EnEV-Normbilanz nicht wiedergegeben, da bei den zu Grunde liegenden Auswertungen keine Differenzierung zwischen EFH und MFH möglich war.

**Tab. 92: Überblick über die Unsicherheiten des Endenergiebedarfs der Realbilanz**

Information über Nutzerverhalten*	Anzahl Wohneinheiten		Einheit	Altbau, unsaniert	Neubau oder modernisierter Altbau (Passivhaus-Niveau)	
	Bereich	ermittelt für		ex-post Erhebung des energetischen Zustands	ex-post Erhebung des energetischen Zustands	Planungsdaten, Umsetzung qualitätsgesichert
				Unsicherheit des flächenbezogenen kalibrierten Endenergiebedarfs		
unbekannt	1 ... 2	1	[kWh/(m²a)]	±100,2	±26,3	±23,7
	3 ... 8	5	[kWh/(m²a)]	±64,7	±14,7	±11,6
	9 ... 20	12	[kWh/(m²a)]	±60,0	±12,1	±7,9
	21 ...	40	[kWh/(m²a)]	±57,4	±10,5	±5,2
Nutzertyp bekannt	1 ... 2	1	[kWh/(m²a)]	±68,9	±16,8	±12,3
	3 ... 8	5	[kWh/(m²a)]	±57,8	±11,0	±6,1
	9 ... 20	12	[kWh/(m²a)]	±56,9	±10,3	±4,8
	21 ...	40	[kWh/(m²a)]	±56,5	±10,0	±3,9
gemessene Daten zum Nutzerverhalten	1 ... 2	1	[kWh/(m²a)]	±63,2	±13,5	±7,2
	3 ... 8	5	[kWh/(m²a)]	±56,7	±10,1	±4,3
	9 ... 20	12	[kWh/(m²a)]	±56,5	±9,9	±3,8
	21 ...	40	[kWh/(m²a)]	±56,4	±9,8	±3,6
				flächenbezogener kalibrierter Endenergiebedarf (Referenz)		
flächenbez. Energieverbrauch (Referenz)	1 ... 2		[kWh/(m²a)]	250	50	50
	3 ...		[kWh/(m²a)]	230	40	40
				relative Unsicherheit		
unbekannt	1 ... 2	1		±40%	±53%	±47%
	3 ... 8	5		±28%	±37%	±29%
	9 ... 20	12		±26%	±30%	±20%
	21 ...	40		±25%	±26%	±13%
Nutzertyp bekannt	1 ... 2	1		±28%	±34%	±25%
	3 ... 8	5		±25%	±28%	±15%
	9 ... 20	12		±25%	±26%	±12%
	21 ...	40		±25%	±25%	±10%
gemessene Daten zum Nutzerverhalten	1 ... 2	1		±25%	±27%	±14%
	3 ... 8	5		±25%	±25%	±11%
	9 ... 20	12		±25%	±25%	±10%
	21 ...	40		±25%	±25%	±9%
*) bezogen auf Raumtemperaturen + Fensteröffnung + Warmwasserverbrauch						

**Abb. 147: Vergleich der Unsicherheiten des Endenergiebedarfs der Realbilanz mit der empirisch ermittelten Streuung des Verbrauchs**

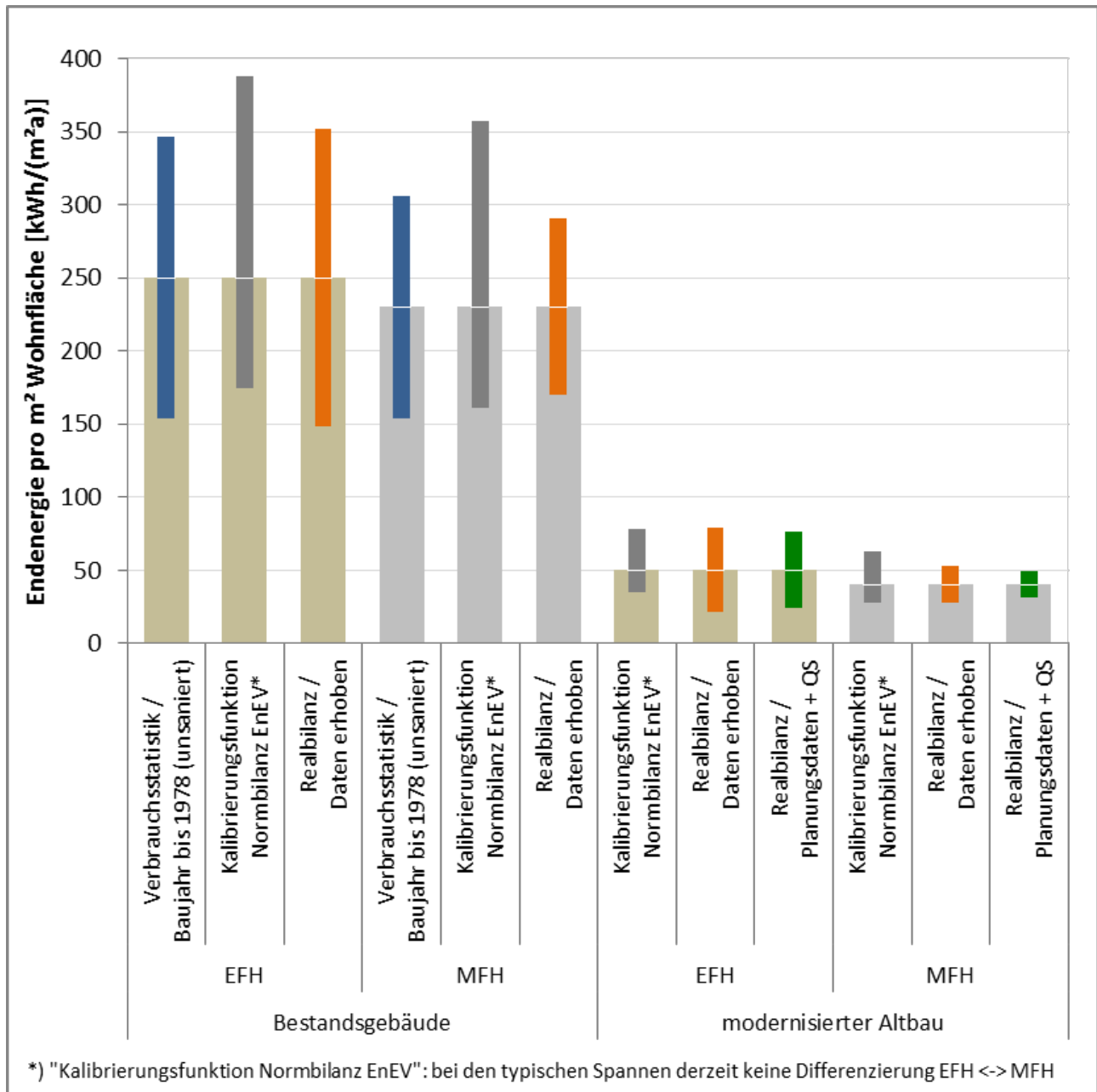
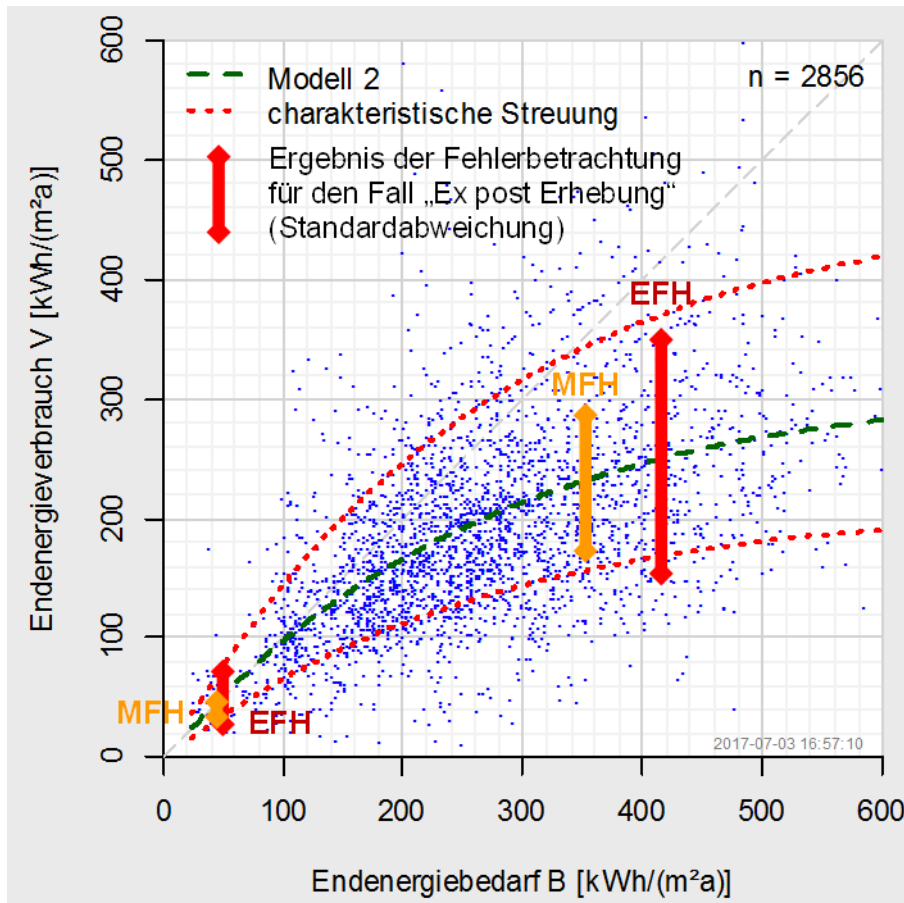


Abb. 148 stellt noch einmal die empirisch erhobenen Daten und die darauf basierende Kalibrierungsfunktion mit der typischen Spanne den Ergebnissen der Fehlerbetrachtung für den Fall einer Ex-post-Nacherhebung gegenüber. Augenscheinlich wird noch einmal der Nachteil der einfachen Fehlerbetrachtung, die nur für symmetrische Verteilungen der Eingangsdaten vorgenommen werden kann und daher insbesondere die Streuung der Verbrauchswerte nach oben nicht erklären kann. Diese Effekte sollten Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.

**Abb. 148: Ergebnisse der Fehlerbetrachtung für erhobene Daten im Vergleich mit den empirischen Daten aus der Stichprobensammlung und der charakteristischen Streuung von Modell 2**



- grün-gestrichelte und rot-gepunktete Linien: empirisch abgeleitetes Modell für die Schätzung des Verbrauchs (Schätzwert und Unsicherheit der Schätzung)
- eingetragene Pfeile: abgeschätzte Unsicherheit der rechnerischen Bilanzierung (bedingt durch unsichere U-Werte, Leitungslängen, Nutzereinfluss etc.) im Vergleich zur empirischen Streuung; entsprechend dieser Abschätzung wird beim Einfamilienhaus im Bestand etwa 50% der Streuung durch das Nutzerverhalten verursacht, beim Mehrfamilienhaus im Bestand etwa 20%.

Flächenbezug: beheizte Wohnfläche

Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser

Energieträger: Erdgas und Fernwärme

Brennwert-Bezug bei Brennstoffen


Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger

## 4.7 Verbraucherorientierte anschauliche Präsentation der Vergleichswerte Energieverbrauch

### 4.7.1 Basis-Information für an Modernisierung interessierte Gebäudeeigentümer

Es stellt sich nun die Frage, wie die bisher dargestellten Informationen vertrauensbildend in die Entscheidungsfindung von Gebäudeeigentümern einfließen können. Hier würde beispielsweise die Zuordnung von empirisch ermittelten Verbrauchswerten zu den EnEV- und KfW-Effizienzhaus-Standards helfen, wie in Abschnitt 4.2.2 dargestellt. Hierzu fehlt allerdings bisher die empirische Grundlage. Alternativ könnte eine anschauliche Präsentation der Ergebnisse mit Hilfe von Beispielgebäuden erzielt werden, denen der aus empirischer Sicht zu erwartende Energieverbrauch vor und nach Modernisierung zugeordnet wird (siehe Abb. 149).

**Abb. 149: Schema für eine anschauliche Präsentation des typischen Energieverbrauchs als Information für Endverbraucher** (hier: mit Kesseln beheizte Einfamilienhäuser inklusive beispielhaften Zahlenwerten für eine Baualtersklasse; ähnliches Schema für Reihenhäuser und Mehrfamilienhäuser)

	Baualtersklasse	Beispiel	Maßnahmenpakete MP 1: "konventionell" MP 2: "zukunftsweisend"	Dämmstärken			U-Wert Fenster [W/(m²K)]	Wärmeversorgung			Endenergiebedarf H+W nach EnEV [kWh/(m²a)]		typischer Verbrauch, bezogen auf beheizte Wohnfläche und Brennwert [kWh/(m²a)]			
				Dach	Außenwand	Fußboden / Kellerdecke		Kessel	thermische Solaranlage	Lüftungsanlage mit WRG	bezogen auf A <sub>n</sub> nach EnEV und Heizwert	bezogen auf beheizte Wohnfläche und Brennwert	typische Spanne	Mittelwert	Anzahl Gebäude: Stichproben-Quantität in der zu Grunde liegenden Verbrauchsabrechnung	
EFH - Einfamilienhäuser	A		unsaniert MP 1 MP 2													
	B		unsaniert MP 1 MP 2													
	C		unsaniert MP 1 MP 2													
	D		unsaniert MP 1 MP 2													
	E	1958 ... 1968		unsaniert MP 1 MP 2	5 cm 12 cm 30 cm	0 cm 12 cm 24 cm	1 cm 8 cm 12 cm	2,8 1,3 0,8	x x x	x x x		339 144 50	448 190 66	169 ... 355 103 ... 217 49 ... 141	262 160 95	n=154 n=421 n=136
	F		unsaniert MP 1 MP 2													
	G		unsaniert MP 1 MP 2													

Die Publikation dieser differenzierten Verbrauchskennwerte für verschiedene Modernisierungszustände würde eine erhebliche Verbesserung der Informationslage für Verbraucher bzw. Gebäudeeigentümer bedeuten und das Vertrauen in die Wirkung der energetischen Modernisierung stärken. Da in vielen Fällen bereits Teilmodernisierungen vorliegen, wäre es sinnvoll, das oben dargestellte Schema durch einen einfachen Online-Rechner zu ergänzen, der auf der Basis einer groben Eingabe von Ausgangs- und Zielzuständen den Normenergiebedarf vereinfacht berechnet und den erwarteten Verbrauch und dessen Bandbreite zuordnet. Auch hier wäre es sinnvoll, die Anzahl der Gebäude mit anzugeben, die den Verbrauchskennwerten jeweils zugrunde liegt.

#### 4.7.2 Information zum konkreten Gebäude als Add-On zum Energiebedarfsausweis

Im Folgenden werden Vorschläge für zusätzliche Informationen zum Energiebedarfsausweis dargestellt. Diese sollen den Bezug zum tatsächlichen Verbrauch des Gebäudes oder – falls nicht verfügbar – zum typischen Verbrauch ähnlicher Gebäude herstellen. Es sollen damit auch möglichst realistische Aussagen zur erzielbaren Einsparung nach einer vorgeschlagenen energetischen Modernisierung möglich sein. Weiterhin soll hier auch eine Bewertung des Verbrauchs im Ist-Zustands und nach einer möglichen Modernisierung vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele der Bundesregierung im Gebäudebereich erfolgen.

Es wird das Beispiel-Einfamilienhaus aus dem Kapitel 6 verwendet, für das der Norm-Endenergiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10 für den unsanierten Ausgangsfall (Zustand Z1) und für eine vorgeschlagene energetische Modernisierung mit hochwertigen Wärmeschutzmaßnahmen (Zustand Z2) ermittelt wurde (ohne Änderung der Wärmeversorgung). Bei dem Beispielhaushalt 1 mit einem Bewohner und geringer Nutzungsintensität wird angenommen, dass der gemessene Verbrauch bei 25.970 kWh/a liegt, das sind 167 kWh pro m<sup>2</sup> beheizte Wohnfläche.

Abb. 150 zeigt den Vorschlag für eine Darstellung realistischer Energiekennwerte als Ergänzung zum Energiebedarfsausweis. Es wird sowohl der Schätzwert des Verbrauchs als auch die typische Spanne für den Ist-Zustand kommuniziert. Weiterhin soll der Bezug zum gemessenen Verbrauch als Anknüpfungspunkt für die Beratung hergestellt werden. Gegebenenfalls könnte der auf dem gemessenen Verbrauch basierenden Prognose noch eine typische Spanne zugeordnet werden (derzeit nicht im Diagramm umgesetzt, um es nicht zu komplex werden zu lassen).

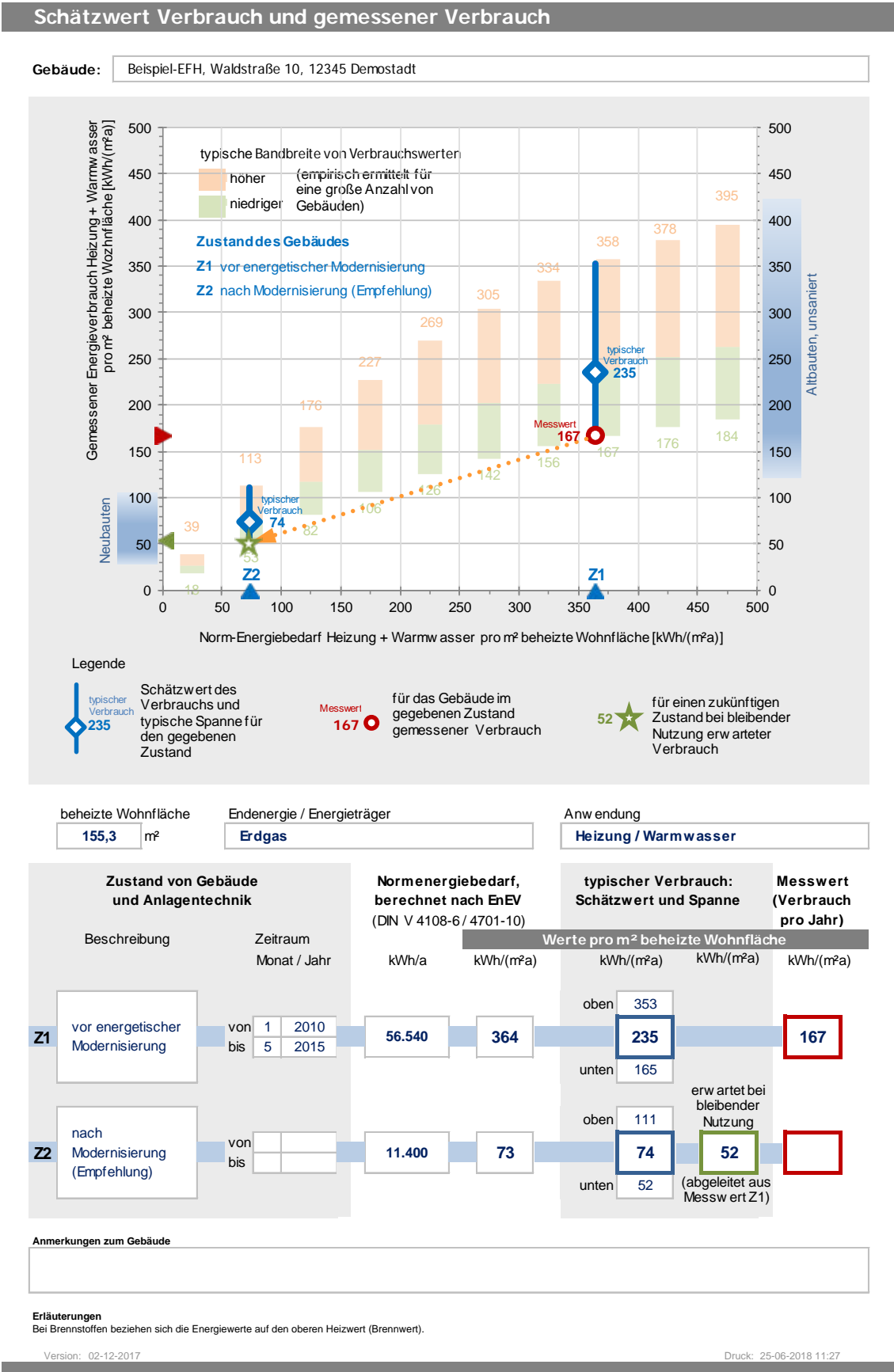
Für den Fall, dass kein gemessener Verbrauch bekannt ist, die Nutzung sich nach Modernisierung deutlich ändert oder der Verbrauch außerhalb der typischen Spanne liegt, wird der Schätzwert für die Prognose des Verbrauch nach Modernisierung verwendet (Abb. 151).

Abb. 152 zeigt einen Vorschlag zur Einbeziehung des Klimaschutz-Gedankens in die energetische Bewertung vor und nach Modernisierung. Das Schema ordnet dem verwendeten Energieträger CO<sub>2</sub>-Emissionskennwerte zu und vergleicht die Emissionen für den Zustand vor und nach Modernisierung mit den Zielwerten der Bundesregierung für den Gebäudesektor (aus [Diefenbach et al. 2013]). Es wird eine Darstellung pro Bewohner gewählt, um nicht neue, energieeffiziente Gebäude mit großer Wohnfläche zu bevorzugen.

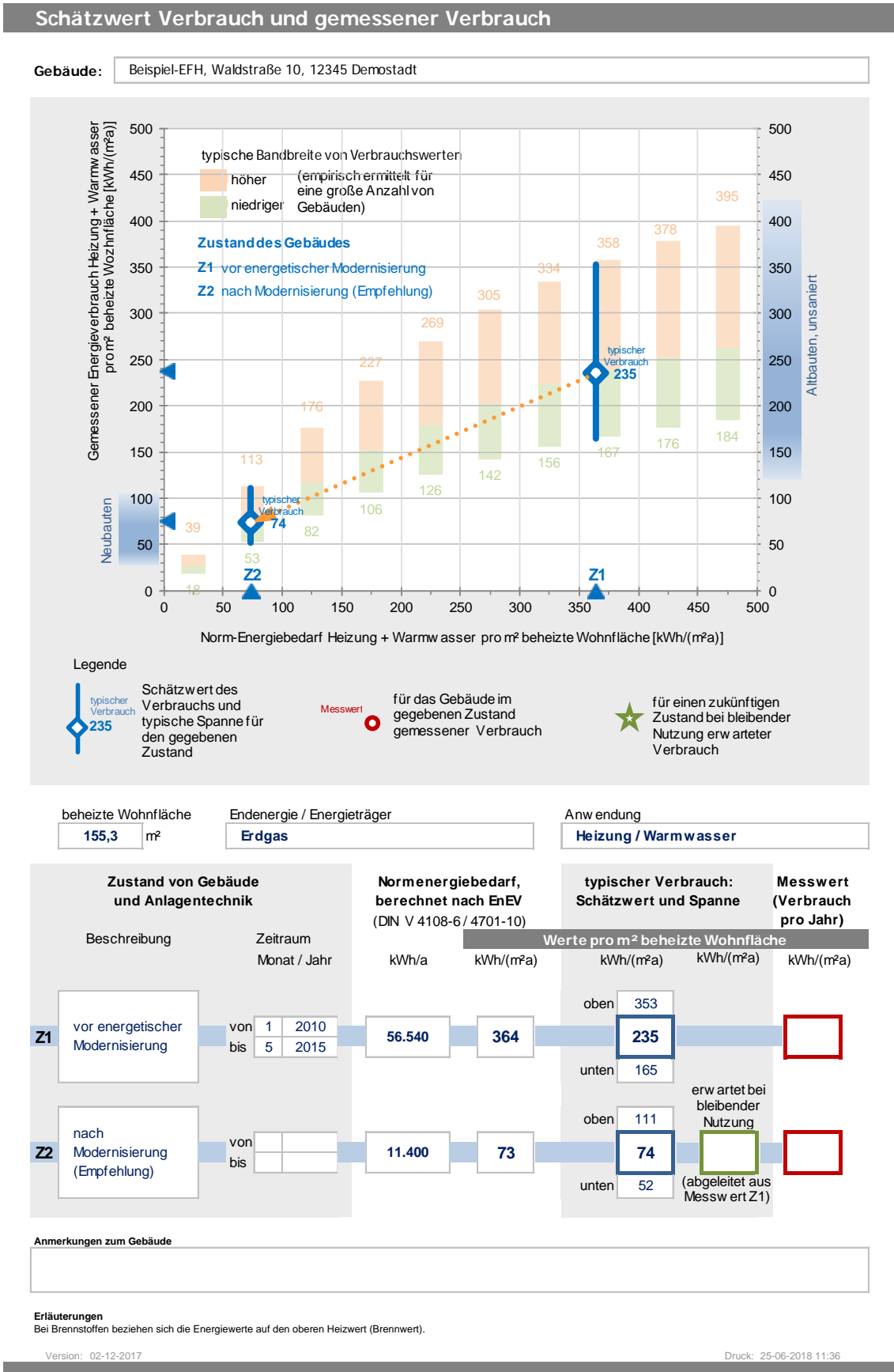
An dem Beispiel eines Bewohners im EFH mit geringer Nutzungsintensität wird deutlich, dass er durch sein Verhalten im Vergleich zum Durchschnitt (mittlere Nutzung) relativ niedrige Energiekennwerte erzielt sowohl vor als auch nach Modernisierung. Allerdings sind auch nach Modernisierung die Emissionen pro Kopf immer noch höher als der derzeitige Durchschnitt in Deutschland. Die anvisierten Klimaschutzziele werden in diesem Fall aufgrund der großen Wohnfläche pro Kopf weit verfehlt.



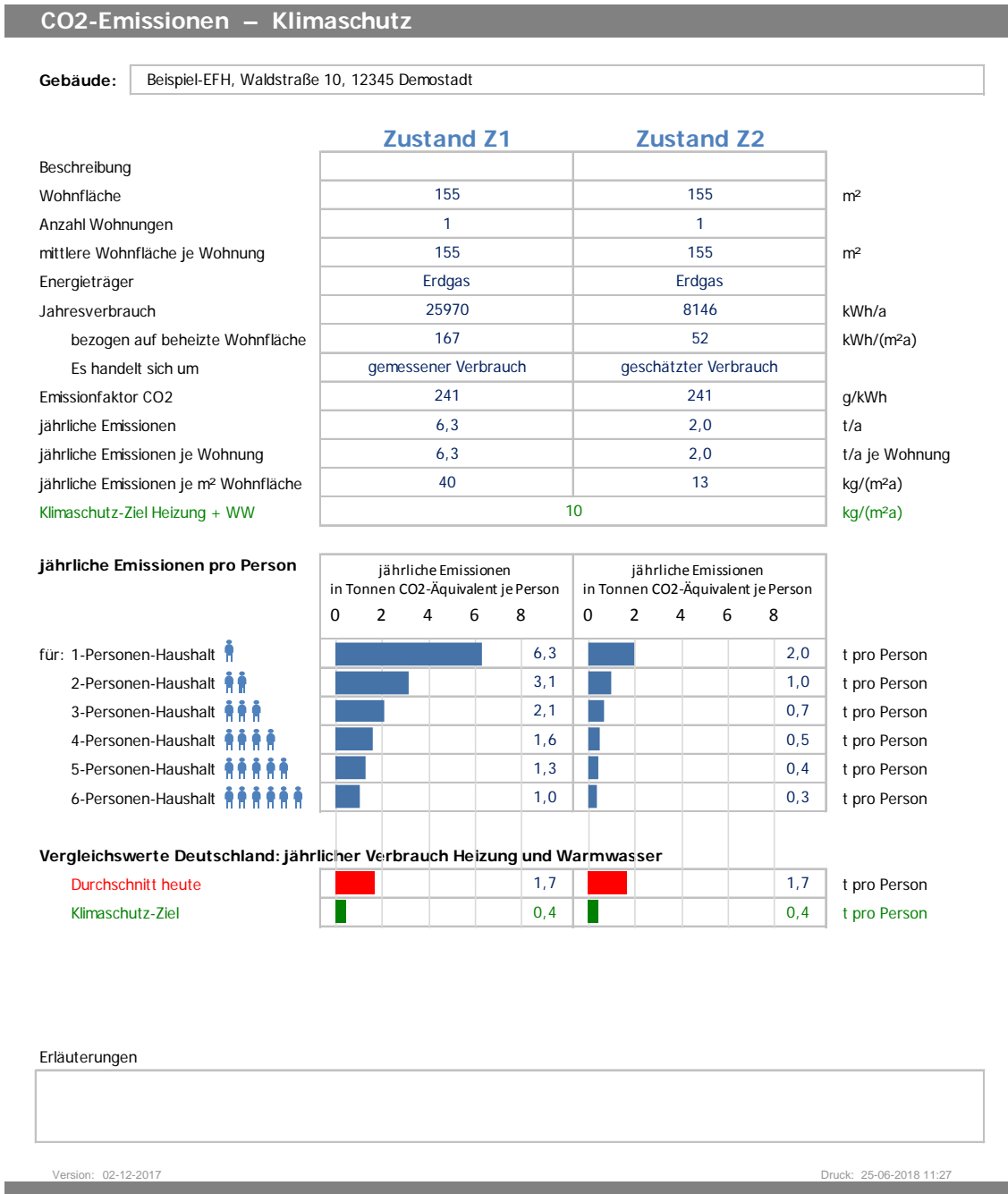
**Abb. 150: Schema für eine verbraucherorientierte Darstellung realistischer Kennwerte für ein Beispiel-Einfamilienhaus im Ist-Zustand (Z1) mit Vorschlägen zur Modernisierung (Z2) / Schätzwerte des Verbrauchs und typische Spannen für die Zustände Z1 und Z2 und Kalibrierung der Prognose mit der für Z1 vorliegenden Verbrauchsmessung**



**Abb. 151: wie Abb. 150; Darstellung für einen Fall, in dem kein gemessener Verbrauch vorliegt**



**Abb. 152: Verbraucherorientierte Darstellung der mit der Beheizung und Warmwasserbereitung verbundenen CO2-Emissionen für ein Beispiel-Einfamilienhaus vor und nach Modernisierung und Vergleich mit den aus Klimaschutzsicht erforderlichen Wert**



## 4.8 Zusammenfassung und Fazit

Die in dem vorliegenden Kapitel 4 dargestellten methodischen Ansätze, Kennwerte und Funktionen bauen auf den in Kapitel 2 dargestellten empirischen Informationen zum Energieverbrauch und zur Nutzung von Wohngebäuden auf.

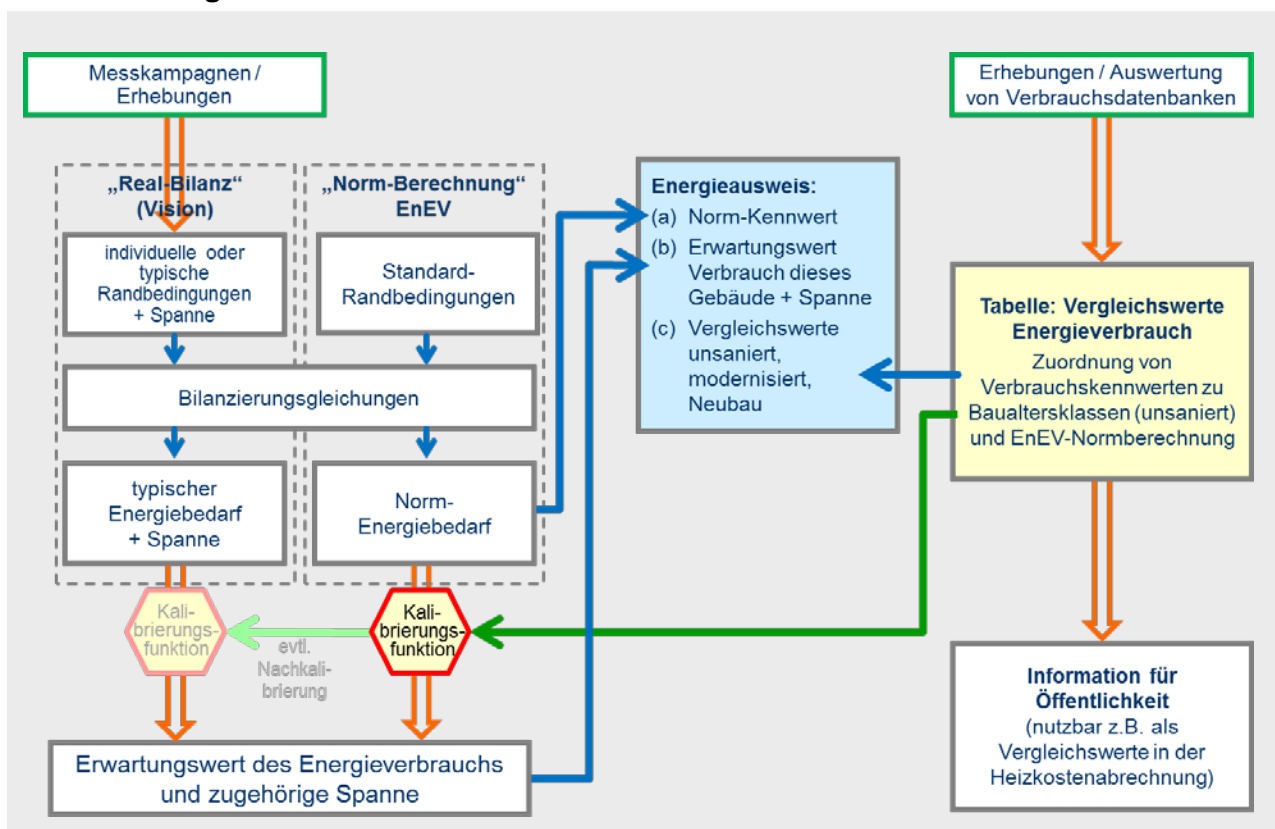
Es wurden zunächst Vergleichswerte für den Energieverbrauch ermittelt, die eine Zuordnung von typischen Verbrauchskennwerten zu unsanierten Bestandsgebäuden unterschiedlicher Baualterklassen und zu den Ergebnissen der EnEV-Normberechnung erlauben.

Darauf aufbauend wurden Formeln hergeleitet, mit deren Hilfe für einen gegebenen Norm-Energiebedarf nach EnEV der erwartete Energieverbrauch und die typische Spanne angegeben werden kann.

Um in Zukunft parallel zur Normberechnung eine realitätsnahe Abbildung des Energieverbrauchs unter den gegebenen Bedingungen erzielen zu können, werden Anhaltswerte für typisches Verhalten und praktisch vorkommende Spannen der Eingangsdaten der energetischen Bilanzierung geliefert.

Es wurde weiterhin untersucht, wie sich die Unsicherheiten der Eingangsdaten der Nutzung sowie der baulichen und anlagentechnischen Daten auf die Unsicherheit des Endenergiebedarfs auswirken. Die Bandbreiten wurden mit den empirisch vorgefundenen Streuungen verglichen.

**Abb. 153: Module für die schrittweise Einführung der realistischen energetischen Bewertung**



Eine Kategorisierung der Verbrauchsfunktionen nach Verhaltensmustern bzw. nach Haushaltstypen ist wegen fehlender empirischer Grundlagen derzeit nicht möglich. Die realistische Energiebilanzierung wird dadurch im typischen Anwendungsfall jedoch nicht eingeschränkt, da ja in der Energieberatungssituation auch das konkrete Verhalten abgefragt werden kann (Temperaturniveau beheizte Räume, zeitliche und räumliche Teilbeheizung, Fensteröffnung, Warmwassernutzung, etc.). Allerdings wird es nicht möglich sein, bei Nutzungsänderungen (Einzug neuer Haus-

halt) nur auf Basis von Personenzahl, Alter oder weiterer soziodemografischer Merkmale der neuen Bewohner spezifisch passende Erwartungswerte anzugeben.

Die beschriebenen methodischen Ansätze können in unterschiedlichen Anwendungsfeldern genutzt werden. Dabei besteht jeweils die Chance, die Umsetzung vorausschauend so zu gestalten, dass sie neben der Schaffung von Transparenz im individuellen Fall gleichzeitig auch der Aktualisierung und Verbreiterung der empirischen Grundlage dient.

Entsprechend den Bausteinen des vorliegenden Kapitels wird eine Umsetzung in drei Stufen vorgeschlagen:

### **(A) Vergleichstabellen Energieverbrauch**

Die Veröffentlichung der Vergleichstabellen dient der allgemeinen Information von Gebäudeeigentümern und -nutzern und sollte unabhängig von Regelungen der EnEV auf einer dafür bestimmten Website erfolgen. Die Tabelle mit Verbrauchswerten unsanierter Gebäude differenziert nach Baualter (Tab. 72) kann hierfür direkt verwendet werden. Für die nach Baustandard differenzierten Neubaukennwerte (Tab. 73) fehlen derzeit noch die Daten. Dagegen können die Vergleichswerte für unterschiedliche Norm-Energiebedarfswerte nach EnEV (Tab. 75) direkt publiziert werden. Allerdings wäre es sehr sinnvoll, die EnEV-Kennwerte zusätzlich in Beispiele zu übersetzen (Information zu Verbrauch bei typischen Fällen der Modernisierung – siehe Abb. 149), da diese Informationen auch für Verbraucher ohne Energiebedarfsausweis sehr motivierend wirken und das notwendige Vertrauen in die Möglichkeiten der energetischen Modernisierung herstellen können.

Die drei Typen von Benchmarktabellen (Verbrauchswerte für unsanierte Gebäude nach Baualter, für Neubauten differenziert nach Effizienzstandards und für beispielhafte Modernisierungen) könnten auch als Vergleichswerte für die jährliche Heizkosten- und Energiekostenabrechnung dienen. Diese Transparenzmaßnahme würde die Einordnung des eigenen Verbrauchs erleichtern, die durch Modernisierung erzielbaren Verbräuche jährlich wiederkehrend in das Bewusstsein bringen und damit Entscheidungen in Richtung Energieeffizienz sowohl bei Instandsetzungen und Modernisierungen als auch beim Kauf oder bei der Anmietung erleichtern.

Mit der Anwendung sollte auch der Weg für eine Fortschreibung und Erweiterung der Vergleichswerte bereitet werden. Zum Vergleich ihres eigenen Gebäudes ist es hilfreich, wenn Gebäudeeigentümer es in Kategorien einordnen (Wohnfläche, Baujahr, Energieträger, Modernisierungszustand). Würden diese Angaben dem Energieversorgungsunternehmen bzw. dem Abrechnungsunternehmen als Kundendaten zugänglich gemacht, so könnten zielgerichtet die passenden Vergleichswerte schon in der Abrechnung mit angegeben werden. Dies würde längerfristig dazu dienen, bei den Unternehmen eine empirische Grundlage zu schaffen und die Daten könnten aggregiert und anonym übergreifend zur Aktualisierung von Vergleichswerten zusammengeführt werden. Ein erster Schritt in diese Richtung wäre die Harmonisierung der Zustandserfassung bei der Energieverbrauchsausweiserstellung, die derzeit noch von Verbrauchsausweiserstellern individuell erfolgt (vgl. die in Abschnitt 2.1 beschriebenen Probleme mit dem Zusammenführen von veröffentlichten Verbrauchsstatistiken aus der Verbrauchsausweis-Erstellung).

### **(B) Verbrauchsprognosefunktion**

Die Zuordnung empirisch belegter Verbrauchsdaten zum Norm-Endenergiebedarf nach EnEV erfolgt in einem Extra-Schritt und kann in einem Ergänzungsdokument zum Energieausweis erfolgen. Eine Änderung der Normberechnung ist somit nicht erforderlich.

Damit würde den Verbrauchern eine zusätzliche wichtige Information zum Verständnis der Energieausweis-Bewertung gegeben, nämlich in welchem Bereich der Verbrauch bei der gegebenen Gebäudequalität normalerweise zu erwarten ist. Nach erfolgter Modernisierung könnte sehr viel besser beurteilt werden, ob das Verbrauchsziel erreicht wird oder der Verbrauch untypisch hoch oder niedrig liegt.

Weiterhin empfehlen wir, bei Neubauten und umfangreichen Modernisierungen eine Verpflichtung zur Verbrauchserfassung und Übermittlung durch den Energiebedarfsausweisersteller nach Ablauf von drei Jahren vorzusehen, wie dies bereits in Luxemburg bei Neubauten praktiziert wird. Dies würde ein Monitoring des Verbrauchs dieser Gebäude durch die Länder und den Bund ermöglichen und auch die Zielerreichung für die unterschiedlichen Versorgungssysteme sicherstellen. Gleichzeitig würde es der Verbesserung der Datenqualität dienen, da ein Planer schon bei der Energieausweiserstellung vorausdenken muss, mit welchen Zählern der Verbrauch später gemessen werden muss, um ihn mit den Schätzwerten zu vergleichen. Weiterhin wäre es auch für Planer und Ausweisersteller eine vermutlich nützliche Erfahrung, die tatsächliche Performance des im Energieausweis berücksichtigten Konzepts abzufragen und mit den Erwartungen zu vergleichen.

### (C) „Realbilanzierung“ mit typischen Werten für das Nutzerverhalten

Die Erweiterung des Normnachweises um eine Realbilanzierung, die auf typischen Werten und Bandbreiten der Eingangsdaten basiert, sollte außerhalb der Normung stattfinden. Es geht hier schließlich nicht um einen streng geregelten Nachweis von Anforderungen oder von Einstufungen, sondern darum, dem Gebäudeeigentümer möglichst nahe an seinen Randbedingungen ein ehrliches Bild des Ist-Zustands und der Wirkung von energetischen Modernisierungen aufzuzeigen. Dabei sind z.B. auch die Perspektiven der zukünftigen Nutzung des Gebäudes zu berücksichtigen. In Zukunft sollte daher unbedingt eine Trennung von Nachweis, Label und Beratung erfolgen. Die Anhaltswerte für die Nutzung sowie das Schema für das Vorgehen in der Energieberatung und die Anpassung weiterer Unsicherheiten sollte auch deshalb außerhalb der Normung erfolgen, da es sich eher um eine Materialsammlung handelt, die der fortlaufenden Pflege, der kritischen Hinterfragung und Verbesserung bedarf.

In Zukunft sollten Nutzungsdaten, die im Rahmen empirischer Erhebungen und in Modellprojekten ermittelt wurden, mit den hier dargestellten Ansätzen verglichen werden. Die durch den Vergleich angestoßene Harmonisierung dieser Daten würde es gleichzeitig erlauben, dass die neu erhobenen Daten längerfristig in die empirische Grundlage der typischen Nutzungsdaten und Spannen mit einfließen.

## Literaturverzeichnis zum Kapitel 4

- [Backhaus et al. 2005] Backhaus, K. , et al.: Multivariate Analysemethoden - Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin: Springer-Verlag, 2005, 11. Aufl.
- [dena / ifeu / PHI 2017] Mein Sanierungsfahrplan - Handbuch für Energieberater; BMWi 2017 [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/handbuch-fuer-energieberater.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/handbuch-fuer-energieberater.pdf?__blob=publicationFile&v=8)
- [Diefenbach et al. 2013] Diefenbach, Nikolaus; v. Malottki, Christian; Enseling, Andreas; Loga, Tobias; Cischinsky, Holger; Stein, Britta; Hörner, Michael; Grafe, Michael: Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudebereich – Zielerreichungsszenario; Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS); BMVBS-Online-Publikation 03/2013 [www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL\\_ON032013.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL_ON032013.pdf?__blob=publicationFile&v=5)
- [Hörner et al. 2016] Hörner, Michael; Cischinsky, Holger; Lichtmeß, Markus: Analyse der Diskrepanz von Energiebedarf und -verbrauch bei Energiepässen von Wohngebäuden in Luxemburg; Teil1: Methode der multiplen linearen Regression; Bauphysik 38 (2016). Heft 3
- [Knissel et al. 2006] Knissel, Jens; Alles, Roland; Born, Rolf; Loga, Tobias; Müller, Kornelia; Stercz, Verena: Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten – zur

- Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2006
- [Loga et al. 1999] Loga, Tobias; Kahlert, Claus; Laidig, Matthias; Lude, Gerd: Räumliche und zeitliche eingeschränkte Beheizung. Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung in stationären Energiebilanzverfahren. ebök Tübingen / Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1999
- [Loga et al. 2001] Loga, Tobias; Born, Rolf; Großklos, Marc; Bially, Matthias: Energiebilanz-Toolbox. Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung / Warmwasser; IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2001  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/werkzeuge/ephw-toolbox.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/ephw-toolbox.pdf)
- [Loga et al. 2003] Loga, Tobias; Großklos, Marc; Knissel, Jens: Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten – Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung. Eine Untersuchung im Auftrag der Viterra Energy Services AG, Essen; IWU Darmstadt, 2003  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/neh\\_ph/IWU\\_Viterra\\_Nutzerverhalten\\_Heizkostenabrechnung.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/neh_ph/IWU_Viterra_Nutzerverhalten_Heizkostenabrechnung.pdf)
- [Loga et al. 2005] 55. Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden („Kurzverfahren Energieprofil“); Untersuchung gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; IWU, Darmstadt 2005
- [Loga et al. 2015] Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf: Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden; Broschüre erarbeitet im Rahmen der EU-Projekte TABULA und EPISCOPE; 2. erweiterte Auflage; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2015  
[http://episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE\\_TABULA\\_TypologyBrochure\\_IWU.pdf](http://episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf)
- [Pehnt et al. 2015] Pehnt, Martin; Mellwig, Peter; Duscha, Markus; von Oehsen, Amany (ifeu); Diefenbach, Nikolaus; Enseling, Andreas; Großklos, Marc; Loga, Tobias; Born, Rolf (IWU); Boermans, Thomas; Bettgenhäuser, Kjell (Ecofys); Artz, Markus (Universität Bielefeld): Weiterentwicklung des bestehenden Instrumentariums für den Klimaschutz im Gebäudebereich / AP 2: Elemente der Entwicklung eines gebäudeindividuellen Sanierungsfahrplans / Teil I Methodische Vorüberlegungen; Studie im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi); ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg / IWU - Institut Wohnen und Umwelt GmbH / Ecofys Germany GmbH / Universität Bielefeld, Fakultät für Rechtswissenschaft; ifeu, Heidelberg 2015  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/Sanierungsfahrplan\\_AP\\_2\\_Teil\\_I\\_final.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/Sanierungsfahrplan_AP_2_Teil_I_final.pdf)

## 5 Operationalisierung und Bewertung der Effekte energetischer Modernisierungen

Gegenstand dieses Kapitels ist die Frage, inwiefern die über die Energieeinsparung hinausgehenden positiven Effekte energetischer Modernisierungen operationalisiert werden können. Unter Operationalisierung wird die Angabe von Verfahren verstanden, die die betreffenden Sachverhalte und Phänomene überprüfbar machen sollen. Prinzipiell sollten diese von jedem beliebigen Beobachter und zu jeder beliebigen Zeit nachzuvollziehen sein. Die Abbildung der entsprechenden, häufig nicht direkt messbaren und oftmals komplexen, Sachverhalte erfolgt mithilfe von Indikatoren. Indikatoren sind Messgrößen mit deren Hilfe Informationen in einfacher, klarer und aggregierter Form dargestellt werden sollen. Zu beachten ist dabei, dass die einer Beurteilung zugrunde liegenden Wertmaßstäbe nicht immer wissenschaftlich abgeleitet werden können. Dies hat zur Folge, dass in bestimmten Fällen Zustände oder Qualitäten unterschiedlich bewertet werden können, je nachdem wie „wertvoll“ sie beurteilt werden.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit werden deshalb zunächst für die wesentlichen in Kapitel 3 genannten nicht-energetischen Nutzen bestehende Bewertungsansätze aufgezeigt und, wo nötig, die zugehörigen Wertmaßstäbe erläutert. Neben Betrachtungen auf makroökonomischer Ebene (Abschnitt 5.1) werden auf mikroökonomischer Ebene die Sichtweisen von Vermietern (Abschnitt 5.2) sowie die der Gebäudebewohner (Abschnitt 5.3) unterschieden. In Abschnitt 5.4 wird darüber hinaus ein Konzeptvorschlag für einen Indikatorensatz zur Bewertung des thermischen Komforts von Gebäuden erläutert, mit dessen Hilfe bei Verkauf oder Vermietung ergänzende Informationen zum Energieausweis bereitgestellt werden können.

### 5.1 Bestehende Ansätze zur Operationalisierung des nicht-energetischen Nutzens auf makroökonomischer Ebene

Wie in Kapitel 3.1 erläutert, können energetische Modernisierungen zu einer Reihe positiver Effekte auf makroökonomischer bzw. volkswirtschaftlicher Ebene führen. Um diese zu bewerten, reicht es nicht aus, die Kosten der umgesetzten Maßnahmen mit den eingesparten Energiekosten gegenüberzustellen. Im Folgenden sind einige wesentliche ergänzende Bewertungsansätze zusammengestellt.

#### 5.1.1 Bewertung umweltbezogener Nutzen durch die Verringerung von klimabedingten Schäden und Verlusten sowie der Reduktion der Schadwirkungen von Luftschadstoffemissionen

Der Klimawandel ist wesentlich auf den wachsenden Ausstoß von Treibhausgasen zurückzuführen. Ziele zur Senkung der Emissionen sind deshalb sowohl in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie [Bundesregierung 2016] als auch im Energiekonzept der Bundesregierung [BMWi 2010] verankert. Mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren können Kohlendioxidemissionen ( $\text{CO}_2$ ) und in  $\text{CO}_2$ -Äquivalente umgerechnete Treibhausgasemissionen ( $\text{CO}_{2e}$ ) auf der Basis von Endenergiemengen ermittelt werden. Angaben zu Endenergieverbräuchen und Emissionswerten deutscher Haushalte werden als Zeitreihen vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie veröffentlicht [BMWi 2017a]. Entsprechende Kennwerte können als Grundlage für eine monetäre Operationalisierung von umweltbezogenen Nutzen herangezogen werden.

Bei der Abschätzung vermiedener externer Umweltkosten erfasst werden negative Folgewirkungen, insbesondere gesundheitliche und umweltbezogene Folgeschäden aufgrund von Umweltschäden, die von Dritten und/oder der Allgemeinheit getragen werden. Im Gebäudebereich entstehen externe Kosten während des gesamten Lebenszyklus. Vor allem bei der energetischen Ge-



bäudemodernisierung sind dabei die durch die Energieeinsparung vermiedenen externen Kosten der Energienutzung, die beispielsweise einer Verringerung des Treibhauseffektes durch verminderte Treibhausgasemissionen oder verminderten Schäden aufgrund von Luftverschmutzung zugerechnet werden, von besonderer Bedeutung. Externe Kosten werden nicht von ihren Verursachern getragen und deshalb bisher in der Regel nicht in Wirtschaftlichkeitsberechnungen internalisiert.

Die Bezifferung externer Kosten ist keineswegs trivial und mit vielen Unsicherheiten behaftet (z. B. in Bezug auf genaue Auswirkungen und Geschwindigkeit des Klimawandels oder die globale Verteilung und Höhe der Schäden). Auch aufgrund stark differierender methodischer Herangehensweisen ist die Streubreite vorhandener Schätzungen sehr hoch. Deshalb hat das Umweltbundesamt (UBA) eine Methodenkonvention zur Schätzung von Umweltkosten erarbeitet [UBA 2012] und auf dieser Basis Kostenschätzungen für die Bereiche Energie und Verkehr abgeleitet [UBA 2014]. Das UBA empfiehlt, 80 Euro<sub>2010</sub> pro Tonne Kohlendioxid (t CO<sub>2</sub>) als zentralen Kostensatz für die Klimakosten von Treibhausgas-Emissionen zu verwenden (wobei Euro<sub>2010</sub> die Kaufkraft des Euro im Jahr 2010 bezeichnet) [UBA 2014]. Die Auswirkungen anderer Treibhausgas-Emissionen können mit Hilfe des Treibhausgaspotenzials ermittelt werden. Dabei bezieht sich die Höhe der Kostensätze auf heute freigesetzte Emissionen. Da sich jedoch sowohl die Umweltschäden als auch die Kosten der Vermeidungsmaßnahmen im Zeitablauf steigen werden, wird empfohlen, bei den Kostensätzen zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Sätzen zu unterscheiden: Laut [UBA 2014] werden die Klimakosten einer Tonne CO<sub>2</sub> Emissionen 2050 inflationsbereinigt etwa 3,2 mal höher sein als im Jahr 2010. Neben diesen Kostenansätzen für Treibhausgasemissionen wurden auch solche für Luftschadstoffe ermittelt und für die Strom- und Wärmeerzeugung in Abhängigkeit des eingesetzten Energieträgers Umweltkosten für Treibhausgase und Luftschadstoffe in Euro-Cent<sub>2010</sub>/kWh<sub>Endenergie</sub> bereitgestellt. Demnach betragen beispielsweise die Umweltkosten bei einer Wärmeerzeugung mit Erdgas je kWh<sub>Endenergie</sub> 0,26 Euro-Cent<sub>2010</sub> für Luftschadstoffe und 2,02 Euro-Cent<sub>2010</sub> für Treibhausgase. Laut [BBSR 2010] erweisen sich externe Kosten für Neubauten als relevante volkswirtschaftliche und umweltpolitische Größe. Sie betragen im Durchschnitt 15 % der Betriebs- und Instandhaltungskosten der in der Studie betrachteten Gebäude. Würden externe Kosten in die Investitionskosten-Kalkulation einbezogen, lägen die „wahren“, d. h. die Umweltschadenskosten internalisierenden Erstellungskosten betrachteten Neubauten um rund 20 bis 40 % höher. Insofern führen makro- und mikroökonomische Betrachtungsweisen im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit bzw. Kostenoptimalität individueller Modernisierungsmaßnahmen zu unterschiedlichen Ergebnissen (siehe z. B. [BBSR 2013]).

Schwer bis gar nicht kalkulierbar sind hingegen Kosten als Folge von Kriegen und Flüchtlingsströmen, deren Ursachen bei Klimawandel und Wasserknappheit liegen. Auch gibt es bisher keinen Kostenansatz dafür, die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre nachträglich wieder zu senken.

### 5.1.2 Bewertung von Resilienz / Versorgungssicherheit

Für eine Bewertung der Energiesicherheit existiert eine Vielzahl von Konzepten, die sich hinsichtlich ihrer Methodik, der Dimension der Erfassung von Energiesicherheit und dem Zeitbezug unterscheiden [Hake/Rath-Nagel 2016] (siehe Tab. 93).

**Tab. 93: Modelle zur Bewertung von Energiesicherheit, Quelle [Hake/Rath-Nagel 2016]**

Institution	Dimension	Detaillierung	Methodik
WEF	Wirtschaftswachstum und Entwicklung; Umweltverträglichkeit; Zugang zu Energie und Energiesicherheit	18 Indikatorwerte	Länderbezogenes Ranking
IEA	Versorgungssicherheit mit Primär- und Sekundärenergieträgern; Bewertung externer und interner Risiken und Resilienzen	35 Indikatorwerte	5 Risiko-/ Resilienzkategorien
OECD	4 Kriterien für ökonomisch-ökologisch-soziale Bewertung	10 Indikatorwerte	Standardabweichung vom Mittelwert
ACC	8 Kategorien für ökonomisch-ökologisch-soziale Bewertung	29 Indikatorwerte	Veränderungen gegen Ausgangsjahr 1990
EU	Energieversorgungssicherheit; Energie- und Kohlenstoffintensität; Beitrag von Energieprodukten zur Handelsbilanz	17 Indikatorwerte	Veränderungen im Zeitablauf

Allerdings können diese verschiedenen Ansätze zu widersprüchlichen Einschätzungen führen, die als Entscheidungsgrundlage nicht hilfreich sind. Als Beispiel ist die völlig entgegengesetzte Einschätzung von WEF und EU für Deutschland zu nennen: Während das WEF zu einer negativen Bewertung kommt, gibt die EU einen positiven Ausblick.

Solche verschiedenen Bewertungen sind auf unterschiedliche Vorstellungen von Sicherheit zurückzuführen. Diese sind in starkem Maße situationsabhängig und von individueller Wahrnehmung geprägt. Indikatorsysteme präzisieren die Vorstellung darüber, was Sicherheit im Allgemeinen und Energiesicherheit im Besonderen bedeuten. Allerdings variieren diese Vorstellungen stark. Deshalb erscheint zunächst eine Konsolidierung der verschiedenen Definitionen erforderlich, um zukünftig eine belastbare Bewertung von Energiesicherheit vornehmen zu können.

### 5.1.3 Bewertung positiver Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte

Die mit energetischen Modernisierungen einhergehenden Beschäftigungseffekte können beispielsweise gemäß [Kleemann et al. 1999] mit Hilfe eines Input/Output Modells abgeschätzt werden. Dabei werden von den Beschäftigungszahlen, die durch investive Maßnahmen inklusive der Produktion der Vorleistungsgüter entstehen, die aufgrund des Verdrängungseffektes entstandenen Arbeitsplatzverluste abgezogen. Die Angabe von Beschäftigungseffekten erfolgt in der Regel in Personenjahren. Auch [Weiß et al. 2014] verwenden zur Abschätzung indirekter Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte eine Input-Output-Analyse, die es ermöglicht neben den Anstoßeffekten (direkten Effekten) auch verschiedene Mitzieheffekte (indirekte Effekte), die von einer bestimmten nachfragewirksamen Aktivität ausgehen, zu quantifizieren.

Die Höhe der regionalen Wertschöpfung lässt sich anhand der Modernisierungsaktivitäten und der Anzahl der beteiligten Wirtschaftsakteure, die aus der Region stammen, abschätzen. Je höher beide Werte, desto höher fällt die regionale Wertschöpfung aus. Als Ergebniskennzahlen können die Beschäftigungseffekte in Form von Vollzeitbeschäftigten sowie einzelne Bestandteile der monetären Wertschöpfung (Beschäftigungseinkommen, Unternehmensgewinne, kommunale Steuereinnahmen) ausgewiesen werden [Difu/IÖW o. J.].

### 5.1.4 Bewertung von Energiearmut

Es gibt verschiedene Ansätze zur Messung von Energiearmut, allerdings liegt weder auf EU-Ebene noch auf bundesdeutscher Ebene eine offizielle Definition vor [Thomson/Snell 2016].

Eine Möglichkeit für eine nationale Operationalisierung besteht darin das Haushaltseinkommen mit den Energieausgaben ins Verhältnis zu setzen [ebd.]. So kann ein Haushalt als energiearm bezeichnet werden, wenn der für Energieausgaben aufzubringende Anteil seines Einkommens eine bestimmte Schwelle überschreitet, z. B. das Doppelte des nationalen Medians. Der Grenzwert

kann dabei absolut oder prozentual gesetzt werden. Da energiearme Haushalte häufig weniger für Energie ausgeben als es für das Erreichen einer angemessenen Wärme, Beleuchtung etc. notwendig ist, ist eine Unterscheidung von tatsächlichen und erforderlichen Energieausgaben wichtig. Für eine Bewertung sollten die erforderlichen Energieausgaben herangezogen werden, allerdings sind diese Angaben nicht immer verfügbar.

Ein weiterer Bewertungsansatz ist der so genannte Low-Income-High-Costs Indikator (LIHC). Dieser legt fest, dass ein Haushalt von Energiearmut betroffen ist, wenn er relativ zur Gesamtbevölkerung hohe Energiekosten aufweist und nach Abzug der Energiekosten das Haushaltseinkommen unterhalb der offiziellen Armutsgrenze liegt [Schreiner 2015]. Der Energiekostenschwellenwert entspricht dem nationalen Median. Bei der Bestimmung der Armutsriskoschwelle wird sich an der gängigen EU-Praxis orientiert, die die Armutsgrenze auf 60 % des nationalen äquivalisierten Medianeinkommens bestimmt. Auf diese Weise kann die Anzahl der von Energiearmut betroffenen Haushalte quantifiziert werden. Mit Hilfe dieses Vorgehens lässt sich aber auch feststellen, wie groß die Energiearmutslücke, also die Lücke zwischen dem Haushaltseinkommen (abzüglich Energiekosten) und der Armutsgrenze, ist. So können auch Aussagen über die Tiefe der Energiearmut getroffen werden.

## **5.2 Bestehende Ansätze zur Operationalisierung des nicht-energetischen Nutzens auf mikroökonomischer Ebene aus der Perspektive von Vermietern**

Bisher werden Bewertungen zusätzlicher nicht-energetischer Nutzen in wohnungswirtschaftliche Portfolio-Analysen und einzelwirtschaftliche Betrachtungen kaum explizit einbezogen; sie sind in der Regel auch nur mit erheblichem Mehraufwand möglich und werden meist nur teilweise quantitativ, ansonsten eher qualitativ bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt. Für Eigennutzer stehen dabei persönliche Präferenzen im Vordergrund (siehe Abschnitt 5.3), für Vermieter sind in der Regel Einschätzungen über zusätzlich zu erzielende Mieteinnahmen, die verbesserte Vermietbarkeit oder die Wertsteigerung infolge des erhöhten Wohnkomforts von Interesse. Zwei mögliche Herangehensweise werden nachfolgend vorgestellt.

### **5.2.1 Monetarisierung nicht-energetischer Nutzen aus Vermieterperspektive**

In einer Studie für die Schweiz stellen [Jakob et al. 2002] Ansätze zur Monetarisierung nicht-energetischer Nutzen dar, die insbesondere aus der Vermieterperspektive von Interesse sein dürften. Zu diesem Zweck wurden exemplarisch entweder vermiedene Kosten quantifiziert (z. B. vermiedene externe Kosten siehe Abschnitt 5.1.1) oder der Zusatznutzen direkt ökonomisch bewertet. Methodisch wurde dabei auf subjektive Verfahren (Willingness to Pay bzw. Willingness to Sell, siehe auch [Ott et al. 2005]) zurückgegriffen. Für die gewählten Beispiele zeigte sich, dass der Schallschutz bei Fenstern und Dach die Rentabilität der Wärmeschutzmaßnahmen entscheidend beeinflussen kann. Bei der Betrachtung der Jahreskosten stellte sich zudem insbesondere der steile Kostenanstieg der Lüftungsanlage wesentlich flacher dar, wenn die mit einer Lüftungsanlage verbundenen Zusatznutzen mit einbezogen und nicht alle Kosten allein der Energieeffizienz zugeordnet wurden. Die Umsetzung solcher Monetarisierungen setzt die Verfügbarkeit entsprechender Informationen zur Quantifizierung der jeweiligen Zusatznutzen voraus (z. B. Kenntnis über die Zahlungsbereitschaft), die jedoch häufig nicht in ausreichendem Maß gegeben ist.

Letzteres liegt insbesondere daran, dass Zusatznutzen energetischer Modernisierungen wie Wertsteigerung, Vermietbarkeit, höherer Wohnkomfort, Behaglichkeit, gute Innenluftqualität etc. sich aus verschiedenen Gründen weder direkt als monetäre (Markt-)Größe beobachten noch indirekt monetarisieren lassen. Zur Bewertung von solch nicht marktfähigen Gütern wird z. B. in der Umweltökonomie auf subjektive Verfahren (Befragungen, die nicht auf dem wirklichen Verhalten der Befragten basieren) zur Zahlungsbereitschaft zurückgegriffen. Unter anderem wegen Schwierigkeiten mit hypothetischen Befragungssituationen, strategischem Antwortverhalten und fehlender Berücksichtigung von Budgetbeschränkungen sind daraus resultierende Aussagen jedoch mit größeren Unsicherheiten verbunden und überschätzen vermutlich die realen Zahlungsbereitschaften.

Alternativ oder ergänzend können mit statistischen Methoden Miet- und Kaufpreisunterschiede von Wohnungen und Häusern auf unterschiedliche Nutzen von Energieeffizienzmaßnahmen sowie auf unterschiedliche Ausstattungs- und weitere Gebäudemerkmale zurückgeführt werden (Hedonic Pricing/Hedonic Regression). Allerdings handelt es sich beim Wohnungsmarkt nicht bzw. nur in gewissen Fällen um einen frei funktionierenden Markt. Der Preis für das Gut Wohnen bildet sich insofern nicht frei nach Angebot und Nachfrage, sondern ist z. B. aufgrund von Mieterschutz und mangelhafter Transparenz des sehr heterogenen Marktes verzerrt. Aus diesem Grund ist auch die Informationsfunktion des Preises für das Gut Wohnen, insbesondere bei Mehrfamilienhäusern, in Bezug auf die Eigenschaften dieses Gutes eingeschränkt [Ott et al. 2005].

## 5.2.2 Energetisches Portfolio-Management

Insbesondere für institutionelle Vermieter ist es zudem wichtig, nicht nur einzelne Gebäude zu betrachten, sondern ihren gesamten Immobilienbestand strategisch weiter zu entwickeln. Dies geschieht im Rahmen des sogenannten „Portfolio-Managements“, welches auf einer Bestimmung der immobilienwirtschaftlichen Risiken basiert, die für ein Unternehmen aufgrund der Struktur seines Immobilienbestandes und der bestehenden bzw. prognostizierten Randbedingungen des Marktes vorhanden sind oder zukünftig daraus erwachsen können. Hierbei werden die zu berücksichtigenden wirtschaftlichen Risiken und die entsprechenden Bewertungskriterien durch jedes Unternehmen individuell festgelegt. Dies garantiert, dass die strategischen Maßnahmen, welche aus der Portfolio-Analyse abgeleitet werden, mit den Unternehmenszielen übereinstimmen. Gleichfalls kann eine Nichtbeachtung oder zu geringe Gewichtung von bestimmten Kriterien dazu führen, dass Unternehmensentscheidungen nicht den gewünschten Effekt auf die (Wert-)Entwicklung des Unternehmens haben [Hinz 2017]. In der von [ebd.] entwickelten energietechnischen Portfolioanalyse wird basierend auf den Entscheidungen zur strategischen Entwicklung eines Immobilienportfolios (als Ergebnis der klassischen Portfolioanalyse) bewertet, welche wirtschaftlichen Risiken aus dem energetischen Zustand der Gebäude eines Portfolios erwachsen. Auch beim energietechnischen Portfolio-Management sind die berücksichtigten Risiken für die Unternehmensentwicklung durch frei wählbare, quantifizierbare Merkmale zu bestimmen. Die berücksichtigten Risiken und Merkmale sind dabei individuell durch jedes Unternehmen festzulegen. Die bewerteten Risiken und Merkmale werden abschließend zur Beurteilung des Gebäudebestandes in zwei Dimensionen zusammengefasst: Die „ökologisch-ökonomische Attraktivität“ dient dabei der Beschreibung der Merkmale aus Vermietersicht, die „sozial-ökonomische Attraktivität“ der Beschreibung der langfristigen Kundenzufriedenheit. Eine nachgelagerte, erneute Bewertung von Sanierungsoptionen für spezifische Gebäude des Portfolios ermöglicht dann die Potenziale bzw. Chancen der energetischen Sanierung für eine nachhaltige Unternehmensentwicklung abzuschätzen. Hierbei sind die Potenziale einer energietechnischen Bestandsentwicklung maßgeblich durch die Auswahl und Gewichtung der berücksichtigten Risiken und Merkmale bestimmt. Ein mögliches Merkmal zur Quantifizierung der Risiken eines Unternehmens der Immobilienwirtschaft ist die Differenz aus erwarteter Energiekosteneinsparung der Mieter und des erforderlichen Break-Even-Mehrmietetrages zur Finanzierung einer Sanierungsmaßnahme. Sind die Ersparnisse durch gesunkene Energiekosten deutlich größer als die Mietpreissteigerung aufgrund der energetischen Sanierung, so scheint eine Steigerung des Mietwertes mit der bewerteten Sanierungsmaßnahme realisierbar. Für die Beschreibung der sozial-ökonomischen Attraktivität können z. B. die mittleren Raumtemperaturen im Winter oder das Vorhandensein einer Lüftungsanlage herangezogen werden. Auch die Entwicklung der finanziellen Gesamtbelastung der Mieter kann bewertet werden, in dem die Energiekosten vor Sanierung der Summe aus Energiekosten und Mieterhöhung nach Sanierung gegenübergestellt werden.

Das klassische Portfoliomanagement und auch das energietechnische Portfoliomanagement sind Werkzeuge, die von Unternehmen des Immobilienmarktes zur strategischen Unternehmensentwicklung eingesetzt werden. Zwar können – insbesondere beim energietechnischen Portfoliomanagement – auch Aspekte der Nutzerzufriedenheit abgebildet werden, dennoch stellt keine der beschriebenen Methoden eine einfache und nachvollziehbare Bewertungslogik energetischer Sanierungsmaßnahmen für den Nutzer (Mieter oder selbstnutzender Eigentümer) bereit.

### 5.3 Bestehende Ansätze zur Operationalisierung des nicht-energetischen Nutzens auf mikroökonomischer Ebene aus der Perspektive von selbstnutzenden Eigentümern und Mietern

Während sich volkswirtschaftliche Betrachtungen oder Portfolio-Analysen von Immobilienunternehmen auf größere Gebäudebestände beziehen, steht aus der Perspektive von Mietern und selbstnutzenden Eigentümern die Bewertung einzelner Gebäude im Vordergrund.

Dabei könnten bestimmte der in Abschnitt 5.1 dargestellten Operationalisierungen auch auf Einzelgebäudeebene durchgeführt werden. So ist beispielsweise die Ausweisung von Kohlendioxidemissionen (CO<sub>2</sub>) und in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechneten Treibhausgasemissionen (CO<sub>2e</sub>) des Gebäudebetriebs auf der Basis der im Energieausweis dargestellten Endenergiemengen einfach möglich. Gleiches gilt für eine darauf aufbauende Bewertung externer Kosten (siehe auch Abschnitt 5.1.1). Auch die Einschätzung der regionalen Wertschöpfung (siehe Abschnitt 5.1.3) kann beispielsweise mit Hilfe eines Online-Rechenwerkzeugs [Difu 2017] verhältnismäßig einfach durchgeführt werden.

Für Mieter und selbstnutzende Eigentümern von besonderem Interesse sind jedoch Einschätzungen von Wohn- bzw. Gebäudequalität, Wohnkomfort und Behaglichkeit (siehe Abschnitt 3.3 sowie beispielsweise auch [Ott et al. 2005]), weshalb diese Kriterien im Folgenden vertiefend betrachtet werden.

#### 5.3.1 Bewertung der summativen thermischen Behaglichkeit nach DIN ISO 7730

Die Beurteilungsgrößen der thermischen Behaglichkeit werden in DIN ISO 7730 mit Hilfe von zwei Kennzahlen definiert: die (mittlere) Raumklimabeurteilung durch die Nutzer – der sogenannte PMV-Wert (Predicted Mean Vote) und der daraus abgeleitete (zu erwartende) Prozentsatz der Unzufriedenen – der sogenannte PPD-Wert (Predicted Percentage of Dissatisfied).

Die summative thermische Behaglichkeit berücksichtigt neben der globalen Bewertung mittels PPD bzw. PMV als lokale Kriterien das Zugluftrisiko, den vertikalen Lufttemperaturunterschied, die Strahlungstemperatur-Asymmetrie und die Temperatur des Fußbodens.

Die Einordnung und Beschreibung der Behaglichkeit erfolgt in drei Kategorien (A, B und C, siehe Tab. 94). Demnach ist beispielsweise bei Einhaltung der Kriterien der Kategorie A zu erwarten, dass weniger als 6 % der Personen mit dem Umgebungsklima unzufrieden sind. Als Bedingungen hierfür sollte das Zugluftrisiko unter 10 %, die Unzufriedenheit mit dem vertikalen Lufttemperaturunterschied unter 3 %, mit der Strahlungstemperatur-Asymmetrie unter 5 % und mit der Bodentemperatur unter 10 % liegen. Alle Kriterien sollten für jede Kategorie zugleich erfüllt werden.

**Tab. 94: Kategorien des Raumklimas nach DIN ISO 7730**

Kategorie	Globale Parameter		Lokale Parameter			
	PPD [%]	PMV	Zugluftrisiko [%]	[%] Unzufriedener mit		
				vertikalem Lufttemperaturunterschied	Strahlungstemperatur-Asymmetrie	Bodentemperatur
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	< 10	< 3	< 5	< 10
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	< 20	< 5	< 5	< 10
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	< 30	< 10	< 10	< 15

Zwar wird die DIN ISO 7730 im Rahmen von Nachhaltigkeitszertifizierungen als Bewertungsgrundlage herangezogen, die entsprechenden Beurteilungsgrößen haben sich ansonsten jedoch nicht allgemein durchgesetzt [Hofmann 2012], [Fiedler 2016].

Dies ist vor allem auf den hohen Aufwand bei der Erhebung der erforderlichen Eingangsparameter (wie Temperaturgradienten, Zuglufterscheinungen, empfundene Temperaturen, Wärmedämmwert der Bekleidung und Tätigkeit) zurückzuführen, der sowohl für eine Prognose als auch für die messtechnische Überprüfung erforderlich ist.

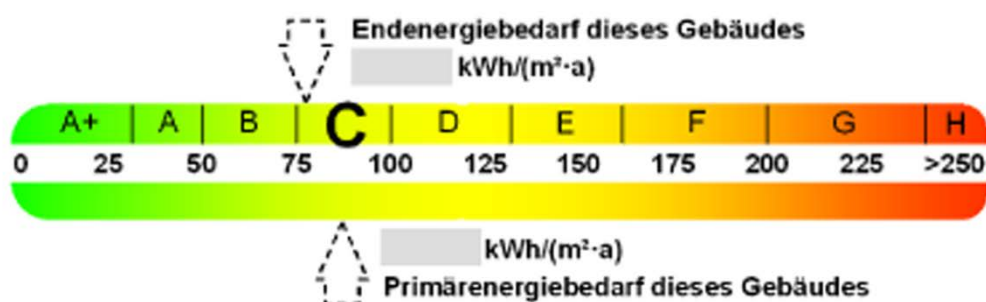
### 5.3.2 Bewertung des thermischen Komforts im Winter

Ansätze zur Bewertung des winterlichen Wärmeschutzes eines Gebäudes und des damit zusammenhängenden thermischen Komforts im Winter basieren in der Regel auf Berechnungen, insbesondere solchen im Rahmen von Energiebilanzverfahren und Simulationsrechnungen, oder auf im bzw. am Gebäude durchgeführten Messungen. Entsprechende Kenngrößen werden u. a. im Energieausweis, in der Energieberatung oder der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden verwendet. Eine weitere Form der Bewertung stellt die Bepunktung von Modernisierungsmaßnahmen dar, wie sie beispielsweise in Mietspiegeln zu finden ist. Entsprechende Ansätze werden nachfolgend kurz erläutert.

#### Im Energieausweis verwendete Kenngrößen / Bewertung nach EnEV

Die wesentlichen im Energieausweis dargestellten Kenngrößen sind End- und Primärenergiekennwerte des betrachteten Gebäudes. Diese werden mithilfe eines farbigen Bandtachs bewertet (siehe Abb. 154). Der Endenergiekennwert wird darüber hinaus einer von neun Effizienzklassen (von A+ bis H) zugeordnet.

**Abb. 154: Im Energieausweis verwendeter Bandtacho und Effizienzklassen, gemäß Anlage 6 zu § 16 der EnEV 2014**



Zudem wird nach erfolgten Modernisierungen (wie auch bei Neubauten) der auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust  $H_{T'}$  im Energieausweis angegeben und mit dem Anforderungswert der EnEV verglichen. Diese Kenngröße beschreibt die durchschnittliche energetische Qualität aller wärmeübertragenden Umfassungsflächen (Außenwände, Decken, Fenster etc.) eines Gebäudes und wird deshalb auch als mittlerer U-Wert bezeichnet. Sie ist der Quotient aus dem Wärmestrom, der den beheizten Bereich durch Transmission nach außen verlässt und der Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und äußerer Umgebung und wird auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes bezogen. Ein kleiner Wert signalisiert einen guten baulichen Wärmeschutz, eine Einordnung oder Klassifizierung wird im Rahmen des Energieausweises jedoch nicht vorgenommen.

Die Endenergie- und Transmissionskennwerte liefern eine erste Einschätzung in Bezug auf den thermischen Komfort im Winter. Allerdings ist insbesondere der  $H_{T'}$ -Wert nicht unmittelbar verständlich und spiegelt zudem nur einen mittleren Zustand wider, Rückschlüsse auf die Qualitäten einzelner Bauteilkomponenten können nicht gezogen werden.

## **Bewertung des winterlichen Komforts im Rahmen der Passivhaus- und EnerPHit-Zertifizierung [PHI 2016]**

Auch das Zertifizierungssystem für Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standards enthält Kriterien bzw. Anforderungen für den thermischen Komfort im Gebäude. Der Nachweis erfolgt in diesem Fall mit dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP).

Indikator für den winterlichen Wärmeschutz bzw. den damit verbundenen thermischen Komfort ist dabei zunächst die Unterschreitung vorgegebener Heizwärmebedarfe oder Heizlasten bzw. im Falle von Modernisierungen alternativ die Einhaltung von Bauteilanforderungen (U-Werten).

Darüber hinaus bestehen Anforderungen an den Mindestwärmeschutz von Bauteilen. In Bezug auf die thermische Behaglichkeit dürfen für die warm-gemäßigte Klimazone die Innenoberflächentemperaturen der Regelquerschnitte von Wänden und Decken sowie die mittleren Innenoberflächentemperaturen von Fenstern nicht mehr als 4,2 K unterhalb der operativen Raumtemperatur liegen. Die Fußbodenoberflächentemperatur darf nicht unter 19 °C sinken. Die Anforderungen werden im PHPP bei einer Raumtemperatur von 22 °C und einer aus dem Klimadatensatz des Gebäudestandorts entnommenen minimalen Außentemperatur geprüft. Bei Bauteilen gegen Keller oder Erdreich wird die Anforderung an den U-Wert durch einen Abminderungsfaktor dividiert. Bei kleinen Fenstern wird die Anforderung in Abhängigkeit von der Fenstergröße durch einen Zuschlag auf den Grenzwert abgeschwächt.

Bei transparenten Bauteilen dienen die Vorgaben dazu, das Entstehen von Kaltluftseen und Zuglufterscheinungen zu vermeiden, auch wenn unterhalb des Fensters kein Heizkörper angeordnet ist.

## **Bewertung von Bauteilkomponenten im individuellen Sanierungsfahrplan (iSFP) [BMWi 2017b]**

In dem sogenannten individuellen Sanierungsfahrplan werden die Ergebnisse einer Energieberatung zusammengefasst und Hauseigentümern ein Überblick über individuelle Möglichkeiten für eine Schritt-für-Schritt- oder Gesamtanierung verschafft.

Neben einer Primärenergie-basierten Gesamtbewertung werden dabei auch einzelne Bauteil- bzw. anlagentechnische Komponenten bewertet. Ähnlich wie bei dem in Abb. 154 dargestellten Bandtacho werden die jeweiligen Bewertungen anhand von Farbklassifizierungen veranschaulicht. Auf die Darstellung der Kennwerte in Form von Zahlen oder Buchstaben wurde bewusst verzichtet, um keine weitere Klassifizierung zu etablieren und dadurch entstehende Verwirrungen zu vermeiden.

Die Bewertung der Bauteilkomponenten erfolgt auf Grundlage der Anforderungen von EnEV und KfW an Einzelbauteile. Einzelbauteile werden dabei zu Komponenten zusammengefasst, zum Beispiel gehören Dach und oberste Geschossdecke beide zur Komponente Dach. Die Darstellung des energetischen Zustands wird anhand mittlerer U-Werte vorgenommen. Je nach Komponente dienen dabei unterschiedliche Kennwerte als Grenzwerte für die verschiedenen Farbklassen (siehe Tab. 95).

**Tab. 95: Farbklassen und Klassengrenzen für Bauteilkomponenten der Gebäudehülle im iSFP [BMWi 2017b]**

Farbklasse	Wände, inklusive Kellerwänden	Dach, oberer Gebäudeabschluss	Fenster, inklusive Dachflächenfenstern	Boden, unterer Gebäudeabschluss
$U_{m,BT}$ in $W/(m^2K)$				
	$\leq 0,15$	$\leq 0,12$	$U_{W,m} \leq 0,8; U_{g,m} \leq 1,6$	$\leq 0,2$
	$\leq 0,20$	$\leq 0,14$	$U_{W,m} \leq 0,95$	$\leq 0,25$
	$\leq 0,24$	$\leq 0,24$	$U_{W,m} \leq 1,3$	$\leq 0,30$
	$\leq 0,35$	$\leq 0,30$	$\leq 1,7$	$\leq 0,40$
	$\leq 0,50$	$\leq 0,50$	$U_{W,m} \leq 2,1$	$\leq 0,50$
	$\leq 0,80$	$\leq 0,80$	$U_{W,m} \leq 2,7$	$\leq 0,80$
	$> 80$	$> 80$	$U_{W,m} > 2,7$	$> 80$

**Bewertungssystem der DGNB [DGNB 2015a], [DGNB 2015b], [DGNB 2015c], [DGNB 2017b]**

Im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung der DGNB wird der thermische Komfort in der Heizperiode über mehrere Einzelindikatoren bewertet. Grundlage der Beurteilung sind die Vorgaben von DIN EN 15251, DIN EN ISO 7730, DIN EN 12831 und DIN 33403. Im Rahmen der Bewertungen „Neubau kleine Wohngebäude“ ( $\leq 6$  Wohneinheiten), „Neubau Wohngebäude“ ( $> 6$  Wohneinheiten), „Bestand Büro- und Verwaltungsgebäude“ sowie im Kriterienkatalog Gebäude Neubau Version 2017 werden für die Heizperiode folgende Indikatoren beurteilt:<sup>32</sup>

- Operative Temperatur/Raumlufttemperatur (quantitativ)**  
 Als Nachweis dienen Grundlagen und Ergebnisse durchgeführter thermischer Gebäudesimulationen, Protokolle durchgeführter Messungen und Heizlastberechnungen nach DIN EN 12831. Für Bestandsgebäude (Büro- und Verwaltungsgebäude) wird die Unterschreitung mittlerer Wärmedurchgangskoeffizienten opaker und transparenter Bauteile nachgewiesen. Der Nachweis erfolgt über: Einzelbauteilnachweise, Wärmedurchgangsberechnungen, der Dokumentation von U-Wert-Messungen, anhand von Grundlagen und Ergebnissen durchgeführter thermischer Gebäudesimulationen, Protokolle durchgeführter Messungen zum Nachweis des thermischen Komforts, Heizlastberechnungen nach DIN EN 12831, der Darstellung ausgewählter, repräsentativer Räume im Grundriss, Messprotokolle eines kontinuierlichen Monitorings sowie Fotodokumentation des Übergabesystems.
- Zugluft (quantitativ)**  
 Als Nachweis dienen Kenndaten zu Luftauslässen, Grundlagen und Ergebnisse durchgeführter Strömungssimulationen und Messprotokolle.
- Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur (quantitativ)**  
 Als Nachweis dienen die Dokumentation der Auslegung beheizter Bauteile, der Nachweis der Einhaltung des spezifischen Transmissionswärmeverlustes nach EnEV für nicht beheizte, opake Bauteile sowie für nicht beheizte transparente Bauteile zonale thermische Simulationen, eindimensionale Wärmestromberechnungen oder ein Nachweis über ein vereinfachtes Tabellenverfahren.  
 Für Bestandsgebäude (Büro- und Verwaltungsgebäude) dienen als Nachweis: die Dokumentation der Auslegung beheizter Bauteile, bei nicht beheizten, opaken Bauteilen gelten die Anforderungen als eingehalten, wenn der U-Wert bei  $\leq 0,8 W/(m^2K)$  liegt; zonale thermische Simulation für nicht beheizte transparente Bauteile, eindimensionale Wärmestrom-

<sup>32</sup> Neben Neubauten können mit dem DGNB-Nutzungsprofil „Sanierung Wohngebäude“ auch Gebäude zertifiziert werden, an denen Sanierungsmaßnahmen vorgenommen wurden. Die Bewertungen des thermischen Komforts und der Innenraumluftqualität entsprechen dabei denen der hier erläuterten Neubauprofile. Zudem werden im Rahmen der DGNB-Bewertung auch Steckbriefe für Gebäude im Betrieb verwendet, allerdings werden dort keine Kriterien zur Behaglichkeit oder Raumluft bewertet. Ergänzend dargestellt werden hier die Kriterien des Nutzungsprofils „Bestand Büro- und Verwaltungsgebäude“, das für eine regelmäßige Prüfung des Status Quo bestehender Gebäude ausgelegt wurde.



berechnung, vereinfachtes Tabellenverfahren; bei einem Fensterflächenanteil  $\leq 40\%$  gilt die Anforderung als eingehalten, bei einem Fensterflächenanteil  $40\% < f \leq 70\%$  gilt die Anforderung als eingehalten, wenn  $U_g \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und ein Heizkörper unterhalb der Verglasung angeordnet ist; bei einem Fensterflächenanteil  $> 70\%$  gilt die Anforderung als eingehalten, wenn  $U_g \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; falls die Anforderungen an die Oberflächentemperaturen durch geeignete technische Maßnahmen eingehalten werden, sind diese plausibel nachzuweisen.

Für die Profile „Neubau Wohngebäude“ ( $> 6$  Wohneinheiten) und „Bestand Büro- und Verwaltungsgebäude“ sowie im Kriterienkatalog 2017 wird zusätzlich die relative Luftfeuchte als quantitativer Indikator für die Heizperiode herangezogen. Als Nachweise dienen Dokumentationen der Auslegung von Lüftungsanlagen mit Be- und Entfeuchtung, Nachweise durch Beeinflussbarkeit der Raumluftfeuchte durch ein Gerät oder Grundlagen und Ergebnisse einer zonalen Feuchtesimulationen.

### **Bewertung der energetischen Qualität modernisierter Gebäude am Beispiel des Mietspiegels Darmstadt [Stadt Darmstadt 2016]**

Auch im Rahmen von Mietspiegeln wird die energetische Qualität modernisierter Bestandsgebäude bewertet. Im Mietspiegel Darmstadt können Zuschläge für eine verbesserte energetische Gebäudebeschaffenheit bzw. eine umfangreich energetische Modernisierung angesetzt werden. Zur Einstufung in eine der beiden Zuschlagsgruppen können entweder Endenergiebedarfe aus dem Energieausweis verwendet oder das Erreichen einer bestimmten Mindestpunktzahl für durchgeführte energetische Modernisierungsmaßnahmen nachgewiesen werden.

In einer Liste von energetischen Modernisierungsmaßnahmen aus den drei Teilbereichen Dämmung, Fenster und Haustechnik wird jede der gelisteten Maßnahmen – entsprechend ihres Beitrags zur Gesamtenergieeffizienz – mit einem Punktwert von 1 bis 5 Punkten bewertet. Aus der Summe der durchgeführten Maßnahmen ergibt sich die Gesamtzahl an Maßnahmenpunkten.

**Tab. 96: Beispiel für die Vergabe von Maßnahmenpunkten für die energetische Ausstattung und Beschaffenheit von Gebäuden im Mietspiegel Darmstadt [Stadt Darmstadt 2016]**

Maßnahme	Maßnahmenpunkte
<b>Dämmung</b>	
Außenwanddämmung von mindestens 6 cm Stärke, aber weniger als 13 cm	3
Außenwanddämmung von mindestens 13 cm Stärke, aber weniger als 20 cm	4
Außenwanddämmung von mindestens 20 cm Stärke	5
Dämmung des Dachs oder der obersten Geschossdecke von mindestens 6 cm Stärke	2
Dämmung der Kellerdecke von mindestens 4 cm Stärke	1
<b>Fenster</b>	
Einbau Zwei-Scheiben-Isolierverglasung	2
Einbau Zwei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (üblich ab 1995)	3
Einbau Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (Passivhausfenster)	4
<b>Haustechnik</b>	
Heizkesselerneuerung zwischen 1987 und 1994	1
Heizkesselerneuerung ab 1995	2
Einbau eines Brennwertkessels (zusätzlich zur Heizkesselerneuerung ab 1995)	1
Anschluss an ein Fern- oder Nahwärmenetz	1
Wärmepumpe als überwiegendes Heizsystem	1
Thermische Solaranlage	1
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	1

Mietzuschläge für eine verbesserte energetische Gebäudebeschaffenheit in Höhe von 3 % können für Gebäude der Baujahre bis 1977 geltend gemacht werden, wenn mindestens 6 Maßnahmenpunkte aus Tab. 96 erreicht werden. Für einen Zuschlag für eine umfangreich verbesserte energie-

tische Gebäudebeschaffenheit in Höhe von 7 % müssen mindestens 12 Maßnahmenpunkte erreicht werden.

### 5.3.3 Bewertung des thermischen Komforts im Sommer

Auch Ansätze zur Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes eines Gebäudes und des damit zusammenhängenden thermischen Komforts im Sommer basieren in der Regel auf Berechnungen, insbesondere solchen im Rahmen von Energiebilanzverfahren und Simulationsrechnungen, oder auf im bzw. am Gebäude durchgeführten Messungen. Entsprechende Ansätze werden nachfolgend kurz erläutert.

#### Im Energieausweis verwendete Kenngrößen / Bewertung nach EnEV

Im Rahmen der Energieausweisstellung wird lediglich indiziert, ob eine Anlage zur Kühlung im Gebäude vorhanden ist und ob der sommerliche Wärmeschutz (bei Neubau) eingehalten wird.

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes ist seit der EnEV 2009 fester Bestandteil des Nachweisverfahrens. Bei zu errichtenden Wohngebäuden (§ 3 der EnEV) bzw. bei Erweiterung und Ausbau eines Gebäudes (§ 9) mit einer hinzukommenden zusammenhängenden Nutzfläche größer als 50 Quadratmeter sind die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2:2013-02 Abschnitt 8 nachzuweisen (siehe Anlage 1 Nr. 3 EnEV 2014).

Dazu sind die Sonneneintragskennwerte (nach DIN 4108-2 Abschnitt 8.3) zu begrenzen. Der zulässige Sonneneintragskennwert wird dabei insbesondere von der möglichen Nachtlüftung und der Massivität der Bauart bestimmt. Die Berechnungen können auf die Räume oder Raumbereiche mit den höchsten Anforderungen beschränkt werden. Werden für ein Gebäude unterschiedliche Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz geplant, ist für jede Maßnahmenkombination ein Nachweis erforderlich. Räume, bei denen auf einen Nachweis grundsätzlich verzichtet werden kann, müssen nach Nr. 8.2.2 DIN 4108-2 folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Geringer grundflächenbezogener Fensterflächenanteil entsprechend DIN 4108-2 Tabelle 6 (je nach Fensterorientierung zwischen 7 % und 15 %).
- Vorhandener außenliegender Sonnenschutz bei einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von max. 35 %:
  - $F_C \leq 0,30$  bei Verglasungen mit  $g > 0,40$
  - $F_C \leq 0,40$  bei Verglasungen mit  $g \leq 0,40$
 dabei ist  $F_C$  der Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen (DIN 4108-2 Tabelle 7) und  $g$  der Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases für senkrechten Strahlungseinfall nach DIN EN 410

Bei Gebäuden mit Anlagen zur Kühlung sind Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz insoweit vorzusehen, wie sich die Investitionen für diese baulichen Maßnahmen innerhalb deren üblicher Nutzungsdauer durch die Einsparung von Energie zu Kühlung erwirtschaften lassen (Anlage 1, Nr. 3.1.2 EnEV 2014).

Ein ausreichender sommerlicher Wärmeschutz liegt auch vor, wenn mit einem Verfahren (Simulationsrechnung) nach DIN 4108-2:2013-02 Abschnitt 8.4 gezeigt werden kann, dass unter den dort genannten Randbedingungen die für den Standort des Wohngebäudes in Tabelle 9 dieser Norm angegebenen Übertemperatur-Gradstunden nicht überschritten werden.

#### Bewertung des sommerlichen Komforts im Rahmen der Passivhaus- und EnerPHit-Zertifizierung [Feist et al. 2015]

Bei der Passivhaus-Zertifizierung ist die Häufigkeit der Übertemperatur (Anteil der Stunden über einer Behaglichkeitsgrenze  $\vartheta_{\max}$ ) das Maß für den sommerlichen Komfort. Im PHPP-Nachweis ist  $\vartheta_{\max} = 25 \text{ °C}$ . Je geringer die Übertemperaturhäufigkeit, desto besser der sommerliche Komfort.

Für die Zertifizierung soll die „Häufigkeit über 25 °C“ ( $h_{\vartheta \geq 25 \text{ °C}}$ ) 10 % nicht überschreiten. Für hohen sommerlichen Komfort werden Übertemperaturhäufigkeiten von höchstens 5 % empfohlen.

**Tab. 97: Bewertung der Übertemperaturhäufigkeit im PHPP**

$h_{\geq 25\text{ °C}}$	Bewertung
> 15 %	katastrophal
10 – 15 %	schlecht
5 – 10 %	akzeptabel
2 – 5 %	gut
0 – 2 %	exzellent

Das Rechenverfahren basiert auf einem dynamischen Ein-Zonen-Model des Gebäudes, das die Temperaturentwicklung während des Jahres für den Fall ohne aktive Kühlung errechnet. Berücksichtigt werden auch Temperaturschwankungen im Tagesverlauf. Als Ergebnis erhält man den Anteil des Jahres, während dessen die Temperaturen über der festgelegten Schwelle liegen. Der Algorithmus erlaubt die Zuordnung eines Gebäudes zu den Klassen aus der oben dargestellten Tabelle. Die Angabe zur Häufigkeit der Übertemperatur bezieht sich dabei auf das gesamte Gebäude, eine Anwendung auf einzelne Räume ist nicht empfohlen.

### **Bewertungssysteme Nachhaltiger Kleinwohnbau (BNK) und Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) [BMUB o. J.a], [NahWoh 2016a]** (beide Systeme ausgelegt auf neu zu errichtende Gebäude)

In den Bewertungsverfahren BNK und NaWoh wird der sommerliche Wärmeschutz auf Basis der DIN 4108-2:2013-02 und des Sonneneintragskennwertes bewertet. Alternativ kann auch die Bewertung auf Basis der dort beschriebenen thermischen Simulation erfolgen.

### **Bewertungssystem der DGNB [DGNB 2015a], [DGNB 2015b], [DGNB 2015c], [DGNB 2017b]**

Der thermische Komfort wird in der Kühlperiode auf Grundlage der Vorgaben von DIN EN 15251, DIN EN ISO 7730, VDI 2078 und DIN 4108-2 bewertet. Im Rahmen der Bewertungen „Neubau kleine Wohngebäude“ ( $\leq 6$  Wohneinheiten), „Neubau Wohngebäude“ ( $> 6$  Wohneinheiten), „Bestand Büro- und Verwaltungsgebäude“ sowie im Kriterienkatalog Gebäude Neubau Version 2017 werden für die Kühlperiode folgende Indikatoren beurteilt:

- Operative Temperatur/Raumlufttemperatur (quantitativ);  
als Nachweis dienen Grundlagen und Ergebnisse durchgeführter thermischer Gebäudesimulationen, Protokolle durchgeführter Messungen, Kühllastberechnungen nach VDI 2078 sowie der Nachweis des Sonneneintragskennwertes nach DIN 4108-2.  
Für Bestandsgebäude (Büro- und Verwaltungsgebäude) sind zusätzlich erforderlich:  
Berechnung des Fensterflächenanteils, Darstellung ausgewählter, repräsentativer Räume im Grundriss, Messprotokoll eines kontinuierlichen Monitorings, Planunterlagen und/oder Fotodokumentation des Sonnenschutzes.
- Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur / Kühlperiode (qualitativ);  
als Nachweis dienen die Dokumentation der Auslegung gekühlter Bauteile.

Für die Profile „Neubau Wohngebäude“ ( $> 6$  Wohneinheiten), „Bestand Büro- und Verwaltungsgebäude“ sowie im Kriterienkatalog Gebäude Neubau Version 2017 werden zusätzlich die folgenden Indikatoren mit einbezogen:

- Zugluft (qualitativ);  
als Nachweis dienen Kenndaten zu Luftauslässen, Grundlagen und Ergebnisse durchgeführter Strömungssimulationen und Messprotokolle.
- Relative Feuchte (quantitativ);  
als Nachweis dienen Dokumentationen der Auslegung von Lüftungsanlagen mit Be- und Entfeuchtung, Nachweise durch Beeinflussbarkeit der Raumluftfeuchte durch ein Gerät (nur Wohngebäude) oder zonale Feuchtesimulationen.  
Für Bestandsgebäude (Büro- und Verwaltungsgebäude) sind zusätzlich erforderlich:

Für Räume ohne Befeuchtung über die mechanische Lüftungsanlage ohne Be- und Entfeuchtung oder Fensterlüftung: Erweiterung der thermischen Simulation um Feuchtebilanzen, welche den zeitlichen Verlauf der Luftfeuchte im Raum abbilden.

Der vertikale Temperaturgradient bleibt als noch nicht prüfbarer Indikator in der Bewertung außen vor.

### 5.3.4 Bewertung der Art der Lüftung und der Luftqualität

Ansätze zur Bewertung von Lüftung und Luftqualität sowie des damit zusammenhängenden thermischen Komforts basieren in der Regel auf der Erstellung eines Lüftungskonzeptes bzw. auf im Gebäude durchgeführten Messungen. Entsprechende Ansätze werden nachfolgend kurz erläutert.

#### Im Energieausweis verwendete Kenngrößen / Bewertung nach EnEV

Gemäß § 6 der EnEV 2014 sind zu errichtende Gebäude so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend den anerkannten Regeln der Technik abgedichtet ist. Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass der zum Zwecke der Gesundheit und Beheizung erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt ist.

Um diesen Nachweis zu erbringen, muss nach der DIN 1946-6 bei neuen Gebäuden oder wenn bestehende Gebäude modernisiert werden, ein Lüftungskonzept erstellt werden, wenn

- bei einem Mehrfamilienhaus mehr als 1/3 aller Fenster ausgetauscht wird
- oder
- bei einem Einfamilienhaus mehr 1/3 aller Fenster ausgetauscht wird oder mehr als 1/3 der Dachfläche abgedichtet wird.

Allerdings ist anhand der im Energieausweis vorgenommenen Eintragungen bei Bestandsgebäuden nicht erkennbar, ob ein Lüftungskonzept vorliegt, denn im Rahmen der Energieausweiserstellung werden lediglich Angaben zur Art der Lüftung (Fenster- oder Schachtlüftung, Lüftungsanlage mit oder ohne Wärmerückgewinnung) gemacht.

#### Individueller Sanierungsfahrplan (iSFP) [BMWi 2017b]

Die Bewertung der Anlagentechnik erfolgt im iSFP analog zur Bewertung der Bauteilkomponenten (siehe Abschnitt 5.3.2) mit Hilfe eines Farbschemas (siehe Tab. 96). Die Einstufung der Lüftungsart erfolgt dabei in Effizienzklassen je nach Wärmebereitstellungsgrad und spezifischer Leistungsaufnahme des Ventilators (SFP). Eine moderne Lüftungsanlage mit hoher Wärmerückgewinnung ( $\geq 85\%$ ) wird in die beste Effizienzklasse eingestuft, während die reine Fensterlüftung der schlechtesten Effizienzklasse zugeordnet wird.

**Tab. 98: Farbklassen und Klassengrenzen für die Effizienz der Lüftungsart im iSFP [BMWi 2017b]**

Farb- klasse	Lüftungstyp, Lüftungsart, Anlagenbeschreibung	Effizienz WRG/WBG für Bilanz	Strom- effizienz für Bilanz SFP
		Wh/m <sup>3</sup>	
	Passivhaus-taugliche Lüftungsanlage mit sensorgestützter Bedarfsregelung	≥ 85 %	≤ 0,45
	Sehr effiziente WRG-Lüftungsanlage mit sensorgestützter Bedarfsregelung; Passivhaus-taugliche Lüftungsanlage ohne sensorgestützte Bedarfsregelung	≥ 80 %	≤ 0,45
	Effiziente WRG-Lüftungsanlage mit Bedarfsregelung oder Lüftungsanlage, die bei der KfW als Einzelmaßnahme förderfähig ist, mit Ausnahme von Abluftanlagen	≥ 75 %	≤ 0,45
	Mäßig effiziente WRG-Lüftungsanlage ohne weitere Anforderungen	≥ 50 %	≤ 0,45
	Bedarfsgeführte Abluftanlage	k. A.	k. A.
	Zeitgesteuerte Abluftanlage	≥ 0 %	> 0,00
	Ungeregelte Abluftanlage	k. A.	k. A.
	Normale Fensterlüftung, ggf. ergänzt durch Bad/WC-Lüfter	0%	0,00

Eine Einteilung entsprechend den seit dem 1. Januar 2016 geltenden EU-Klassen wurde nicht umgesetzt, da diese derzeit noch nicht in den gängigen Bilanzierungsverfahren angewendet werden.

### **Bewertungssysteme Nachhaltiger Kleinwohnbau (BNK) und Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh)** (beide Systeme ausgelegt auf neu zu errichtende Gebäude)

Im Rahmen der Bewertungsliste des BNK [BMUB o. J.b] werden in Bezug auf Luftaustausch/Lüftungskonzepte und -techniken die folgenden Teilkriterien beurteilt:

- Nachweis von geeigneten Lüftungstechniken (z. B. Zwangslüftung, mechanische Lüftung o. ä.)
- Dokumentation über die Auslegung des Lüftungskonzeptes nach DIN 1946-6
- Anwendung eines Lüftungsleitfadens für den zukünftigen Nutzer.

Als Bewertungsmaßstab und Nachweis dient zudem;

- der Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage oder
- die Anwendung eines Lüftungsleitfadens für den Endnutzer u. a mit Empfehlungen für die manuelle Lüftung in der Nutzungsphase oder
- eine Dokumentation über die Auslegung des Lüftungskonzepts nach DIN 1946-6.

Im Bewertungssystem NaWoh [NahWoh 2016b] gilt der Nachweis für das Kriterium „Lüftung“ als erfüllt, wenn ein Lüftungskonzept nach DIN 1946-6 (oder vergleichbar) erstellt und dokumentiert wurde. Beim Einsatz von RLT-Anlagen dienen zudem technische Leistungsdaten als Nachweis/Dokumentation.

### **Bewertungssystem der DGNB [DGNB 2015d], [DGNB 2015e], [DGNB 2015f], [DGNB 2017c]**

Im Rahmen der Bewertung „Neubau kleine Wohngebäude“, „Neubau Wohngebäude“ sowie im Kriterienkatalog Gebäude Neubau Version 2017 werden als Kriterien für Innenraumluftqualität die Innenraumhygiene sowie das Lüftungskonzept bzw. die Luftwechselrate nach DIN 1946-6 verwendet.

Als Nachweise dienen gemessene Raumluftkonzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) sowie die Umsetzung Lüftungstechnischer Maßnahmen verschiedener Lüftungsstufen gemäß DIN 1946-6 (Lüftung zum Feuchteschutz/Reduzierte Lüftung; + Nennlüftung; + Intensivlüftung) bzw. die Lüftungsrate/Bewertung der Luftvolumenströme (Umsetzung der Stufe Reduzierte Lüftung bzw. Reduzierte Lüftung/Nennlüftung).

## 5.4 Konzeptvorschlag für eine Bewertung des thermischen Komforts als Ergänzung zum Energieausweis

In aller Regel ist der individuelle Nutzen von energetischen Modernisierungen in Form von Behaglichkeit, Wohnkomfort oder Lärmschutz erst nach Bezug der Immobilie erfahrbar. Auch wenn dies zu einer hohen Zufriedenheit während der Nutzung führt, werden die Nutzenvorteile bei Anmietung oder Kauf systematisch unterschätzt. Die nachfolgenden Bewertungsvorschläge zielen deshalb darauf ab, potentiellen Mietern oder Käufern von Wohnimmobilien ergänzende Informationen zum Energieausweis bereitzustellen, die Hinweise auf den nicht-energetischen Nutzen, insbesondere im Sinne eines verbesserten Komforts, liefern.

Da bereits unterschiedliche Indikatoren und Klassifizierungssysteme zur Bewertung von Gebäuden angewandt werden (siehe Abschnitt 5.3), soll hier keine vollständig eigenständige neue Systematik entwickelt werden. Stattdessen wird auf Elementen aus bestehenden Systemen aufgebaut. Zudem soll die ergänzende Bewertung mit möglichst wenig zusätzlichem Aufwand für Energieberater und Aussteller von Energieausweisen verbunden sein. Deshalb basiert das hier vorgeschlagene Konzept auf Angaben, die bei der Ausstellung von Bedarfsausweisen in der Regel vorliegen und kann auch bei Verbrauchsausweisen mithilfe nur weniger zusätzlicher Abfragen umgesetzt werden.

Im Rahmen der ergänzenden Komfortbewertung betrachtet werden Komponenten des winterlichen sowie des sommerlichen Wärmeschutzes und die Art der Lüftung. Die Bewertung einzelner Komponenten erfolgt dabei einerseits auf der Basis von Farbklassen, andererseits durch kurze Textbausteine. Durch ergänzende Angaben und zusätzlichen Freitext können neben dem thermischen Komfort auch weitere Punkte wie z. B. Schallschutz hervorgehoben werden. Der nachfolgend dargestellte Vorschlag greift dabei auf Bewertungsverfahren und Darstellungen zurück, wie sie bereits im Rahmen des individuellen Sanierungsfahrplans (iSFP) [BMWi 2017b] umgesetzt werden. Durch die Verwendung gleicher Indikatoren und einer ähnlichen visuellen Darstellung soll vermieden werden, dass insbesondere Gebäudeeigentümer in verschiedenen Planungsstadien der Modernisierung mit unterschiedlichen Bewertungssystemen konfrontiert werden. Die einheitliche Darstellungsform bei der ergänzenden Komfortbewertung zum Energieausweis vor und nach Modernisierung, bei den Modernisierungsempfehlungen im Energieausweis und bei den Beratungsleistungen im Rahmen eines Sanierungsfahrplans soll aufgrund des Wiedererkennungseffektes die Kommunikation der zugehörigen Inhalte erleichtern. Auch wenn für die Einschätzungen zum Komfort teilweise auch eine gröbere Klassifizierung denkbar wäre, erscheint es sinnvoll, die Unterteilung in sieben bis acht Klassen auch an dieser Stelle anzuwenden, um das Spektrum und die Bandbreite möglicher Maßnahmen möglichst gut abzubilden.

Das nachfolgend beschriebene Vorgehen ist dabei als Konzeptvorschlag und somit als Diskussionsgrundlage zu verstehen. Im Falle einer konkreten Verwendung der nachfolgend gezeigten Vorlagen sind weitere Präzisierungen von Layout, Formulierungen und Bewertungen erforderlich.

### 5.4.1 Winterlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Winter

Zur Bewertung des winterlichen Wärmeschutzes und des damit einhergehenden thermischen Komforts im Winter werden die vier Bauteilkomponenten Boden, Wände, Fenster und Dach betrachtet (siehe Abb. 155 und Abb. 156). Einzelbauteile werden dabei zu Komponenten zusammengefasst, beispielsweise gehören Dach und oberste Geschossdecke beide zur Komponente Dach. Die Farbkennwerte zur Darstellung der Qualität des Wärmeschutzes der vier Komponenten basieren auf flächengewichteten, mittleren U-Werten der zugehörigen Bauteile. Als Grenzwerte der Farbklassen dienen je nach Komponente vorgegebene U-Werte (siehe Tab. 95).

Die mittleren U-Werte ergeben sich bei Bedarfsausweisen aus den für die Energiebilanzierung verwendeten Bauteilflächen sowie den zugehörigen Wärmedurchgangskoeffizienten. Nach dem Verfahren des iSFP werden zudem Korrekturfaktoren eingesetzt, um Bauteile mit unterschiedli-

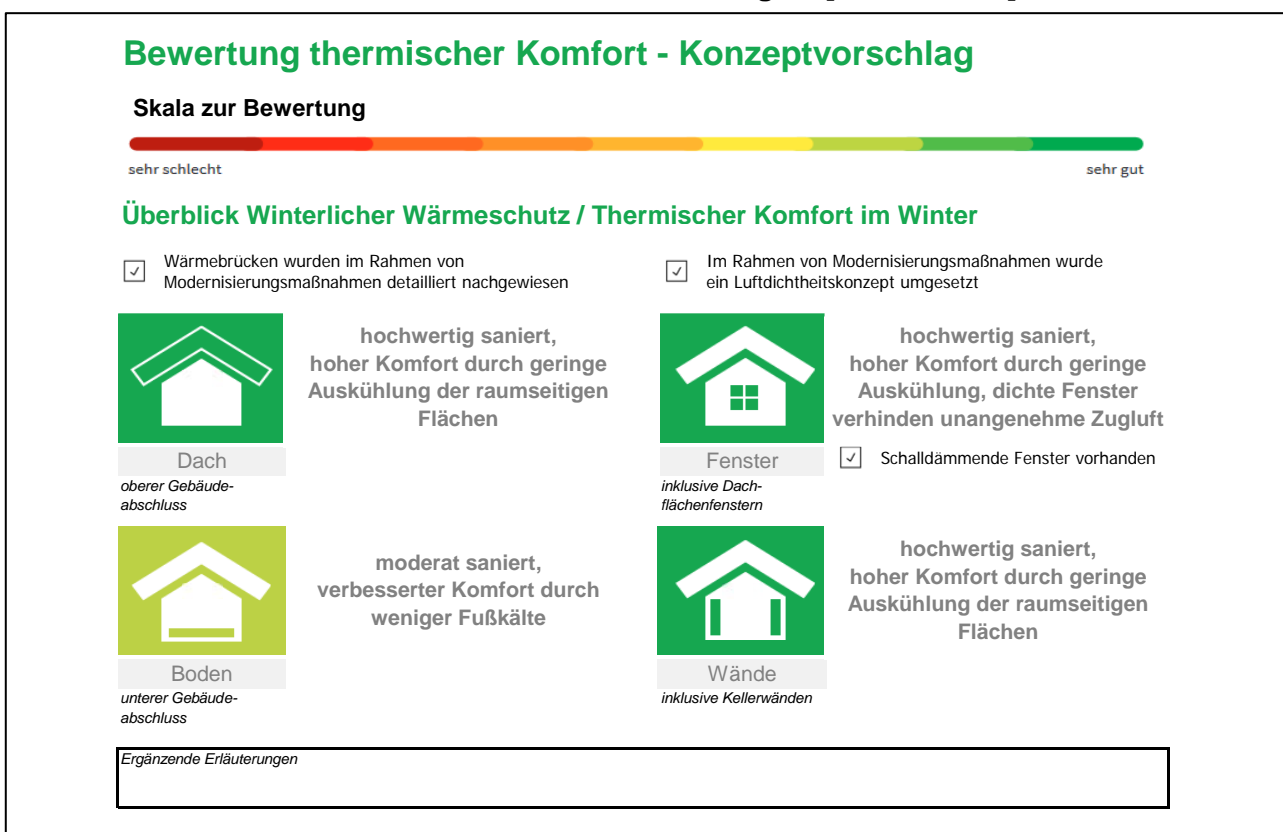
chen Temperatur-Korrekturfaktoren und U-Wert-Anforderungen gemeinsam bewerten zu können. Wärmebrückenzuschläge werden nach diesem Verfahren nicht berücksichtigt [BMW 2017b].

Auch bei der Ausstellung von verbrauchs-basierten Energieausweisen könnten entsprechende Angaben (z. B. prozentualer Anteil und Dämmqualität nachträglich gedämmter Bauteilflächen, siehe z. B. [Loga 2009], [Diefenbach et al. 2010], vgl. Auswertung von Verbrauchsausweis-Daten in Kapitel 2.1) abgefragt und die entsprechenden Kennwerte auf dieser Grundlage dargestellt werden.

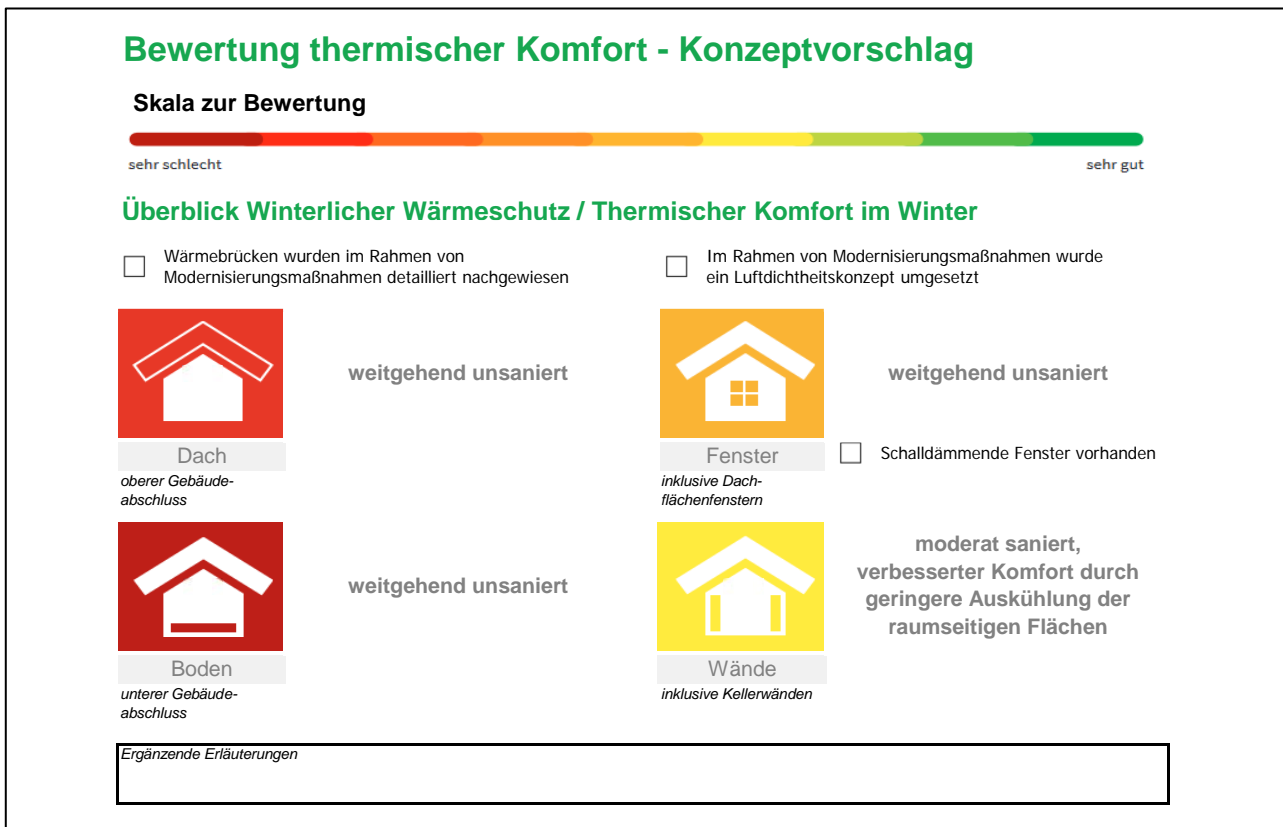
Zusätzlich zu der Bewertung mittels Farbschema wird eine textliche Einschätzung des Sanierungszustands und des daraus resultierenden Komforts abgegeben (beispielsweise kategorisiert in unsaniert / saniert / hochwertig saniert bzw. keine Komfortaussage / verbesserter Komfort / hoher Komfort). Ergänzend kann angegeben werden, ob das Gebäude mit schalldämmenden Fenstern ausgestattet ist.

In Form von Freitext können darüber hinaus ergänzende Erläuterungen vorgenommen werden.

**Abb. 155: Vorschlag zur Bewertung des Winterlichen Wärmeschutzes und des damit einhergehenden thermischen Komforts im Winter, Beispiel für ein bereits saniertes Gebäude, Farbskala und Icons in Anlehnung an [BMW 2017b]**



**Abb. 156: Vorschlag zur Bewertung des Winterlichen Wärmeschutzes und des damit einhergehenden thermischen Komforts im Winter, Farbskala und Icons in Anlehnung an [BMW 2017b]**



#### 5.4.2 Sommerlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Sommer

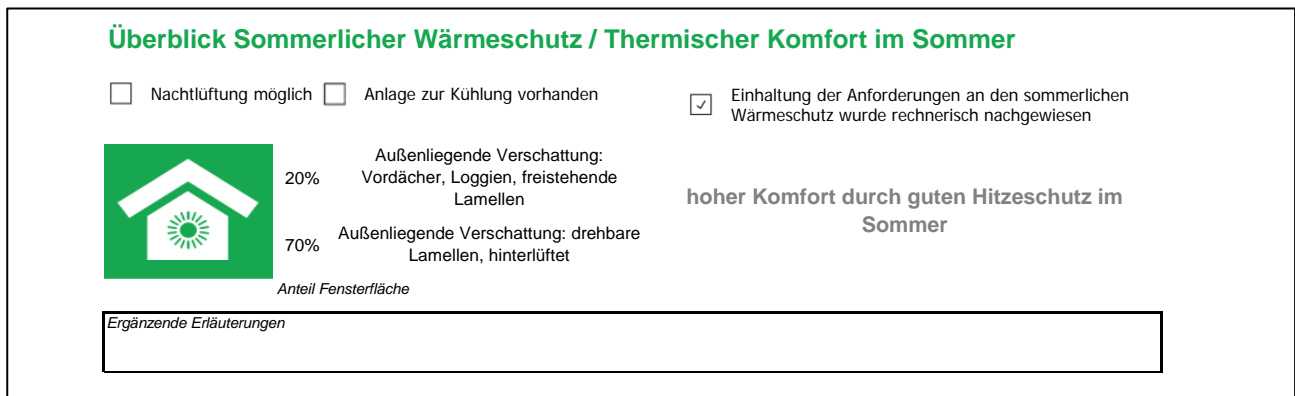
Für den sommerlichen Wärmeschutz werden verschiedene fest installierte Verschattungsmöglichkeiten (außenliegend/innenliegend, starr oder beweglich etc.) mit Hilfe der Farbklassifizierung bewertet. Als Grundlage können hierfür die Abminderungsfaktoren verschiedener von Sonnenschutzvorrichtungen ( $F_C$ -Werte) gemäß DIN 4108-2 dienen. Da in Gebäuden häufig mehr als eine Verschattungsvorrichtung vorhanden ist, können in dem hier vorliegenden Vorschlag zwei Verschattungsmöglichkeiten sowie der zugehörige Fensterflächenanteil eingetragen werden (siehe Abb. 157. und Abb. 158). Die farbliche Bewertung basiert auf dem gewichteten Mittel der resultierenden Werte.

Auch bei der Ausstellung von verbrauchsbasierter Energieausweisen könnten entsprechende Angaben abgefragt und die entsprechenden Kennwerte auf dieser Grundlage dargestellt werden.

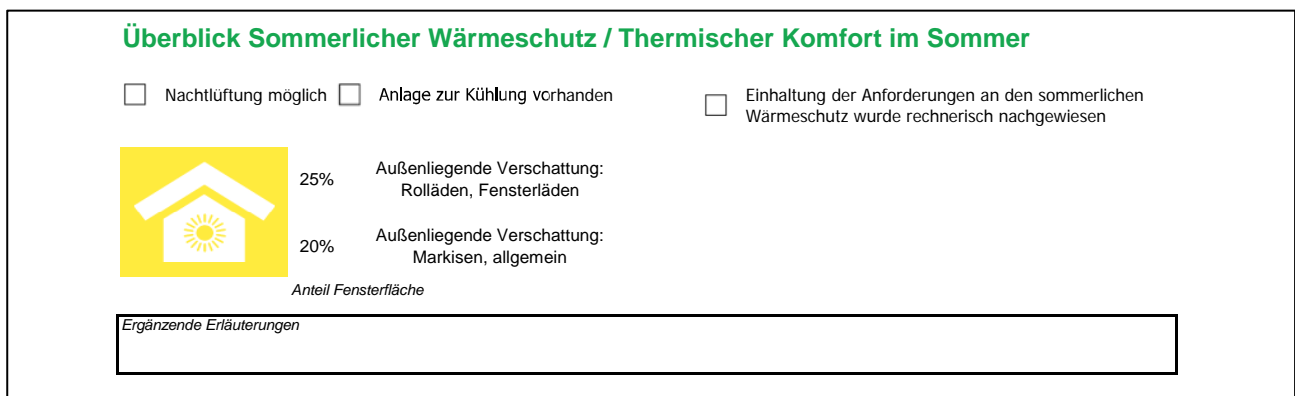
Ergänzend können Angaben zu Möglichkeiten der Nachtlüftung und zum Vorhandensein von Anlagen zur Kühlung sowie zum Vorhandensein eines rechnerischen Nachweises zum sommerlichen Wärmeschutz gemacht werden. Zudem können in Form von Freitext weitere Erläuterungen vorgenommen werden.



**Abb. 157: Vorschlag zur Bewertung des Sommerlichen Wärmeschutzes und des damit einhergehenden thermischen Komforts im Sommer, Beispiel für ein bereits saniertes Gebäude**



**Abb. 158: Vorschlag zur Bewertung des Sommerlichen Wärmeschutzes und des damit einhergehenden thermischen Komforts im Sommer, Beispiel für ein weitgehend unsaniertes Gebäude**



### 5.4.3 Art und Komfort der Lüftung

Wie in den beiden Kategorien zuvor erfolgt die Bewertung der Art der Lüftung anhand eines Farbschemas (siehe Tab. 98) auf Basis der Beschreibung des vorhandenen Lüftungssystems (Fensterlüftung, unregelmäßige/zeitgesteuerte/bedarfsgeführte Abluftanlage, Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung). Auch wenn das Klassensystem anhand von Effizienzkriterien vorgenommen wurde, ist die verhältnismäßig feine Unterteilung der verschiedenen Lüftungskonzepte gut für eine Komfortbewertung geeignet.


Auch bei der Ausstellung von verbrauchsbasierter Energieausweisen könnten entsprechende Angaben abgefragt und die entsprechenden Kennwerte auf dieser Grundlage dargestellt werden.

Zusätzlich zu der Bewertung mittels Farbschema wird eine textliche Einschätzung des Lüftungskonzepts und des daraus resultierenden Komforts abgegeben. Ergänzend kann angegeben werden, ob Möglichkeiten zur Querlüftung bestehen, eine vorhandene Lüftungsanlage mit einem Pollenfilter ausgestattet ist und ob für das Gebäude ein Lüftungskonzept erarbeitet wurde. Zudem können in Form von Freitext weitere Erläuterungen vorgenommen werden.

**Abb. 159: Vorschlag zur Bewertung von Art und Komfort der Lüftung, Beispiel für ein bereits saniertes Gebäude, Farbskala und Icon in Anlehnung an [BMWi 2017b]**

**Überblick Art und Komfort der Lüftung**

<input type="checkbox"/> Im Falle von Fensterlüftung: Querlüftung möglich <input checked="" type="checkbox"/> Bei Lüftungsanlagen mit Zuluft: Pollenfilter vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/> Lüftungskonzept vorhanden; Einhaltung der Anforderungen an den notwendigen Luftwechsel wurde nachgewiesen
---	--



Sehr effiziente WRG-Lüftungsanlage mit sensorgestützter Bedarfsregelung  
 Passivhaus-taugliche Lüftungsanlage ohne sensorgestützte Bedarfsregelung


**hoher Komfort, die Lüftungsanlage sorgt automatisch für frische Luft**

Ergänzende Erläuterungen

**Abb. 160: Vorschlag zur Bewertung von Art und Komfort der Lüftung, Beispiel für ein weitgehend unsaniertes Gebäude, Farbskala und Icon in Anlehnung an [BMWi 2017b]**

**Überblick Art und Komfort der Lüftung**

<input checked="" type="checkbox"/> Im Falle von Fensterlüftung: Querlüftung möglich <input type="checkbox"/> Bei Lüftungsanlagen mit Zuluft: Pollenfilter vorhanden	<input type="checkbox"/> Lüftungskonzept vorhanden; Einhaltung der Anforderungen an den notwendigen Luftwechsel wurde nachgewiesen
---	---



Normale Fensterlüftung, ggf. ergänzt durch Bad/WC-Lüfter

**hoher Komfort, die Lüftungsanlage sorgt automatisch für frische Luft**

Ergänzende Erläuterungen

#### 5.4.4 Zusammenfassende Bewertung

Die Bewertungen der drei zuvor betrachteten Kategorien können bei Bedarf zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst werden. Zu diesem Zweck kann die jeweilige Anzahl der Farbklassen je Kategorie mit Punkten bewertet werden. Beispielsweise besteht die Farbskala zur Bewertung der mittleren U-Werte von Bauteilkomponenten aus sieben Farbklassen (siehe Tab. 95), die Skala zur Bewertung der Lüftung umfasst acht Klassen (siehe Tab. 98). Die Werte der Abminderungsfaktoren von Sonnenschutzeinrichtungen können in sieben Klassen unterteilt werden; zur Gesamtbewertung des sommerlichen Wärmeschutzes sollte zudem noch beachtet werden, ob ein rechnerischer Nachweis vorliegt. Auf dieser Grundlage könnte beispielsweise eine Gesamtbewertung wie in Tab. 99 dargestellt erfolgen. Analog zu den Bewertungen der einzelnen Kategorien kann die Gesamtbewertung mit Hilfe einer Farbklassifizierung und ggf. einer Komfortaussage veranschaulicht werden.

Abb. 161 zeigt exemplarisch den vollständigen Konzeptentwurf jeweils für ein weitgehend saniertes und ein weitgehend unsaniertes Gebäude.

**Tab. 99: Mögliche zusammenfassende Bewertung**

Kategorie	Maximal zu erreichende Punktzahl	Beispiel	Erfüllungsgrad je Komponente	Erfüllungsgrade zu je ein Drittel gewichtet
Winterlicher Wärmeschutz	4 Komponenten x 7 Punkte = 28 Punkte	20 Punkte	71 %	71 % x 0,33 = 24 %
Sommerlicher Wärmeschutz	1 Punkt bei Vorhandensein des rechnerischen Nachweises, ansonsten 0 + gleichwertige Bewertung des Abminderungsfaktors für Verschattung von 0 bis 1 (prozentuale Bewertung) = 2 Punkte	1 Punkt für Nachweis + 0,86 Punkte für Rollläden = 1,86 Punkte	93 %	93 % x 0,33 = 31 %
Art der Lüftung	1 Komponenten x 8 Punkte = 8 Punkte	6 Punkte	75 %	75 % x 0,33 = 25 %
Gesamtbewertung = Summe der gewichteten Erfüllungsgrade				80 %

**Abb. 161: Exemplarische Darstellung des vorgeschlagenen Konzeptentwurfs für ein saniertes und ein weitgehend unsaniertes Gebäude, Farbskalen und Icons in Anlehnung an [BMWi 2017b]**

**Bewertung thermischer Komfort - Konzeptvorschlag**

Skala zur Bewertung:

**Überblick Winterlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Winter**

- Wärmebrücken wurden im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen detailliert nachgewiesen
- Im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen wurde ein Luftdichtheitskonzept umgesetzt

**Dach** (oberer Gebäudeabschluss): hochwertig saniert, hoher Komfort durch geringe Auskühlung der raumseitigen Flächen

**Fenster** (inklusive Dachflächenfenstern): hochwertig saniert, hoher Komfort durch geringe Auskühlung, dichte Fenster verhindern unangenehme Zugluft

Schälldämmende Fenster vorhanden

**Boden** (unterer Gebäudeabschluss): moderat saniert, verbesserter Komfort durch weniger Fußkälte

**Wände** (inklusive Kellereiwänden): hochwertig saniert, hoher Komfort durch geringe Auskühlung der raumseitigen Flächen

Ergänzende Erläuterungen:

**Überblick Sommerlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Sommer**

- Nachlüftung möglich
- Anlage zur Kühlung vorhanden
- Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz wurde rechnerisch nachgewiesen

**Außenliegende Verschattung: Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen** (Anteil Fensterfläche): 20% hoher Komfort durch guten Hitzeschutz im Sommer

**Außenliegende Verschattung: drehbare Lamellen, Himmelfahnen** (Anteil Fensterfläche): 70%

Ergänzende Erläuterungen:

**Überblick Art und Komfort der Lüftung**

- Im Falle von Fensterlüftung: Querlüftung möglich
- Bei Lüftungsanlagen mit Zuluft: Pollerfilter vorhanden
- Lüftungskonzept vorhanden: Einhaltung der Anforderungen an den notwendigen Luftwechsel wurde nachgewiesen

**Sehr effiziente WRG-Lüftungsanlage mit sensorgestützter Bedarfsregelung** (Passivhaus-taugliche Lüftungsanlage ohne sensorgestützte Bedarfsregelung): hoher Komfort, die Lüftungsanlage sorgt automatisch für frische Luft

Ergänzende Erläuterungen:

**Gesamtbewertung**

**Bewertung thermischer Komfort - Konzeptvorschlag**

Skala zur Bewertung:

**Überblick Winterlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Winter**

- Wärmebrücken wurden im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen detailliert nachgewiesen
- Im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen wurde ein Luftdichtheitskonzept umgesetzt

**Dach** (oberer Gebäudeabschluss): weitgehend unsaniert

**Fenster** (inklusive Dachflächenfenstern): weitgehend unsaniert

Schälldämmende Fenster vorhanden

**Boden** (unterer Gebäudeabschluss): weitgehend unsaniert

**Wände** (inklusive Kellereiwänden): moderat saniert, verbesserter Komfort durch geringere Auskühlung der raumseitigen Flächen

Ergänzende Erläuterungen:

**Überblick Sommerlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Sommer**

- Nachlüftung möglich
- Anlage zur Kühlung vorhanden
- Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz wurde rechnerisch nachgewiesen

**Außenliegende Verschattung: Rollläden, Fensterläden** (Anteil Fensterfläche): 25%

**Außenliegende Verschattung: Markisen, allgemein** (Anteil Fensterfläche): 20%

Ergänzende Erläuterungen:

**Überblick Art und Komfort der Lüftung**

- Im Falle von Fensterlüftung: Querlüftung möglich
- Bei Lüftungsanlagen mit Zuluft: Pollerfilter vorhanden
- Lüftungskonzept vorhanden: Einhaltung der Anforderungen an den notwendigen Luftwechsel wurde nachgewiesen

**Normale Fensterlüftung ggf. ergänzt durch BadWC-Lüfter**:

Ergänzende Erläuterungen:

**Gesamtbewertung**

### 5.4.5 Mögliche Ergänzungen der Modernisierungsempfehlungen im Energieausweis

Gemäß EnEV 2014 müssen auf Seite 4 des Energieausweises Maßnahmen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften des Gebäudes empfohlen werden. Dies gilt auch, wenn ein Energieausweis auf der Grundlage des Energieverbrauchs ausgestellt wird. Sind keine Empfehlungen möglich (z. B. bei bereits vollständig sanierten Gebäuden), ist dies entsprechend zu vermerken.

Mithilfe der Modernisierungsempfehlungen bekommt der Gebäudeeigentümer erste Hinweise, wie der Energieaufwand des Gebäudes reduziert werden kann und welche einzelnen Energiesparmaßnahmen sich sinnvoll miteinander kombinieren lassen. Derzeit sind in tabellarischer Form Bezeichnungen für Bau- oder Anlagenteile und Kurztexte zur Maßnahmenbeschreibung anzugeben. Angekreuzt wird zudem ob die Maßnahme im Zusammenhang mit einer größeren Modernisierung oder als Einzelmaßnahme empfohlen wird. Auf freiwilliger Basis können darüber hinaus geschätzte Amortisationszeiten und geschätzte Kosten pro eingesparter Kilowattstunde Endenergie angegeben werden.

Um ergänzende Hinweise zu mit den vorgeschlagenen Maßnahmen einhergehenden Komfortverbesserungen mit abzubilden, könnte die Tabelle um eine Spalte mit farblichen Kennzeichnungen der Bauteilqualität vor- und nach der vorgeschlagenen Maßnahme erweitert werden (siehe Abb. 162; ein ähnliches Verfahren wird in den Umsetzungshilfen für die vorgeschlagenen Maßnahmen im iSFP angewendet [BMW 2017c]). In einem zusätzlichen Textfeld könnten die Komfortverbesserungen zudem in Kurzform beschrieben werden.

### 5.4.6 Mögliche Ergänzungen bezüglich der Reduktion von Umweltauswirkungen und externen Kosten

In der Regel liefern Energieausweise wenig bis keine Aussage darüber, inwiefern das betrachtete Gebäude zur nationalen Klimaschutzstrategie beiträgt oder potentiell beitragen könnte. Die Basis für eine solche Bewertung können die aus der Wärmeversorgung des Gebäudes resultierenden CO<sub>2</sub>- bzw. Treibhausgasemissionen bilden, die auch als Grundlage für eine monetäre Operationalisierung herangezogen werden können (siehe Abschnitt 5.1.1).

Als ergänzende Informationen zum bzw. im Energieausweis wären deshalb die obligatorische Ausweisung der aus der Angabe zur Endenergie folgenden CO<sub>2</sub>- bzw. CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen sowie der damit verbundenen externen Kosten denkbar. Letzte können auf Grundlage der vom UBA veröffentlichten Ansätze [UBA 2014] oder mit Hilfe von Online-Tools (wie im Rahmen der Veröffentlichung [BBSR 2010] bereitgestellt) ermittelt werden. Hilfreich wären in diesem Zusammenhang eine Einordnung der Kennwerte (z. B. in hoch / mittel / niedrig) sowie der Vergleich mit Zielwerten, die beispielsweise auf der Grundlage des Energiekonzepts der Bundesregierung [BMW 2010] abgeleitet werden können (siehe hierzu z. B. [BMVBS 2013], vgl. auch Vorschläge in Kap. 4.7.2 und Kap. 6). Die Darstellung von Emissionskennwerten und externen Kosten im Rahmen der Modernisierungsempfehlungen würde zudem einen Vergleich vor- und nach Durchführung von Maßnahmen ermöglichen.

**Abb. 162: Vorschlag für mögliche Ergänzungen der Modernisierungsempfehlungen im Energieausweis**

## ENERGIEAUSWEIS

für Wohngebäude  
gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV) vom<sup>1</sup> 18. November 2013

Empfehlungen des Ausstellers
Vorschau  
(Ausweis rechtlich nicht gültig)
4

**Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung**

Maßnahmen zur kostengünstigen Verbesserung der Energieeffizienz sind  möglich  nicht möglich

**Empfohlene Modernisierungsmaßnahmen**

Nr.	Bau- oder Anlagenteile	Maßnahmenbeschreibung in einzelnen Schritten	empfohlen		(freiwillige Angaben)	
			in Zusammenhang mit größerer Modernisierung	als Einzelmaßnahme	geschätzte Amortisationszeit	geschätzte Kosten pro eingesparte Kilowattstunde Endenergie
1	Dach	Wärmedämmung der Obergeschosdecke	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

weitere Empfehlungen auf gesondertem Blatt

**Hinweis:** Modernisierungsempfehlungen für das Gebäude dienen lediglich der Information. Sie sind kurz gefasste Hinweise und kein Ersatz für eine Energieberatung.

Genauere Angaben zu den Empfehlungen sind erhältlich bei/unter: Dipl.-Ing. Bettina Ziegler, Ingenieurbüro Ziegler  
Im Grünfeld 8, 66663 Merzig

**Ergänzende Erläuterungen zu den Angaben im Energieausweis (Angaben freiwillig)**

Ergänzende Informationen: siehe die beige-fügelten "Erläuterungen zum Energieausweis".

Der Warmwasserbereiter im Bad ist defekt und darf nicht in Betrieb genommen werden. Annahme für den Energieausweis: Warmwasserbereitung Badezimmer über die Heizungsanlage

<sup>1</sup> siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises      <sup>2</sup> siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises

Hartmann Software, Energieberater Professional 8.1.1

ergänzende  
Komfortbewertung

vorher      nachher

→

→

→

Zusätzliches Textfeld mit Aussagen zu Komfortverbesserungen

### 5.5 Zusammenfassung und Fazit

Für nahezu alle der in Kapitel 3 betrachteten Formen des nicht-energetischen Zusatznutzens energetischer Modernisierungen wurden bestehende Möglichkeiten zur Operationalisierung zusammengetragen und erläutert. Dabei wurde zwischen der makro- und der mikroökonomischen Ebene unterschieden. Letztere kann zudem aus der Perspektive von (institutionellen) Vermietern oder der Perspektive von Mietern und selbstnutzenden Eigentümern betrachtet werden. Im Sinne der Gebäudenutzer spielt insbesondere der Zusatznutzen durch (thermischen) Komfort eine wesentliche Rolle. Dieser ist häufig jedoch erst nach Bezug der Immobilie erfahrbar. Deshalb wurde ein Konzeptvorschlag erarbeitet, der aufzeigt, wie potentiellen Mietern oder Käufern von Wohnimmobilien ergänzende Informationen zum Energieausweis bereitgestellt werden können. Der darin verwendeten Systematik folgend, können entsprechende Indikatoren auch in die Modernisierungs-

empfehlungen zum Energieausweis mit aufgenommen werden. Auch zusätzliche Angaben in Bezug auf den Klimaschutz könnten ergänzt werden. Die Darstellung von Emissionskennwerten und externen Kosten im Rahmen der Modernisierungsempfehlungen würde zudem einen Vergleich vor- und nach Durchführung von Maßnahmen ermöglichen.

## Literaturverzeichnis zum Kapitel 5

- [BMUB o. J.a] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (o. J.): Neubau Ein- bis Fünffamilienhäuser BNK\_V1.0. Hauptkriteriengruppe Soziokulturelle und funktionale Qualität. Kriterium Sommerlicher Wärmeschutz 1.2.1, online: [http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Steckbriefe\\_Kleinhausbau/1.2.1\\_Sommerlicher\\_W%C3%A4rmeschutz\\_V1.0.pdf](http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Steckbriefe_Kleinhausbau/1.2.1_Sommerlicher_W%C3%A4rmeschutz_V1.0.pdf) (08.08.2017)
- [BMUB o. J.b] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (o. J.): Neubau Ein- bis Fünffamilienhäuser BNK\_V1.0. Hauptkriteriengruppe Soziokulturelle und funktionale Qualität. Kriterium Wohngesundheit: Innenraumlufthygiene 1.1.1, online: [http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Steckbriefe\\_Kleinhausbau/1.1.1\\_Innenraumhygiene\\_V1.0.pdf](http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Steckbriefe_Kleinhausbau/1.1.1_Innenraumhygiene_V1.0.pdf) (08.08.2017)
- [BMVBS 2010] BMVBS (Hrsg.) (2010): Externe Kosten im Hochbau, online: BMVBS-Online-Publikation 17/2010. [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2010/DL\\_ON172010.pdf?\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2010/DL_ON172010.pdf?_blob=publicationFile&v=2) (13.11.2017)
- [BMVBS 2013] BMVBS (Hrsg.) (2013): Begleituntersuchung zur europäischen Berichterstattung „Cost-Optimal-Level“ – Modellrechnungen. BMVBS-Online-Publikation 26/2013. [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL\\_ON262013.pdf?\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL_ON262013.pdf?_blob=publicationFile&v=3) (22.03.2018)
- [BMWi 2010] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.) (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, online: [https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BPA/Bestellservice/Deutsche\\_Nachhaltigkeitsstrategie\\_Neuaufgabe\\_2016.pdf?\\_blob=publicationFile&v=21](https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BPA/Bestellservice/Deutsche_Nachhaltigkeitsstrategie_Neuaufgabe_2016.pdf?_blob=publicationFile&v=21) (16.11.2017)
- [BMWi 2017a] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.) (2017): Zahlen und Fakten Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung, online: <http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Themen/energiedaten.html> (16.11.2017)
- [BMWi 2017b] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2017): Handbuch für Energieberater. Anleitung mit Tipps und Tricks zur Umsetzung. Berlin.
- [BMWi 2017c] Deutschland macht's Effizient (o. J.): Umsetzungshilfe für meine Maßnahmen, <https://www.dena-expertenservice.de/fileadmin/Fachinformationen/iSFP/dena-iSFP-Umsetzungshilfe.pdf> (21.11.2017)
- [Bundesregierung 2016] Die Bundesregierung (Hrsg.) (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuaufgabe 2016, online: [https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BPA/Bestellservice/Deutsche\\_Nachhaltigkeitsstrategie\\_Neuaufgabe\\_2016.pdf?\\_blob=publicationFile&v=21](https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BPA/Bestellservice/Deutsche_Nachhaltigkeitsstrategie_Neuaufgabe_2016.pdf?_blob=publicationFile&v=21) (16.11.2017)
- [BMVBS 2013] BMVBS (Hrsg.) (2013): Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudebereich – Zielerreichungsszenario. BMVBS-Online-Publikation 03/2013, [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL\\_ON032013.pdf?\\_blob=publicationFile&v=5](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL_ON032013.pdf?_blob=publicationFile&v=5) (22.11.2017)
- [DGNB 2015a] DGNB (Hrsg.) (2015): DGNB Kriterium SOC1.1 Thermischer Komfort. Nutzungsprofil Neubau kleine Wohngebäude, Version 2013 (07.10.2015)

- [DGNB 2015b] DGNB (Hrsg.) (2015): DGNB Kriterium SOC1.1 Thermischer Komfort. Nutzungsprofil Neubau Wohngebäude, Version 2015
- [DGNB 2015c] DGNB (Hrsg.) (2015): DGNB Kriterium SOC1.1 Thermischer Komfort. Nutzungsprofil Bestand Büro- und Verwaltungsgebäude, Version 2013 (10.04.2015)
- [DGNB 2015d] DGNB (Hrsg.) (2015): DGNB Kriterium SOC1.2 Innenraumluftqualität. Nutzungsprofil Neubau kleine Wohngebäude, Version 2013 (07.10.2015)
- [DGNB 2015e] DGNB (Hrsg.) (2015): DGNB Kriterium SOC1.2 Innenraumluftqualität. Nutzungsprofil Neubau Wohngebäude, Version 2015
- [DGNB 2015f] DGNB (Hrsg.) (2015): DGNB Kriterium SOC1.2 Innenraumluftqualität. Nutzungsprofil Bestand Büro- und Verwaltungsgebäude, Version 2013 (10.04.2015)
- [DGNB 2017a] DGNB (Hrsg.) (2017): DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Neubau. Version 2017 - Vorschau. [http://www.dgnb-sys-tem.de/fileadmin/de/dgnb\\_system/version2017/DGNB\\_System\\_Kriterienkatalog\\_Gebaeude\\_Nebau\\_Vorschau-Version\\_12.09.2017.pdf](http://www.dgnb-sys-tem.de/fileadmin/de/dgnb_system/version2017/DGNB_System_Kriterienkatalog_Gebaeude_Nebau_Vorschau-Version_12.09.2017.pdf) (14.11.2017)
- [DGNB 2017b] DGNB (Hrsg.) (2017): SOC1.1 Thermischer Komfort. DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Neubau. Version 2017 – Kommentierung. [http://www.dgnb-sys-tem.de/fileadmin/de/dgnb\\_system/version2017/04\\_SOC1.1\\_Thermischer-Komfort.pdf?m=1498660718](http://www.dgnb-sys-tem.de/fileadmin/de/dgnb_system/version2017/04_SOC1.1_Thermischer-Komfort.pdf?m=1498660718) (14.11.2017)
- [DGNB 2017c] DGNB (Hrsg.) (2017): SOC1.2 Innenraumluftqualität. DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Neubau. Version 2017 – Kommentierung. [http://www.dgnb-sys-tem.de/fileadmin/de/dgnb\\_system/version2017/04\\_SOC1.1\\_Thermischer-Komfort.pdf?m=1498660718](http://www.dgnb-sys-tem.de/fileadmin/de/dgnb_system/version2017/04_SOC1.1_Thermischer-Komfort.pdf?m=1498660718) (14.11.2017)
- [Diefenbach et al. 2010] Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, Holger; Rodenfels, Markus; Clausnitzer, Klaus-Dieter (2010): Datenbasis Gebäudebestand Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, [http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht\\_Datenbasis.pdf](http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht_Datenbasis.pdf) (22.11.2017)
- [Difu 2017] Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (2017): Online-Wertschöpfungsrechner für die energetische Gebäudesanierung, online: <https://wertschoepfungsrechner.difu.de/startseite/> (16.11.2017)
- [Difu/IÖW o. J.] Deutsches Institut für Urbanistik; Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (o. J.): Online-Wertschöpfungsrechner energetische Gebäudesanierung. Handbuch. Online: <https://wertschoepfungsrechner.difu.de/fileadmin/content/wertschoepfungsrechner/Handbuch.pdf> (16.11.2017)
- [Feist et al. 2015] Feist, W.; Bastian, Z.; Ebel, W.; Gollwitzer, E.; Grove-Smith, J.; Kah, O.; Kaufmann, B.; Krick, B.; Pfluger, R.; Schnieders, J.; Steiger, J. (2015): Passivhaus-Projektierungspaket Version 9 (2015), Darmstadt: Passivhaus Institut
- [Fiedler 2016] Fiedler, Eckehard (2016): DIN EN ISO 7730 in der Praxis. tga Kongress 2016, 14./15. April 2016, Berlin, [http://tga-kongress.de/wp-content/uploads/2016/04/40\\_Fiedler.pdf](http://tga-kongress.de/wp-content/uploads/2016/04/40_Fiedler.pdf) (21.11.2017)
- [Hake/Rath-Nagel 2016] Hake, Jürgen-Friedrich; Rath-Nagel, Stefan (2016): Energiesicherheit messen und bewerten. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 66. Jg. (2016), Heft 10, S. 36-41
- [Hinz 2017] Hinz, Eberhard (2017): Energietechnisches Portfolio-Management als ein Element der nachhaltigen Entwicklung von Wohnungsunternehmen, Weimar, Bauhaus Universitätsverlag
- [Hofmann 2012] Hofmann, Markus (2012): Messungen des sommerlichen Wärmeschutzes in Wohnungen. Der Einfluss des Nutzerverhaltens, Holzbautag, Biel 2012, [http://www.forum-holzbau.com/pdf/hbt12\\_markus\\_hofmann.pdf](http://www.forum-holzbau.com/pdf/hbt12_markus_hofmann.pdf) (21.11.2017)
- [Jakob et al. 2002] Jakob, M.; Jochem, E.; Christen, K. (2002): Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmaßnahmen in Wohngebäuden, Bern

- [Kleemann et al. 1999] Kleemann, M.; Kuckshinrichs, W.; Heckler, R. (1999): CO<sub>2</sub>-Reduktion und Beschäftigungseffekte im Wohnungssektor durch das CO<sub>2</sub>-Minderungsprogramm der KfW. Hrsg.: Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe STE. Reihe Umwelt. Band 17. Jülich. Online: [http://juser.fz-juelich.de/record/38005/files/Umwelt\\_34.pdf](http://juser.fz-juelich.de/record/38005/files/Umwelt_34.pdf) (16.11.2017)
- [Loga 2009] Loga, Tobias (2009): Kurzverfahren Energieprofil für die einfache energetische Bewertung von Gebäuden, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, <http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/kurzverfahren-energieprofil/> (22.11.2017)
- [PHI 2016] Passivhaus Institut (2016): Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard. Version 9f, Stand 26.08.2016, online: [http://passiv.de/downloads/03\\_zertifizierungskriterien\\_gebaeude\\_de.pdf](http://passiv.de/downloads/03_zertifizierungskriterien_gebaeude_de.pdf) (08.08.2016)
- [NahWoh 2016a] Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e. V. (2016): Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau Mehrfamilienhäuser – Neubau. Hauptkriteriengruppe 1 Wohnqualität. NaWoh Version 3.1, Stand September 2016, online: [http://www.nawoh.de/uploads/pdf/kriterien/v\\_3\\_1/1-Wohnqualitaet\\_V\\_3\\_1.pdf](http://www.nawoh.de/uploads/pdf/kriterien/v_3_1/1-Wohnqualitaet_V_3_1.pdf) (08.08.2017)
- [NahWoh 2016b] Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e. V. (2016): Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau Mehrfamilienhäuser – Neubau. Hauptkriteriengruppe 2 Technische Qualität. NaWoh Version 3.1, Stand September 2016, online: [http://www.nawoh.de/uploads/pdf/kriterien/v\\_3\\_1/2-Technische\\_Qualitaet\\_V\\_3\\_1.pdf](http://www.nawoh.de/uploads/pdf/kriterien/v_3_1/2-Technische_Qualitaet_V_3_1.pdf) (08.08.2017)
- [Ott et al. 2005] Ott, Walter; Jakob, Martin; Baur, Martin (2005): Direkte und indirekte Zusatznutzen bei energieeffizienten Wohnbauten, Bern, [https://www.econcept.ch/uploads/media/487\\_sb.pdf](https://www.econcept.ch/uploads/media/487_sb.pdf) (17.11.2017)
- [Stadt Darmstadt 2016] Magistrat der Wissenschaftsstadt Darmstadt (Hrsg.) (2016): Mietspiegel für Darmstadt 2016. Fortschreibung des Mietspiegels Darmstadt 2014 zur Berechnung der ortsüblichen Vergleichsmiete für nicht preisgebundenen Wohnraum. [https://www.mieterbund-darmstadt.de/fileadmin/user\\_upload/PDF\\_Dateien/Mietspiegel\\_Darmstadt/Mietspiegel\\_2016\\_1.pdf](https://www.mieterbund-darmstadt.de/fileadmin/user_upload/PDF_Dateien/Mietspiegel_Darmstadt/Mietspiegel_2016_1.pdf)
- [UBA 2012] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012): Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten, online: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba\\_methodenkonvention\\_2.0\\_-\\_2012\\_gesamt.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba_methodenkonvention_2.0_-_2012_gesamt.pdf) (13.11.2017)
- [UBA 2014] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2014): Schätzung der Umweltkosten in den Bereichen Energie und Verkehr. Empfehlungen des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, August 2012, aktualisiert Februar 2014, online: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp\\_umweltkosten\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp_umweltkosten_0.pdf) (13.11.2017)
- [Weiß et al. 2014] Weiß, Julika; Prah, Andreas; Neumann, Anna; Schröder, André; Bettgenhäuser, Kjell; Hermelink, Andreas; John, Ashok; von Manteuffel, Bernhard (2014): *Kommunale Wertschöpfungskette durch energetische Gebäudesanierung (KoWeG)*. Berlin. Online: [https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/article/141028%20Endbericht\\_KoWeG\\_final\\_0.pdf](https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/article/141028%20Endbericht_KoWeG_final_0.pdf) (16.11.2017)
- [Schreiner 2015] Schreiner, Nadine (2015): Auf der Suche nach Energiearmut: Eine Potentialanalyse des Low-Income-High-Costs Indikators für Deutschland. SOEP-papers, Berlin, online: [https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.523073.de/diw\\_sp\\_0811.pdf](https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.523073.de/diw_sp_0811.pdf) (17.11.2017)
- [Thomson/Snell 2016] Thomson, Harriet; Snell, Carolyn (2016): Definitions and Indicators of energy poverty across the EU in Csiba, Kalalin (Hrsg.) (2016): Energy Poverty Handbook, Brussels, online: <http://bpie.eu/wp-content/uploads/2016/11/energy-poverty-handbook-online.pdf> (17.11.2017)



## 6 Illustration durch Fallbeispiele

Am Beispiel eines Ein- und eines Mehrfamilienhauses wird die Anwendung der in den vorhergehenden Kapiteln entwickelten Methodik für die Ermittlung von Bandbreiten des erwarteten Energieverbrauchs (Kapitel 4) sowie der ganzheitlichen Bewertung von Modernisierungen (Kapitel 5) demonstriert.

Zu diesem Zweck werden für beide Gebäude das jeweils typische Verbrauchsniveau im Ausgangszustand bestimmt und Realbilanzen für verschiedene Sanierungszustände mit unterschiedlichen Nutzerprofilen berechnet. Auf diese Weise sollen realistischere Aussagen zur möglichen Energieeinsparung durch Umsetzung von Modernisierungsmaßnahmen gemacht werden.

### 6.1 Beschreibung der Fallbeispiele

Die Illustration erfolgt anhand von Beispielberechnungen für zwei Bestandsgebäude, welche in der Deutschen Wohngebäudetypologie [Loga et al. 2015] die Baualtersklasse E (1958 bis 1968) repräsentieren (siehe Abb. 163).

**Abb. 163: Übersicht des Deutschen Wohngebäudebestands der Baujahre bis 2009 nach Baualtersklassen und Gebäudegröße [Diefenbach 2013]**


Auswertung der Gebäude- und Wohnungszählung 2011 Stichtag: 9.5.2011		Baualtersklassen										Summe	Anteil
		bis 1860	1861 - 1918	1919 - 1948	1949 - 1957	1958 - 1968	1969 - 1978	1979 - 1983	1984 - 1994	1995 - 2001	2002 - 2009		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
Deutscher Wohngebäudebestand Baujahre bis 2009	<b>EFH</b>												
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.	330	966	1.131	85	1.509	1.507	704	1.160	1.035	775	<b>9.976</b>	55%
	Anzahl Wohnungen in Tsd.	399	1.213	1.389	1.06	1.948	1.915	881	1.397	1.204	858	<b>12.263</b>	31%
	Wohnfläche in Mio. m²	46	135	150	11	218	233	110	178	158	119	<b>1.463</b>	41%
	<b>RH</b>												
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.	148	492	710	447	633	611	335	652	619	384	<b>5.030</b>	28%
	Anzahl Wohnungen in Tsd.	181	617	840	546	749	685	374	722	674	409	<b>5.796</b>	15%
	Wohnfläche in Mio. m²	19	62	82	57	76	79	45	85	80	52	<b>633</b>	18%
	<b>MFH</b>												
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.	54	442	388	35	586	412	146	309	244	85	<b>3.023</b>	17%
	Anzahl Wohnungen in Tsd.	214	2.177	1.911	2.00	3.348	2.313	852	1.826	1.390	461	<b>16.495</b>	42%
	Wohnfläche in Mio. m²	16	163	129	12	225	169	64	133	104	39	<b>1.168</b>	33%
	<b>GMH</b>												
Anzahl Wohngebäude in Tsd.	0,6	28,7	7,4	17,3	34,0	50,1	15,0	28,7	20,9	7,6	<b>210</b>	1%	
Anzahl Wohnungen in Tsd.	11	526	126	308	818	1.366	356	605	408	151	<b>4.674</b>	12%	
Wohnfläche in Mio. m²	0,7	35,8	7,9	17,0	47,1	86,7	21,9	34,8	25,5	10,4	<b>288</b>	8%	
<b>Anzahl Wohngebäude in Tsd.</b>	<b>533</b>	<b>1.929</b>	<b>2.236</b>	<b>1.679</b>	<b>2.762</b>	<b>2.580</b>	<b>1.200</b>	<b>2.150</b>	<b>1.919</b>	<b>1.251</b>	<b>18.239</b>		
<i>Anteil</i>	3%	11%	12%	9%	15%	14%	7%	12%	11%	7%			
<b>Anzahl Wohnungen in Tsd.</b>	<b>806</b>	<b>4.533</b>	<b>4.265</b>	<b>3.915</b>	<b>6.863</b>	<b>6.279</b>	<b>2.463</b>	<b>4.550</b>	<b>3.675</b>	<b>1.880</b>	<b>39.228</b>		
<i>Anteil</i>	2%	12%	11%	10%	17%	16%	6%	12%	9%	5%			
<b>Wohnfläche in Mio. m²</b>	<b>82</b>	<b>396</b>	<b>370</b>	<b>309</b>	<b>567</b>	<b>569</b>	<b>240</b>	<b>431</b>	<b>368</b>	<b>220</b>	<b>3.552</b>		
<i>Anteil</i>	2%	11%	10%	9%	16%	16%	7%	12%	10%	6%			

Gewählte Zuordnung: EFH: freistehende Ein-/Zweifamilienhäuser; RH: Ein-/Zweifamilienhäuser als Doppelhaushälfte, Reihenhaus oder sonstiger Gebäudetyp  
MFH: Mehrfamilienhäuser mit 3-12 Wohnungen, GMH: Mehrfamilienhäuser ab 13 Wohnungen  
Die Angaben beziehen sich ausschließlich auf Wohngebäude (ohne Wohnheim e, ohne "sonstige Gebäude mit Wohnraum", ohne "bewohnte Unterkünfte")

Die Baualtersklasse E weist die höchste Anzahl an Gebäuden (15 %), die größte Anzahl an Wohnungen (17 %) und, gemeinsam mit Baualtersklasse F (1969 bis 1978) den höchsten Anteil an Wohnfläche (16 %) auf.

Für die Berechnungen wurde davon ausgegangen, dass sich die Gebäude in einem weitgehend unsanierten Zustand befinden. Die Eckdaten der Fallbeispiele sind in Tab. 100 zusammengefasst.

**Tab. 100: Charakterisierung der Fallbeispiele**

	<b>Einfamilienhaus</b>	<b>Mehrfamilienhaus</b>
		
Baujahr	1959	1960
Baualtersklasse (Deutsche Wohngebäudetypologie)	E (1958 bis 1968)	E (1958 bis 1968)
Anzahl Wohneinheiten	1	8
Anbausituation	freistehend	einseitig angebaut
Geschosszahl	ein Vollgeschoss, ausgebautes Dachgeschoss, unbeheizter Vollkeller	vier Vollgeschosse, unbeheiztes Dachgeschoss, unbeheizter Vollkeller
Baukonstruktion	Kellerbauteile und Außenwände massiv, Gauben und Dach Holzkonstruktion, Holzfenster, zwei Scheiben Hauseingangs- und Kellertür im Wesentlichen aus Holz, Holzwerkstoffen oder Kunststoff	Kellerbauteile, Außen- und Innenwände sowie oberste Geschossdecke massiv, Kunststofffenster, Isolierverglasung Hauseingangs-, Kelleraußentür und Tür zum Dachgeschoss im Wesentlichen aus Holz, Holzwerkstoffen oder Kunststoff Kellerinnentüren im Wesentlichen aus Metall
Anlagentechnik	BJ 1990, Brennwärtekessel, Erdgas H, indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher, aufgestellt im unbeheizten Bereich Heizungsverteilung als Etagenringverteilung im beheizten Bereich, Warmwasserverteilung Steigstrangverteilung, horizontale Verteilung im unbeheizten Bereich, ohne Zirkulation, gemeinsame Installationswand, Dämmstandard vor 1980	BJ 1990, Brennwärtekessel, Erdgas H, indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher, aufgestellt im unbeheizten Bereich Heizungs- und Warmwasserverteilung als Steigstrangverteilung, horizontale Verteilung im unbeheizten Bereich, mit Zirkulation, mit gemeinsamer Installationswand, Dämmstandard vor 1980
Beheizte Wohnfläche	155,3 m <sup>2</sup>	658,5 m <sup>2</sup>
Netto-Grundfläche	172,9 m <sup>2</sup>	723,0 m <sup>2</sup>
Nutzfläche A <sub>N</sub>	168,2 m <sup>2</sup>	740,9 m <sup>2</sup>
Thermische Hüllfläche	457,3 m <sup>2</sup>	1.019,6 m <sup>2</sup>
Verhältnis Hüllfläche zu Volumen A/V	0,87 1/m	0,44 1/m

### 6.1.1 Erläuterung der Berechnungsgrundlagen, des Vorgehens und der Eingabegrößen

Nachfolgend sind die Grundlagen und einzelnen Schritte der Bilanzierungen sowie die für Bau- und Anlagentechnik verwendeten Eingabegrößen ebenso wie die verwendeten Nutzungsprofile erläutert.

#### Berechnungsgrundlagen

Basis der nachfolgenden Bilanzierungen sind die Berechnungsverfahren für Wohngebäude nach EnEV 2014 (Anlage 1, Abschnitt 2). Hierbei kommt das Verfahren nach DIN V 18599:2011-12<sup>33</sup> zum Einsatz, jedoch erfolgt die Ermittlung des typischen Verbrauchsniveaus nach DIN V 4108-6:2003-06<sup>34</sup> und DIN V 4701-10:2003-08<sup>35</sup>. Im Folgenden wird auf die Angaben von Normteilen und Jahresangaben verzichtet. Die Berechnungen wurden mit der Software ZUB Helena® Ultra v7.55 durchgeführt.

Während in anderen Kapiteln dieses Berichtes die beheizte Wohnfläche als Bezugsgröße verwendet wird, sind spezifische Kennzahlen in dem hier vorliegenden Abschnitt 6.1 auf die gemäß EnEV zu verwendende Nutzfläche  $A_N$  bezogen. Absolute und auf die beheizte Wohnfläche bezogene Werte sind ergänzend im Anhang dargestellt. Die Angaben zum Energiebedarf geben dabei grundsätzlich den oberen Heizwert (Brennwert  $H_S$ ) wieder.

Anders als bei der Normbilanzierung sind in den Endenergiekennwerten der Realbilanzen die nach DIN V 18599 errechneten Verluste der Anlagentechnik durch Übergabe nicht berücksichtigt. Bei der Ermittlung von Wärmeverlusten der Übergabe wird davon ausgegangen, dass Unterschiede zwischen der Raum-Solltemperatur und der realen mittleren Raumtemperatur in einem Gebäude auf die Art der Wärmeübergabe und der Temperaturregelung zurückzuführen sind und die Solltemperatur durch ein Zusammenspiel von Temperaturregelung, Raum, Gebäude und ggf. vorhandenen Störgrößen erhöht wird. Die Differenz zwischen dem unter dieser Voraussetzung ermittelten Heizwärmebedarf und demjenigen, der sich bei idealer Regelung auf die Solltemperatur ergibt, wird als Übergabeverlust bezeichnet. Nach DIN V 18599-5:2011-12 werden Verluste der Wärmeübergabe unter Berücksichtigung von Faktoren für Strahlungseinfluss, den interemittierenden Betrieb und den hydraulischen Abgleich ermittelt, die mit dem Gesamtnutzungsgrad für die Wärmeübergabe im Raum ins Verhältnis gesetzt werden. Auf dieser Grundlage wird der Übergabeverlust als Anteil des Nutzwärmebedarfs ermittelt und kann insbesondere bei unsanierten Gebäuden verhältnismäßig hohe Werte annehmen (bis zu über 40 % des Nutzwärmebedarfs; für die hier gezeigten Beispiele bis zu 18 % des Nutzwärmebedarfs). Allerdings wird bei der Normbilanzierung von einer bestimmten Raum-Solltemperatur ausgegangen, während bei den Realbilanzierungen die (messbare) mittlere Raumtemperatur als Eingabegröße verwendet wird (siehe Abschnitt 4.4). Da die Verluste der Wärmeübergabe in der mittleren Raumtemperatur bereits berücksichtigt sind, wurden die rechnerisch ermittelten Übergabeverluste in den nachfolgend dargestellten Kennwerten von Realbilanzen nicht mit einbezogen.

<sup>33</sup> berichtigt durch DIN V 18599-5 Berichtigung 1 2013-05 und durch DIN V 18599-8 Berichtigung 1 2013-05

<sup>34</sup> geändert durch DIN V 4108-6 Berichtigung 1 2004-03

<sup>35</sup> geändert durch A1:2012-07

## Vorgehen

Bei der Berechnung der Norm- und Realbilanzen für die zwei zuvor beschriebenen Fallbeispiele wurde wie folgt vorgegangen:

### 1. Standardbilanzierung des Ausgangszustands

Zur Bestimmung des typischen Verbrauchsniveaus wurde der Ausgangszustand der betrachteten Fallbeispiele zunächst mittels Normberechnung nach DIN V 4108/4701 ermittelt. Mit gleichen Eingabegrößen erfolgte zusätzlich eine Standardbilanzierung nach DIN V 18599.

### 2. Bestimmung des typischen Verbrauchsniveaus

Mithilfe der in Abschnitt 4.3.9 dargestellten Kalibrierungsfunktion wurden dem nach DIN V 4108/4701 errechneten Normenergiebedarf ein typischer Verbrauch und eine typische Streuung zugeordnet.

### 3. Realbilanzierung des Ausgangszustands, Anpassung auf das typische Verbrauchsniveau bei mittlerer Nutzung

Auf Basis des Eingangsdatensatzes wurde eine Realbilanz nach DIN V 18599 gerechnet. Hierfür wurde ein Nutzungsprofil für einen typischen bzw. mittleren Nutzer gemäß Kapitel 4.4 verwendet. Anschließend wurden weitere, mit größeren Unsicherheiten behaftete Eingangsgrößen (z. B. U-Werte) so modifiziert, dass diese Berechnung der Realbilanz das typische Verbrauchsniveau bei mittlerer Nutzung abbildet.

### 4. Exemplarische Realbilanzierung des Ausgangszustands für verschiedene Nutzungsintensitäten

Aufbauend auf der an das typische Verbrauchsniveau bei mittlerer Nutzung angepassten Bilanzkonfiguration wurde der Ausgangszustand des Gebäudes unter Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzungsintensitäten betrachtet. Exemplarisch wurden die Bilanzen für das Einfamilienhaus mit drei unterschiedlichen Nutzungsprofilen, die für das Mehrfamilienhaus mit zwei Nutzungsprofilen berechnet und mit den typischen Streuungen des mittleren Verbrauchsniveaus verglichen.

### 5. Bilanzierung von Modernisierungszuständen

Die Bilanzierungen werden für zwei Modernisierungszustände wiederholt. Unter Verwendung der im vorherigen Schritt betrachteten Nutzerprofile werden so Einsparpotentiale bei gleicher oder wechselnder Nutzung aufgezeigt.

## Eingabegrößen Gebäude und Anlagentechnik

Die für die verschiedenen Bilanzierungsvarianten verwendeten Eingabegrößen für Bau- und Anlagentechnik sind in Tab. 101 und Tab. 102 zusammengefasst.

Bei der Standardbilanzierung des Ausgangszustands wurden für den Wärmeschutz pauschale U-Werte nach den Tabellen 2 und 3 der Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverarbeitung im Wohngebäudebestand [BMWi/BMUB 2015] verwendet. Für die Realbilanzierung wurden die U-Werte so modifiziert, dass die Berechnung das typische Verbrauchsniveau abbildet. Im Falle des Einfamilienhauses wurde zudem die Länge der horizontalen Warmwasserverteilung an die realen Bedingungen des Gebäudes angepasst. Bei der Wärmeversorgung wurde von einem vorhandenen Gas-Brennwertkessel und einem indirekt beheizten Trinkwarmwasserspeicher, beide Baujahr 1990 ausgegangen.

Der Wärmeschutz der Modernisierungsvariante 1 entspricht den Anforderungen der KfW an Einzelmaßnahmen, der Wärmeschutz der Modernisierungsvariante 2 den Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus 55. Bei beiden Modernisierungsvarianten wurde davon ausgegangen, dass Kessel und Warmwasserspeicher erneuert und in unbeheizten Bereichen befindliche Leitungen nachträglich gedämmt werden. Bei der Modernisierungsvariante 2 wurde zudem eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung berücksichtigt.

**Tab. 101: Verwendete Eingabegrößen der Bau- und Anlagentechnik für das Fallbeispiel Einfamilienhaus**

	Ausgangszustand Normbilanzierung	Ausgangszustand Realbilanzierung	Modernisierungs- variante 1	Modernisierungs- variante 2
<b>Bautechnik</b>				
<b>Wärmebrückenzuschlag [W/(m²K)]</b>	0,10	0,03	0,10	0,05
<b>U-Werte [W/(m²K)]</b>	Pauschalwerte gem. [BMW/BMUB 2015]	nach Anpassung an das typische Verbrauchs-niveau	gemäß KfW- Anforderungen an Einzelmaßnahmen [KfW 2016]	Wärmeschutz gem. Anforderungen an KfW-Effizienzhaus 55 [KfW 2016]
Bodenplatte	1,20	1,00	0,25	0,25
Kellerdecke	1,00	0,90	0,25	0,25
Außenwände	1,40	0,90	0,20	0,18
Fenster	2,70	1,90	0,95	0,80
Hauseingangstür	2,90	2,90	1,30	0,80
Gaubeiwände	0,50	0,50	0,20	0,18
Außenwand KG	1,40	0,90	0,25	0,25
Seitl. Innenwand KG	1,40	0,90	0,25	0,25
Wand zum Flur KG	1,40	0,90	0,25	0,25
Kellertür	2,90	2,90	1,30	1,20
Oberste Geschossdecke	0,80	0,65	0,14	0,13
Steildach	1,40	0,65	0,14	0,13
Gaubendächer	1,40	0,65	0,20	0,13
Dachterrasse über EG	1,30	1,00	0,14	0,13
<b>H<sub>T</sub>' [W/(m²K)]</b>	1,238	0,799	0,321	0,237
<b>Anlagentechnik</b>				
<b>Wärmeversorgung</b>	<p>Brennwertkessel Erdgas H + indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher, BJ 1990, aufgestellt im unbeheizten Bereich Vorlauf-/Rücklauf-temperatur 70/55 °C Heizungsverteilung: Etagenringtyp im beheizten Bereich, nicht hydraulisch abgeglichen Pumpe überdimensioniert und unregelt Übergabe mittels Heizkörpern an Außenwänden, P-Regler</p> <p>Warmwasserverteilung: Steigstrangtyp, horizontale Verteilung im unbeheizten Bereich, ohne Zirkulation, gemeinsame Installationswand vorhanden Dämmstandard der Verteilungen vor 1980</p>		<p>Brennwertkessel verbessert, Erdgas H, + indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher BJ 2017 Vorlauf-/Rücklauf-temperatur 55/45 °C ohne Modernisierung der Heizungsverteilung und -übergabe, jedoch Heizung hydraulisch abgeglichen, Pumpe bedarfsausgelegt, Pumpenregelung mit variabler Druckdifferenz Dämmung der horizontalen Warmwasserverteilung im unbeheizten Bereich Dämmung der horizontalen Verteilungen für Warmwassernach 1995, Dämmstandard der übrigen Verteilungen vor 1980</p>	
<b>Länge der horizontalen Verteilung der Warmwasserverteilung im unbeheizten Bereich</b>	65,49 m	1,50 m	1,50 m	1,50 m
<b>Wohnraumlüftung</b>				Zu- und Abluftsystem BJ 2017, ganzjahresbetrieb, mit elektrischer Vorerwärmung, DC-Motoren, zentral, Wärmebereitstellungsgrad 0,8, Dichtheitsprüfung nach Fertigstellung

**Tab. 102: Verwendete Eingabegrößen der Bau- und Anlagentechnik für das Fallbeispiel Mehrfamilienhaus**

Bauteil	Ausgangszustand Normbilanzierung	Ausgangszustand Realbilanzierung	Modernisierungsvariante 1	Modernisierungsvariante 2
<b>Bautechnik</b>				
<b>Wärmebrückenzuschlag [W/(m²K)]</b>	0,10	0,05	0,10	0,05
<b>U-Werte [W/(m²K)]</b>	Pauschalwerte gem. [BMWi/BMUB 2015]	nach Anpassung an das typische Verbrauchsniveau	gemäß KfW-Anforderungen an Einzelmaßnahmen [KfW 2016]	Wärmeschutz gem. Anforderungen an KfW-Effizienzhaus 55 [KfW 2016]
Bodenplatte	1,20	1,00	0,25	0,50
Kellerdecke	1,00	0,95	0,25	0,23
Außenwände	1,40	0,90	0,20	0,18
Fenster	3,00	2,50	0,95	0,80
Hauseingangstür + Außentüren KG	2,90	2,90	1,30	0,80+ 1,20
Seitl. Innenwand KG	1,40	1,00	0,25	1,20
Wand zum Flur KG	1,40	1,00	0,25	0,23
Kellertür	4,00	4,00	1,30	1,80
Innenwände DG	1,40	1,00	0,25	0,23
Tür zum DG	2,90	2,90	1,30	1,80
Oberste Geschossdecke	2,10	1,00	0,14	0,13
Oberster Geschossdecke TRH	2,10	1,00	0,14	0,13
Dach TRH	1,30	1,00	0,14	0,13
<b>H<sub>T</sub>' [W/(m²K)]</b>	1,574	1,065	0,369	0,280
<b>Anlagentechnik</b>				
<b>Wärmeversorgung</b>	<p>Brennwertkessel Erdgas H + indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher, BJ 1990, aufgestellt im unbeheizten Bereich</p> <p>Vorlauf-/Rücklauf-temperatur 70/55 °C</p> <p>Heizungsverteilung: Steigstrangtyp, horizontale Verteilung im beheizten Bereich, nicht hydraulisch abgeglichen</p> <p>Pumpe überdimensioniert und ungeregelt</p> <p>Übergabe mittels Heizkörpern an Außenwänden, P-Regler</p> <p>Warmwasserverteilung: Steigstrangtyp, horizontale Verteilung im unbeheizten Bereich, mit Zirkulation, gemeinsame Installationswand vorhanden</p> <p>Dämmstandard der Verteilungen vor 1980</p>		<p>Brennwertkessel verbessert, Erdgas H, + indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher BJ 2017</p> <p>Vorlauf-/Rücklauf-temperatur 55/45 °C</p> <p>ohne Modernisierung der Heizungsverteilung und -übergabe, jedoch</p> <p>Heizung hydraulisch abgeglichen,</p> <p>Pumpe bedarfsausgelegt, Pumpenregelung mit variabler Druckdifferenz</p> <p>Dämmung der horizontalen Warmwasserverteilung im unbeheizten Bereich</p> <p>Dämmung der horizontalen Verteilungen nach 1995</p> <p>Dämmstandard der übrigen Verteilungen vor 1980</p>	
<b>Wohnraumlüftung</b>				<p>Zu- und Abluftsystem BJ 2017. ganzjahresbetrieb, mit elektrischer Vorerwärmung, DC-Motoren, zentral, Wärmebereitstellungsgrad 0,8</p> <p>Dichtheitsprüfung nach Fertigstellung</p>

## Eingabegrößen Nutzerverhalten

Während die Normbilanz mit den Wohnnutzungsprofilen der DIN V 18599 berechnet wird, wird die Realbilanz mit den in Kapitel 4.4 vorgestellten Nutzungsprofilen für einen typischen bzw. mittleren Nutzer im Ein- oder Mehrfamilienhaus verwendet. Die Eingabegrößen sind jedoch nicht nur von der Gebäudegröße, sondern auch vom Dämmstandard des Gebäudes abhängig. Für die unterschiedlichen Modernisierungsvarianten ergeben sich deshalb jeweils unterschiedliche Nutzerprofile (siehe Tab. 103 und Tab. 104).

Neben der mittleren Nutzung wurden bei den nachfolgenden Berechnungen auch weitere mögliche Nutzungsprofile berücksichtigt, anhand derer der Einfluss von Nutzern auf im Gebäude anfallenden Energiebedarf verdeutlicht werden soll. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Tendenz der jeweiligen Nutzer sich sparsam oder verschwenderisch zu verhalten vor und nach Modernisierung annähernd gleich bleibt.

Exemplarisch wurden für das Fallbeispiel Einfamilienhaus folgende Nutzungsprofile (NP) definiert:

- Nutzungsprofil EFH.1 (NP\_EFH.1)  
1 Person / tagsüber wenig anwesend / eher kühle Temperaturen / wenig beheizte Fläche / geringe interne Wärmequellen
- Nutzungsprofil EFH.2 (NP\_EFH.2)  
2 Personen / tagsüber wochentags nicht anwesend
- Nutzungsprofil EFH.3 (NP\_EFH.3)  
6 Personen / erhöhte mittlere Raumtemperatur / tagsüber anwesend / Nutzung aller Räume / hohe Luftwechselrate

Für das Fallbeispiel Mehrfamilienhaus wurden zwei ergänzende Nutzungsprofile unterschieden:

- Nutzungsprofil MFH.1 (NP\_MFH.1)  
1 Person pro Wohnung / eher kühle Temperaturen / wenig beheizte Fläche / geringe interne Wärmequellen
- Nutzungsprofil MFH.2 (NP\_MFH.1)  
4 Personen pro Wohnung / erhöhte mittlere Raumtemperatur / Nutzung der gesamten Fläche / erhöhte Luftwechselrate

Beim Mehrfamilienhaus spiegelt dieser Ansatz einen Ausnahmefall von gleichen Nutzungen für alle Wohnungen wider. In der Praxis wird man tendenziell eher Mischungen unterschiedlicher Nutzertypen finden, wodurch sich mit zunehmender Wohnungszahl die bezüglich Nutzerverhalten extremen Gebäude immer mehr einem Gebäude mit mittlerer Nutzung annähert (siehe Fehlerbetrachtung in Kapitel 4.6).

Die im Rahmen der Bilanzierungen verwendeten Eingabegrößen zum Nutzerverhalten sind in Tab. 103 und Tab. 104 zusammengefasst.

**Tab. 103: Verwendete Eingabegrößen für das Fallbeispiel Einfamilienhaus**

	Standard DIN V 18599-10:2011 Wohngebäude Einfamilienhäuser	Nutzungsprofil EFH.0 mittlere Nutzung			Nutzungsprofil EFH.1			Nutzungsprofil EFH.2			Nutzungsprofil EFH.3		
		unsaniert	Mittlerer Dämmstandard	Hoher Dämmstandard	unsaniert	Mittlerer Dämmstandard	Hoher Dämmstandard	unsaniert	Mittlerer Dämmstandard	Hoher Dämmstandard	unsaniert	Mittlerer Dämmstandard	Hoher Dämmstandard
<sup>1</sup> Raum-Solltemperatur <sup>2</sup> mittlere Raumtemperatur [°C]	20,0 <sup>1</sup>	20,0 <sup>2</sup>	22,0 <sup>2</sup>	22,5 <sup>2</sup>	18,0 <sup>2</sup>	19,2 <sup>2</sup>	19,5 <sup>2</sup>	20,0 <sup>2</sup>	22,0 <sup>2</sup>	22,5 <sup>2</sup>	22,0 <sup>2</sup>	22,8 <sup>2</sup>	23,0 <sup>2</sup>
Anteil der mitbeheizten Fläche an der Gesamtfläche	0,25	0,4			0,6			0,4			0,0		
Interne Wärmequellen <sup>36</sup> [Wh/(m²d)]	45	45			33			65			87		
Tägliche Betriebszeit Hei- zung	6 bis 23 Uhr	6 bis 22 Uhr			12 bis 22 Uhr			12 bis 22 Uhr			5 bis 23 Uhr		
Nutzwärmebedarf Warm- wasser [kWh/(m²a)]*	11,0	11,6			1,9 (1 Person)			7,7 (2 Personen)			23,2 (6 Personen)		
Nutzungsbedingter Min- destaußenluftwechsel [h <sup>-1</sup> ]	0,5	0,09	0,41	0,5	0,06			0,23			0,71		
Abminderungsfaktor infolge von Verschmutzung	1,0	0,9			0,8			0,3			0,9		

\* Werte sind auf Netto-Grundfläche (NGF) bezogen.

**Tab. 104: Verwendete Eingabegrößen für das Fallbeispiel Mehrfamilienhaus**

	Standard DIN V 18599-10:2011 Wohngebäude Mehrfamilienhäuser	Nutzungsprofil MFH.0 mittlere Nutzung			Nutzungsprofil MFH.1			Nutzungsprofil MFH.2		
		unsaniert	Mittlerer Dämmstandard	Hoher Dämmstandard	unsaniert	Mittlerer Dämmstandard	Hoher Dämmstandard	unsaniert	Mittlerer Dämmstandard	Hoher Dämmstandard
<sup>1</sup> Raum-Solltemperatur <sup>2</sup> mittlere Raumtemperatur [°C]	20,0 <sup>1</sup>	20,0 <sup>2</sup>	22,0 <sup>2</sup>	22,5 <sup>2</sup>	18,0 <sup>2</sup>	19,6 <sup>2</sup>	20,0 <sup>2</sup>	22,0 <sup>2</sup>	22,8 <sup>2</sup>	23,0 <sup>2</sup>
Anteil der mitbeheizten Fläche an der Gesamtfläche	0,15	0,15			0,5			0,0		
Interne Wärmequellen <sup>36</sup> [Wh/(m²d)]	90	90			33			87		
Tägliche Betriebszeit Hei- zung	6 bis 23 Uhr	5 bis 23 Uhr			6 bis 22 Uhr			5 bis 23 Uhr		
Nutzwärmebedarf Warm- wasser [kWh/(m²a)]*	15,0	14,4			3,6 (1 Person/Whg.)			29,2 (4 Personen/Whg.)		
Nutzungsbedingter Min- destaußenluftwechsel [h <sup>-1</sup> ]	0,5	0,09	0,41	0,5	0,06			0,71		
Abminderungsfaktor infolge von Verschmutzung	1,0	0,9			0,8			0,9		

\* Werte sind auf Netto-Grundfläche (NGF) bezogen.

<sup>36</sup> Nutzungsprofile „Standard“ und „mittlere Nutzung“ entsprechen den Ansätzen der DIN V 18599. Für die Nutzungsintensitäten „niedrig“, „typisch“ und „hoch“ wurden die wohnflächenbezogenen Pauschalwerte 1,5, 3,0 und 4,0 W/m<sup>2</sup> angesetzt.



## 6.1.2 Standardbilanzierung des Ausgangszustands, Bestimmung des typischen Verbrauchsniveaus im Ausgangszustand und Realbilanzierung für einen typischen bzw. mittleren Nutzer

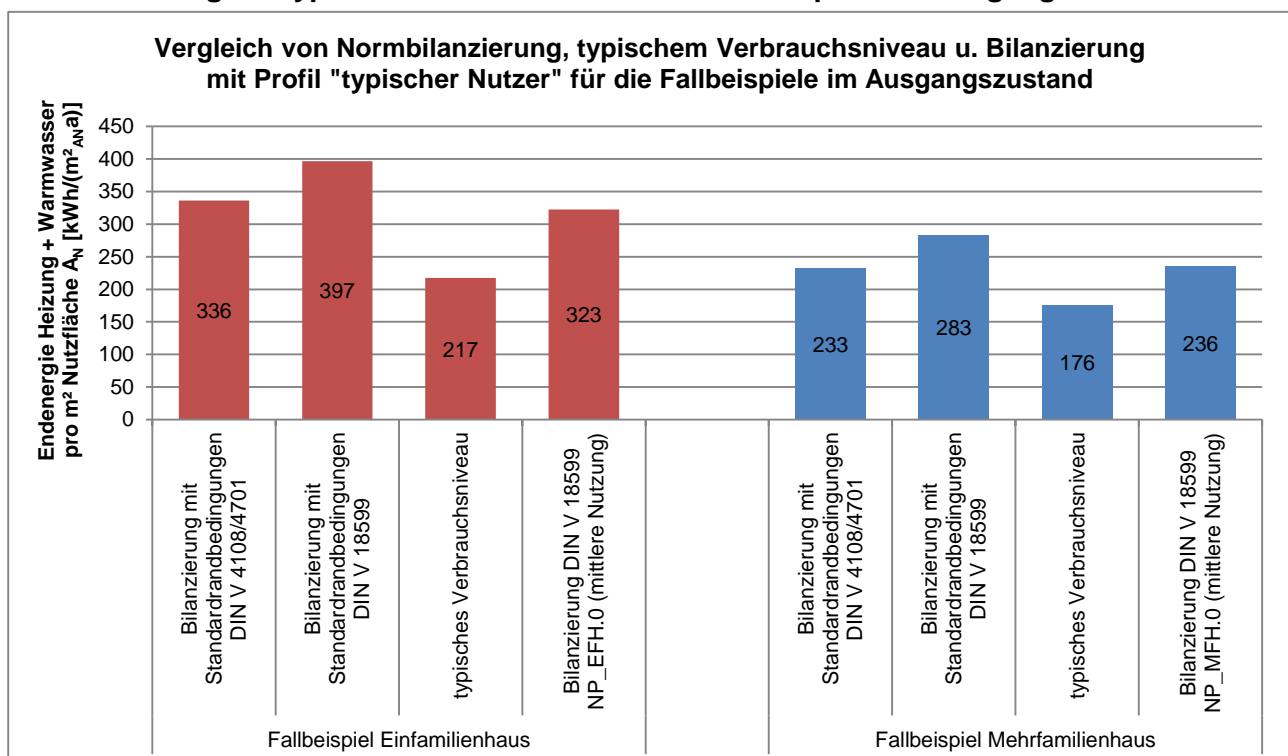
Für den jeweiligen Ausgangszustand der beiden Fallbeispiele wurden Energiebilanzen gemäß den Vorgaben der EnEV 2014 erstellt und mit dem typischen Verbrauchsniveau verglichen (siehe Abb. 164).

Da sich die in Kapitel 4.3 beschriebenen Verbrauchsprognosefunktionen auf Norm-Endenergiebedarfe nach DIN V 4108/4701 beziehen, wurden die zwei Fallbeispiele zunächst nach diesem Rechenverfahren bilanziert. Bezogen auf die Nutzfläche  $A_N$  ergibt sich für das Einfamilienhaus ein Endenergiebedarf von 336 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANA</sub>), für das Mehrfamilienhaus ein Bedarf von 233 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANA</sub>). Die nach DIN V 18599 errechneten Kennwerte liegen bei 397 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANA</sub>) für das Einfamilienhaus und 283 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANA</sub>) für das Mehrfamilienhaus und damit 18 % bzw. 21 % höher als die Bedarfe nach DIN V 4108/4701.

Das wie in Kapitel 4.3 beschrieben abgeleitete typische Verbrauchsniveau des Einfamilienhauses liegt bei 217 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANA</sub>) und damit 35 % bis 45 % niedriger als die Normbilanzierung. Das typische Verbrauchsniveau des Mehrfamilienhauses liegt bei 176 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANA</sub>) und damit 24 % bis 38 % unter der Normbilanzierung.

Ersetzt man in einem ersten Schritt zur Realbilanzierung die Nutzungsprofile der DIN V 18599 durch die in Abschnitt 4.4 beschriebene mittlere Nutzung (siehe Tab. 103 und Tab. 104), so liegt der Kennwert des Einfamilienhauses bei 323 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANA</sub>) und somit 49 % über dem typischen Verbrauchsniveau. Der Kennwert des Mehrfamilienhauses liegt bei 236 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANA</sub>) und damit 34 % über dem typischen Verbrauchsniveau.

**Abb. 164: Vergleich von Standardbilanzierung, typischem Verbrauchsniveau und Bilanzierung mit typischem Nutzer für die zwei Fallbeispiele im Ausgangszustand**



Die Verwendung der Profile für die mittlere Nutzung führt insofern zwar zu einer Verringerung der Endenergiebedarfe und damit zu einer Annäherung an das jeweils typische Verbrauchsniveau, die große Diskrepanz zwischen den Bedarfskennwerten und dem Verbrauchsniveau lassen sich dadurch jedoch nur zum Teil erklären.

Zur Abbildung des typischen Niveaus sind deshalb Anpassungen weiterer, mit größeren Unsicherheiten behafteter Eingangsgrößen (z. B. U-Werte, Wärmebrückenzuschlag) erforderlich. Die

für die auf das typische Verbrauchsniveau angepassten Realbilanzen verwendeten Eingabegrößen sind in Tab. 101 und Tab. 102 zusammengefasst.

### 6.1.3 Vergleich der typischen Streuung mit Realbilanzierungen für unterschiedliche Nutzungsintensitäten

Die auf das jeweils typische Verbrauchsniveau angepassten Realbilanzen wurden für unterschiedliche Nutzungsprofile berechnet, die, wie in Abschnitt 6.1.1 beschrieben, verschiedene Nutzungsintensitäten abbilden.

Abb. 165 zeigt die jeweils typischen Verbrauchsniveaus und Streubreiten im Vergleich zu den mit den unterschiedlichen Nutzerprofilen berechneten Realbilanzen.

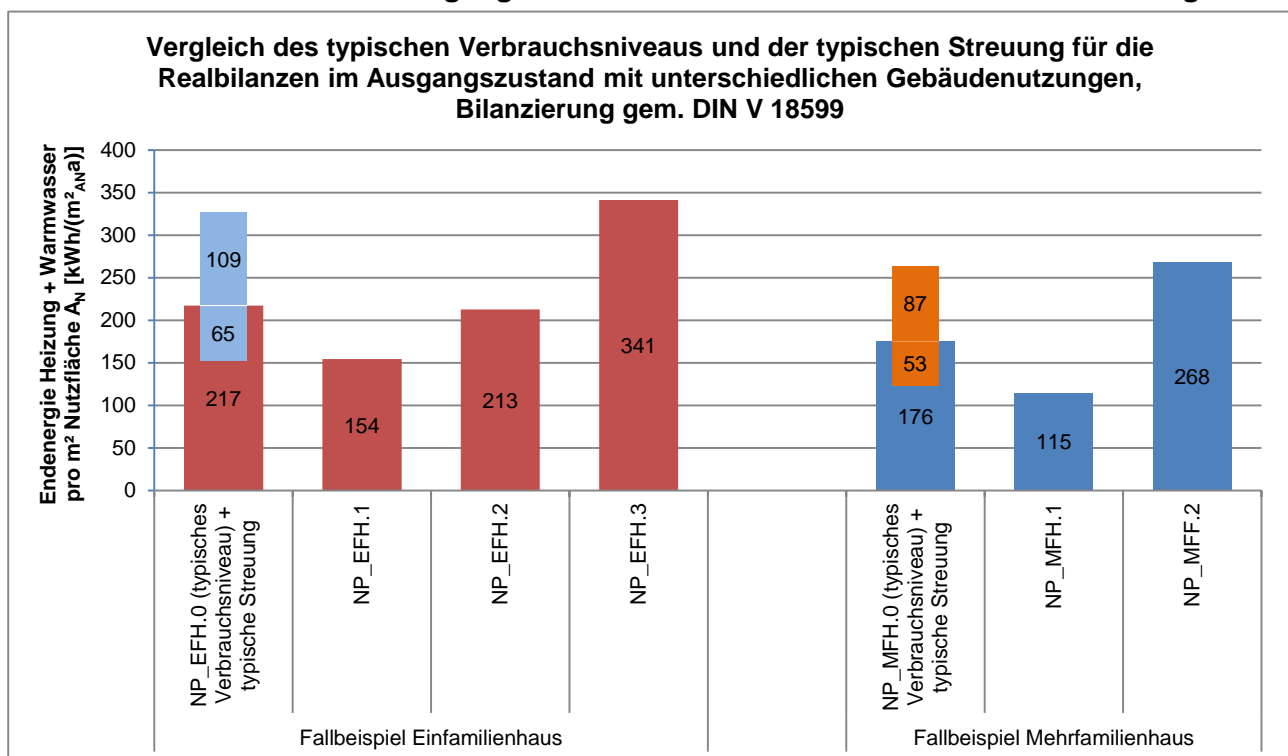
Ermittelt man die typische Streuung wie in Kapitel 4.3.8 beschrieben, liegt die für das Verbrauchsniveau des Einfamilienhauses typische Streubreite zwischen 152 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANa</sub>) und 326 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANa</sub>). Wie aus Abb. 165 ersichtlich, bildet das Profil EFH.1 (eine Person, niedrige Nutzungsintensität) ein Beispiel für den unteren Bereich, das Profil EFH.3 (6 Personen, hohe Nutzungsintensität) liegt geringfügig über den oberen Bereich der Streuung (+ 5 %), das Profil EFH.2 (2 Personen) entspricht einer mittleren Nutzung.

Für das Mehrfamilienhaus liegt die typische Streuung zwischen 123 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANa</sub>) und 263 kWh/(m<sup>2</sup><sub>ANa</sub>). Hier liegt der mit dem Profil MFH.1 (1 Person pro Wohnung, niedrigere Nutzungsintensität) ermittelte Bedarf geringfügig unterhalb der typischen Spannbreite (-7 %), das Profil MFH.2 (4 Personen pro Wohnung, erhöhte Nutzungsintensität) am oberen Randbereich (+2 %).

Damit entsprechen die exemplarisch ausgewählten Nutzungsprofile etwa den in Kapitel 4 empirisch ermittelten Streubreiten. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die empirisch ermittelte Streuung auch die Unsicherheit der bau- und anlagentechnischen Daten mit enthält (siehe Kapitel 4.5), so dass ein unmittelbarer Vergleich nicht möglich ist.

Zwischen den Kennwerten der Profile mit niedriger und denen mit hoher Nutzungsintensität liegt bei beiden Fallbeispielen eine Erhöhung des Endenergiebedarfs um mehr als das Doppelte (Faktor 2,2 beim Einfamilienhaus; Faktor 2,3 beim Mehrfamilienhaus).

**Abb. 165: Vergleich des typischen Verbrauchsniveaus und der typischen Streuung für die Realbilanzen im Ausgangszustand mit unterschiedlichen Gebäudenutzungen**



### 6.1.4 Vergleich von Modernisierungsvarianten und Einsparpotentialen

Zusätzlich zum Ausgangszustand wurden zwei Modernisierungsvarianten betrachtet (Eingabegrößen siehe Abschnitt 6.1.1). Abb. 166 und Abb. 167 zeigen die Ergebnisse der Realbilanzierungen der Modernisierungen unter Berücksichtigung der verschiedenen Nutzungsprofile.

Geht man davon aus, dass die Streubreite der üblichen Nutzung auch hier den in Kapitel 4.3.8 abgeleiteten Grenzen entspricht, liegt die Streuung des Endenergiebedarfs für das Einfamilienhaus bei Modernisierungsvariante 1 zwischen  $92 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANA}})$  und  $196 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANA}})$ . Der mit dem Profil EFH.1 ermittelte Kennwert liegt in dieser Variante unterhalb des unteren Grenzwertes (-14 %), bei Berücksichtigung des Profils EFH.3 wird der obere Grenzwert der Streuung um 12 % unterschritten.

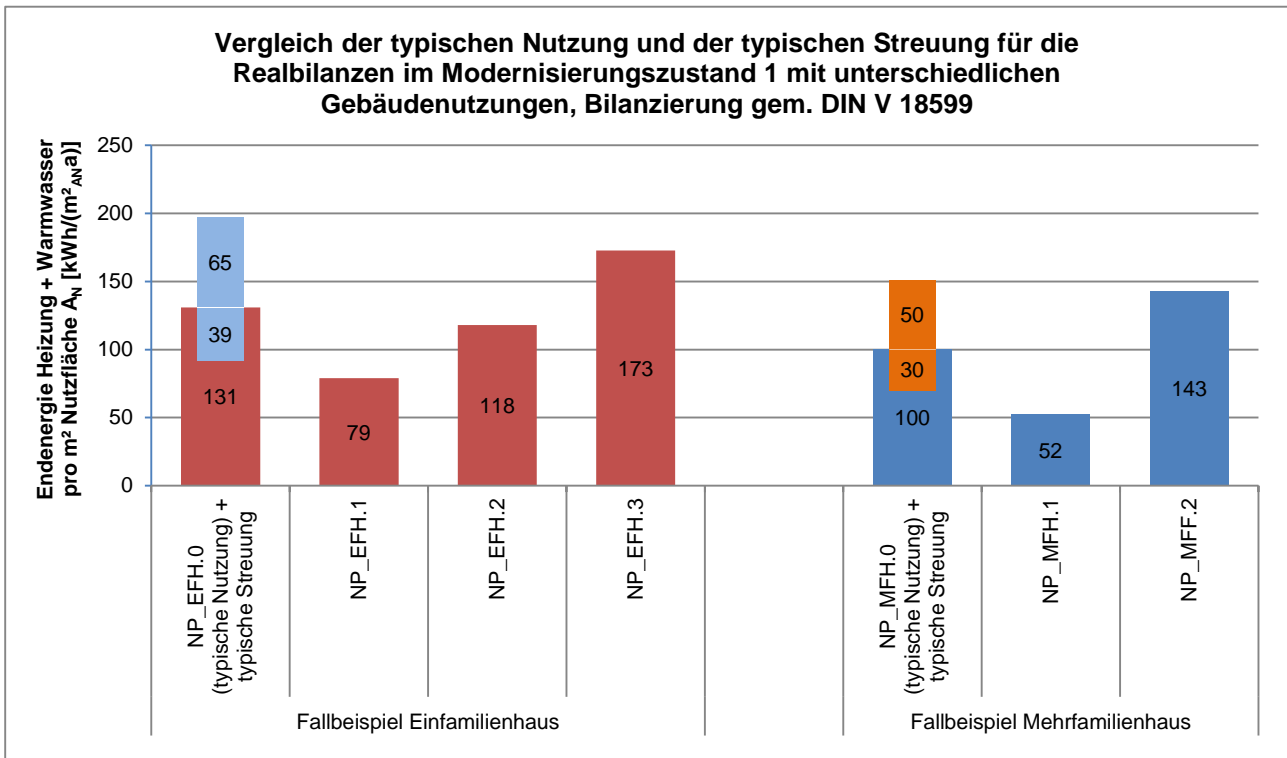
Für das Mehrfamilienhaus liegt die typische Streuung bei Modernisierungsvariante 1 zwischen  $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANA}})$  und  $150 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANA}})$ . Hier liegt der mit dem Profil MFH.1 (1 Person pro Wohnung, niedrigere Nutzungsintensität) ermittelte Bedarf deutlich unter der typischen Spannweite (-26 %), was auf die geringe Belegungsdichte und damit einen niedrigen Bedarf an Warmwasser zurückzuführen ist. Das Profil MFH.2 (4 Personen pro Wohnung, erhöhte Nutzungsintensität) bildet weiterhin den oberen Randbereich ab (-5 %).

Für die Modernisierungsvariante 2 liegt die Streuung des Endenergiebedarfs für das Einfamilienhaus zwischen  $55 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANA}})$  und  $118 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANA}})$ . Der mit dem Profil EFH.1 ermittelte Kennwert liegt ähnlich wie bei der ersten Variante -15 % unterhalb der typischen Streuung, bei Berücksichtigung des Profils EFH.3 wird der obere Grenzwert der Streuung um 7 % unterschritten. Für das Mehrfamilienhaus liegt die typische Streuung bei Modernisierungsvariante 2 zwischen  $42 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANA}})$  und  $89 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANA}})$ . Auch hier fällt der mit dem Profil MFH.1 (1 Person pro Wohnung, niedrigere Nutzungsintensität) ermittelte Bedarf weiter unter den unteren Grenzwert der typischen Spannweite (-21 %), das Profil MFH.2 (4 Personen pro Wohnung, erhöhte Nutzungsintensität) liegt geringfügig über dem oberen Grenzwert der Spannweite (+6 %) und bildet damit weiterhin den oberen Randbereich der Spanne ab.

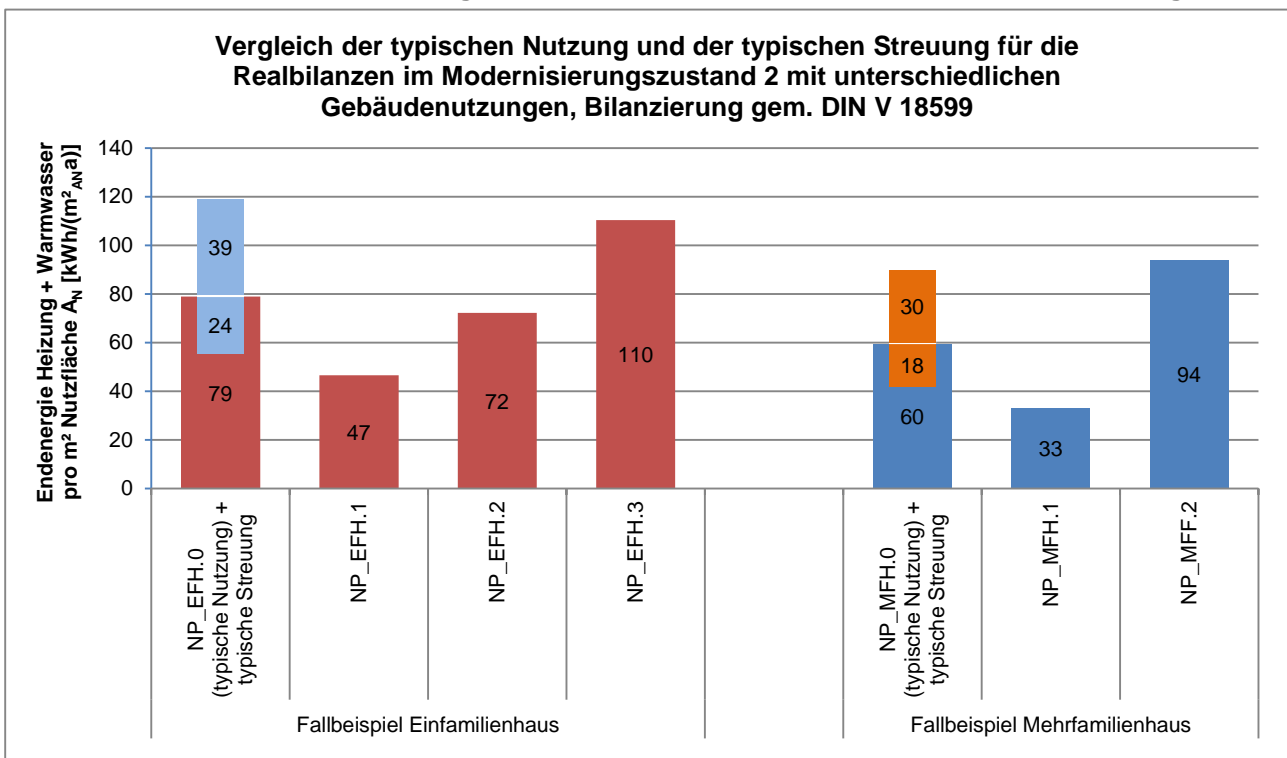
Damit liegen die exemplarischen Betrachtungen für das Einfamilienhaus bei beiden Modernisierungsvarianten tendenziell etwas unterhalb der aus Kapitel 4 abgeleiteten typischen Streuwerte. Gleiches gilt für das Profil mit niedriger Nutzungsintensität im Mehrfamilienhaus (MFH.1), während das Profil mit hoher Nutzungsintensität (MFH.2) dort weiterhin den oberen Rand der Streuung abbildet.

Die Spreizung zwischen den exemplarisch betrachteten Profilen mit niedriger und hoher Nutzungsintensität führt bei der Modernisierungsvariante 1 zu einem Faktor von 2,2 für das Einfamilienhaus bzw. von 2,8 für das Mehrfamilienhaus. Bei der Modernisierungsvariante 2 liegt der Faktor für das Einfamilienhaus bei 2,4, der für das Mehrfamilienhaus bei 2,8. Der Einfluss des hier exemplarisch abgebildeten Nutzerverhaltens liegt demnach für das Einfamilienhaus bei allen drei betrachteten Modernisierungszuständen relativ gleichbleibend, die Faktoren zwischen niedriger und hoher Nutzungsintensität liegen zwischen 2,2 und 2,4. Für das Fallbeispiel des Mehrfamilienhauses hingegen nimmt der Einfluss des Nutzerverhaltens bei den hier dargestellten Beispielen nach Modernisierung von 2,3 auf 2,8 zu.

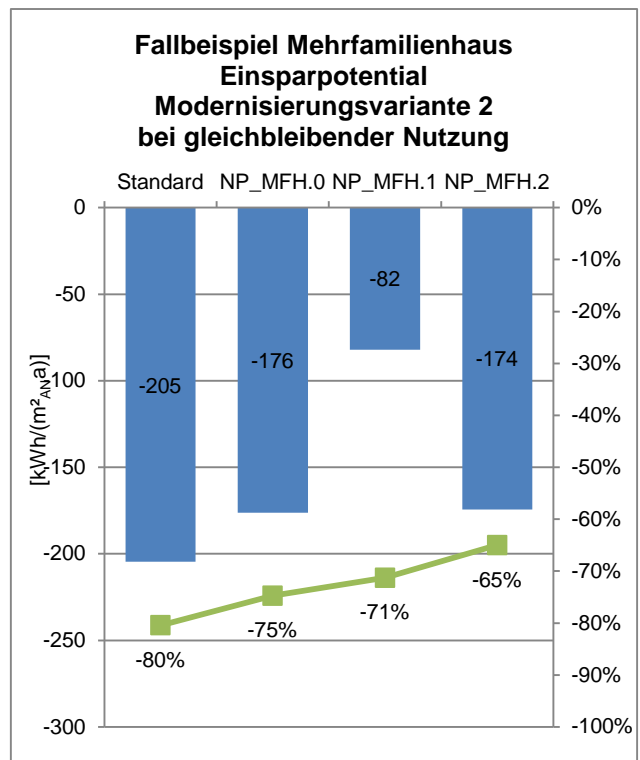
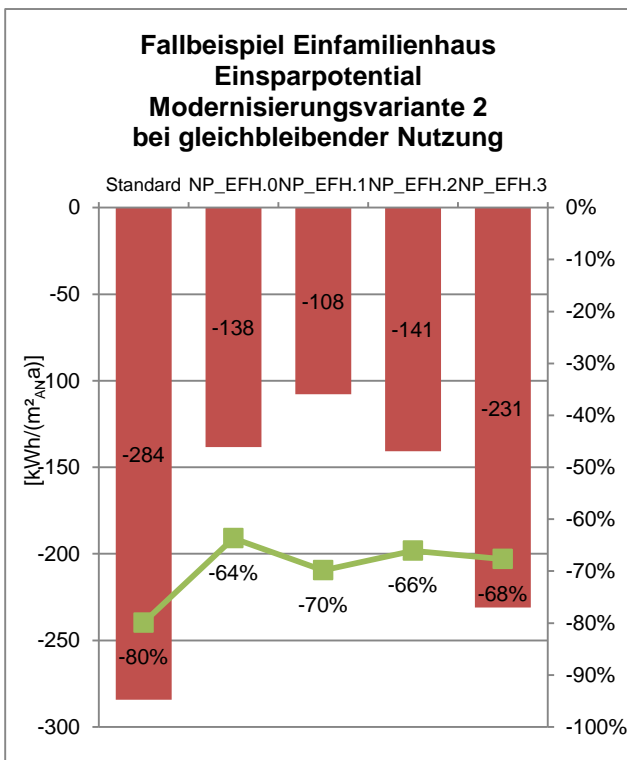
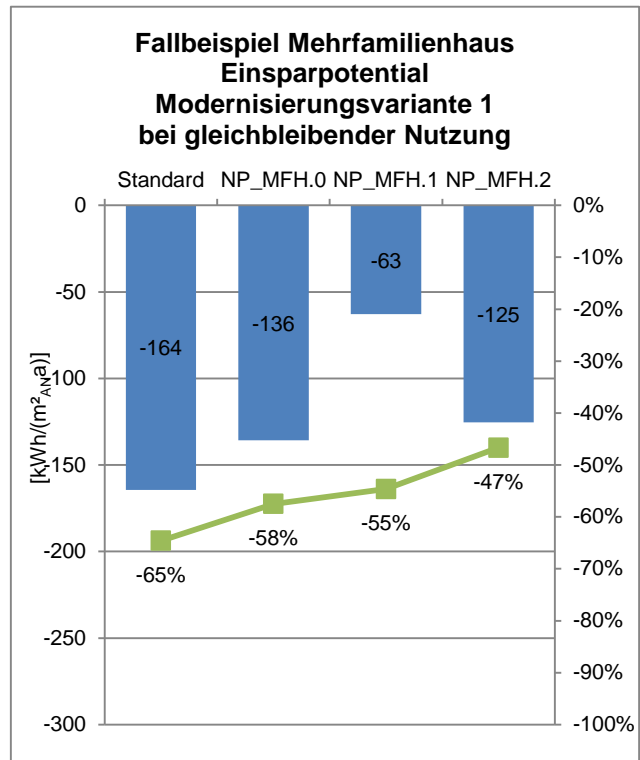
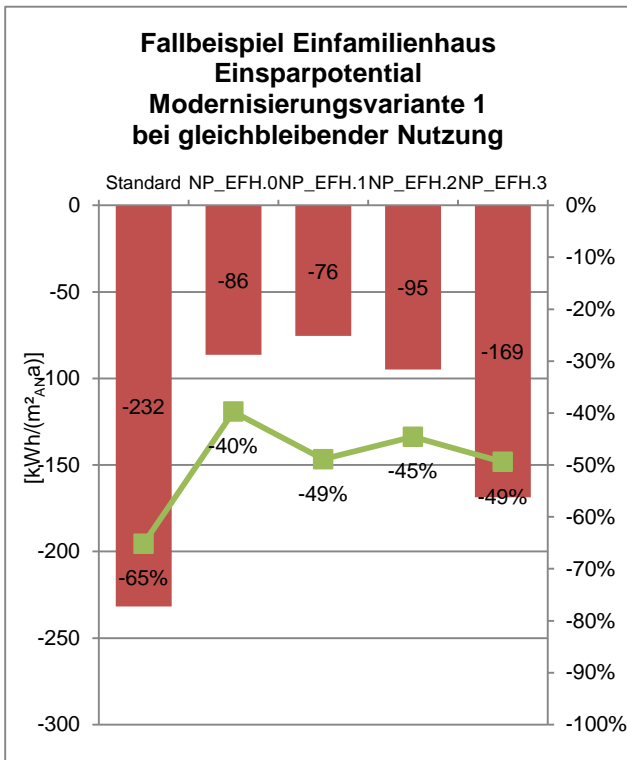
**Abb. 166: Vergleich der typischen Nutzung und der typischen Streuung für die Realbilanzen im Modernisierungszustand 1 mit unterschiedlichen Gebäudenutzungen**



**Abb. 167: Vergleich der typischen Nutzung und der typischen Streuung für die Realbilanzen im Modernisierungszustand 2 mit unterschiedlichen Gebäudenutzungen**



**Abb. 168: Vergleich von Einsparpotentialen der Modernisierungsvarianten gegenüber dem unsanierten Zustand bei gleichbleibender Nutzung**



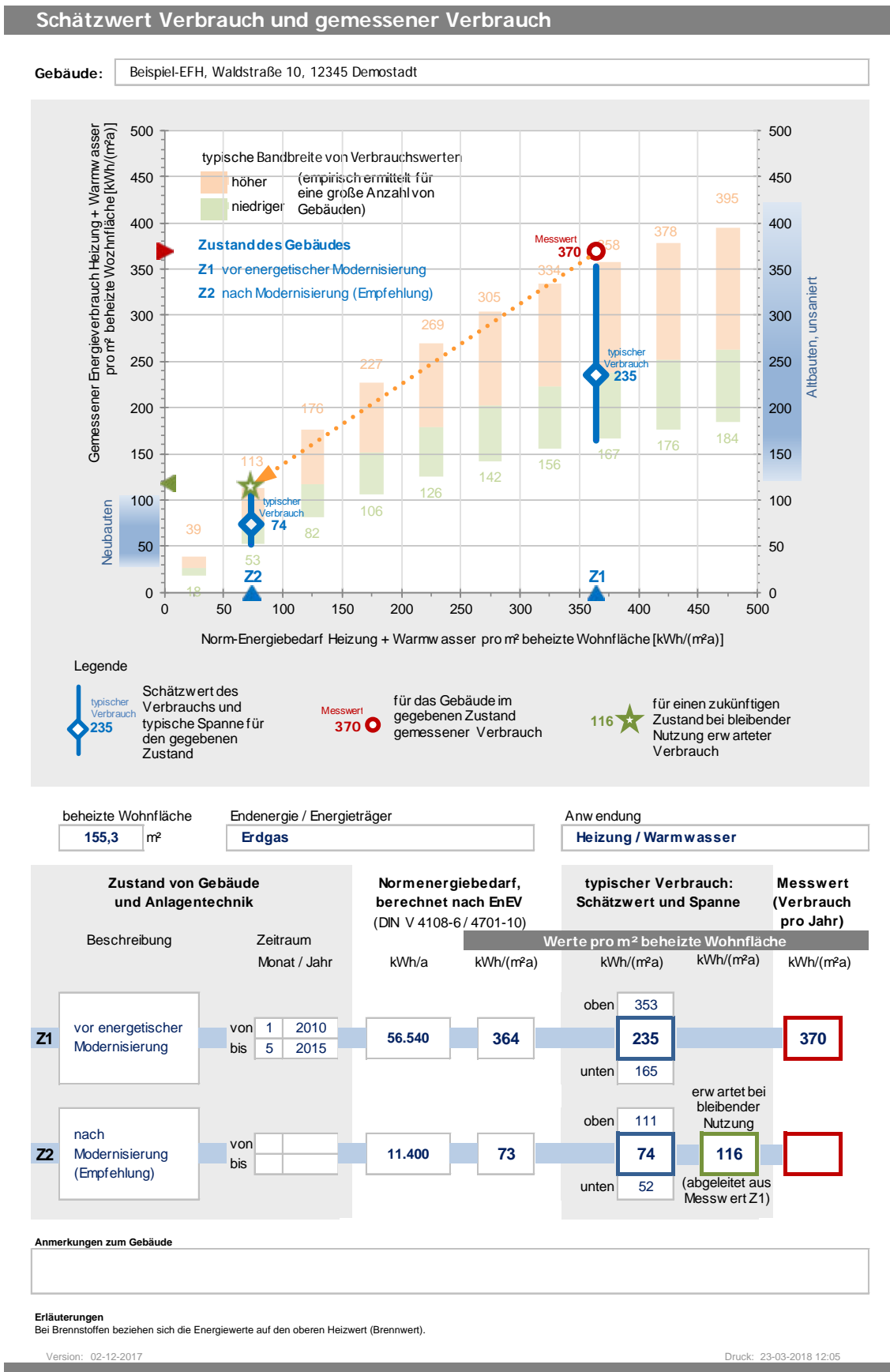
In Abb. 168 sind zudem die Einsparpotentiale der Modernisierungsvarianten bei gleichbleibender Nutzungsintensität dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass die Einsparpotentiale der individuellen Nutzungsprofile in aller Regel unterhalb der nach Normbilanzierung errechneten Einsparung (in der Abbildung mit „Standard“ gekennzeichnet) liegen. Zu erkennen ist auch, dass „Niedrigverbraucher“ durch die Modernisierung in der Regel prozentual höhere Einsparungen erzielen als „Hochverbraucher“. Ein Grund hierfür ist der jeweils unterschiedlich große Sockel der Warmwasserbereitung, der durch die Maßnahmen nicht verändert wird.

Aus den zuvor abgeleiteten Kennzahlen können auch die Auswirkungen eines Nutzerwechsels auf den Energiebedarf abgeleitet werden. Beispielsweise verringert sich der Endenergiekennwert im Einfamilienhaus bei Anwendung des Nutzungsprofils EFH.1 in der Modernisierungsvariante 1 bei gleichbleibender Nutzungsintensität von  $154 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANa}})$  auf  $79 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANa}})$ , die relative Einsparung liegt in diesem Fall bei 49 %. Bei einem Wechsel auf eine typische Nutzung (Profil EFH.0) beträgt der Endenergiekennwert nach Modernisierung  $131 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ANa}})$ , die relative Einsparung liegt damit nur noch bei 15 %. Umgekehrt bewirkt ein Wechsel von hoher zu niedrigerer Nutzungsintensität eine Erhöhung der relativen Energieeinsparung. Die absoluten Einsparungen der Profile mit geringer Nutzungsintensität liegen etwa halb so hoch wie die der Profile mit hoher Nutzungsintensität.

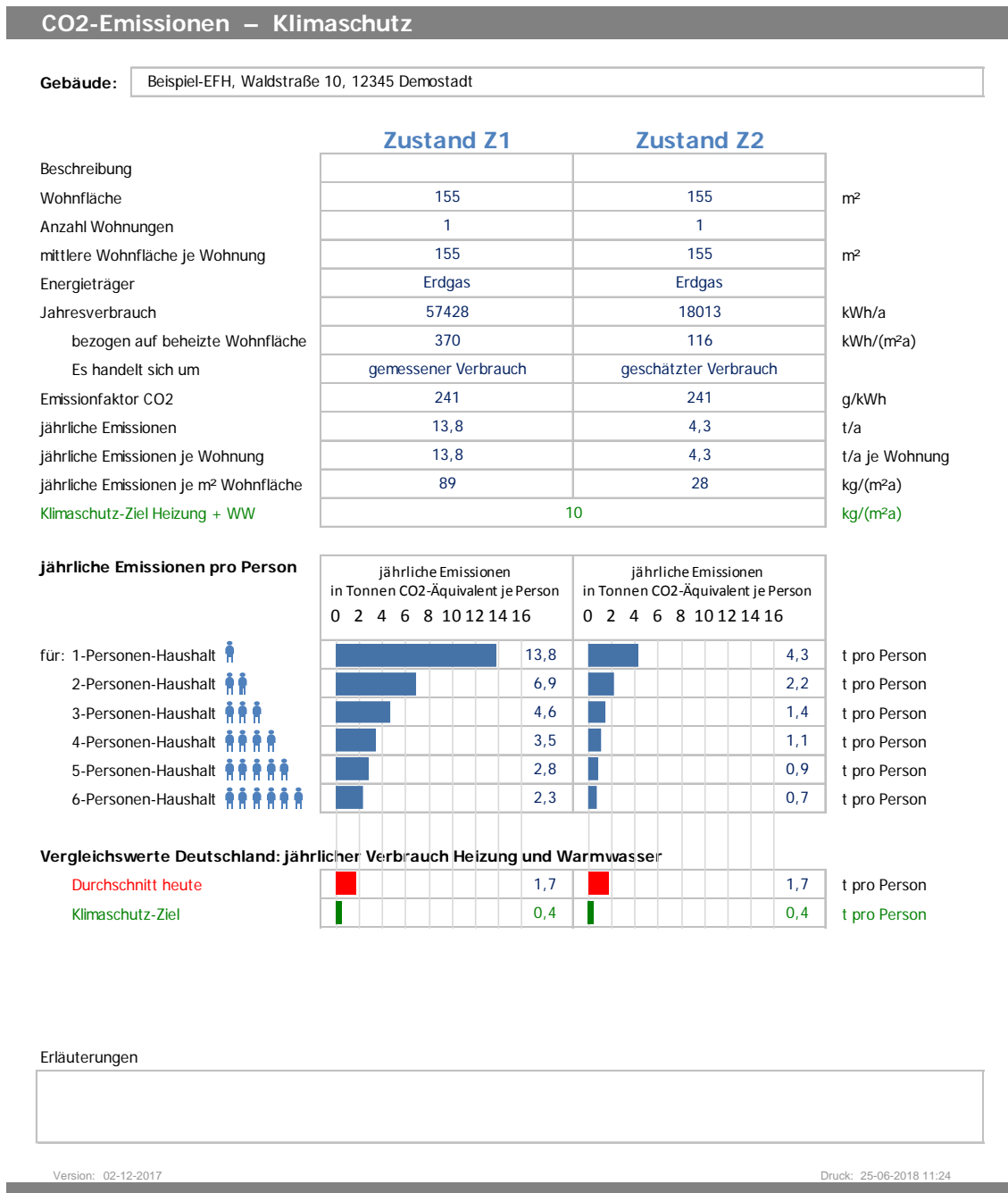
## 6.2 Energetische Bilanzierung und Ermittlung des Intervalls für den erwarteten Energieverbrauch

Die in Kap. 4.7.2 diskutierte ergänzende Darstellung der Schätzwerte des Energieverbrauchs sowie der Bewertung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden in den folgenden zwei Abbildungen noch einmal für das Beispiel-Einfamilienhaus mit Nutzungsprofil „EFH.3“ dargestellt.

**Abb. 169: Gemessener Energieverbrauch und Schätzwerte des Verbrauchs für das Einfamilienhaus mit Nutzungsprofil „EFH.3“ als Beispiel für das Ergänzungsblatt zum Energieausweis (vgl. Kap. 4.7.2)**



**Abb. 170: Bewertung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Einfamilienhaus mit Nutzungsprofil „EFH.3“ als Ergänzungsblatt zum Energieausweis (vgl. Kap. 4.7.2)**



### 6.3 Bewertung des nicht-energetischen Nutzens der Modernisierungen

In Abb. 171 und Abb. 172 ist beispielhaft demonstriert, wie der durch Modernisierung erreichbare nicht-energetische Nutzen für die Modernisierungsvarianten 1 und 2 des Einfamilienhauses kommuniziert werden könnte (siehe Kapitel 5). An diesen beiden Beispielen wird deutlich, dass je nach Qualität des sommerlichen Wärmeschutzes und der Art der Lüftung sich bei Gebäuden mit gutem Wärmeschutz unterschiedliche Komfortbewertungen ergeben können.



**Abb. 171: Beispiel Bewertung des thermischen Komforts für das Fallbeispiel Einfamilienhaus, Modernisierungsvariante 1**

## Bewertung thermischer Komfort - Konzeptvorschlag

**Skala zur Bewertung**

sehr schlecht sehr gut

### Überblick Winterlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Winter

Wärmebrücken wurden im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen detailliert nachgewiesen

Im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen wurde ein Luftdichtheitskonzept umgesetzt

**hochwertig saniert, hoher Komfort durch geringe Auskühlung der raumseitigen Flächen**

**Dach**  
*oberer Gebäudeabschluss*

**hochwertig saniert, hoher Komfort durch geringe Auskühlung, dichte Fenster verhindern unangenehme Zugluft**

**Fenster**  
*inklusive Dachflächenfenstern*

Schalldämmende Fenster

**hochwertig saniert, hoher Komfort durch Vermeidung von Fußkälte**

**Boden**  
*unterer Gebäudeabschluss*

**hochwertig saniert, hoher Komfort durch geringe Auskühlung der raumseitigen Flächen**

**Wände**  
*inklusive Kellerwänden*

*Ergänzende Erläuterungen*

### Überblick Sommerlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Sommer

Nachtlüftung möglich  Anlage zur Kühlung

Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz wurde rechnerisch nachgewiesen

**60%** Außenliegende Verschattung: Rolläden, Fensterläden

*Anteil Fensterfläche*

Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz wurde rechnerisch nachgewiesen

*Ergänzende Erläuterungen*

### Überblick Art und Komfort der Lüftung

Im Falle von Fensterlüftung: Querlüftung möglich

Bei Lüftungsanlagen mit Zuluft: Pollenfilter vorhanden

Lüftungskonzept vorhanden;

**Normale Fensterlüftung, ggf. ergänzt durch Bad/WC-Lüfter**

Lüftungskonzept vorhanden;


*Ergänzende Erläuterungen*

## Gesamtbewertung

**Abb. 172: Beispiel Bewertung des thermischen Komforts für das Fallbeispiel Einfamilienhaus, Modernisierungsvariante 2**

## Bewertung thermischer Komfort - Konzeptvorschlag

**Skala zur Bewertung**




sehr schlechtsehr gut

### Überblick Winterlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Winter


Wärmebrücken wurden im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen detailliert nachgewiesen

Im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen wurde ein Luftdichtheitskonzept umgesetzt



**hochwertig saniert,  
hoher Komfort durch geringe  
Auskühlung der raumseitigen  
Flächen**


**Dach**  
oberer Gebäudeabschluss



**hochwertig saniert,  
hoher Komfort durch geringe  
Auskühlung, dichte Fenster  
verhindern unangenehme Zugluft**


**Fenster**  
inklusive Dachflächenfenstern

Schalldämmende Fenster



**moderat saniert,  
verbesserter Komfort durch  
weniger Fußkälte**

**Boden**  
unterer Gebäudeabschluss



**hochwertig saniert,  
hoher Komfort durch geringe  
Auskühlung der raumseitigen  
Flächen**


**Wände**  
inklusive Kellerwänden

*Ergänzende Erläuterungen*

### Überblick Sommerlicher Wärmeschutz / Thermischer Komfort im Sommer

Nachtlüftung möglich     Anlage zur Kühlung

Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz wurde rechnerisch nachgewiesen



**100%**    **Außenliegende Verschattung:  
Rolläden, Fensterläden**

Anteil Fensterfläche

**hoher Komfort durch guten Hitzeschutz im Sommer**


*Ergänzende Erläuterungen*

### Überblick Art und Komfort der Lüftung

Im Falle von Fensterlüftung: Querlüftung möglich

Bei Lüftungsanlagen mit Zuluft: Pollenfilter vorhanden

Lüftungskonzept vorhanden;




**Sehr effiziente WRG-Lüftungsanlage mit  
sensorgestützter Bedarfsregelung  
Passivhaus-taugliche Lüftungsanlage  
ohne sensorgestützte Bedarfsregelung**

**hoher Komfort, die Lüftungsanlage sorgt  
automatisch für frische Luft**

*Ergänzende Erläuterungen*

### Gesamtbewertung



## 6.4 Zusammenfassung

Am Beispiel eines Ein- und eines Mehrfamilienhauses wurde die Anwendung der in den vorhergehenden Kapiteln entwickelten Methodik für die Ermittlung von Bandbreiten des erwarteten Energieverbrauchs sowie der ganzheitlichen Bewertung von Modernisierungen demonstriert. Zu diesem Zweck wurden für beide Gebäude das jeweils typische Verbrauchsniveau im Ausgangszustand bestimmt und Realbilanzen für verschiedene Sanierungszustände mit unterschiedlichen Nutzerprofilen berechnet.

Vergleicht man für die Fallbeispiele im Ausgangszustand die berechneten Kennwerte der Standardbilanzierung nach DIN V 18599 mit dem typischen Verbrauchsniveau, so überschreiten die bilanzierten Energiebedarfe das typische Niveau im Falle des Einfamilienhauses um 83 %, im Falle des Mehrfamilienhauses um 61 %. Werden in einem ersten Schritt zur Realbilanzierung die Nutzungsprofile der DIN V 18599 durch die im Rahmen dieses Berichtes zusammengetragenen Eingabegrößen für eine typische bzw. mittlere Nutzung ersetzt, so liegt der Kennwert des Einfamilienhauses um 49 %, der des Mehrfamilienhauses um 34 % über dem typischen Verbrauchsniveau. Die Verwendung der Profile für die mittlere Nutzung führt insofern zwar zu einer Verringerung der Endenergiebedarfe und damit zu einer Annäherung an das jeweils typische Verbrauchsniveau, die große Diskrepanz zwischen den Bedarfskennwerten und dem Verbrauchsniveau lassen sich dadurch jedoch nur zum Teil erklären. Zur Abbildung des typischen Niveaus sind deshalb Anpassungen weiterer, mit größeren Unsicherheiten behafteter Eingangsgrößen (z. B. U-Werte, Wärmebrückenzuschlag) erforderlich.

Im Hinblick auf die Einsparpotentiale durch Modernisierungsmaßnahmen wird bei gleichbleibender Nutzungsintensität ersichtlich, dass die relativen Einsparungen der für die Realbilanzierungen verwendeten Nutzungsprofile in der Regel niedriger als die nach Normbilanzierung errechnete Einsparung ausfallen. Zu erkennen ist auch, dass „Niedrigverbraucher“ durch die Modernisierung prozentual höhere Einsparungen erzielen als „Hochverbraucher“.

Die exemplarischen Berechnungen zeigen zudem, dass der Energiebedarf im Einfamilienhaus bei niedriger Nutzungsintensität im Ausgangszustand, dem bei hoher Nutzungsintensität nach Durchführung von Modernisierungsmaßnahmen entsprechen kann. Umgekehrt bewirkt ein Wechsel von hoher zu mittlerer oder niedrigerer Nutzungsintensität eine Erhöhung der Energieeinsparung.

## Literaturverzeichnis zum Kapitel 6

- [BMWi/BMUB 2015] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015): Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand. Vom 7. April 2015, Berlin, 7. April 2015, online unter [http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/EnEV/Bekanntmachungen/Download/WGDatenaufnahme2013.pdf?\\_blob=publicationFile&v=5](http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/EnEV/Bekanntmachungen/Download/WGDatenaufnahme2013.pdf?_blob=publicationFile&v=5) (07.08.2017)
- [Diefenbach 2013] Diefenbach, Nikolaus (2013): Basisdaten für Hochrechnungen mit der Deutschen Gebäudetypologie des IWU: Neufassung Oktober 2013, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 09.10.2013, online unter [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/FI%C3%A4chen\\_Geb%C3%A4udetypologie\\_Okt\\_2013.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/FI%C3%A4chen_Geb%C3%A4udetypologie_Okt_2013.pdf) (07.08.2017)
- [KfW 2016] KfW (2016): Anlage zu den Merkblättern Energieeffizient Sanieren: Kredit (151/152), Investitionszuschuss (430): Technische Mindestanforderungen, Frankfurt, Stand: 04/2016, online unter [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000003612\\_M\\_151\\_152\\_430\\_Anlage-TMA.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000003612_M_151_152_430_Anlage-TMA.pdf) (19.10.2017)
- [Loga et al. 2015] Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Zweite erweiterte Auflage, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 10.02.2015, online unter [http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE\\_TABULA\\_TypologyBrochure\\_IWU.pdf](http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf) (07.08.2017)

## 7 Weiterer Handlungs- und Forschungsbedarf

### 7.1 Verankerung des Energieeffizienz-Monitorings in immobilien- und energiewirtschaftlichen Prozessen

Die Modernisierungsprozesse im Gebäudesektor sind ausgesprochen komplex. Randbedingungen werden auf der Ebene des Bundes, der Länder, der Regionen und der Kommunen festgelegt. Es gibt sehr unterschiedliche Typen von Gebäudeeigentümern und Nutzern (öffentliche Hand, Wohnungs- und Immobilienunternehmen, private Vermieter, selbstnutzende Eigentümer, gewerbliche Wirtschaft, Wohnungseigentümergeinschaften, ...), die sich wieder jeweils in Kapitalausstattung, Risikobereitschaft, sozialem und ökologischem Bewusstsein unterscheiden. Zudem sind in Entscheidungen über Instandsetzungen und Modernisierungen im deutschen Gebäudebestand Millionen von Einzelpersonen mit unterschiedlichstem fachlichen Hintergrund eingebunden (Gebäudeeigentümer, Architekten, Energieberater, Handwerker, Mitarbeiter von Banken, ...)

Es ist daher eine wichtige Aufgabe, die Entwicklung der energetischen Qualität von Gebäuden und die Erreichung der Einsparziele auf den verschiedenen Ebenen transparent zu machen und Möglichkeiten zur Beschleunigung der Modernisierungsprozesse aufzuzeigen. Die entscheidende Voraussetzung hierfür ist, dass die relevanten und auf Bundesebene erhobenen Indikatoren auch in verschiedenen ohnehin stattfindenden Aktivitäten und Marktmechanismen verankert werden. Dies wären beispielsweise:

- die jährliche Heizkosten- bzw. Energiekostenabrechnung;
- regelmäßige Mietspiegel-Erhebungen sowie die Einstufung einzelner Gebäude;
- jährliche Heizkostenspiegel sowie die Einstufung einzelner Gebäude;
- die strategische Entwicklung und das Energiemanagement von Gebäude-Portfolios (Bestände der öffentlichen Hand, von Wohnungsunternehmen, Stadtquartieren, ...);
- die Gebäudewertermittlung (z.B. als Grundlage für die Kreditvergabe);
- Modernisierungsplanung und Nachweise nach dem Energiesparrecht;
- Ausstellung von Energiebedarfs- und Energieverbrauchsausweisen;
- Antragstellung für Förderung (insbes. KfW-Programm);
- etc.

In den folgenden Abschnitten werden zur Unterstützung dieser Zielsetzungen konkrete Vorschläge unterbreitet. Als Grundlage der Umsetzung wird eine Harmonisierung der für das Energieeffizienz-Monitoring wichtigen grundlegenden Daten (Basis-Satz von Monitoring-Indikatoren) vorgeschlagen. Darauf aufbauend wird eine Präzisierung der möglichen Anwendungsfelder in den verschiedenen Segmenten des Wohngebäudebestands vorgenommen – dabei geht es jeweils um die Einordnung einzelner Gebäude in die Gesamtheit des Segments. Darüber hinaus wird die Notwendigkeit wiederholter Stichprobenerhebungen inklusive Verbrauchsdaten für den deutschen Gesamtbestand an Wohnhäusern unterstrichen. Schließlich wird vorgeschlagen, die aus den Segmenten und der Stichprobenerhebung zusammengetragenen Daten zum Energieverbrauch unterschiedlicher Wohngebäudetypen in Abhängigkeit von Baualter und Modernisierungszustand auf Bundesebene zu veröffentlichen und bei Bedarf zu aktualisieren (Internet-Plattform).

#### 7.1.1 Basis-Satz von Indikatoren für das Monitoring des Energieverbrauchs und die Zuordnung zum energetischen Zustand

Als Grundlage für ein kontinuierliches Monitoring im Gebäudesektor wäre ein Basis-Satz von Monitoring-Indikatoren geeignet, der in ähnlicher Form bereits in verschiedensten Erhebungen und Be-

fragungen eine Rolle spielt. Durch die Definition eines für alle Anwendungsfelder harmonisierten Satzes könnte sichergestellt werden, dass die Daten immer vollständig und in vergleichbarer Weise vorliegen. Die Abfrage der Daten umfasst im Wesentlichen die folgenden Größen:<sup>37</sup>

- Grunddaten (Wohnfläche, Anzahl Vollgeschosse, Beheizungssituation im Keller- und Dachgeschoss, Anzahl Nachbargebäude, Anzahl Wohnungen, Jahr der erfassten Grunddaten, ...);
- energetische Qualität der thermischen Hülle (Baujahr, Art der Konstruktion, Dämmstärken, Jahr der Dämmung, Jahr der erfassten energetischen Qualität, ...);
- Charakterisierung des Wärmeversorgungssystems (Typen der Wärmeerzeugung, -speicherung, -verteilung für Heizung und Warmwasser; Einsatz erneuerbarer Energien; Jahr der Installation / Erneuerung; Jahr des erfassten Versorgungssystems, ...);
- gemessener Energieverbrauch (Energieträger, Maßeinheit, Verbrauch, Verbrauchszeitraum, Zuordnung zum energetischen Zustand entsprechend der oben genannten Kriterien, ...);
- zusätzlich sofern vorhanden: Ergebnisse des Normnachweises nach EnEV (Transmissionswärmeverlust, Heizwärmebedarf, Endenergiebedarf differenziert nach Energieträger und Anwendung (Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie, Version des EnEV-Rechenverfahrens, ...).

Die ersten drei Indikatoren-Gruppen kamen bzw. kommen bereits bei der Erhebung im Projekt "Datenbasis Gebäudebestand" [Diefenbach et al. 2010] und beim Monitoring der KfW-Energiesparprogramme zur Anwendung [Diefenbach et al. 2016]. Eine damit konsistente, den gemessenen Energieverbrauch einschließende Spezifikation wurde länderübergreifend innerhalb des EU-Projekts EPISCOPE entwickelt.

Die technische Umsetzung könnte mit folgenden Hilfsmitteln erfolgen:

- ein Fragebogen, der die oben genannten Indikatoren in allgemeinverständlicher Form abfragt und im ausgefüllten Zustand diese Daten für ein gegebenes Gebäude dokumentiert (Beispiel: Energieprofil-Fragebogen in [Loga et al. 2005]), sowohl als Papier-/PDF-Fassung als auch als elektronische Fassung (z.B. Web-Applikation).
- eine XML-Datei, die die oben genannten Basis-Indikatoren in elektronischer Form abspeichert (und bei jeder Energieverbrauchs- und -bedarfsausweiserstellung mit ausgegeben wird).
- ein maschinenlesbares Blatt mit den genannten Basis-Indikatoren, das als (anonymisierte) Anlage zum Energieausweis eine einfache Erfassung durch Scannen aus den Akten eines Gebäudes heraus erlaubt (zum Beispiel im Kontext einer Stichprobenerhebung oder als Information für ein Abrechnungs- oder Versorgungsunternehmen).

Bei Ankopplung an den Energiebedarfsausweis und die zugehörige XML-Datenschnittstelle wäre zusätzlich die Implementierung einer Plausibilitätskontrolle möglich und sinnvoll.

### 7.1.2 Energieeffizienz-Monitoring in der Heizkosten- und Energiekostenabrechnung

Eines der Schlüsselemente dürfte im Wohngebäudesektor die Heizkosten- bzw. Energiekostenabrechnung sein. Würden Abrechnungsunternehmen und Energieversorger die Grunddaten des Gebäudes sowie den energetischen Modernisierungszustand beim Gebäudeeigentümer abfragen, so könnten sie differenzierte Verbrauchsbenchmarks für ihre Kunden erstellen. Der Vorteil für den Nutzer wäre, dass er eine Einordnung seines eigenen Verbrauchs im Vergleich zu Gebäuden ähnlicher energetischer Qualität erhalten würde. Gleichzeitig würde auch transparent, was ähnliche Gebäude, die bereits energetisch modernisiert sind, verbrauchen. Die Realisierung differenzierter Verbrauchsbenchmarks würde sowohl die Transparenz für den einzelnen Eigentümer bzw. Nutzer steigern als auch ein Monitoring der Entwicklung von Gebäude-Gesamtheiten auf verschiedenen Skalierungsebenen ermöglichen – durch Zusammenführung der Statistiken der Abrechnungs- und Versorgungsunternehmen oder durch Nutzung der bei den Gebäudeeigentümern in einheitlicher Weise schon vorliegenden Basisindikatoren ihrer Gebäude im Rahmen von Stichprobenerhebungen.

<sup>37</sup> Abfragen angelehnt das Kurzverfahren Energieprofil [Loga et al. 2005]

Für Erdgas und Strom ist die Einführung von Vergleichswerten durch das Energiewirtschaftsgesetz von 2011 (§ 40) bereits grundsätzlich geregelt. Insbesondere ist "bei Haushaltskunden unter Verwendung von Grafiken darzustellen, wie sich der eigene Jahresverbrauch zu dem Jahresverbrauch von Vergleichskundengruppen verhält". Bei der konkreten Umsetzung sollten dabei in Zukunft die im nächsten Abschnitt genannten Indikatoren berücksichtigt werden.

### **7.1.3 Nutzung der Energieverbrauchsausweis-Erstellung zur Verbesserung der Datengrundlagen im Bestand**

Die Vorschrift der EnEV, auch für Energieverbrauchsausweise Modernisierungsempfehlungen auszugeben, hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass bereits Informationen von Gebäudeeigentümern eingeholt wurden, die in Teilen deckungsgleich mit den oben genannten Basis-Indikatoren sind. Die Festlegung dieser Informationen und die Formulierung der Abfragen wurde jedoch je nach Software oder Unternehmen individuell gelöst. Auch das Zusammenführen von Informationen, die Bildung von Kategorien und die Dokumentation dieser Prozeduren erfolgten jeweils auf individuelle Weise. Eine sinnvolle Zusammenführung dieser unterschiedlichen Verbrauchsstatistiken für die Erstellung öffentlicher Vergleichstabellen ist damit kaum möglich. In Abschnitt 2.1 des vorliegenden Berichts sind diese Schwierigkeiten beschrieben worden.

Daher empfehlen wir, dass die Bundesregierung entsprechend dem in Abschnitt 7.1.1 dargestellten Konzept einen Basis-Satz von im Kontext der Verbrauchsausweiserstellung zu erhebenden Indikatoren festlegt, der zusammen mit dem Energieverbrauchsausweis in der oben genannten Art (Fragebogen, XML-Datei, maschinenlesbares A4-Blatt) zu dokumentieren ist. Durch die einheitliche Definition der Indikatoren wären die Datenbanken der Verbrauchsausweisersteller eine valide Quelle für die differenzierte Verfolgung des Energieverbrauchs im Wohngebäudebestand.

Ein weiterer Schritt wäre der Aufbau einer zentralen Datenbank mit allen Energieverbrauchsausweis-Daten.

### **7.1.4 Aufnahme des Schätzwertes Energieverbrauch und der zugehörigen Spanne in den Energiebedarfsausweis**

Im Berichtsteil 4.3 und 4.4 wurden Schätzformeln entwickelt, die es erlauben einem gegebenen Norm-Endenergiebedarf nach DIN V 4108-6/4701-10 oder DIN V 18599 einen Schätzwert des gemessenen Energieverbrauchs zuzuordnen und auch die Unsicherheit dieser Schätzung mit anzugeben. Wir schlagen vor, diese Angaben im Muster für den Energiebedarfsausweis zu ergänzen und die für die Ermittlung nötigen Regeln bekanntzugeben. Dieses umfasst den Ist-Zustand des Gebäudes, einen möglichen geplanten Zustand (Bauantrag), aber auch die Modernisierungsempfehlungen für bestehende Gebäude. In einem Modellvorhaben sollten zusammen mit Energieberatern die Praxistauglichkeit des Ansatzes geprüft und die Regeln für die Umsetzung gestaltet werden.

Da diese Angaben mit realen Verbrauchskennwerten verglichen werden sollen, wäre es aus Verbrauchersicht wichtig, an dieser Stelle praxisnahe Bezugsgrößen zu verwenden. Das heißt, dass im Fall von Erdgas generell kWh mit Brennwert-Bezug verwendet wird (dies entspricht den Angaben auf der Rechnung), im Fall von Heizöl und Pellets die jeweiligen Liefermengen (Liter und Tonnen). Weiterhin wäre als Flächenbezug die reale beheizte Wohnfläche des Gebäudes zu verwenden. Bei der im Kapitel 4.3 des Berichts dargestellten Methodik ist dies bereits berücksichtigt.

Das im Bericht dargestellte Verfahren kann direkt genutzt werden. Es wäre jedoch anzustreben, möglichst bald eine Aktualisierung der Daten auf der Grundlage neuerer Erhebungen (siehe unten) durchzuführen. Insbesondere wird eine Erhebung zum Verbrauch von mit Elektrowärmepumpen ausgestatteten Gebäude benötigt, da Wärmepumpen in der Energieberatung und der Neubauplanung eine besondere Rolle einnehmen und hier die Datenlage besonders schlecht ist.

Wir empfehlen weiterhin die Ausarbeitung von Empfehlungen, Regeln und Fallbeispielen zur Nutzung der Verbrauchskalibrierung in der Energieberatung in Kooperation mit erfahrenen Energieberatern.

### 7.1.5 Einführung einer Berichtspflicht Energieverbrauch als Ergänzung zum Energiebedarfsausweis bei Neubauten

Als Grundlage für das Energieeffizienz-Monitoring bei neu errichteten Wohngebäuden empfehlen wir die Einführung einer Berichtspflicht für den Energieverbrauch als nachträgliche Ergänzung des Energiebedarfsausweises. Die Energieausweisersteller wären durch einen solchen Ansatz verpflichtet, drei bis vier Jahre nach Errichtung des Gebäudes den gemessenen Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser beim Gebäudeeigentümer abzufragen und in eine aktualisierte Fassung des Energieausweises einzutragen sowie die zugehörigen Daten in eine zentrale Datenbank zu transferieren. Die Einführung einer solchen Regelung verfolgt mehrere Zielsetzungen:

- Die für die Planung bzw. für das Energiekonzept Verantwortlichen bekommen durch die per Verordnung geforderte Verbrauchsabfrage beim Eigentümer bzw. Nutzer ein Feedback bezüglich der tatsächlich erreichten Effizienz des Gebäudes. Diese praktischen Erfahrungen aus der Nutzungsphase können bei der weiteren Optimierung der Energiekonzepte für zukünftig zu planende Gebäude sehr hilfreich sein.
- Gebäudeeigentümern bietet die Abfrage einen Anlass sich nach einer gewissen Zeit mit dem tatsächlichen Verbrauch des Gebäudes auseinanderzusetzen und einen Vergleich mit dem Zielbereich der Neubauplanung vorzunehmen. Eine Überschreitung des im Energiebedarfsausweis angegebenen Erwartungsbereichs gibt Hinweise, dass evtl. das Nutzerverhalten (Temperaturen / Fensteröffnen) oder Einstellungen bei den technischen Anlagen verbessert werden können. Eine Detailuntersuchung mit realistischen Nutzungsrandbedingungen kann zudem auf das Vorliegen von baulichen Mängeln bzw. nicht fachgerechter baulicher Ausführung hindeuten.
- Die Auswertung der Datenbank bietet der Bundesregierung und den Ländern die Möglichkeit, das tatsächlich erreichte Niveau der Energieeffizienz unterschiedlicher Baustandards und Wärmeversorgungsstechniken zu überprüfen und bei deutlicher Zielwertüberschreitung weitere Anforderungen bezüglich Ausstattung und Betrieb festzulegen. Weiterhin bietet eine jährliche Auswertung die Möglichkeit, die Einhaltung der langfristigen Klimaschutzziele zu überprüfen.
- Die Auswertung der Datenbank bietet die Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Normberechnung nach DIN V 4108-6 / 4701-10 sowie nach DIN V 18599 für die in der Datenbank enthaltenen Gebäudegruppen zu analysieren.

Bei erfolgreicher Umsetzung im Neubaubereich wäre eine Erweiterung auf energetische modernisierte Gebäude denkbar. Im Vorfeld hierzu könnte sich die Einführung eines zusätzlichen förderfähigen Bausteins „Verbrauchsmonitoring nach Modernisierung“ innerhalb des KfW-Förderprogramms als sinnvoll erweisen.

Bei der Entwicklung eines solchen Konzepts sollten auch Erfahrungen aus Luxemburg einbezogen werden, wo dies bereits Praxis ist.<sup>38</sup>

### 7.1.6 Gesamtbestand: Stichprobenerhebung zu energetischen Merkmalen und zum Energieverbrauch von Wohngebäuden

Eine Vollerfassung des Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser und eine Zuordnung zum Baualter und zur energetischen Qualität von Gebäude und Anlagentechnik könnte in absehbarer Zeit am ehesten für die Bestände einzelner Wohnungsunternehmen sowie für die Kunden einzelner Gasversorger oder Stromversorger (mit Sondertarifen für Wärmepumpen) gelingen. Als weitere Gebäudegruppe kommen noch die Neubauten in Frage, wo eine Vollerfassung über den Energieausweis geregelt werden könnte (siehe oben). Diese Vollerfassungen werden wohl auf abseh-

<sup>38</sup> 2014 wurde in Luxemburg ein Register für Energieausweise (in Luxemburg „Energiepässe“) initiiert. Experten müssen die von ihnen erstellten Energiepässe innerhalb einer bestimmten Frist dort ablegen. Ende 2015 umfasste die Datenbank etwa 20 000 Energiepässe. Das Energiepassregister ermöglicht einen Überblick über den Gebäudebestand, dient zur Qualitätsverbesserung der Energiepässe und wird für statistische Analysen genutzt, zum Beispiel für die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Energieverbrauch und Energiebedarf [Hörner et al. 2016].

bare Zeit auf Teilbereiche des deutschen Gebäudebestands beschränkt bleiben, da es bisher keinen Ansatzpunkt für die Verankerung des Energieeffizienz-Monitorings bei Bestandsgebäuden ohne Heizkostenabrechnung (insbesondere Einfamilienhäuser) im Fall nicht-leitungsgebundener Energieträger (Heizöl, Flüssiggas und Pellets) gibt. Diskutiert wird derzeit auch die Möglichkeit der Einführung eines amtlichen Gebäuderegisters in Deutschland. Dieses könnte zwar im Prinzip die oben genannten Gebäudeindikatoren enthalten, allerdings müsste die Datenpflege entweder über eine regelmäßige Vollerhebung gesichert sein (also im Zensus, wofür der Fragenkatalog vermutlich zu lang ist) oder alle energierelevanten Änderungen an Gebäuden müssten meldepflichtig werden (was die Frage nach dem Vollzug aufwirft).

Aus diesen Gründen wird parallel zu den oben genannten Aktivitäten in Teilsegmenten eine in regelmäßigen Abständen durchgeführte Stichprobenerhebung für den gesamten Wohngebäudebestand benötigt. Bei der Stichprobenerhebung sollte auf geeignete Weise der im Abschnitt 7.1.1 genannte Basissatz von Monitoring-Indikatoren abgefragt werden. Die erhobenen Grunddaten, Daten zur Hülle und zum Wärmeversorgungssystem, die auch schon im Projekt „Datenbasis Gebäudebestand“ [Diefenbach et al. 2010] und im Folgeprojekt<sup>39</sup> erhoben wurden – wären dann Basis für Energiebedarfsberechnungen, deren Ergebnis mit den erhobenen Verbrauchswerten verglichen werden kann.<sup>40</sup> Ferner sollte – sofern vorhanden – die im Abschnitt 7.1.1 als Option benannten Ergebnisse der Normbedarfsberechnung nach EnEV erfasst werden, um die vorliegenden Daten zu plausibilisieren und die Kalibrierungsfaktoren für die Normberechnung zu untermauern.

Eine Möglichkeit der Umsetzung einer solchen Stichprobenerhebung wäre ein in Zusammenarbeit mit Energieberatern bzw. Energieberaterverbänden durchgeführtes Forschungsprojekt.

Sofern die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebene Datenerfassung für Teilsegmente des Wohngebäudebestands bereits umgesetzt ist (Basis-Satz von Monitoring-Indikatoren liegt in Form von Papier, PDF oder XML-Datei vor), kann bei der Erhebung bereits auf diese Angaben zurückgegriffen werden.

### 7.1.7 Regelmäßige Publikation von Vergleichswerttabellen (Verbrauchsbenchmarks)

Es wird vorgeschlagen auf einer eigens dafür geschaffenen Website bzw. Internet-Plattform in regelmäßigen Abständen Vergleichskennwerte für den Energieverbrauch von Wohngebäuden zu veröffentlichen. Dies sollte unabhängig von den Regelungen der EnEV erfolgen, um jeden Verdacht einer Instrumentalisierung für Zwecke der Energiespargesetzgebung zu vermeiden. Sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene sind Benchmark-Portale denkbar.

Die Daten sollten auf zwei Ebenen angeboten werden: eine einfache allgemeinverständliche Information für Verbraucher und eine Fachinformation für Experten. In letzterer sind die Datenquellen und die Algorithmen für die Zusammenführung dokumentiert.

Der Energieverbrauch für Wohngebäude sollte analog zum Vorschlag in Kapitel 4.2 des vorliegenden Berichts nach unterschiedlichen Kriterien differenziert werden. Es werden die folgenden Vergleichswerttabellen (und korrespondierende Diagramm-Darstellungen) vorgeschlagen:

- VT1: energetisch nicht verbesserte Gebäude nach Baualter
- VT2: Neubauten differenziert nach Baustandard / Effizienzhaus-Standard
- VT3: alle Gebäude differenziert nach EnEV-Normkennwert

Vorschläge für die Strukturierung der Tabellen und Zahlenwerte für eine erste Publikation der Vergleichstabellen VT1 und VT3 finden sich im ebenfalls im Kapitel 4.2 des Berichts.

Für die Operationalisierung des Modernisierungszustands wird in VT3 der berechnete Normenergiebedarf nach EnEV verwendet. Für eine Basis-Information von Verbrauchern über die mit Wärmeschutzmaßnahmen im Mittel erzielbaren Verbrauchswerte müssten noch Beispiele ergänzt werden, die zeigen, mit welchen Maßnahmen bei einer gegebenen Gebäudeart die verschiedenen

<sup>39</sup> <http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/sanierungsrate/>

<sup>40</sup> Überlegungen zur Konzeption einer solchen Erhebung mit Verbrauchsdaten finden sich in [Cischinsky et al. 2013]; eine mögliche Form der Umsetzung ist die derzeit im Auftrag der KfW durchgeführte Verbrauchsbefragung (<http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/monitoring-der-kfw-energiesparprogramme/>).



Stufen des Norm-Endenergiebedarfs erreicht werden. In Abschnitt 4.7.1 findet sich ein Konzeptvorschlag für eine derartige verbraucherfreundliche Darstellung. Diese Informationen würden sicher auch für Verbraucher ohne Energiebedarfsausweis motivierend wirken und könnten das notwendige Vertrauen in die Möglichkeiten der energetischen Modernisierung herstellen.

## **7.2 Weitere Vorschläge zum Energieausweis und zur Energieberatung**

Über die Angabe eines Erwartungsbereichs für den Energieverbrauch hinaus, enthält die vorliegende Studie noch die nachfolgenden Empfehlungen zu Indikatoren im Energieausweis.

### **7.2.1 Indikatoren für den thermischen Komfort (Nutzung in der Energieberatung / Zusatz zum Energieausweis)**

Aufbauend auf einer Analyse des nicht-energetischen Nutzens energetischer Modernisierungen wird in Kapitel 5.4 der Studie ein Konzeptvorschlag entwickelt, der aufzeigt, wie potentiellen Mietern oder Käufern von Wohnimmobilien in einfacher und verständlicher Weise Informationen über die durch Modernisierung erreichten Qualitäten des Wohngebäudes gegeben werden können. Dies umfasst Angaben zum thermischen Komfort im Winter, zum thermischen Komfort im Sommer und zur Art und zum Komfort der Lüftung. Grundlage der Bewertungen sind Gebäudedaten, die bei der Erstellung des Energieausweises ohnehin vorhanden sind. Die Visualisierung der Qualitäten lehnt sich an die im individuellen Sanierungsfahrplan der Bundesregierung verwendeten Darstellungen an [BMWi 2017].

Es wird empfohlen, eine solche Information als Zusatzblatt zum Energiebedarfsausweis vorzusehen. Der darin verwendeten Systematik folgend, können entsprechende Indikatoren auch in die Modernisierungsempfehlungen zum Energieausweis mit aufgenommen werden.

### **7.2.2 Verankerung der Klimaschutzziele des Bundes im Energieausweis und in der Energieberatung**

In Abschnitt 4.7.2 der Studie wird ein Vorschlag dargestellt, wie der Klimaschutz-Gedanke in die energetische Bewertung vor und nach Modernisierung einbezogen werden könnte. Das Schema ordnet dem verwendeten Energieträger CO<sub>2</sub>-Emissionskennwerte zu und vergleicht die Emissionen für den Zustand vor und nach Modernisierung mit den Zielwerten der Bundesregierung für den Wohngebäudesektor (aus [Diefenbach et al. 2013]). Neben den wohnflächenbezogenen Kennwerten wird auch eine Darstellung pro Bewohner gewählt, um deutlich zu machen, dass auch eine Reduzierung der Wohnfläche je Bewohner eine Klimaschutzmaßnahme darstellt.

An dieser Stelle sei auch auf ein erhebliches Kommunikationsproblem im Kontext der Modernisierungsempfehlungen des Energieausweises hingewiesen. Ein gängiges Missverständnis ist, dass wirtschaftlich vertretbare Maßnahmen gleichzeitig auch kongruent mit den Klimaschutzzielen der Bundesregierung sind. Dieser Eindruck wird noch durch die „Modernisierungsempfehlungen“ im Energieausweis verstärkt, die die Angabe von „geschätzten Amortisationszeiten“ für die Maßnahmen vorsieht. Es ist jedoch aus Szenarienanalysen für den Gebäudebestand bekannt, dass die Klimaschutzziele nur erreicht werden können, wenn in großem Umfang Maßnahmen angestoßen werden, die nicht an ohnehin laufende Erneuerungen gekoppelt sind [Diefenbach et al. 2013]. Diese sind jedoch bei realistischer Bilanzierung der Energieeinsparungen und Ansatz heutiger Energiepreise in der Regel für den Eigentümer nicht wirtschaftlich [Enseling 2012].

Bei realistischer Ermittlung der Energieeinsparung werden für viele aus Klimaschutzsicht erforderliche Maßnahmen im Gebäudebestand die in den Modernisierungsempfehlungen des Energieaus-

weises angegebenen „Amortisationszeiten“<sup>41</sup> vermutlich im Bereich von 50 bis 100 Jahren liegen. Wenn die Bundesregierung schon Informationen aus ökonomischer Sicht in den Energieausweis integrieren möchte, dann wäre eine weitaus besser geeignete Größe sicherlich die Angabe, wie stark bei einer Umsetzung der aus Klimaschutzsicht erforderlichen Maßnahmen die Jahreskosten (Verbrauchsdaten + annuisierte Investitionskosten für die Maßnahmen) für den Eigentümer bzw. Bewohner steigen würden (ggf. unter Angabe der Minderung durch die KfW-Förderung).

Dies wäre auch insofern sinnvoll, als mit diesem jährlichen Mehraufwand gleichzeitig auch ein deutlich verbesserter thermischer Komfort verbunden ist (siehe vorangegangener Abschnitt).

## 7.3 Forschungsbedarf zum Grundlagenwissen

### 7.3.1 Verbesserung des Grundlagenwissens zum Verhalten

Der größte Forschungsbedarf aus sozialwissenschaftlicher Sicht liegt in der Verbesserung der verfügbaren Datengrundlagen über das Energienutzungsverhalten und sonstige nutzerbedingte Einflüsse auf den Energieverbrauch, auch bezogen auf unterschiedliche energetische Gebäudestandards. Die bislang zum Thema durchgeführten Studien basieren zumeist auf (sehr) kleinen Fallzahlen und/oder sind überwiegend im Kontext von modellhaften energetischen Modernisierungen oder Neubauten energieeffizienter Gebäude durchgeführt worden. Damit liefern sie – wenn überhaupt – nur wenig fundierte Hinweise darauf, ob bspw. soziodemographisch-/kulturell usw. unterschiedliche Haushaltskonstellationen zu unterschiedlichen Energieverbrauchsmustern führen oder wie gut der jeweilige energetische Zustand des Gebäudes den Komfortbedürfnissen der Bewohner gerecht wird. Eine (statistisch belastbare) Quantifizierung des verbrauchsrelevanten Nutzereinflusses könnte nicht nur den Wissensstand mehren, sondern kann z.B. die Qualität der nutzerbezogenen Eingangsgrößen für Bilanzierungsmodelle optimieren oder der Erarbeitung von Interventionen für mehr Effizienz/Suffizienz dienen.

Neben einem generellen Bedarf an einer weiteren Erforschung dieses Themengebiets ist eine (weitgehende) Harmonisierung der Erhebungsinstrumente empfehlenswert, die der Erfassung der Haushalts- und Verhaltensmerkmale zugrunde liegen. Die bisherigen Studien zeichnen sich vor allem durch eine sehr heterogene Operationalisierung der in der Regel ähnlichen Befragungsinhalte aus, was ihre Vergleichbarkeit deutlich einschränkt.

Auch hinsichtlich der Sanierungsmotivation von (selbstnutzenden) Privateigentümern von Wohnimmobilien lässt sich festhalten, dass es noch an empirischem Grundlagenwissen mangelt. So kommen die wenigen vorliegenden Studien zwar zumeist zu dem Schluss, dass eine solche Investitionsentscheidung von verschiedensten Einflussfaktoren abhängig ist, können diese jedoch nicht verlässlich statistisch abbilden.

### 7.3.2 Verbesserung des Grundlagenwissens zu den Eingangsdaten der energetischen Bilanzierung (typische Werte und Bandbreiten)

Die vorliegende Studie liefert in Kapitel 4.5 erste Anhaltswerte für typische Nutzungsdaten und ihre Bandbreite als Eingangsdaten einer realistischen energetischen Bilanzierung. Da für viele der Daten keine abgesicherte empirische Grundlage vorhanden ist, stellen die meisten Werte derzeit Expertenschätzungen dar, die die in wenigen Projekten gewonnenen Erfahrungen widerspiegeln. Die oben genannten Bewohnerbefragungen sollten daher durch breit angelegte Messungen in Gebäuden unterschiedlichster energetischer Qualität ergänzt werden.<sup>42</sup>

<sup>41</sup> Die Amortisationszeit ist ohnehin kein geeignetes Maß für die betriebswirtschaftliche Rentabilität von Modernisierungsmaßnahmen, da sie die unterschiedliche Lebensdauer von Anlagentechnik, Fenstern und Wärmedämmung nicht berücksichtigt. Ein besser geeignetes Maß ist der Kapitalwert für einen bestimmten Betrachtungszeitraum unter Berücksichtigung des Restwerts [Enseling 2012].

<sup>42</sup> Ein Vorbild für eine solche Untersuchung könnte der in England durchgeführte „Energy Follow-Up Survey“ darstellen [Riley et al. 2013a] [Riley et al. 2013b].

Auch für die weiteren Eingangsgrößen wie Klimadaten (Temperaturen, Solarstrahlungsdaten), bauliche Daten (Hüllfläche, U-Werte, Wärmebrückenverluste, ...), anlagentechnische Daten (Leitungslängen, Wärmeverlustkoeffizienten, Erzeugeraufwandszahlen, ... ) und Daten zur Betriebsführung (Netztemperaturen, ...) werden typische Werte und Spannen benötigt. Als Grundlage werden breit angelegte empirische Informationen benötigt (insbesondere Häufigkeiten von Konstruktionen, Bauart und Verlegeschema von Rohrleitungen, usw.) sowie in die Tiefe gehende messtechnische Analysen (Messung der tatsächlichen Wärmeverlustkoeffizienten von Bauteilen, von Rohrleitungen usw.).

### **7.3.3 Strukturierung und Harmonisierung in der Erfassung, Aufbereitung, Anonymisierung und Auswertung von empirischen Daten zum Nutzerverhalten in Wohngebäuden**

Neben der oben beschriebenen Erhebung von Primärdaten zum Nutzerverhalten und dessen Auswirkungen auf den Energieverbrauch sollte für zukünftige Projekte, die ein begleitendes messtechnisches Monitoring des Verbrauchs und Nutzerverhaltens beinhalten, eine harmonisierte Datenstruktur für Daten zum Nutzerverhalten (messtechnisch + sozialwissenschaftlich) erarbeitet werden. Die im Rahmen des Projekts „Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen“ erfolgte Auswertung von Projekten zeigte, dass sowohl die Datenverfügbarkeit (z.B. auf Grund von Datenschutzbestimmungen) als auch die Vergleichbarkeit von Daten (z.B. auf Grund unterschiedlicher messtechnischer Erfassung) problematisch sind. Eine Harmonisierung soll zum Ziel haben die Daten verschiedenster Quellen anonymisiert zugänglich zu machen. Im Rahmen dessen soll eine Datenstruktur für die Erfassung und Aufbereitung bereitgestellt werden, die eine Vergleichbarkeit bzw. eine einheitliche Analyse der Daten zum Nutzerverhalten erlaubt. Um Vergleichbarkeit zwischen Studien unterschiedlicher Schwerpunkte zu gewährleisten, wäre eine modulare Struktur hilfreich, die von einem grundlegenden Katalog ausgeht und von dort aus dann Verfeinerungen bzw. Vertiefungen in die verschiedenen Themenbereiche ermöglicht.

Die erzeugte Datenbasis sollte in einer frei zugänglichen Forschungsdatenbank bereitgestellt werden, so dass Akteure aus Forschung und Wirtschaft die Ergebnisse nutzen können (z.B. zur Anreicherung von Entwicklungsszenarien oder Simulationsmodellen oder zur Entwicklung von nutzergruppenorientierten Geschäftsmodellen).

### **7.3.4 Monetarisierung des Nutzens energetischer Modernisierungen aus Vermieterperspektive**

Wie in Kapitel 5.2.1 beschrieben, sind Ansätze zur Monetarisierung nicht-energetischer Nutzen häufig nur eingeschränkt möglich bzw. mit größeren Unsicherheiten verbunden. Ein in diesem Zusammenhang messbarer Indikator könnte die Höhe von auf Mieter umgelegten Modernisierungsinvestitionen sein. Hierzu finden sich unterschiedliche Aussagen. Während beispielsweise bei den in [Renz/Hacke 2016] dokumentierten Interviews mit vermietenden Sanierern sowohl in niedrig- als auch in hochpreisigen Wohnungsmärkten eine Umlage auf die Mieter als nur sehr begrenzt möglich angesehen wurde, berichtet der Berliner Mieterverein von überdurchschnittlich hohen Mietenanstiegen infolge energetischer Gebäudesanierungen [Wild 2017]. Auch politisch wird kontrovers über Senkungen oder gar die vollständige Umlage von Kosten auf den Mieter diskutiert. Aktuelle empirisch abgesicherte Aussagen liegen für diese Fragestellung jedoch nicht vor.

### **7.3.5 Aufarbeitung des Wissenstands zu technologischen/technischen Instrumenten zur Unterstützung energiesparenden Verhaltens bei privaten Haushalten**

Mittlerweile existiert eine Reihe von Technologien bzw. technischen Hilfsmitteln, die private Haushalte sowohl hinsichtlich einer effizienten Energienutzung als auch einer optimalen Wohngesundheit unterstützen sollen. Das Spektrum ist vielfältig und reicht von automatisierten bzw. automati-

sierbaren Regelungen (z.B. Komfortlüftungsanlage<sup>43</sup>; dezentrale/wohnungsbezogene Steuerung über Motorventile bei zentralen Wärmeversorgungssystemen<sup>44</sup>) und Funk-/Smartphone-basierten Haus- und Heizungssteuerungen (z.B. Smart-Home-Anwendungen wie Heizkörperthermostate; angeboten über Energieversorger oder Heizungsbauer) über Geräte, die bspw. die Luftqualität/Luftfeuchtigkeit (z.B. softwaregesteuerte Fenstergriffe<sup>45</sup>) überwachen, bis hin zu Angeboten, die den Kenntnisstand über den Energieverbrauch und Einsparmöglichkeiten (z.B. Verbrauchsvisualisierung über In-Home-Displays oder webbasierte Feedbacktools<sup>46</sup>) oder „spielerisch“ das Ressourcenbewusstsein (z.B. Dusch-Sensoren<sup>47</sup>) erhöhen sollen.

Bislang fehlt eine systematische Sichtung und Aufarbeitung der bereits vorhandenen Werkzeuge und Tools und ihrer Funktionalitäten. Weiterhin sind Akzeptanz und Wirksamkeit solcher Angebote bisher nur in Ansätzen untersucht worden. Was insbesondere im Hinblick auf bereits erfolgte Evaluationen fehlt, sind Langzeitbetrachtungen und Zielgruppendifferenzierung. Für diese Bewertung sollte eine geeignete Methodik entwickelt und angewandt werden (z.B. empirisch und/oder Parameterstudie in Simulation). Einen besonderen Schwerpunkt sollte die einfach verständliche Aufbereitung der Forschungsergebnisse für den Endanwender darstellen. Durch Transparenz und höhere Belastbarkeit der Aussagen zu Energieeinsparpotenzialen würden Hemmnisse im Markt der Effizienztechnologien abgebaut und die Senkung des Energieverbrauchs privater Haushalte unterstützt.

## Literaturverzeichnis zum Kapitel 7

- [BMWi 2017] Deutschland macht's Effizient (o. J.): Umsetzungshilfe für meine Maßnahmen, <https://www.dena-expertenservice.de/fileadmin/Fachinformationen/iSFP/dena-iSFP-Umsetzungshilfe.pdf>
- [Cischinsky et al. 2013] Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus; Loga, Tobias: Datenaufnahme Gebäudebestand. Vorstudie zur empirischen Analyse der energetischen Entwicklung des Wohnungsbestandes: Gebäudemerkmale, Energieverbrauch, Ursachen und Hemmnisse für Investitionen; Endbericht im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). IWU, Darmstadt 2013 (unveröffentlicht)  
<http://www.iwu.de/forschung/energie/2013/datenaufnahme-gebaeudebestand/>
- [Diefenbach et al. 2010] Diefenbach, Nikolaus (IWU); Cischinsky, Holger (IWU); Rodenfels, Markus (IWU); Clausnitzer, Klaus-Dieter (Bremer Energie Institut): Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2010  
<http://datenbasis.iwu.de/>
- [Diefenbach et al. 2013] Diefenbach, Nikolaus; v. Malottki, Christian; Enseling, Andreas; Loga, Tobias; Cischinsky, Holger; Stein, Britta; Hörner, Michael; Grafe, Michael: Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudebereich – Zielerreichungsszenario; Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS); BMVBS-Online-Publikation 03/2013  
[www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL\\_ON032013.pdf? blob=publicationFile&v=5](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL_ON032013.pdf?blob=publicationFile&v=5)
- [Enseling et al. 2012] Enseling, Andreas; Diefenbach, Nikolaus; Hinz, Eberhard; Loga, Tobias: Evaluation und Fortentwicklung der EnEV 2009 – Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen im Wohnungsbau; im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); Endbericht; Institut Wohnen und Umwelt GmbH; BBSR, Bonn, 2012  
<http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/evaluation-enev2009/>

<sup>43</sup> siehe z.B. [Großklos, Hacke 2012]

<sup>44</sup> z.B. Pilotprojekt Solingen im EU-Projekt eSESH (<http://www.esesh.eu/home.html>) im Evaluationsbericht [Hacke, Gravoille 2013]

<sup>45</sup> z.B. der Klimagriff (<https://www.klimagriff.de/>)

<sup>46</sup> z.B. in den EU-Projekten eSESH und BECA; eSESH: siehe Fußnote 2; BECA: <http://beca-project.eu/home.html>

<sup>47</sup> z.B. der Amphiro B1 <https://www.amphiro.com/> bzw. Evaluationsbericht: [https://www.amphiro.com/wp-content/uploads/2016/05/Amphiro-ewz-study\\_2014\\_web.pdf](https://www.amphiro.com/wp-content/uploads/2016/05/Amphiro-ewz-study_2014_web.pdf)

- [Diefenbach et al. 2017] Diefenbach, Nikolaus; Stein, Britta; Loga, Tobias; Rodenfels, Markus (IWU); Gabriel, Jürgen; Jahn, Karin (IFAM); Monitoring der KfW-Programme "Energieeffizient Sanieren" und "Energieeffizient Bauen" 2015; IWU, Darmstadt, 2016  
<http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/monitoring-der-kfw-energiesparprogramme/>
- [Großklos, Hacke 2012] Großklos, Marc; Hacke, Ulrike: Entwicklung energieeffizienter Komfortlüftungsanlagen mit luftqualitätsgeführter Volumenstromregelung und kontinuierlicher Erfassung des Fensteröffnungszustandes; IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2012  
<http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/komfortlueftung/>
- [Hacke, Gravoille 2013] Hacke, Ulrike; Gravoille, Pauline: eSESH Pilot Outcomes; Saving Energy in Social Housing with ICT (eSESH); co-funded by the European Commission within the ICT Policy Support Programme; deliverable D7.2, 2013  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/i\\_n\\_e/esesh\\_D7.2.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/i_n_e/esesh_D7.2.pdf)
- [Hörner et al. 2016] Hörner, Michael; Cischinsky, Holger; Lichtmeß, Markus: Analyse der Diskrepanz von Energiebedarf und -verbrauch bei Energiepässen von Wohngebäuden in Luxemburg; Teil1: Methode der multiplen linearen Regression; Bauphysik 38 (2016). Heft 3
- [Loga et al. 2005] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden („Kurzverfahren Energieprofil“); Untersuchung gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; IWU, Darmstadt 2005  
<http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/kurzverfahren-energieprofil/>
- [Renz/Hacke 2016] Renz, Ina; Hacke, Ulrike: Einflussfaktoren auf die Sanierung im Deutschen Wohngebäudebestand. Ergebnisse einer qualitativen Studie zu Sanierungsanreizen und -hemmnissen privater und institutioneller Eigentümer, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, Juni 2016  
[https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-alle-Evaluationen/Einflussfaktoren-auf-die-Sanierung-im-deutschen-Wohngeb%C3%A4udebestand\\_2016.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-alle-Evaluationen/Einflussfaktoren-auf-die-Sanierung-im-deutschen-Wohngeb%C3%A4udebestand_2016.pdf)
- [Riley et al. 2013a] Riley, John; Hulme, Jack; Beaumont, Adele; Summers, Claire: Energy Follow-Up Survey 2011 (EFUS). Report 2: Mean household temperatures; prepared by BRE on behalf of the Department of Energy and Climate Change; BRE report number 283078; bre - Building Research Establishment Ltd – Department of Energy and Climate Change (DECC). UK, December 2013
- [Riley et al. 2013b] Riley, John; Hulme, Jack; Beaumont, Adele; Summers, Claire: Energy Follow-Up Survey 2011 (EFUS). Report 7: Thermal comfort & overheating; prepared by BRE on behalf of the Department of Energy and Climate Change; BRE report number 287472; bre - Building Research Establishment Ltd – Department of Energy and Climate Change (DECC). UK, December 2013
- [Wild 2017] Wild, Reiner: Mieterhöhungen nach Modernisierung und Energieeinsparung. Empirische Kurzstudie über 200 Maßnahmen im Berliner Mietwohngebäudebestand, Berliner Mieterverein, Berlin, 1. August 2017  
<https://www.berliner-mieterverein.de/downloads/pm-1725-modernisierung-bmv-kurzstudie.pdf>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Bild zu Kapitel 2.1 – Zuordnung des gemessenen Energieverbrauchs (y-Achse) zum Normenergiebedarf (x-Achse); Zusammenführung der Wertepaare von über 2800 Wohngebäuden aus 6 Studien.....	6
Abb. 2:	Bild zu Kapitel 3 – Beispiel für einen nicht-energetischen Nutzen des verbesserten Wärmeschutzes – Resilienz gegenüber einem Heizungsausfall oder einem Versorgungsengpass im Winter.....	9
Abb. 3:	Bild zu Kapitel 4 – Vorgeschlagenes Modell für die Abbildung des Zusammenhangs zwischen Energieverbrauch und Energiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10.....	12
Abb. 4:	Bild zu Kapitel 4 – Schätzfunktion für den Endenergiekennwert (H+W) nach DIN V 4108-6 / 4701-10 bei gegebenem Wert für DIN V 18599 für Kessel-Systeme, abgeleitet aus einer Parameterstudie mit 9 Beispielgebäuden.....	12
Abb. 5:	Bild zu Kapitel 4 – Vorgeschlagene Faktoren für die Schätzung des Verbrauchs auf der Basis des Normenergiebedarfs sowie Unsicherheit der jeweiligen Schätzung – zur Anwendung auf Endenergiekennwerte nach DIN V 4108-6 / 4701-10 (links) und nach DIN V 18599 (rechts).....	13
Abb. 6:	Abschätzung der Unsicherheit der (kalibrierten) Energiebilanzberechnung.....	14
Abb. 7:	Bild zu Kapitel 5 – Konzeptvorschlag für die Bewertung des nicht-energetischen Nutzens, Beispiel für ein bereits saniertes Gebäude (Farbskala und Icons in Anlehnung an den Sanierungsfahrplan des BMWi).....	15
Abb. 8:	Bild zu Kapitel 6 – Vergleich des typischen Verbrauchsniveaus und der typischen Streuung für die Realbilanzen mit unterschiedlichen Gebäudenutzungen für zwei Modernisierungszustände.....	17
Abb. 9:	Schema für die Zuordnung des typischen Verbrauchs zu einem Zustand vor und nach energetischer Modernisierung.....	18
Abb. 10:	Illustration der Interpretation von gemessenen Verbrauchswerten.....	19
Abb. 11:	Mögliches Schema für eine verbraucherorientierte Darstellung der Schätzwerte des Verbrauchs als Ergänzung zum Energiebedarfsausweis.....	21
Abb. 12:	Mögliches Schema für eine Integration des Aspektes der Bewohnerzahl bzw. Personenbelegung in die klimaschutzmotivierte Bewertung des Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser im Ist-Zustand und nach einer möglichen Modernisierung.....	22
Abb. 13:	Relation of metered energy consumption and standard calculated rating for 2856 residential buildings + derived benchmarks (average and standard deviation for intervals of 50 kWh/(m <sup>2</sup> a) calculated energy demand.....	27
Abb. 14:	Function for the calibration factor determined by a regression analysis of the data / formula for one of two proposed models including upper and lower boundary.....	28
Abb. 15:	Explanation for the observed large uncertainties.....	29
Abb. 16:	Zusammenhang zwischen dem gemessenen Heizwärmeverbrauch und (a) dem Transmissionswärmeverlust sowie (b) dem rechnerischen Heizwärmebedarf bei Modellprojekten des energieeffizienten Bauens [Loga et al. 2003].....	33
Abb. 17:	Energiepass-Feldversuch der dena / Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Verbrauch und Bedarf (Darstellung aus [Gruber et al. 2005]).....	35
Abb. 18:	Darstellung Verbrauch über Bedarf / gegenüber Abb. 17: vertauschte Achsen gespiegelte Diagrammflächen aus [Gruber et al. 2005].....	36
Abb. 19:	Zusammenhang Energieverbrauch und Energiebedarf Heizung und Warmwasser im Energiepass-Feldversuch der dena (Darstellung aus: [Erhorn 2007]) (nähere Angaben zu den Feldversuchsdaten siehe Abb. 17).....	37
Abb. 20:	Beispiel für die Abfrage der energetischen Qualität im Rahmen der Energieberatungsaktionen: Hessischer Energiepass (Stand 2003) (Bild aus: [Eicke-Hennig 2005]).....	38
Abb. 21:	Zusammenhang Energieverbrauch und Energiebedarf für Heizung / Gebäude aus der Datenbank der Bially-Energieberatungssoftware.....	39

Abb. 22:	Abgeleitete Kalibrierungsfaktoren für eine Anwendung auf den Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser gemäß TABULA-Bilanzverfahren (Bild aus [Loga et al. 2015] S. 80).....	40
Abb. 23:	Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Energiebedarf für 59 unterschiedliche Wohngebäude der OPTIMUS-Studie (aus: [Jagnow et al. 2007]) .....	41
Abb. 24:	Auszug aus dem Fragenbogen „Energieausweis für Wohngebäude“ (Bildquelle: ISTA) .....	42
Abb. 25:	Mediane der Energiekennwerte (Heizung ohne Warmwasser) nach Sanierungsgrad, Gebäudegröße und Gebäudealter [kWh/(m <sup>2</sup> a)] (Quelle: [Michelsen et al. 2010]) .....	43
Abb. 26:	Mittlere Energieverbrauchskennwerte nach Baualtersklasse und Modernisierungszustand für EFH/ZFH und MFH (aus: [Walberg et al. 2011]) .....	45
Abb. 27:	Auszug aus dem Fragenbogen „Energieverbrauchsausweis Wohngebäude“ (Quelle: BRUNATA -METRONA).....	47
Abb. 28:	Auszug aus dem Fragenbogen „Gebäude-Energieausweis“ [ASUE 2007].....	48
Abb. 29:	Auswertungen von Energieverbrauchsausweisen von nicht modernisierten Wohngebäuden aus Datenbanken von verschiedenen Messdienstleistern (aus: [Felsmann et al. 2013]) .....	51
Abb. 30:	Erläuterung der Klassen für Energieträger, Gebäudebualter und -größe.....	52
Abb. 31:	Objekte mit Solaranlagen gemäß [Bauer 2013]: Verbrauch Wärmeenergie aus Energielieferung und Erträgen Solar.....	53
Abb. 32:	Summenhäufigkeitsverteilungen der Energiekennwerte für Raumheizung von Kesselheizungen (Gas, Öl) in Deutschland nichtmodernisierte Gebäude, errichtet bis 1977 (rot) und bis 1994 (hellblau), Gebäude gemäß WSchV 1995 (orange), Neubauten gemäß EnEV 2002 (grün). Gleichfarbige Kurven repräsentieren 5 von rechts nach links zunehmende Gebäudegrößen .....	54
Abb. 33:	Endenergieverbrauch von energieeffizienten Gebäuden (Bild aus: [Zeine et al. 2015]) .....	57
Abb. 34:	Vergleich der Verbrauchskennwerte von 19 Wohngebäuden im Effizienzhaus Plus Standard (Jahr 2014) mit dem rechnerischen Endenergiebedarf nach DIN V 18599, differenziert nach Heizung/Warmwasser und Haushaltsstrom (Quelle: [Erhorn / Bergmann 2015]) .....	61
Abb. 35:	19 Wohngebäude im Effizienzhaus Plus Standard, Wärmeversorgung mit Elektro-Wärmepumpen, Verbrauchskennwerte 2014 aufgetragen über dem rechnerischen Endenergiebedarf nach DIN V 18599, jeweils für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom (Zahlenwerte aus [Erhorn / Bergmann 2015]).....	62
Abb. 36:	Zusammenhang von Verbrauchskennwerten und Bedarfskennwerten für 51 Mehrfamilienhäuser [Graf 2016].....	63
Abb. 37:	Zusammenhang von Verbrauchskennwerten mit den Bedarfskennwerten für 121 dena-Effizienzhäuser (Datenbank + Zusatzfragebogen + Scan Abrechnung) [Bigalke et al. 2016] .....	65
Abb. 38:	Zusammenhang von Verbrauchskennwerten mit den Bedarfskennwerten für 10 dena-Effizienzhäuser (Ausreißer-Analyse mit Begehung) [Grafe et al. 2016] Wärmeversorgung: Brennstoffe (links) / Elektrowärmepumpen (rechts).....	66
Abb. 39:	Energiepass Luxemburg .....	68
Abb. 40:	Auswertung der Datenbank des Luxemburger Energiepasses (Norm-Bilanzierung) .....	69
Abb. 41:	Bedarf und Verbrauch an Heizwärme der mit passivhaustauglichen Komponenten modernisierten Wohngebäude [HessenEnergie 2016] .....	70
Abb. 42:	Erklärungsschema für einen Fall, bei dem die reale Einsparung geringer ist als durch das Normberechnungsverfahren beschrieben [Sunikka-Blank / Galvin 2012] .....	72
Abb. 43:	Quellen für die Analyse der Rebound- und Preboundeffekte in [Sunikka-Blank / Galvin 2012] .....	73
Abb. 44:	Verbrauchskennwerte für ab 1977 errichtete Gebäude, differenziert nach Baujahr [co2online 2014] (in der Quelle ohne nähere Angaben zu den Kennwerten).....	74
Abb. 45:	Verbrauchskennwerte für vor 1978 errichtete Gebäude, differenziert nach Anzahl umgesetzter Sanierungen [co2online 2014] (in der Quelle ohne nähere Angaben zu den Kennwerten) .....	74
Abb. 46:	Verbrauchskennwerte für vor 1978 errichtete Ein- und Zweifamilienhäuser differenziert nach Umfang umgesetzter Sanierungen [co2online 2014] (in der Quelle ohne nähere Angaben zu den Kennwerten).....	74

Abb. 47:	Ergebnisse der in [Vogler 2014] durchgeführte Meta-Analyse von Studien zur Energieeinsparung durch energiesparende Maßnahmen; Energieverbrauch für Heizung und Warmwasserbereitung, Flächenbezug Wohnfläche, klimabereinigt.....	75
Abb. 48:	Zusammenhang Energieverbrauch und Energiebedarf für Heizung in [Techem 2016] .....	76
Abb. 49:	Zusammenhang Verbrauch-Bedarf / Auswertung der Datenpunkte aus sechs der in Kapitel 2.1 analysierten Studien Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Brennwert-Bezug bei Brennstoffen / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger .....	82
Abb. 50:	Zusammenhang Verbrauch-Bedarf / Zusammenführung der Daten aus Abb. 49 Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Brennwert-Bezug bei Brennstoffen / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger .....	83
Abb. 51:	Prozentuale Auswirkung einer Bedarfserhöhung in Abhängigkeit des ursprünglichen Bedarfswertes (eigene Darstellung).....	88
Abb. 52:	Änderung des Heizwärmeharbedarfs in Abhängigkeit der Raumtemperatur bei unterschiedlichen energetischen Standards [Knissel, Loga 1997] .....	89
Abb. 53:	Veränderung des Heizwärmebedarfs aufgrund der Lage im Gebäude und der Anzahl der Flächen gegen Außenluft [Hacke, Born 2011] .....	90
Abb. 54:	Einfluss auf den Heizwärmebedarf von vier Wohneinheiten bei Variation der Soll-Temperatur für das Endhaus (oben) und das Mittelhaus (unten) [Knissel, Loga 1997] .....	91
Abb. 55:	Spezifischer Heizwärmebedarf bei unterschiedlich lang gekippter Balkontür [Knissel, Loga 1997] (oben); spezifischer Heizwärmebedarf bei unterschiedlichen Öffnungsstellungen [Knissel, Loga 1997] (unten) .....	93
Abb. 56:	Einfluss unterschiedlicher Heizstrategien, wenn eine Balkontür dauerhaft gekippt ist [Knissel, Loga 1997].....	93
Abb. 57:	oben: Einfluss der Fenstergröße auf den Heizwärmebedarf der Passivhäuser in [Ebel et al. 2003]; unten: berechneter Heizwärmebedarf bei den in [Ebel et al. 2003] gemessenen Fensteröffnungszeiten.....	94
Abb. 58:	Zusätzlicher Luftwechsel durch ein großes (oben) bzw. ein kleines (unten) gekipptes Fenster bezogen auf ein Luftvolumen von 250 m <sup>3</sup> [Ebel et al. 2003] .....	95
Abb. 59:	Vergleich des Luftaustauschmodells nach [Loga et al. 2003] mit dem Modell nach [Schnieders 2003] für ein Reihenmittelhaus mit 103 m <sup>3</sup> .....	97
Abb. 60:	Gemessene n <sub>50</sub> -Werte von Gebäuden ohne Lüftungsanlage, Stand 2004 [Trauernicht 2017] .....	98
Abb. 61:	Zusammenhang zwischen n <sub>50</sub> -Wert und Infiltrationsluftwechsel für ein Beispielgebäude (Berechnungsgrundlage: [PHPP Version 2009]) .....	99
Abb. 62:	Korrekturfaktor f <sub>re</sub> in Abhängigkeit vom spezifischen Wärmeleitwert für verschiedene Stufen der Teilbeheizung (oben), Korrekturfaktor f <sub>ze</sub> für Nacht- und Wochenendabsenkung in Abhängigkeit vom Wärmeleitwert für verschiedene Absenkezeiten (unten) [Loga et al. 1999] .....	100
Abb. 63:	Effektive mittlere Raumtemperatur – Auswirkung der Nachtabsenkung, der räumlichen Teilbeheizung und des Nutzungsfaktors [Loga et al. 2003].....	101
Abb. 64:	Flächenspezifischer Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit von Solltemperatur [Richter et al. 2003] (oben); relative Änderung des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit vom Anlagensystem und vom Fensterlüftungsverhalten bei Nachtabsenkung [Oppermann 2003] (unten) .....	102
Abb. 65:	Einfluss des Jahresangebots an inneren Wärmequellen auf den Jahresheizwärmebedarf bei drei verschiedenen energetischen Wärmeschutzstandards [Knissel, Loga 1997] .....	105
Abb. 66:	Von der Bewohneranzahl abhängige Anteile vom Wärmeangebot und Wärmeverlust sowie resultierende Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs eines Passivhauses [Knissel, Loga 1997] .....	105
Abb. 67:	Duschhäufigkeit pro Woche in Abhängigkeit des Alters der Bewohner in den Niederlanden [Polinder et al. 2013].....	107
Abb. 68:	Einfluss des Nutzerverhaltens (Zapfprofile) auf den Primärenergiebedarf [Lüdemann, Schmitz 2003].....	108
Abb. 69:	Flächenspezifischer Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit von Gesamt-Nutzerverhalten und Wärmeschutzniveau (links) und relative Änderung des	



	Gesamtwärmebedarfs des Gebäudes für Heizung und Trinkwarmwasser (rechts) [Richter et al. 2003].....	108
Abb. 70:	Matrix der gegenseitigen Beeinflussung von Faktoren auf den Energieverbrauch eines Hauses [Jagnow 2004].....	109
Abb. 71:	Flächenspezifischer Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit von Gesamt-Nutzerverhalten und Wärmeschutzniveau [Richter et al. 2003].....	110
Abb. 72:	Vergleich von „Sparern“ und „Verschwendern“ in Gebäuden ohne Lüftungsanlage [Loga et al. 2003].....	111
Abb. 73:	Vergleich von „Sparern“ und „Verschwendern“ in Gebäuden mit Lüftungsanlage [Loga et al. 2003].....	111
Abb. 74:	Flächenspezifischer Jahresenergiebedarf (Heizung+Übergabeverluste) in Abhängigkeit von Raumregler und Wärmeschutzniveau [Richter et al. 2003] (oben); Flächenspezifischer Jahresenergiebedarf (Heizwärme+Übergabeverluste) unter Variation der Temperaturdifferenz für Ablüftvorgänge [Richter et al. 2003] (unten) .....	112
Abb. 75:	Mehr- bzw. Minderbedarf unterschiedlicher innerer Wärmequellen für verschiedene Wärmeübergabe und energetische Standards [Schnieders 2005] .....	114
Abb. 76:	Heizwärmebedarf für verschiedene Baustandards, Nutzer und Heizsysteme [Schnieders 2005] .....	115
Abb. 77:	Flächenspezifischer, brennstoffbezogener Jahresheizenergiebedarf in Abhängigkeit von Nutzereingriffen in die Heizungsanlage und vom Wärmeschutzniveau [Richter et al. 2003] ....	116
Abb. 78:	Relative Änderung des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit vom Anlagensystem und vom Fensterlüftungsverhalten bei Variation der Raumtemperatur [Oppermann 2003].....	119
Abb. 79:	Heizwärmebedarf in Abhängigkeit vom Anlagensystem und von der Regelstrategie der Heizung bei maximaler Fensterlüftung (Nachtlüftung in beiden Schlafzimmern); Innentüren: links offen, rechts geschlossen [Oppermann 2003].....	119
Abb.80:	Einfluss der Raumtemperatur und anderer Parameter auf den Gesamtenergieverbrauch im ökonometrischen Modell von Biermayr ([Biermayr 1998, Abbildung 4.4]) .....	127
Abb. 81:	Relative Häufigkeitsverteilung des Benutzerfaktors für EFHs und MFHs ohne (EO) und mit (ZH) Zentralheizung ([Biermayr 1998, Abbildung 5.1]) .....	127
Abb. 82:	Mittelwerte der Raumtemperaturen in Abhängigkeit von Gebäudetyp und Art der Heizwärmeerzeugung (Lufttemperatur im Wohnzimmer zum Zeitpunkt der Nutzerbefragung; nach [Rouvel 1982, Bild 6]) .....	129
Abb. 83:	Beheizte Fläche in Abhängigkeit vom Gebäudetyp und der Art der Heizwärmeerzeugung (Ergebnis der Nutzerbefragung; nach [Rouvel 1982, Bild 5]) .....	129
Abb.84:	Kennwerte des Nutzerverhaltens für untersuchte Passivhäuser und Niedrigenergie-Neubauten ([Loga et al. 2003, Tabelle 6]) .....	130
Abb.85:	Untersuchung der bei Verbrauchsermittlungen festgestellten Raum- und Heizflächentemperaturen für verschiedene Baualtersklassen (Auszug aus [Schröder et al. 2014, Tabelle 3]) .....	131
Abb. 86:	Verlauf der Mittelwerte der Raumtemperaturen für Gebäude unterschiedlicher Baualtersklassen (nach [Schröder et al. 2014, Tabelle 3 und Bild 5]) .....	131
Abb. 87:	Anteil selten beheizter Flächen in Einfamilienhäusern aus einer Nutzerbefragung (basierend auf [Jagnow, Wolff 2005, Bild 68]) .....	132
Abb. 88:	Häufigkeitsverteilung des Warmwasserbedarfs von MFH basierend auf ista-Daten zur Verbrauchsabrechnung ([Offermann et al. 2017, Abb. 3]) .....	133
Abb. 89:	Häufigkeitsverteilung des Warmwasserbedarfs von MFH basierend auf co2online-Befragungsdaten ([Offermann et al. 2017, Abb. 9]) .....	134
Abb. 90:	Häufigkeitsverteilung des Warmwasserbedarfs von MFH basierend auf co2online-Befragungsdaten ([Offermann et al. 2017, Abb. 12]) .....	134
Abb. 91:	Boxplot der mittleren Wohnzimmertemperaturen im Untersuchungszeitraum ([Riley et al. 2013, Abb. 7]).....	135
Abb. 92:	Gruppierung von Haushalten nach typischem Verlauf von Wohnzimmertemperaturen an Werktagen ([Huebner et al. 2015, Abb. 1a]) .....	138
Abb. 93:	Vergleich der flächen- und personenspezifischen Wärmegewinne (F-Rotlintstraße).....	147
Abb. 94:	Verlauf des flächen- und personenzahlspezifischen Warmwasserverbrauchs nach Haushaltsgröße (H-Kronsberg) .....	157

Abb. 95:	Verlauf der flächen- und personenzahlspezifischen internen Wärmegewinne durch Haushaltsstromverbrauch nach Haushaltsgröße (H-Kronsberg).....	158
Abb. 96	Gemessene Raumtemperaturen und Zufriedenheit mit der Temperatur im Wohnzimmer tagsüber (Quelle: [Hacke et al. 2012], S. 42).....	168
Abb. 97:	Prozentualer Anteil der Einschätzung aktuelle Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Innentemperatur (n= 694) (Quelle: [Wagnitz 2016], Abb. 48, S. 86).....	168
Abb. 98:	Angaben zur idealen Raumtemperatur verschiedener Haushaltstypen (Quelle: [Hacke 2010], S. 886; ergänzt um weitere Angaben).....	173
Abb. 99:	Gründe für die Fensteröffnung (im Winter) im Passivhaus (Quelle: [Baumann & Hacke 2018], in Veröffentlichung).....	180
Abb. 100:	Gemessener Warmwasserverbrauch in Kubikmeter/Person und berichtete Haushaltsgröße (Quelle: [Hacke et al. 2012], S. 71).....	185
Abb. 101:	Energiebezogener und Zusatznutzen energetischer Modernisierungen (in Anlehnung an [Ferreira/Almeida 2015], S. 2398).....	192
Abb. 102:	Behaglichkeitsfeld nach Fanger, Roedler und Frank (Quelle: [Frank 1975] zitiert nach [Dentel/Dietrich o. J.].....	199
Abb. 103:	Behaglichkeitstemperatur (operative Temperaturen) in Abhängigkeit von Aktivität und Kleidung (nach: [Zürcher/Frank 2004], S. 12).....	200
Abb. 104:	Wandoberflächentemperaturen in Abhängigkeit der Dämmstärke.....	200
Abb. 105:	Kondensation und Schimmelgefahr (roter Bereich) an kalten Bauteilen.....	201
Abb. 106:	Auskühlverhalten bei Heizungsausfall (eigene Berechnung).....	202
Abb. 107:	Wärmeverlust und Luftströmungen an Isolierglas sowie zweifacher und dreifacher Wärmeschutzverglasung (Randbedingungen: innen +20° und außen -10°C) [Eicke-Hennig/Born 2012].....	203
Abb. 108:	Luftdichte Ebene aus Baupappe [Eicke-Hennig/Krönig 2012].....	204
Abb. 109:	Luftqualität in einem Fensterbelüfteten Zimmer [Borsch-Laaks 2012].....	206
Abb. 110:	Regionen, für die Lärmkartierungen erstellt wurden [Heinrichs et al. 2016].....	207
Abb. 111:	Schalldämmmaß einer Dachkonstruktion (Quelle: [Saint-Gobin 2017]).....	207
Abb. 112:	Beispiele für ästhetische Aufwertung im Zuge energetischer Modernisierungen; Fotos jeweils vor und nach Durchführung der Maßnahmen.....	209
Abb. 113	Exemplarische Auswertung der Verbrauchs-Bedarfs-Datensammlung / mittlere Energieverbrauchswerte für Intervalle des Norm-Energiebedarfs Auswertung der in Kapitel 2.1 analysierten Studien / Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Brennwert-Bezug bei Brennstoffen / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger.....	234
Abb. 114:	Zuordnung des erwarteten Energieverbrauchs und der typischen Streuung zu einem gegebenen Energiebedarf.....	237
Abb. 115	Gemessener Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser, aufgetragen über dem Norm-Endenergiebedarf Wärme für die in Kapitel 2.1 analysierten Gebäude (Stichprobensammlung) Flächenbezug: beheizte Wohnfläche / Anlagen mit Kombi-Betrieb für Heizung und Warmwasser / Energieträger: Erdgas und Fernwärme / Brennwert-Bezug bei Brennstoffen / Gebäude ohne zusätzliche Wärmeerzeuger.....	238
Abb. 116:	Stichprobe und lineare Regressionsgleichung der logarithmierten Variablen / Darstellung $\ln(q_{del,m})$ als Funktion von $\ln(q_{del,c})$ / lineare Skalierung beider Diagrammachsen (mit Angabe der Regressionsformel, des Bestimmtheitsmaßes $R^2$ und der Standardabweichung $\sigma$ ).....	243
Abb. 117:	Stichprobe und lineare Regressionsgleichung der logarithmierten Variablen / Darstellung $q_{del,m}$ als Funktion von $q_{del,c}$ / logarithmische Skalierung beider Diagrammachsen.....	244
Abb. 118:	Stichprobe und lineare Regressionsgleichung der logarithmierten Variablen / Darstellung $q_{del,m}$ als Funktion von $q_{del,c}$ / lineare Skalierung beider Diagrammachsen.....	244
Abb. 119:	Kalibrierungsfunktionen: Faktoren für das erwartete Verhältnis aus Verbrauch und Bedarf (grün) und für den oberen und unteren Streubereich.....	245
Abb. 120:	Vergleich der Schätzfunktion für den Energieverbrauch mit den für Bedarfsintervalle bestimmten Vergleichswerten (dem Normenergiebedarf zugeordnete Mittelwerte des Verbrauchs, siehe Abschnitt 4.2.3).....	246

Abb. 121:	Vergleich der Schätzfunktion für das Verbrauchs-Bedarfs-Verhältnis mit den für Bedarfsintervalle bestimmten Verhältnissen aus Vergleichswerten und mittleren Bedarfswerten (siehe Abschnitt 4.2.3) .....	247
Abb. 122:	Schätzfunktion für den Energieverbrauch gemäß Modell 2 (Gln. (13), (16) und (19)) Bestimmtheitsmaß des logarithmierten Energieverbrauchs: $R^2 = 0,389$ .....	252
Abb. 123:	Kalibrierungsfunktion für den Energieverbrauch gemäß Modell 2 .....	252
Abb. 124:	Vergleich der Kalibrierungsfaktoren .....	253
Abb. 125:	Anwendung des Modells 1 auf die Stichprobensammlung Datenpunkte: Endenergieverbrauch der Gebäude aufgetragen über dem aus dem jeweiligen Norm-Energiebedarf bestimmten Schätzwert des Verbrauchs .....	254
Abb. 126:	Anwendung der Modelle 1 und 2 auf die Stichprobensammlung Datenpunkte: Endenergieverbrauch der Gebäude aufgetragen über dem aus dem jeweiligen Norm-Energiebedarf bestimmten Schätzwert des Verbrauchs gestrichelte Linien: Ergebnis der linearen Regression der logarithmierten Variablen Verbrauch und Schätzwert des Verbrauchs entsprechend dem Ansatz von Modell 2 (Gleichung (7)) .....	255
Abb. 127:	Kalibrierung der Energiesparberechnung, wenn kein individueller Verbrauchswert vorliegt: Abgleich mit Durchschnittswerten des Verbrauchs .....	256
Abb. 128:	Abgleich mit dem individuellen Verbrauch: Beispiel für die Auswirkung einer Vollmodernisierung .....	258
Abb. 129:	Abgleich mit dem individuellen Verbrauch: Beispiel für die Auswirkung einer Teilmodernisierung .....	259
Abb. 130:	Differenzierung nach Energieträger .....	273
Abb. 131:	Differenzierung nach Anlagentechnik .....	273
Abb. 132:	Differenzierung nach Beispielgebäude .....	274
Abb. 133:	Differenzierung nach Wärmeschutz und Energieträger .....	274
Abb. 134:	Differenzierung nach dem Delta beim Iterationsende der Berechnung nach DIN V 18599 .....	275
Abb. 135:	Ausgangsdatensätze Kessel-Systeme .....	277
Abb. 136:	Lineares Regressionsmodell .....	277
Abb. 137:	Lineare Regression mit erzwungenem Nullpunkt-Durchgang .....	278
Abb. 138:	Mittelwerte für Intervalle und lineare Regression (mit erzwungenem Nullpunkt-Durchgang) im Vergleich .....	278
Abb. 139:	Ausgangsdatensätze Systeme mit Elektrowärmepumpen .....	279
Abb. 140:	Lineare Regression .....	280
Abb. 141:	Lineare Regression mit erzwungenem Nullpunkt-Durchgang .....	280
Abb. 142:	Schätzung des klimabereinigten Verbrauchskennwertes auf der Basis des Normenergiebedarfs nach DIN V 18599 .....	282
Abb. 143:	zugehöriger Kalibrierungsfaktor Verbrauchsschätzung als Funktion des Normenergiebedarfs nach DIN V 18599 .....	283
Abb. 144:	Schätzung des Energieverbrauchs auf der Basis des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599 / Visualisierung des Mechanismus und der zu Grunde liegenden empirischen Informationen .....	284
Abb. 145:	Schema für eine realistische Bilanzierung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Eingangsdaten sowie des Abgleichs an empirisch ermittelten Verbrauchsdaten – Idealverfahren und Vereinfachungen für die praktische Anwendung .....	286
Abb. 146:	Reduktionsfaktor für zeitliche Teilbeheizung nach [Loga et al. 1999] für den unsanierten Altbau (Zeitkonstante ca. 25 h), ein Passivhaus (Zeitkonstante ca. 200 h) und einen mittleren Standard mit 100 h Zeitkonstante .....	290
Abb. 147:	Vergleich der Unsicherheiten des Endenergiebedarfs der Realbilanz mit der empirisch ermittelten Streuung des Verbrauchs .....	300
Abb. 148:	Ergebnisse der Fehlerbetrachtung für erhobene Daten im Vergleich mit den empirischen Daten aus der Stichprobensammlung und der charakteristischen Streuung von Modell 2 .....	301
Abb. 149:	Schema für eine anschauliche Präsentation des typischen Energieverbrauchs als Information für Endverbraucher (hier: mit Kesseln beheizte Einfamilienhäuser inklusive beispielhaften Zahlenwerten für eine Baualtersklasse; ähnliches Schema für Reihenhäuser und Mehrfamilienhäuser) .....	302

Abb. 150:	Schema für eine verbraucherorientierte Darstellung realistischer Kennwerte für ein Beispiel-Einfamilienhaus im Ist-Zustand (Z1) mit Vorschlägen zur Modernisierung (Z2) / Schätzwerte des Verbrauchs und typische Spannen für die Zustände Z1 und Z2 und Kalibrierung der Prognose mit der für Z1 vorliegenden Verbrauchsmessung.....	304
Abb. 151:	wie Abb. 150; Darstellung für einen Fall, in dem kein gemessener Verbrauch vorliegt .....	305
Abb. 152:	Verbraucherorientierte Darstellung der mit der Beheizung und Warmwasserbereitung verbundenen CO <sub>2</sub> -Emissionen für ein Beispiel-Einfamilienhaus vor und nach Modernisierung und Vergleich mit den aus Klimaschutzsicht erforderlichen Wert.....	306
Abb. 153:	Module für die schrittweise Einführung der realistischen energetischen Bewertung.....	307
Abb. 154:	Im Energieausweis verwendeter Bandtacho und Effizienzklassen, gemäß Anlage 6 zu § 16 der EnEV 2014 .....	317
Abb. 155:	Vorschlag zur Bewertung des Winterlichen Wärmeschutzes und des damit einhergehenden thermischen Komforts im Winter, Beispiel für ein bereits saniertes Gebäude, Farbskala und Icons in Anlehnung an [BMW <sub>i</sub> 2017b] .....	326
Abb. 156:	Vorschlag zur Bewertung des Winterlichen Wärmeschutzes und des damit einhergehenden thermischen Komforts im Winter, Farbskala und Icons in Anlehnung an [BMW <sub>i</sub> 2017b].....	327
Abb. 157:	Vorschlag zur Bewertung des Sommerlichen Wärmeschutzes und des damit einhergehenden thermischen Komforts im Sommer, Beispiel für ein bereits saniertes Gebäude.....	328
Abb. 158:	Vorschlag zur Bewertung des Sommerlichen Wärmeschutzes und des damit einhergehenden thermischen Komforts im Sommer, Beispiel für ein weitgehend unsaniertes Gebäude .....	328
Abb. 159:	Vorschlag zur Bewertung von Art und Komfort der Lüftung, Beispiel für ein bereits saniertes Gebäude, Farbskala und Icon in Anlehnung an [BMW <sub>i</sub> 2017b] .....	329
Abb. 160:	Vorschlag zur Bewertung von Art und Komfort der Lüftung, Beispiel für ein weitgehend unsaniertes Gebäude, Farbskala und Icon in Anlehnung an [BMW <sub>i</sub> 2017b] .....	329
Abb. 161:	Exemplarische Darstellung des vorgeschlagenen Konzeptentwurfs für ein saniertes und ein weitgehend unsaniertes Gebäude, Farbskalen und Icons in Anlehnung an [BMW <sub>i</sub> 2017b] .....	330
Abb. 162:	Vorschlag für mögliche Ergänzungen der Modernisierungsempfehlungen im Energieausweis .....	332
Abb. 163:	Übersicht des Deutschen Wohngebäudebestands der Baujahre bis 2009 nach Baualtersklassen und Gebäudegröße [Diefenbach 2013] .....	336
Abb. 164:	Vergleich von Standardbilanzierung, typischem Verbrauchsniveau und Bilanzierung mit typischem Nutzer für die zwei Fallbeispiele im Ausgangszustand .....	344
Abb. 165:	Vergleich des typischen Verbrauchsniveaus und der typischen Streuung für die Realbilanzen im Ausgangszustand mit unterschiedlichen Gebäudenutzungen .....	345
Abb. 166:	Vergleich der typischen Nutzung und der typischen Streuung für die Realbilanzen im Modernisierungszustand 1 mit unterschiedlichen Gebäudenutzungen .....	347
Abb. 167:	Vergleich der typischen Nutzung und der typischen Streuung für die Realbilanzen im Modernisierungszustand 2 mit unterschiedlichen Gebäudenutzungen .....	347
Abb. 168:	Vergleich von Einsparpotentialen der Modernisierungsvarianten gegenüber dem unsanierten Zustand bei gleichbleibender Nutzung.....	348
Abb. 169:	Gemessener Energieverbrauch und Schätzwerte des Verbrauchs für das Einfamilienhaus mit Nutzungsprofil „EFH.3“ als Beispiel für das Ergänzungsblatt zum Energieausweis (vgl. Kap. 4.7.2).....	350
Abb. 170:	Bewertung der CO <sub>2</sub> -Emissionen für das Einfamilienhaus mit Nutzungsprofil „EFH.3“ als Ergänzungsblatt zum Energieausweis (vgl. Kap. 4.7.2) .....	351
Abb. 171:	Beispiel Bewertung des thermischen Komforts für das Fallbeispiel Einfamilienhaus, Modernisierungsvariante 1 .....	352
Abb. 172:	Beispiel Bewertung des thermischen Komforts für das Fallbeispiel Einfamilienhaus, Modernisierungsvariante 2 .....	353

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Tabelle zu Kap. 2.3 – Aus den Parameterstudien abgeleitete und vereinfachte Aussagen zum Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch von Gebäuden („Daumenregeln“)	8
Tab. 2:	Tabelle zu Kapitel 4 – Vorgeschlagenes Schema für die Angabe von Vergleichswerten Energieverbrauch nach Baualtersklasse (unsanierte Gebäude) und provisorische Zahlenwerte (zusammengeführt aus zwei Untersuchungen)	10
Tab. 3:	Tabelle zu Kapitel 4 – Vorgeschlagenes Schema für die Angabe von Vergleichswerten Energieverbrauch für Intervalle des Norm-Energiebedarfs	11
Tab. 4:	Beispielhafte Ergebnisse der Vergleichswerte-Studie für mit Gas und Öl beheizte Gebäude [Fisch et al. 2012]	49
Tab. 5:	Anzahl der in [Bauer 2013] untersuchten Gebäude bzw. Wohnungen	53
Tab. 6:	Ergebnisse der Auswertung von Energieverbrauchsausweisen in [Schröder et al. 2014]	55
Tab. 7:	Verbrauchskennwerte für Heizung und Warmwasser energetisch hocheffizienter Wohngebäude differenziert nach Energieträger, Gebäudeart und Effizienzstandard (aus: [Zeine et al. 2015])	58
Tab. 8:	Verbrauchskennwerte für Heizung und Warmwasser energetisch hocheffizienter Wohngebäude differenziert nach Gebäudeart, Effizienzstandard und Energieträger (aus: [Zeine et al. 2015])	59
Tab. 9:	Gegenüberstellung der gemäß [Bigalke et al. 2016] berechneten und gemessenen mittleren Energiekennwerte ([Bigalke et al. 2016] Abbildung 14 und 15)	66
Tab. 10:	Zusammenfassung der empirischen Studien zum Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser bei Wohngebäuden / Verwendbarkeit der Daten für die Bildung von differenzierten Vergleichswerten bzw. für die Kalibrierung der EnEV-Berechnung	78
Tab. 11:	Verbrauchskennwerte aus der Studie [Schröder et al. 2014], übertragen in das Schema der Vergleichswert-Tabellen aus Kapitel 4	80
Tab. 12:	Verbrauchskennwerte aus der Studie [Fisch et al. 2012], übertragen in das Schema der Vergleichswert-Tabellen aus Kapitel 4	80
Tab. 13:	Gegenüberstellung der gemäß [Bigalke et al. 2016] berechneten und gemessenen mittleren Energiekennwerte ([Bigalke et al. 2016] Abbildung 14 und 15)	81
Tab. 14:	Änderung des Heizwärmeharbedarfs bei einer um 1 K angehobenen Raumtemperatur in Abhängigkeit des Wärmeschutzniveaus für ein Reihenhaus und ein 12-Familienhaus [Oschatz, Richter 2004]	89
Tab. 15:	Änderung des Heizwärmeharbedarfs bei einem um 0,1 1/h angehobenen Luftwechsel in Abhängigkeit des Wärmeschutzniveaus für ein Reihenhaus und ein 12-Familienhaus [Oschatz, Richter 2004]	96
Tab. 16:	Auswirkungen des Wärmeschutzniveaus auf den Heizwärmebedarf bei gesenkten solaren Wärmegewinnen [Richter et al. 2003]	104
Tab. 17:	Auswirkungen des Wärmeschutzniveaus auf den Heizwärmebedarf bei verminderten inneren Wärmegewinnen [Richter et al. 2003]	106
Tab. 18:	Planungsgrößen für den Warmwasserbedarf bzw. den Energieaufwand für die Warmwasserbereitung (eigene Darstellung nach [Großklos, Schaede 2016, S.119])	107
Tab. 19:	Mittlere Nutzungsbedingungen zur Abbildung der gemessenen normierten Verbrauchsverteilung von Messdienstleistern (eigene Darstellung nach [Felsmann, Schmidt 2013])	112
Tab. 20:	Heizwärmebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)] in Abhängigkeit vom Anlagensystem, des n <sub>50</sub> -Wertes und des Fensterlüftungsverhaltens (Auszug der Ergebnisse in [Oppermann 2003])	118
Tab. 21:	Mehrbedarf an Endenergie bei Betrieb einer Warmwasserzirkulation gegenüber einem Betrieb ohne Zirkulation in Abhängigkeit von der Zirkulationsdauer für ein EFH nach EnEV2002, Zirkulation und Speicher im beheizten Bereich [Richter et al. 2003]	120
Tab. 22:	Endenergieeinsparung durch Absenkung des Temperaturniveaus im Warmwasserspeicher von 60 °C auf 45 °C (EFH nach EnEV2002, Zirkulation und Speicher im beheizten Bereich) [Richter et al. 2003]	121

Tab. 23:	Übersicht über die Auswirkungen unterschiedlicher Nutzerparameter auf den Wärmebedarf eines Gebäudes .....	122
Tab. 24:	Abgeleitete Pauschalaussagen („Daumenregeln“) .....	123
Tab. 25:	Warmwasserverbrauch für Ein-/Zweifamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser nach Auswertung der Datensätze von ista und co2online ([Offermann et al. 2017]) .....	133
Tab. 26:	Mittelwerte der monatsmittleren Raumtemperaturen für Zone 1 (Wohnzimmer) und Zone 2 (Mittel aus Flur und Schlafzimmer) (nach [Riley et al. 2013, Tabelle 4]) .....	136
Tab. 27:	Mittlere Gebäudetemperaturen (nach [Riley et al. 2013, Anhang A.2.a]) .....	136
Tab. 28:	Monatsmittlere Raumtemperaturen in der Heizperiode Oktober bis April in Abhängigkeit von Gebäudeeigenschaften (nach [Riley et al. 2013, Tabelle 9]) .....	137
Tab. 29:	Tagesmittelwerte und Standardabweichung der Wohnzimmertemperaturen für Gruppen gleichen typischen Temperaturverlaufs (nach [Huebner et al. 2015, Tabelle 2]) .....	139
Tab. 30:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (KA – Rintheim) .....	140
Tab. 31:	Darstellung der Streubreiten bei der Betrachtung der Öffnungsdauern einzelner Fenster anstelle von Durchschnittswerten je Wohneinheit (KA – Rintheim) .....	140
Tab. 32:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (F – Tevesstraße) .....	141
Tab. 33:	Darstellung zusätzlicher messtechnisch erfasster Größen zum Nutzerverhalten (F – Tevesstraße) .....	142
Tab. 34:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (F – Cordierstraße) .....	143
Tab. 35:	Darstellung der ungewichteten Wohnungsmitteltemperaturen (F – Cordierstraße) .....	143
Tab. 36:	Raumlufttemperaturen der Wohnungen im Sanierungsprojekt „Cordierstraße“ ([Großkloß et al. 2016, Tabelle 37] und eigene Auswertung) .....	144
Tab. 37:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (F – Rotlintstraße) .....	145
Tab. 38:	Darstellung zusätzlicher Größen zum Nutzerverhalten (F – Rotlintstraße) .....	146
Tab. 39:	Vergleich der flächen- und personenspezifischen Wärmegewinne (F-Rotlintstraße) .....	146
Tab. 40:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (B – Albert-Schweizer-Viertel) .....	148
Tab. 41:	Darstellung zusätzlicher Größen zum Nutzerverhalten (B – Albert-Schweizer-Viertel) .....	148
Tab. 42:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (Cottbus – P 2) .....	149
Tab. 43:	Darstellung zusätzlicher Größen zum Nutzerverhalten (Cottbus – P 2) .....	150
Tab. 44:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (Friedland) .....	151
Tab. 45:	Warmwasserverbrauch nach Wohnungsgröße (Friedland) .....	151
Tab. 46:	Flächenspezifischer Warmwasserverbrauch nach Wohnungsgröße (Friedland) .....	152
Tab. 47:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (HH – Kleine Freiheit) .....	153
Tab. 48:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (HH – Pinnasberg) .....	154
Tab. 49:	Auswertung des flächenspezifischen elektrischen Energieverbrauchs von Haushalten mit elektrischem Herd und Gasherd (HH – Pinnasberg) .....	154
Tab. 50:	Spezifischer Haushaltsstromverbrauch nach Haushaltsgröße (HH – Pinnasberg) .....	155
Tab. 51:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (H – Kronsberg) .....	156
Tab. 52:	Auswertung des Warmwasserverbrauchs nach Haushaltsgröße (H – Kronsberg) .....	156
Tab. 53:	Auswertung der internen Wärmequellen aufgrund des Haushaltsstromverbrauchs nach Haushaltsgröße (H – Kronsberg) .....	157
Tab. 54:	Zusammenfassung des messtechnisch erfassten und auswertbaren Nutzerverhaltens (S – Feuerbach) .....	158
Tab. 55:	Ergebnisse ausgewerteter Messdaten zum Nutzerverhalten aus Modellprojekten und Studien .....	159

Tab. 56:	Übersicht über die einbezogenen sozialwissenschaftlichen Studien.....	162
Tab. 57:	Spektrum der in Befragungen berichteten/gemessenen Innentemperaturen.....	166
Tab. 58:	Studien mit Häufigkeitsangaben, Mittelwerten o.ä. zu Wohn- und Schlafzimmertemperaturen bzw. Tag- und Nachttemperaturen .....	170
Tab. 59:	Anteile von Befragten, die eine Temperaturabsenkung praktizieren .....	171
Tab. 60:	Abfrage des Heizverhaltens bzw. der Raumtemperaturen in den verschiedenen Studien .....	173
Tab. 61:	In Studien ermittelte prozentuale Anteile von Befragten in Passivhausgebäuden mit Lüftungsanlagen, die auf eine Fensterlüftung im Winter verzichten .....	180
Tab. 62:	In Studien ermittelte prozentuale Anteile von Befragten, die nachts bei geöffnetem Fenster schlafen.....	181
Tab. 63:	In Studien berichtetes Fensteröffnungsverhalten im Winter bezogen auf eine unterschiedliche Raumnutzung.....	182
Tab. 64:	Abfrage des Lüftungsverhaltens in den unterschiedlichen Studien .....	182
Tab. 65:	In Studien vorgefundene Hinweise auf den Einfluss von Haushaltsmerkmalen auf die Warmwassernutzung .....	186
Tab. 66:	Abfrage des Warmwasserverbrauchs bzw. der Warmwassernutzung in den verschiedenen Studien.....	187
Tab. 67:	Mögliche makroökonomische Nutzen energetischer Modernisierungen (in Anlehnung an [Ferreira/Almeida 2015], S. 2401] und [Ürge-Vorsatz et al. 2009], S. 187) .....	193
Tab. 68:	Mögliche mikroökonomische Nutzen energetischer Modernisierungen (in Anlehnung an [Ferreira/Almeida 2015], S. 2401] und [Ürge-Vorsatz et al. 2009], S. 187) .....	198
Tab. 69:	Übersicht über die einbezogenen sozialwissenschaftlichen Studien.....	211
Tab. 70:	Übersicht über die einbezogenen sozialwissenschaftlichen Studien.....	217
Tab. 71:	Überblick über die Ansätze für die energetische Bilanzierung von Gebäuden differenziert nach Funktion bzw. Anwendungsbereich (vgl. [Loga et al. 2001] / [Pehnt et al. 2015]) .....	228
Tab. 72:	Schema für die Angabe von Vergleichswerten Energieverbrauch nach Baualtersklassen (unsanierte Gebäude) und provisorische Zahlenwerte aus zwei in Kap. 2.1 dargestellten Untersuchungen.....	230
Tab. 73:	Schema für die Darstellung von Vergleichswerten für unterschiedliche Neubau-Standards (auf Grund der Datenlage derzeit noch ohne Werte).....	232
Tab. 74:	Exemplarische Auswertung der Verbrauchs-Bedarfs-Datensammlung / mittlere Energieverbrauchswerte für Intervalle des Norm-Energiebedarfs.....	235
Tab. 75:	Vergleichswerte Energieverbrauch für Intervalle des Norm-Energiebedarfs abgeleitet aus Tab. 74 .....	236
Tab. 76:	Grunddaten der Beispielgebäude .....	265
Tab. 77:	U-Werte und Bauteilflächen der vier betrachteten Wärmeschutz-Varianten .....	266
Tab. 78:	Definition der Wärmeschutz-Varianten .....	267
Tab. 79:	Definition der Anlagentechnik-Varianten.....	268
Tab. 80:	Übersicht der Eingaben zu Verteilleitungen für den Basisfall „Brennwertkessel Bestand“.....	270
Tab. 81:	Analyse der Bedarfskennwerte nach DIN V 4108-6 / 4701-10 für Intervalle des Bedarfskennwertes DIN V 18599 – Heizungsanlagen mit Kessel.....	276
Tab. 82:	Typische Eingangsgrößen und Spannen für die Raumtemperatur differenziert nach Gebäudeart für zwei extrem auseinanderliegende energetische Standards (Werte beim MFH jeweils bezogen auf eine Wohnung, die Gesamtwirkung kann mit der im nächsten Abschnitt dargestellten Gl. (36) ermittelt werden.).....	287
Tab. 83:	Bestimmung der zeitlich und räumlich gemittelten Raumtemperaturen in der Heizzeit für die Spalte „typisch“ in Tab. 82.....	288
Tab. 84:	Ansätze für die Wohnfläche bzw. die mittlere Wohnungsgröße differenziert nach Gebäudetyp.....	289
Tab. 85:	Ansätze für Wärmetransferkoeffizienten, bezogen auf die beheizte Wohnfläche, differenziert nach Gebäudetyp .....	289
Tab. 86:	Weitere typische Eingangsgrößen und Spannen für die Nutzung differenziert nach Gebäudeart für zwei extrem auseinanderliegende energetische Standards (Werte beim MFH jeweils bezogen auf eine Wohnung, die Gesamtwirkung kann mit der im nächsten Abschnitt dargestellten Gl. (36) ermittelt werden.).....	291

Tab. 87:	Auswirkung der Unsicherheiten bezüglich der Nutzung auf den Endenergiebedarf / drei Kategorien für das Wissen über die Nutzung (Werte für den typischen Streubereich aus Abschnitt 4.5.2 Werte für die Sensitivität des Energiebedarfs aus Abschnitt 2.2).....	294
Tab. 88:	Ansätze für die Unsicherheiten des Endenergiebedarfs bedingt durch Unsicherheiten bei den baulichen und anlagentechnischen Eingangsdaten .....	295
Tab. 89:	Einfluss von unsicheren Eingangsgrößen auf den Endenergiebedarf der Realbilanz / unsanierte Altbauten .....	296
Tab. 90:	Einfluss von unsicheren Eingangsgrößen auf den Endenergiebedarf der Realbilanz / Neubau oder modernisierter Altbau (Passivhaus-Niveau) / Ex-post Erhebung des energetischen Zustands.....	297
Tab. 91:	Einfluss von unsicheren Eingangsgrößen auf den Endenergiebedarf der Realbilanz / Neubau oder modernisierter Altbau (Passivhaus-Niveau) / Planungsdaten, Umsetzung qualitätsgesichert .....	298
Tab. 92:	Überblick über die Unsicherheiten des Endenergiebedarfs der Realbilanz .....	299
Tab. 93:	Modelle zur Bewertung von Energiesicherheit, Quelle [Hake/Rath-Nagel 2016] .....	313
Tab. 94:	Kategorien des Raumklimas nach DIN ISO 7730.....	316
Tab. 95:	Farbklassen und Klassengrenzen für Bauteilkomponenten der Gebäudehülle im iSFP [BMWi 2017b].....	319
Tab. 96:	Beispiel für die Vergabe von Maßnahmenpunkten für die energetische Ausstattung und Beschaffenheit von Gebäuden im Mietspiegel Darmstadt [Stadt Darmstadt 2016].....	320
Tab. 97:	Bewertung der Übertemperaturhäufigkeit im PHPP .....	322
Tab. 98:	Farbklassen und Klassengrenzen für die Effizienz der Lüftungsart im iSFP [BMWi 2017b] .....	324
Tab. 99:	Mögliche zusammenfassende Bewertung .....	330
Tab. 100:	Charakterisierung der Fallbeispiele .....	337
Tab. 101:	Verwendete Eingabegrößen der Bau- und Anlagentechnik für das Fallbeispiel Einfamilienhaus.....	340
Tab. 102:	Verwendete Eingabegrößen der Bau- und Anlagentechnik für das Fallbeispiel Mehrfamilienhaus.....	341
Tab. 103:	Verwendete Eingabegrößen für das Fallbeispiel Einfamilienhaus.....	343
Tab. 104:	Verwendete Eingabegrößen für das Fallbeispiel Mehrfamilienhaus.....	343
Tab. 105:	Datentabelle Bedarf (q_calc) und Verbrauch (q_meter) für Wohngebäude .....	378





## **ANHANG**

## Anhang zu Kap. 2.1: (Empirische Daten zum Energieverbrauch von Wohngebäuden)

### Empirische Daten zum Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Normenergiebedarf von Wohngebäuden (Daten von Abb. 50)

Die folgende Tabelle enthält Wertepaare Bedarf-Verbrauch aus den verschiedenen in Kap. 2.1 aufgeführten Untersuchungen. Dort finden sich weitere Erläuterungen und das Literaturverzeichnis.

#### Verwendete Quellen

A	[Loga et al. 2003]	Meta-Analyse von Modellprojekten
B	[Gruber et al. 2005]	Evaluation des Energiepass-Feldversuchs der dena
C	[Knissel et al. 2006]	Analyse von Datensätzen aus der Energieberatung
D	[Jagnow et al. 2007]	OPTIMUS-Projekt
E	[Graf 2016]	Masterarbeit an der TU Darmstadt zum Verbrauch modernisierter Mehrfamilienhäuser
F	[Bigalke et al. 2016]	Nacherhebung und Auswertung des Verbrauchs von dena-Effizienzhäusern

Die Werte stammen teils aus den von den Autoren bereitgestellten Originaldatentabellen, teils wurden sie durch Digitalisierung aus den veröffentlichten Diagrammen entnommen.

Wo nötig wurde für die Kennwerte eine Konversion der Bezüge auf Brennwert und auf beheizte Wohnfläche durch pauschale Umrechnungsfaktoren durchgeführt.

**Tab. 105: Datentabelle Bedarf (q\_calc) und Verbrauch (q\_meter) für Wohngebäude**

ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
A.0001	47,97	39,92	A.0025	77,28	55,86	A.0049	104,66	92,25	A.0073	109,78	81,16
A.0002	44,70	44,63	A.0026	86,42	52,39	A.0050	119,92	94,18	A.0074	109,78	89,07
A.0003	44,70	41,96	A.0027	86,42	55,08	A.0051	117,05	120,21	A.0075	109,78	106,74
A.0004	44,70	37,80	A.0028	86,42	58,71	A.0052	119,58	108,39	A.0076	109,78	151,90
A.0005	44,70	38,08	A.0029	82,03	41,24	A.0053	114,61	108,14	A.0077	109,78	122,07
A.0006	44,70	50,62	A.0030	105,11	103,34	A.0054	100,22	86,20	A.0078	104,50	104,21
A.0007	44,70	40,11	A.0031	102,22	104,87	A.0055	100,23	80,87	A.0079	104,50	144,24
A.0008	50,49	43,18	A.0032	102,24	98,56	A.0056	114,06	101,69	A.0080	85,80	101,56
A.0009	47,97	40,67	A.0033	105,93	120,37	A.0057	113,28	117,85	A.0081	85,80	95,22
A.0010	46,41	51,31	A.0034	115,23	111,16	A.0058	98,44	90,39	A.0082	108,90	110,59
A.0011	44,70	39,88	A.0035	99,41	115,69	A.0059	115,43	186,20	A.0083	102,30	63,14
A.0012	46,41	52,00	A.0036	99,69	127,05	A.0060	107,66	97,24	A.0084	102,30	85,12
A.0013	44,70	41,97	A.0037	99,10	150,06	A.0061	101,45	97,11	A.0085	88,00	65,18
A.0014	46,41	40,01	A.0038	108,92	102,90	A.0062	102,49	85,65	A.0086	88,00	82,48
A.0015	47,97	49,29	A.0039	104,84	84,73	A.0063	105,59	130,01	A.0087	105,60	84,47
A.0016	47,97	41,68	A.0040	95,32	86,28	A.0064	102,89	111,35	A.0088	105,60	33,00
A.0017	44,70	40,47	A.0041	95,12	88,32	A.0065	107,41	103,26	A.0089	238,29	210,62
A.0018	44,70	45,62	A.0042	93,44	79,96	A.0066	106,57	100,60	A.0090	203,87	269,90
A.0019	44,70	49,34	A.0043	93,33	96,22	A.0067	102,76	97,45	A.0091	210,49	33,00
A.0020	46,41	38,02	A.0044	105,10	101,75	A.0068	104,90	142,56	B.0002	253,49	129,09
A.0021	44,70	43,71	A.0045	103,92	106,73	A.0069	105,62	98,29	B.0003	96,50	74,43
A.0022	44,70	41,48	A.0046	103,97	93,73	A.0070	109,78	114,88	B.0004	183,98	108,70
A.0023	82,03	48,19	A.0047	112,95	89,61	A.0071	109,78	115,41	B.0005	164,83	122,52
A.0024	77,28	42,61	A.0048	106,36	110,47	A.0072	109,78	100,81	B.0006	163,63	124,36

ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
B.0007	251,09	126,32	B.0080	399,74	244,67	B.0153	409,54	506,83	B.0226	382,88	141,26
B.0008	166,03	127,14	B.0081	205,66	248,11	B.0154	221,06	28,44	B.0227	138,49	144,64
B.0009	169,63	129,91	B.0082	163,77	294,21	B.0155	136,07	121,56	B.0228	410,46	171,76
B.0010	172,02	131,76	B.0083	245,25	306,31	B.0156	202,01	180,72	B.0229	130,13	176,01
B.0011	185,20	132,70	B.0084	258,43	315,56	B.0157	435,64	205,02	B.0230	199,62	178,87
B.0012	187,60	135,47	B.0085	348,33	377,52	B.0158	497,96	228,18	B.0231	263,13	197,41
B.0013	260,68	140,18	B.0086	301,65	420,85	B.0159	154,14	231,43	B.0232	512,32	210,66
B.0014	263,08	142,03	B.0087	319,43	198,41	B.0160	255,97	235,25	B.0233	282,32	233,44
B.0015	180,43	159,46	B.0088	211,66	255,50	B.0161	210,45	235,19	B.0234	460,84	246,59
B.0016	207,99	162,27	B.0089	328,96	134,73	B.0162	198,49	266,56	B.0235	496,81	289,10
B.0017	213,98	164,12	B.0090	325,37	135,65	B.0163	222,47	286,90	B.0236	474,07	315,84
B.0018	323,00	169,80	B.0091	243,94	176,16	B.0164	215,28	288,74	B.0237	434,55	325,02
B.0019	270,29	173,42	B.0092	164,87	176,06	B.0165	274,01	323,89	B.0238	526,80	331,60
B.0020	162,48	183,44	B.0093	119,35	181,54	B.0166	487,27	339,86	B.0239	247,68	347,86
B.0021	227,18	184,44	B.0094	337,43	235,36	B.0167	427,37	340,70	B.0240	547,18	351,01
B.0022	291,88	196,53	B.0095	339,86	265,82	B.0168	271,65	358,96	B.0241	302,81	374,70
B.0023	186,45	197,32	B.0096	414,14	276,99	B.0169	483,70	373,08	B.0242	677,82	425,95
B.0024	155,31	197,28	B.0097	287,21	348,83	B.0170	238,17	443,84	B.0243	613,13	425,86
B.0025	175,68	200,99	B.0098	484,90	365,70	B.0171	317,27	475,33	B.0244	555,78	605,79
B.0026	249,95	204,78	B.0099	342,34	372,90	B.0172	232,28	560,14	B.0245	263,52	672,80
B.0027	253,55	207,56	B.0100	170,96	295,14	B.0173	367,40	255,70	B.0246	243,89	118,93
B.0028	257,15	209,41	B.0101	267,88	155,88	B.0174	144,60	292,34	B.0247	302,64	174,39
B.0029	276,32	214,97	B.0102	104,88	64,29	B.0175	211,53	99,50	B.0248	323,19	395,95
B.0030	329,04	230,73	B.0103	163,62	112,36	B.0176	205,55	106,88	B.0249	229,53	129,06
B.0031	254,78	245,40	B.0104	163,65	144,67	B.0177	235,56	188,15	B.0250	421,32	265,00
B.0032	339,85	259,36	B.0105	241,53	163,23	B.0178	714,77	195,22	B.0251	289,36	49,76
B.0033	351,85	287,99	B.0106	253,52	165,09	B.0179	259,54	205,72	B.0252	231,89	94,91
B.0034	263,21	297,11	B.0107	258,31	173,41	B.0180	187,66	212,09	B.0253	229,50	104,14
B.0035	241,65	307,23	B.0108	278,69	183,59	B.0181	175,69	214,84	B.0254	301,44	172,54
B.0036	435,78	365,64	B.0109	156,49	186,20	B.0182	422,50	249,31	B.0255	296,66	179,92
B.0037	438,18	367,48	B.0110	351,78	203,07	B.0183	441,69	266,87	B.0256	453,61	196,74
B.0038	345,94	376,60	B.0111	323,03	205,80	B.0184	318,29	269,49	B.0257	392,65	362,81
B.0039	248,72	160,47	B.0112	308,66	213,16	B.0185	440,50	278,87	B.0258	604,88	585,54
B.0040	247,56	202,01	B.0113	206,83	214,88	B.0186	398,57	279,74	B.0259	299,04	170,69
B.0041	344,59	202,13	B.0114	160,12	221,28	B.0187	426,14	301,93	B.0260	542,35	310,39
B.0042	296,72	257,46	B.0115	484,80	248,47	B.0188	234,49	340,45	B.0261	236,99	465,07
B.0043	344,65	271,36	B.0116	408,13	250,22	B.0189	375,86	342,48	B.0262	239,04	46,92
B.0044	260,81	295,26	B.0117	480,03	274,31	B.0190	511,25	360,19	B.0263	120,49	107,69
B.0045	427,33	295,47	B.0118	356,64	276,00	B.0191	313,58	365,48	B.0264	459,55	142,28
B.0046	125,24	62,47	B.0119	472,84	276,15	B.0192	323,17	375,65	B.0265	223,55	151,21
B.0047	254,69	135,56	B.0120	317,10	276,87	B.0193	598,66	311,38	B.0266	342,17	171,67
B.0048	182,83	161,31	B.0121	418,94	290,85	B.0194	551,90	267,94	B.0267	192,42	175,17
B.0049	264,31	176,19	B.0122	379,45	335,10	B.0195	223,64	252,75	B.0268	87,00	175,96
B.0050	272,69	176,20	B.0123	264,46	360,80	B.0196	593,85	287,38	B.0269	347,01	224,29
B.0051	273,89	178,04	B.0124	316,01	408,87	B.0197	633,39	292,97	B.0270	423,69	239,16
B.0052	409,27	184,68	B.0125	442,97	364,72	B.0198	483,89	599,24	B.0271	226,03	244,44
B.0053	221,19	193,67	B.0126	393,89	409,89	B.0199	231,87	68,14	B.0272	381,81	290,80
B.0054	323,02	193,80	B.0127	625,06	362,19	B.0200	136,05	87,41	B.0273	486,05	307,55
B.0055	490,75	206,94	B.0128	108,47	60,60	B.0201	336,16	149,51	B.0274	148,24	339,42
B.0056	305,07	216,85	B.0129	162,43	116,05	B.0202	261,92	187,26	B.0275	379,38	248,33
B.0057	397,34	242,82	B.0130	289,43	130,06	B.0203	398,50	196,66	B.0276	463,27	290,90
B.0058	308,69	250,09	B.0131	285,84	133,75	B.0204	264,33	207,57	B.0277	400,99	309,28
B.0059	278,79	301,74	B.0132	273,86	136,50	B.0205	293,09	216,84	B.0278	412,99	335,14
B.0060	441,77	370,26	B.0133	495,54	199,56	B.0206	155,34	235,12	B.0279	210,66	490,89
B.0061	98,90	77,20	B.0134	163,71	220,36	B.0207	174,51	241,61	B.0280	402,38	537,29
B.0062	326,60	170,73	B.0135	403,33	247,44	B.0208	349,43	258,45	B.0281	404,91	704,37
B.0063	215,18	170,58	B.0136	317,08	253,79	B.0209	307,57	340,55	B.0282	319,34	91,33
B.0064	284,74	255,60	B.0137	193,71	276,71	B.0210	534,00	353,76	B.0283	101,33	120,59
B.0065	337,45	257,51	B.0138	390,18	277,89	B.0211	268,05	359,88	B.0284	155,28	168,66
B.0066	257,23	312,79	B.0139	196,11	285,02	B.0212	258,49	390,33	B.0285	417,69	227,15
B.0067	187,58	105,93	B.0140	330,29	293,50	B.0213	294,44	391,30	B.0286	186,50	253,62
B.0068	258,28	138,33	B.0141	136,25	327,41	B.0214	215,38	408,74	B.0287	290,74	272,22
B.0069	275,07	159,58	B.0142	345,90	331,37	B.0215	198,62	424,41	B.0288	357,87	322,15
B.0070	251,12	162,32	B.0143	390,23	336,04	B.0216	453,80	432,12	B.0289	331,59	410,73
B.0071	273,88	169,74	B.0144	283,61	344,21	B.0217	331,64	471,66	B.0290	387,94	464,34
B.0072	255,92	172,48	B.0145	290,81	351,60	B.0218	237,00	479,84	B.0291	220,10	322,90
B.0073	331,39	172,58	B.0146	445,36	362,88	B.0219	485,04	534,62	B.0292	199,53	71,79
B.0074	166,08	186,21	B.0147	257,27	363,56	B.0220	241,50	117,08	B.0293	584,13	127,67
B.0075	282,29	191,90	B.0148	596,31	369,53	B.0221	507,58	271,57	B.0294	366,12	155,08
B.0076	210,41	193,65	B.0149	350,73	378,45	B.0222	481,53	643,54	B.0295	373,43	301,86
B.0077	284,71	218,67	B.0150	308,83	414,40	B.0223	291,74	31,30	B.0296	156,48	170,51
B.0078	335,04	234,43	B.0151	294,40	354,38	B.0224	429,54	66,55	B.0297	145,78	264,65
B.0079	209,25	242,58	B.0152	392,69	408,04	B.0225	352,87	67,38	B.0298	154,02	89,27

ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
B.0299	269,05	116,19	B.0372	311,99	110,44	B.0445	429,32	201,57	B.0518	281,88	299,56
B.0300	473,94	159,84	B.0373	351,47	174,66	B.0446	301,12	209,18	B.0519	234,14	86,32
B.0301	289,57	304,53	B.0374	422,11	228,59	B.0447	346,43	474,58	B.0520	421,00	121,47
B.0302	113,35	161,22	B.0375	103,57	74,38	B.0448	244,93	69,54	B.0521	425,77	148,48
B.0303	258,50	398,64	B.0376	303,62	84,37	B.0449	339,58	69,42	B.0522	253,25	150,57
B.0304	257,10	152,18	B.0377	310,80	99,26	B.0450	201,75	140,39	B.0523	189,76	150,65
B.0305	478,86	312,15	B.0378	308,40	101,13	B.0451	281,98	175,68	B.0524	308,28	245,50
B.0306	180,35	63,46	B.0379	308,40	106,72	B.0452	184,89	238,21	B.0525	408,88	281,70
B.0307	342,12	112,59	B.0380	352,72	113,18	B.0453	266,51	54,61	B.0526	229,16	315,46
B.0308	390,49	653,58	B.0381	352,72	115,97	B.0454	331,09	186,79	B.0527	466,36	319,81
B.0309	38,96	24,51	B.0382	314,37	121,61	B.0455	303,54	186,83	B.0528	446,06	239,73
B.0310	263,09	153,11	B.0383	292,80	136,54	B.0456	358,64	194,21	B.0529	204,20	70,53
B.0311	240,49	344,15	B.0384	325,13	151,40	B.0457	283,14	219,45	B.0530	321,53	164,45
B.0312	289,40	95,91	B.0385	254,44	158,01	B.0458	181,31	221,45	B.0531	367,02	197,92
B.0313	203,28	262,88	B.0386	338,30	162,56	B.0459	382,58	222,12	B.0532	333,45	234,29
B.0314	263,04	98,64	B.0387	285,56	196,16	B.0460	405,33	238,86	B.0533	365,63	432,64
B.0315	145,61	57,88	B.0388	280,77	198,03	B.0461	383,71	297,56	B.0534	271,30	59,26
B.0316	206,94	343,19	B.0389	113,04	212,22	B.0462	205,16	359,27	B.0535	436,60	86,06
B.0317	108,45	32,91	B.0390	287,91	246,46	B.0463	338,35	103,88	B.0536	235,31	119,85
B.0318	136,14	203,71	B.0391	381,35	255,65	B.0464	97,54	117,24	B.0537	386,19	196,96
B.0319	493,38	482,94	B.0392	387,34	258,44	B.0465	331,12	156,98	B.0538	599,40	243,26
B.0320	362,69	351,70	B.0393	383,74	265,89	B.0466	325,03	279,01	B.0539	258,08	103,99
B.0321	314,75	324,87	B.0394	384,93	267,76	B.0467	180,29	14,67	B.0540	254,35	270,72
B.0322	295,54	284,22	B.0395	243,55	294,02	B.0468	340,78	62,90	B.0541	224,57	69,57
B.0323	438,23	429,33	B.0396	256,84	156,15	B.0469	125,12	84,60	B.0542	329,84	251,06
B.0324	277,57	284,20	B.0397	365,84	175,57	B.0470	267,64	138,44	B.0543	219,50	397,44
B.0325	385,36	244,65	B.0398	151,47	90,15	B.0471	278,40	160,78	B.0544	161,04	114,36
B.0326	227,21	227,83	B.0399	217,97	124,40	B.0472	216,09	184,14	B.0545	241,21	225,10
B.0327	264,38	260,19	B.0400	206,55	132,00	B.0473	307,13	189,62	B.0546	348,91	365,60
B.0328	415,45	416,38	B.0401	286,77	183,12	B.0474	325,09	197,04	B.0547	324,97	342,35
B.0329	193,74	312,71	B.0402	292,73	213,85	B.0475	285,54	218,52	B.0548	175,38	157,19
B.0330	192,50	259,17	B.0403	306,02	83,43	B.0476	281,91	258,57	B.0549	200,48	218,63
B.0331	227,28	311,83	B.0404	346,72	116,91	B.0477	232,77	293,10	B.0550	182,55	170,22
B.0332	232,06	300,76	B.0405	368,24	173,70	B.0478	453,20	292,82	B.0551	302,26	288,35
B.0333	247,60	251,86	B.0406	262,83	154,28	B.0479	99,94	115,37	B.0552	165,88	46,36
B.0334	226,00	208,44	B.0407	272,50	50,88	B.0480	399,40	156,90	B.0553	214,87	203,71
B.0335	235,59	213,99	B.0408	181,42	88,25	B.0481	510,75	235,92	B.0554	128,67	141,41
B.0336	-44,44	588,40	B.0409	179,03	90,12	B.0482	143,11	64,08	B.0555	187,32	196,29
B.0337	252,36	215,86	B.0410	149,07	92,95	B.0483	200,57	109,65	B.0556	286,70	271,61
B.0338	267,94	220,50	B.0411	131,07	129,30	B.0484	200,53	162,74	B.0557	176,67	46,34
B.0339	312,23	176,25	B.0412	356,28	150,43	B.0485	231,66	190,65	B.0558	157,40	166,52
B.0340	317,01	167,02	B.0413	370,65	152,28	B.0486	162,16	200,05	B.0559	159,79	169,32
B.0341	236,77	202,00	B.0414	289,18	163,56	B.0487	192,09	229,82	B.0560	206,47	220,48
B.0342	325,46	241,80	B.0415	252,01	204,59	B.0488	313,08	231,52	B.0561	195,75	145,05
B.0343	318,27	236,25	B.0416	303,52	207,32	B.0489	362,20	234,25	B.0562	336,97	324,63
B.0344	309,88	239,01	B.0417	297,53	211,05	B.0490	198,05	268,00	B.0563	216,06	222,33
B.0345	305,09	233,47	B.0418	428,10	229,51	B.0491	126,15	284,86	B.0564	295,25	73,20
B.0346	257,09	146,64	B.0419	359,68	385,15	B.0492	557,41	309,45	B.0565	249,58	246,51
B.0347	245,11	137,39	B.0420	189,71	209,33	B.0493	383,69	329,23	B.0566	277,23	128,18
B.0348	241,50	126,31	B.0421	241,28	140,34	B.0494	255,47	365,72	B.0567	285,62	122,58
B.0349	229,49	81,99	B.0422	246,07	144,05	B.0495	296,18	387,09	B.0568	302,39	128,15
B.0350	83,33	80,88	B.0423	317,93	167,25	B.0496	190,76	388,16	B.0569	295,21	116,98
B.0351	341,07	292,59	B.0424	114,34	85,54	B.0497	380,03	400,03	B.0570	284,41	139,35
B.0352	348,26	289,83	B.0425	291,63	102,08	B.0498	393,20	419,57	B.0571	248,54	54,63
B.0353	342,27	284,28	B.0426	167,01	138,57	B.0499	145,46	111,58	B.0572	231,77	47,20
B.0354	339,86	275,97	B.0427	370,60	221,20	B.0500	281,87	310,74	B.0573	107,04	215,02
B.0355	145,67	139,11	B.0428	362,08	385,15	B.0501	145,49	77,12	B.0574	413,63	194,84
B.0356	145,68	149,26	B.0429	111,85	201,05	B.0502	171,39	629,43	B.0575	160,92	191,50
B.0357	174,44	158,53	B.0430	151,44	131,14	B.0503	234,18	39,75	B.0576	173,50	116,24
B.0358	269,13	211,27	B.0431	241,23	202,74	B.0504	147,90	62,22	B.0577	239,51	137,98
B.0359	426,20	374,85	B.0432	264,11	55,54	B.0505	323,94	143,02	B.0578	264,50	209,90
B.0360	429,79	362,86	B.0433	268,83	146,82	B.0506	240,06	168,28	B.0579	171,23	114,56
B.0361	183,99	116,08	B.0434	333,49	183,06	B.0507	448,49	194,09	B.0580	265,71	118,75
B.0362	175,59	104,07	B.0435	290,35	197,09	B.0508	374,03	420,53	B.0581	179,19	121,25
B.0363	173,25	164,99	B.0436	418,54	196,92	B.0509	275,78	430,90	B.0582	245,21	124,60
B.0364	243,97	211,24	B.0437	256,80	206,45	B.0510	133,35	273,67	B.0583	171,22	128,78
B.0365	207,99	167,81	B.0438	193,30	211,19	B.0511	386,22	161,57	B.0584	340,83	133,80
B.0366	274,00	307,27	B.0439	194,49	222,36	B.0512	326,32	163,51	B.0585	170,07	136,31
B.0367	271,59	296,19	B.0440	335,80	283,65	B.0513	213,70	172,04	B.0586	245,20	144,67
B.0368	390,48	79,13	B.0441	342,84	471,79	B.0514	432,92	190,38	B.0587	115,42	148,01
B.0369	508,40	180,04	B.0442	201,38	582,82	B.0515	214,88	195,32	B.0588	281,62	151,36
B.0370	307,20	104,85	B.0443	151,50	59,42	B.0516	187,29	236,34	B.0589	283,89	154,70
B.0371	352,72	105,73	B.0444	370,65	156,00	B.0517	263,90	316,35	B.0590	257,71	158,88

ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
B.0591	262,26	163,90	B.0664	287,24	237,49	B.0737	170,11	95,33	B.0810	123,10	40,77
B.0592	213,30	177,28	B.0665	336,16	277,63	B.0738	234,97	119,58	B.0811	196,12	105,48
B.0593	234,92	183,14	B.0666	280,34	325,30	B.0739	237,24	127,94	B.0812	168,84	149,76
B.0594	256,53	207,39	B.0667	217,73	327,81	B.0740	228,14	127,11	B.0813	72,03	165,32
B.0595	157,50	208,22	B.0668	325,84	377,14	B.0741	232,69	132,13	B.0814	150,68	186,66
B.0596	298,65	208,22	B.0669	311,02	401,39	B.0742	176,78	290,17	B.0815	134,85	266,94
B.0597	218,92	263,41	B.0670	304,43	100,35	B.0743	251,95	242,51	B.0816	108,74	325,99
B.0598	282,64	300,21	B.0671	206,37	305,23	B.0744	267,87	267,60	B.0817	272,82	345,58
B.0599	150,75	96,17	B.0672	345,45	47,67	B.0745	241,71	233,31	B.0818	167,58	70,37
B.0600	168,94	130,45	B.0673	311,19	178,12	B.0746	241,71	240,00	B.0819	195,06	159,94
B.0601	242,89	183,97	B.0674	218,93	251,71	B.0747	108,59	155,54	B.0820	131,08	42,63
B.0602	358,97	217,42	B.0675	184,92	73,59	B.0748	96,07	155,54	B.0821	94,63	45,35
B.0603	249,68	234,15	B.0676	222,49	75,26	B.0749	160,97	132,96	B.0822	196,17	139,64
B.0604	169,98	255,05	B.0677	203,11	110,38	B.0750	142,79	91,99	B.0823	241,12	470,16
B.0605	269,13	116,24	B.0678	114,29	141,32	B.0751	255,46	124,60	B.0824	208,74	160,88
B.0606	154,08	204,04	B.0679	129,09	147,18	B.0752	257,74	118,75	B.0825	227,87	15,06
B.0607	157,50	205,71	B.0680	335,14	129,62	B.0753	259,94	214,91	B.0826	125,38	41,70
B.0608	175,67	259,23	B.0681	172,34	150,52	B.0754	287,20	288,50	B.0827	284,00	208,06
B.0609	175,78	117,91	B.0682	273,62	192,33	B.0755	129,09	135,47	B.0828	236,16	209,84
B.0610	266,78	208,22	B.0683	284,98	224,95	B.0756	159,81	160,56	B.0829	311,43	265,32
B.0611	160,91	209,90	B.0684	321,36	285,16	B.0757	198,47	214,08	B.0830	147,47	320,50
B.0612	151,88	108,71	B.0685	271,23	336,17	B.0758	231,62	44,32	B.0831	262,09	40,95
B.0613	258,85	157,21	B.0686	175,79	101,19	B.0759	163,15	256,72	B.0832	141,33	41,72
B.0614	232,64	184,81	B.0687	214,47	128,78	B.0760	331,60	50,27	B.0833	144,76	50,95
B.0615	271,26	301,88	B.0688	326,02	143,83	B.0761	157,38	106,36	B.0834	224,71	174,75
B.0616	271,35	183,97	B.0689	348,78	150,52	B.0762	180,19	120,23	B.0835	136,77	36,18
B.0617	146,23	64,39	B.0690	484,17	238,33	B.0763	122,12	136,77	B.0836	165,47	176,52
B.0618	159,77	205,71	B.0691	292,92	250,03	B.0764	116,26	38,00	B.0837	278,18	132,36
B.0619	172,26	256,72	B.0692	182,48	285,16	B.0765	107,18	55,52	B.0838	107,13	23,21
B.0620	154,17	94,50	B.0693	96,05	180,63	B.0766	152,76	62,97	B.0839	140,20	47,26
B.0621	254,34	105,37	B.0694	159,87	91,15	B.0767	136,82	73,10	B.0840	184,87	198,70
B.0622	247,47	145,50	B.0695	434,22	72,75	B.0768	111,76	73,99	B.0841	166,59	164,52
B.0623	262,26	154,70	B.0696	254,31	143,83	B.0769	132,28	80,48	B.0842	141,38	69,41
B.0624	244,05	161,39	B.0697	229,22	195,68	B.0770	104,94	84,13	B.0843	163,16	159,90
B.0625	105,13	213,24	B.0698	271,20	370,45	B.0771	136,84	85,10	B.0844	129,04	191,24
B.0626	253,10	232,47	B.0699	282,85	36,79	B.0772	142,55	91,57	B.0845	152,88	138,66
B.0627	209,83	239,16	B.0700	191,61	255,05	B.0773	126,60	94,32	B.0846	82,16	87,80
B.0628	213,14	373,80	B.0701	114,16	310,24	B.0774	160,78	94,36	B.0847	94,61	36,12
B.0629	245,23	108,71	B.0702	362,34	279,30	B.0775	160,79	99,90	B.0848	98,04	38,89
B.0630	167,75	199,86	B.0703	250,85	194,84	B.0776	85,60	99,80	B.0849	156,50	269,74
B.0631	137,12	67,74	B.0704	238,24	303,55	B.0777	141,45	118,34	B.0850	85,58	85,96
B.0632	164,42	88,64	B.0705	113,23	39,30	B.0778	222,37	136,90	B.0851	105,09	174,60
B.0633	206,53	99,51	B.0706	133,69	79,44	B.0779	124,40	140,47	B.0852	185,02	291,93
B.0634	162,05	204,04	B.0707	231,46	240,84	B.0780	125,55	150,62	B.0853	155,35	258,66
B.0635	193,92	210,73	B.0708	319,09	274,29	B.0781	110,75	156,14	B.0854	73,03	73,94
B.0636	271,30	247,53	B.0709	202,97	282,65	B.0782	127,84	157,09	B.0855	186,00	192,24
B.0637	280,40	260,07	B.0710	224,57	315,26	B.0783	101,69	185,67	B.0856	178,00	174,69
B.0638	247,38	269,27	B.0711	278,10	287,67	B.0784	111,94	187,53	B.0857	73,10	121,94
B.0639	247,58	11,71	B.0712	260,97	354,56	B.0785	111,98	211,53	B.0858	76,51	112,71
B.0640	229,32	64,39	B.0713	140,40	239,16	B.0786	125,57	162,62	B.0859	84,49	118,26
B.0641	297,61	83,62	B.0714	145,04	128,78	B.0787	90,17	104,42	B.0860	94,69	85,97
B.0642	163,26	114,56	B.0715	149,56	160,56	B.0788	112,84	33,38	B.0861	111,80	95,22
B.0643	331,73	127,11	B.0716	239,59	33,45	B.0789	148,20	64,80	B.0862	115,22	101,69
B.0644	285,05	134,63	B.0717	141,60	154,70	B.0790	144,87	118,34	B.0863	100,47	134,90
B.0645	269,05	207,39	B.0718	132,50	149,69	B.0791	249,78	181,24	B.0864	108,42	122,91
B.0646	204,15	235,82	B.0719	329,50	61,88	B.0792	114,22	185,68	B.0865	110,70	121,99
B.0647	159,69	311,92	B.0720	270,25	128,78	B.0793	157,59	234,66	B.0866	102,69	102,59
B.0648	122,11	334,50	B.0721	122,26	140,49	B.0794	281,90	322,52	B.0867	125,50	113,70
B.0649	327,87	688,22	B.0722	135,91	151,36	B.0795	144,71	14,95	B.0868	132,35	127,55
B.0650	477,50	41,81	B.0723	176,88	161,39	B.0796	152,75	56,50	B.0869	117,54	128,46
B.0651	156,45	92,82	B.0724	309,00	74,43	B.0797	120,87	70,31	B.0870	106,18	147,83
B.0652	196,27	117,07	B.0725	108,63	98,68	B.0798	203,04	164,57	B.0871	100,50	155,21
B.0653	232,66	158,88	B.0726	256,58	149,69	B.0799	241,80	177,54	B.0872	115,29	145,07
B.0654	196,23	174,77	B.0727	92,69	105,37	B.0800	163,27	225,44	B.0873	113,00	133,07
B.0655	362,32	305,23	B.0728	222,36	234,98	B.0801	266,87	179,42	B.0874	94,75	122,89
B.0656	143,99	15,05	B.0729	94,98	95,33	B.0802	110,97	293,68	B.0875	101,57	113,67
B.0657	203,13	86,97	B.0730	127,89	224,11	B.0803	217,66	42,74	B.0876	115,24	109,07
B.0658	304,41	124,60	B.0731	231,48	219,09	B.0804	227,94	56,60	B.0877	135,75	111,87
B.0659	275,94	132,96	B.0732	287,23	254,22	B.0805	239,45	130,46	B.0878	127,79	122,01
B.0660	164,33	201,53	B.0733	286,09	255,89	B.0806	266,86	173,88	B.0879	100,40	93,36
B.0661	320,28	202,37	B.0734	224,63	247,53	B.0807	240,69	197,85	B.0880	156,45	239,28
B.0662	315,72	214,08	B.0735	114,31	113,73	B.0808	172,37	216,22	B.0881	92,49	130,27
B.0663	286,12	220,77	B.0736	296,49	66,06	B.0809	153,83	20,50	B.0882	101,50	69,36

ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
B.0883	127,92	207,86	C.0070	333,21	150,82	C.0143	200,80	158,18	C.0216	510,13	220,36
B.0884	106,29	215,21	C.0071	502,66	285,26	C.0144	210,96	214,26	C.0217	337,64	195,24
B.0885	120,90	86,92	C.0072	397,54	226,34	C.0145	219,03	214,26	C.0218	460,77	275,81
B.0886	102,63	61,05	C.0073	284,59	175,52	C.0146	201,58	214,26	C.0219	502,27	287,52
B.0887	105,03	140,44	C.0074	259,68	164,82	C.0147	219,03	214,26	C.0220	566,68	319,26
C.0002	476,27	185,22	C.0075	389,12	256,97	C.0148	184,68	222,10	C.0221	518,69	208,49
C.0003	389,93	165,48	C.0076	466,57	404,43	C.0149	293,93	170,51	C.0222	246,35	300,19
C.0004	468,05	125,84	C.0077	267,00	163,40	C.0150	310,10	118,23	C.0223	291,26	300,34
C.0005	399,80	155,28	C.0078	310,12	311,38	C.0151	257,25	123,48	C.0224	428,68	231,25
C.0006	201,37	125,10	C.0079	289,84	194,20	C.0152	255,45	215,20	C.0225	306,62	259,57
C.0007	233,37	96,28	C.0080	403,14	180,12	C.0153	234,55	261,23	C.0226	237,44	194,88
C.0008	335,10	192,16	C.0081	248,78	244,86	C.0154	207,89	140,33	C.0227	313,76	94,28
C.0009	273,80	333,39	C.0082	178,74	158,43	C.0155	225,52	138,50	C.0228	338,88	323,25
C.0010	345,53	287,48	C.0083	227,01	164,61	C.0156	346,02	249,83	C.0229	151,14	182,53
C.0011	170,05	165,00	C.0084	324,97	162,93	C.0157	210,24	236,52	C.0230	312,98	280,17
C.0012	473,24	255,42	C.0085	243,68	225,59	C.0158	196,08	116,85	C.0231	348,27	227,84
C.0013	248,03	155,28	C.0086	210,58	260,21	C.0159	364,61	180,12	C.0232	194,51	174,61
C.0014	189,06	123,63	C.0087	403,14	226,16	C.0160	443,74	193,31	C.0233	517,18	175,42
C.0015	234,64	219,57	C.0088	220,14	225,97	C.0161	289,74	193,66	C.0234	561,61	271,50
C.0016	457,02	275,36	C.0089	220,93	206,01	C.0162	363,59	195,09	C.0235	446,20	321,37
C.0017	254,05	153,83	C.0090	279,11	290,17	C.0163	225,01	171,49	C.0236	260,08	266,63
C.0018	349,92	115,69	C.0091	157,04	144,10	C.0164	175,38	186,83	C.0237	246,29	199,52
C.0019	481,74	225,23	C.0092	172,35	157,86	C.0165	527,18	412,69	C.0238	246,29	201,64
C.0020	341,30	227,14	C.0093	273,48	245,57	C.0166	212,95	229,02	C.0239	233,23	256,98
C.0021	152,22	148,27	C.0094	289,04	140,11	C.0167	462,75	280,73	C.0240	433,63	242,14
C.0022	474,32	187,54	C.0095	363,29	222,14	C.0168	386,97	261,63	C.0241	377,56	141,28
C.0023	360,21	200,65	C.0096	331,75	111,90	C.0169	261,29	218,43	C.0242	351,62	329,75
C.0024	380,65	182,08	C.0097	226,78	218,72	C.0170	398,28	252,51	C.0243	264,19	186,80
C.0025	478,62	267,99	C.0098	327,31	256,81	C.0171	392,73	199,00	C.0244	235,63	243,94
C.0026	399,64	124,18	C.0099	414,75	206,38	C.0172	255,40	147,66	C.0245	506,59	160,24
C.0027	331,43	245,42	C.0100	239,81	195,81	C.0173	261,54	177,58	C.0246	236,76	219,66
C.0028	321,92	254,85	C.0101	154,79	156,79	C.0174	228,83	150,65	C.0247	228,26	211,72
C.0029	336,75	245,42	C.0102	355,01	166,41	C.0175	275,91	155,35	C.0248	167,61	155,99
C.0030	248,85	250,92	C.0103	198,31	103,17	C.0176	271,96	262,48	C.0249	556,44	319,50
C.0031	335,85	250,92	C.0104	357,53	236,34	C.0177	285,38	176,19	C.0250	367,34	124,60
C.0032	239,65	254,85	C.0105	236,45	202,93	C.0178	261,40	285,51	C.0251	287,01	195,00
C.0033	224,61	233,95	C.0106	235,77	252,49	C.0179	246,19	225,43	C.0252	221,15	281,23
C.0034	224,19	229,71	C.0107	176,46	130,33	C.0180	184,12	109,31	C.0253	353,85	165,89
C.0035	236,83	230,94	C.0108	262,10	206,88	C.0181	254,12	267,12	C.0254	256,04	209,56
C.0036	240,98	227,88	C.0109	207,96	260,69	C.0182	299,39	171,55	C.0255	188,79	239,08
C.0037	230,76	228,65	C.0110	222,63	263,87	C.0183	244,08	186,39	C.0256	455,11	268,25
C.0038	282,28	227,84	C.0111	194,96	159,75	C.0184	225,36	215,44	C.0257	152,72	109,11
C.0039	276,81	222,62	C.0112	278,67	209,64	C.0185	501,16	256,16	C.0258	305,71	209,37
C.0040	315,07	249,22	C.0113	385,51	145,25	C.0186	224,92	244,26	C.0259	156,67	189,29
C.0041	315,07	241,40	C.0114	239,51	178,25	C.0187	526,30	297,56	C.0260	343,93	213,99
C.0042	271,20	230,44	C.0115	257,27	150,74	C.0188	377,14	143,31	C.0261	363,85	214,77
C.0043	271,20	230,44	C.0116	349,95	214,77	C.0189	354,39	156,23	C.0262	378,25	123,65
C.0044	320,08	241,86	C.0117	301,50	138,64	C.0190	199,42	177,75	C.0263	219,80	249,11
C.0045	315,15	249,22	C.0118	332,65	185,21	C.0191	572,63	320,62	C.0264	201,72	167,83
C.0046	238,40	230,80	C.0119	336,73	164,87	C.0192	461,89	203,44	C.0265	425,71	205,39
C.0047	503,06	275,18	C.0120	172,36	91,73	C.0193	180,97	155,82	C.0266	176,68	196,02
C.0048	345,65	200,15	C.0121	250,78	231,68	C.0194	181,29	145,97	C.0267	358,72	195,23
C.0049	310,35	125,74	C.0122	191,82	151,76	C.0195	447,88	193,54	C.0268	565,39	230,89
C.0050	239,04	165,33	C.0123	336,57	353,26	C.0196	570,34	245,40	C.0269	196,13	215,48
C.0051	338,57	197,32	C.0124	373,61	186,70	C.0197	194,91	146,12	C.0270	193,75	147,16
C.0052	401,00	245,97	C.0125	451,06	327,54	C.0198	292,95	269,87	C.0271	253,54	169,62
C.0053	285,84	181,62	C.0126	384,53	294,08	C.0199	281,49	185,79	C.0272	203,35	131,93
C.0054	280,25	204,61	C.0127	372,56	270,77	C.0200	415,62	322,79	C.0273	181,44	138,03
C.0055	405,90	262,88	C.0128	171,63	183,82	C.0201	568,70	162,63	C.0274	189,74	144,87
C.0056	381,61	212,34	C.0129	247,12	195,18	C.0202	203,91	156,63	C.0275	381,12	285,30
C.0057	568,21	237,86	C.0130	184,76	150,78	C.0203	296,68	168,64	C.0276	352,04	144,74
C.0058	427,60	168,58	C.0131	364,75	127,83	C.0204	209,40	181,03	C.0277	177,72	133,66
C.0059	361,49	320,73	C.0132	296,57	173,90	C.0205	209,41	162,90	C.0278	183,00	142,80
C.0060	484,21	445,79	C.0133	316,26	314,35	C.0206	209,10	156,35	C.0279	345,93	193,21
C.0061	162,47	119,53	C.0134	370,83	232,92	C.0207	247,02	94,29	C.0280	237,96	193,14
C.0062	224,43	154,23	C.0135	353,23	232,92	C.0208	255,21	172,98	C.0281	128,75	135,77
C.0063	308,56	184,98	C.0136	353,23	232,92	C.0209	393,45	231,06	C.0282	146,26	140,11
C.0064	356,67	215,98	C.0137	353,23	232,92	C.0210	183,52	169,72	C.0283	145,95	141,73
C.0065	219,99	128,39	C.0138	255,36	170,44	C.0211	350,84	177,55	C.0284	382,36	286,76
C.0066	155,47	148,58	C.0139	293,66	172,52	C.0212	538,84	225,16	C.0285	196,23	153,87
C.0067	219,40	166,43	C.0140	268,02	157,73	C.0213	418,04	191,87	C.0286	301,29	161,99
C.0068	254,47	174,47	C.0141	270,96	160,05	C.0214	291,99	160,95	C.0287	201,04	245,91
C.0069	434,77	233,96	C.0142	218,74	127,86	C.0215	269,91	224,31	C.0288	362,51	174,90

ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
C.0289	344,24	192,15	C.0362	328,86	206,71	C.0435	427,79	189,05	C.0508	402,02	175,87
C.0290	203,99	123,21	C.0363	163,15	158,53	C.0436	196,17	139,81	C.0509	237,43	236,90
C.0291	436,15	150,73	C.0364	396,50	146,81	C.0437	518,29	223,72	C.0510	373,30	199,15
C.0292	301,27	137,94	C.0365	336,15	389,30	C.0438	310,89	175,16	C.0511	168,19	94,41
C.0293	154,39	123,21	C.0366	263,10	183,75	C.0439	417,80	218,62	C.0512	448,71	187,37
C.0294	436,15	150,73	C.0367	238,63	140,12	C.0440	256,24	170,41	C.0513	243,15	266,81
C.0295	301,27	137,94	C.0368	171,44	134,66	C.0441	254,36	160,32	C.0514	348,18	423,98
C.0296	400,54	194,00	C.0369	436,75	319,24	C.0442	273,64	151,57	C.0515	290,30	125,62
C.0297	319,33	118,17	C.0370	224,19	234,22	C.0443	274,15	151,57	C.0516	527,37	280,17
C.0298	415,96	204,38	C.0371	282,42	222,61	C.0444	254,90	160,32	C.0517	382,46	350,05
C.0299	408,78	124,50	C.0372	348,47	228,86	C.0445	498,24	222,41	C.0518	200,04	123,73
C.0300	153,77	136,39	C.0373	393,82	211,45	C.0446	428,61	288,88	C.0519	178,93	151,28
C.0301	461,81	321,51	C.0374	273,99	158,59	C.0447	328,34	189,44	C.0520	240,76	171,06
C.0302	283,57	215,71	C.0375	240,71	250,44	C.0448	204,43	235,00	C.0521	349,46	238,55
C.0303	396,60	202,20	C.0376	366,48	305,97	C.0449	506,84	263,69	C.0522	427,64	236,69
C.0304	421,73	203,76	C.0377	436,14	119,30	C.0450	200,33	203,44	C.0523	406,37	316,74
C.0305	405,93	206,23	C.0378	211,47	210,39	C.0451	295,21	136,76	C.0524	314,65	213,51
C.0306	231,31	210,28	C.0379	266,77	228,61	C.0452	319,71	317,57	C.0525	308,55	113,42
C.0307	358,07	251,30	C.0380	417,47	305,79	C.0453	257,84	135,40	C.0526	208,58	144,89
C.0308	287,93	223,97	C.0381	420,65	196,43	C.0454	189,34	149,04	C.0527	373,94	157,46
C.0309	351,38	296,54	C.0382	393,13	215,03	C.0455	507,00	228,21	C.0528	248,13	227,84
C.0310	212,11	241,50	C.0383	215,58	114,20	C.0456	196,36	130,03	C.0529	374,19	191,59
C.0311	322,79	198,25	C.0384	241,38	199,90	C.0457	327,63	157,83	C.0530	322,81	283,40
C.0312	261,78	186,73	C.0385	376,63	175,75	C.0458	171,82	134,21	C.0531	382,23	241,90
C.0313	300,84	174,01	C.0386	236,60	149,14	C.0459	523,06	240,34	C.0532	551,25	160,94
C.0314	288,86	152,67	C.0387	184,79	142,12	C.0460	317,92	260,30	C.0533	473,35	255,15
C.0315	261,96	152,81	C.0388	190,74	142,84	C.0461	550,55	313,61	C.0534	175,58	171,69
C.0316	409,90	262,58	C.0389	368,15	201,31	C.0462	205,19	226,33	C.0535	251,27	176,49
C.0317	313,67	217,09	C.0390	254,21	171,72	C.0463	464,92	153,06	C.0536	334,40	174,10
C.0318	421,93	262,82	C.0391	170,97	122,76	C.0464	224,23	159,73	C.0537	243,94	218,81
C.0319	338,62	171,20	C.0392	313,71	168,79	C.0465	186,73	159,61	C.0538	288,60	125,15
C.0320	229,53	238,92	C.0393	196,58	179,43	C.0466	213,86	159,61	C.0539	301,05	253,53
C.0321	523,56	285,06	C.0394	223,65	199,62	C.0467	347,68	168,43	C.0540	448,34	128,54
C.0322	330,62	300,96	C.0395	237,29	213,69	C.0468	147,01	104,87	C.0541	280,46	186,90
C.0323	239,90	240,81	C.0396	255,54	192,24	C.0469	252,90	210,89	C.0542	269,12	166,04
C.0324	477,87	390,51	C.0397	280,45	306,82	C.0470	491,25	223,17	C.0543	385,90	188,38
C.0325	395,86	275,40	C.0398	365,13	219,32	C.0471	235,81	207,35	C.0544	150,92	157,49
C.0326	304,03	248,28	C.0399	406,06	151,01	C.0472	229,54	290,25	C.0545	377,00	316,77
C.0327	351,00	230,25	C.0400	202,62	123,84	C.0473	119,79	130,52	C.0546	314,58	249,70
C.0328	431,35	304,89	C.0401	354,92	214,25	C.0474	417,79	237,03	C.0547	367,54	210,04
C.0329	388,11	236,92	C.0402	329,54	236,50	C.0475	413,67	204,34	C.0548	433,96	318,87
C.0330	274,77	149,18	C.0403	226,11	139,53	C.0476	119,79	130,52	C.0549	329,25	300,27
C.0331	410,29	132,69	C.0404	376,04	264,52	C.0477	218,72	143,69	C.0550	223,64	249,06
C.0332	337,81	288,67	C.0405	229,93	109,03	C.0478	174,58	123,50	C.0551	429,72	204,79
C.0333	336,34	153,84	C.0406	274,94	180,20	C.0479	228,70	133,78	C.0552	302,20	262,92
C.0334	303,32	130,83	C.0407	227,75	180,58	C.0480	231,36	288,38	C.0553	403,51	253,58
C.0335	246,03	146,96	C.0408	187,94	204,28	C.0481	237,26	158,59	C.0554	283,01	209,88
C.0336	216,90	175,56	C.0409	185,31	198,06	C.0482	193,71	199,50	C.0555	271,30	240,12
C.0337	402,21	200,32	C.0410	160,53	82,19	C.0483	163,95	172,87	C.0556	226,62	231,50
C.0338	341,57	133,26	C.0411	343,71	187,42	C.0484	153,19	132,42	C.0557	203,83	120,26
C.0339	477,73	215,22	C.0412	359,39	231,38	C.0485	215,99	158,17	C.0558	448,27	140,98
C.0340	240,84	152,25	C.0413	200,23	195,03	C.0486	293,21	202,99	C.0559	384,63	215,22
C.0341	313,89	266,74	C.0414	199,79	168,58	C.0487	293,71	234,20	C.0560	250,25	313,80
C.0342	220,80	172,83	C.0415	350,26	176,14	C.0488	313,09	226,40	C.0561	151,93	176,04
C.0343	484,23	204,16	C.0416	212,48	181,64	C.0489	201,43	202,77	C.0562	277,68	214,12
C.0344	251,25	183,20	C.0417	259,49	177,16	C.0490	405,54	294,95	C.0563	350,49	234,23
C.0345	466,24	322,34	C.0418	242,37	148,30	C.0491	155,85	139,12	C.0564	265,82	129,87
C.0346	346,58	213,68	C.0419	420,74	209,73	C.0492	444,94	245,97	C.0565	482,99	241,90
C.0347	354,73	196,47	C.0420	293,65	233,09	C.0493	219,31	239,62	C.0566	311,23	198,38
C.0348	415,80	299,05	C.0421	397,03	121,81	C.0494	258,42	264,21	C.0567	422,09	289,91
C.0349	281,08	171,67	C.0422	441,15	258,05	C.0495	405,54	294,95	C.0568	472,73	221,91
C.0350	334,43	213,45	C.0423	381,09	175,55	C.0496	155,85	139,12	C.0569	220,77	268,64
C.0351	481,64	187,67	C.0424	419,48	255,16	C.0497	444,94	245,97	C.0570	208,93	224,72
C.0352	329,38	207,31	C.0425	479,58	242,29	C.0498	219,31	239,62	C.0571	475,64	278,75
C.0353	364,16	169,40	C.0426	212,28	153,04	C.0499	258,42	264,21	C.0572	291,96	266,43
C.0354	397,14	137,35	C.0427	466,01	187,48	C.0500	378,96	249,95	C.0573	240,95	276,80
C.0355	202,58	242,95	C.0428	444,40	294,07	C.0501	501,91	257,23	C.0574	252,07	184,11
C.0356	287,34	131,63	C.0429	429,86	290,49	C.0502	237,43	190,83	C.0575	197,60	222,81
C.0357	314,22	187,89	C.0430	397,26	222,85	C.0503	450,20	383,92	C.0576	340,32	136,63
C.0358	349,55	154,32	C.0431	366,56	225,83	C.0504	394,71	176,24	C.0577	177,81	145,24
C.0359	322,66	160,49	C.0432	515,96	369,30	C.0505	286,92	210,28	C.0578	275,87	165,95
C.0360	297,29	188,43	C.0433	444,96	309,70	C.0506	227,58	136,85	C.0579	376,53	244,81
C.0361	322,20	157,79	C.0434	481,92	287,33	C.0507	309,27	363,78	C.0580	227,43	233,69



ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
C.0581	336,80	188,24	C.0654	170,45	177,05	C.0727	221,28	161,68	C.0800	233,71	130,57
C.0582	251,16	130,01	C.0655	305,47	218,04	C.0728	209,92	142,28	C.0801	449,59	185,09
C.0583	235,06	275,18	C.0656	448,63	189,50	C.0729	212,60	161,68	C.0802	236,89	128,16
C.0584	478,11	319,18	C.0657	515,86	247,62	C.0730	430,58	198,22	C.0803	188,46	101,42
C.0585	137,43	135,94	C.0658	235,09	205,12	C.0731	251,53	198,22	C.0804	395,57	218,38
C.0586	292,19	257,73	C.0659	517,39	237,82	C.0732	253,43	198,22	C.0805	213,75	259,33
C.0587	399,18	305,84	C.0660	325,83	197,45	C.0733	390,14	459,84	C.0806	200,45	112,17
C.0588	485,29	261,49	C.0661	244,61	200,37	C.0734	187,69	161,29	C.0807	179,66	107,95
C.0589	441,57	312,83	C.0662	458,15	278,32	C.0735	346,35	190,48	C.0808	192,11	142,63
C.0590	338,57	384,50	C.0663	361,28	252,00	C.0736	200,04	221,41	C.0809	254,84	168,94
C.0591	437,07	252,93	C.0664	190,51	185,87	C.0737	303,11	204,69	C.0810	404,65	149,61
C.0592	264,12	174,40	C.0665	245,90	136,50	C.0738	193,69	160,72	C.0811	424,08	181,78
C.0593	159,19	128,38	C.0666	366,48	305,97	C.0739	176,01	181,87	C.0812	246,07	124,46
C.0594	159,75	163,29	C.0667	236,67	205,68	C.0740	181,24	164,17	C.0813	403,52	219,82
C.0595	465,13	237,41	C.0668	294,57	263,48	C.0741	228,70	146,00	C.0814	262,82	151,84
C.0596	465,13	237,41	C.0669	215,15	171,34	C.0742	146,94	126,71	C.0815	228,03	128,84
C.0597	279,38	259,57	C.0670	347,71	160,42	C.0743	360,52	186,92	C.0816	232,20	104,30
C.0598	359,15	142,14	C.0671	241,40	260,74	C.0744	226,38	203,55	C.0817	206,61	128,60
C.0599	399,19	254,51	C.0672	450,38	169,42	C.0745	172,49	201,15	C.0818	277,55	232,26
C.0600	182,23	150,02	C.0673	414,79	161,39	C.0746	300,46	119,44	C.0819	297,90	291,15
C.0601	406,38	259,57	C.0674	263,82	216,68	C.0747	379,83	249,39	C.0820	261,03	300,36
C.0602	320,92	332,95	C.0675	205,97	153,81	C.0748	392,87	327,82	C.0821	196,95	99,61
C.0603	263,40	172,20	C.0676	360,80	285,96	C.0749	426,13	218,36	C.0822	292,61	101,67
C.0604	163,31	91,90	C.0677	174,96	180,12	C.0750	172,71	125,02	C.0823	305,25	213,62
C.0605	279,70	159,80	C.0678	170,40	114,26	C.0751	200,32	158,77	C.0824	229,89	181,33
C.0606	408,80	177,05	C.0679	368,86	238,98	C.0752	389,63	339,10	C.0825	220,82	146,20
C.0607	250,78	199,95	C.0680	217,65	162,74	C.0753	379,81	429,47	C.0826	217,66	193,51
C.0608	415,07	339,98	C.0681	358,92	181,81	C.0754	488,54	211,50	C.0827	236,77	158,24
C.0609	415,07	339,98	C.0682	210,04	153,51	C.0755	482,76	317,77	C.0828	316,01	180,91
C.0610	359,25	452,97	C.0683	170,46	209,12	C.0756	458,71	268,44	C.0829	279,39	163,00
C.0611	197,84	209,61	C.0684	217,46	176,03	C.0757	307,45	249,28	C.0830	255,54	135,52
C.0612	243,82	113,89	C.0685	228,90	148,59	C.0758	210,88	188,21	C.0831	207,85	247,49
C.0613	214,39	191,87	C.0686	167,08	128,26	C.0759	355,00	247,41	C.0832	201,22	137,00
C.0614	377,44	163,67	C.0687	363,27	235,48	C.0760	221,70	171,39	C.0833	287,70	169,36
C.0615	295,57	265,75	C.0688	339,84	259,35	C.0761	172,51	129,76	C.0834	194,38	150,31
C.0616	221,08	165,18	C.0689	235,46	171,58	C.0762	269,94	224,37	C.0835	257,16	145,77
C.0617	329,10	308,67	C.0690	313,57	173,50	C.0763	298,36	245,11	C.0836	253,49	148,77
C.0618	540,73	265,81	C.0691	202,96	122,73	C.0764	312,84	212,65	C.0837	270,41	152,42
C.0619	282,14	247,09	C.0692	408,26	345,75	C.0765	383,42	243,50	C.0838	310,36	139,11
C.0620	405,37	372,45	C.0693	424,29	260,21	C.0766	354,19	274,11	C.0839	371,84	169,02
C.0621	424,79	149,41	C.0694	510,57	353,45	C.0767	348,16	164,66	C.0840	205,12	169,84
C.0622	177,08	111,21	C.0695	362,74	260,85	C.0768	399,53	169,69	C.0841	187,02	181,19
C.0623	251,30	184,36	C.0696	567,13	251,27	C.0769	282,33	169,77	C.0842	203,85	177,64
C.0624	268,44	190,94	C.0697	248,98	198,18	C.0770	350,83	267,40	C.0843	213,47	171,53
C.0625	242,94	224,38	C.0698	389,41	242,12	C.0771	296,68	213,64	C.0844	295,55	218,17
C.0626	190,58	200,61	C.0699	455,95	373,95	C.0772	373,39	212,27	C.0845	381,05	236,46
C.0627	253,78	93,89	C.0700	355,53	301,71	C.0773	282,66	136,32	C.0846	282,11	204,41
C.0628	191,74	177,41	C.0701	531,28	407,49	C.0774	242,80	178,55	C.0847	289,86	207,41
C.0629	257,93	140,82	C.0702	177,58	132,06	C.0775	179,61	145,03	C.0848	480,47	235,68
C.0630	293,49	188,78	C.0703	212,71	234,47	C.0776	464,66	180,13	C.0849	209,32	164,90
C.0631	439,10	128,66	C.0704	261,76	244,77	C.0777	287,18	191,68	C.0850	364,86	117,75
C.0632	317,82	113,03	C.0705	253,37	201,72	C.0778	197,36	195,89	C.0851	211,66	97,44
C.0633	178,30	196,71	C.0706	279,62	155,95	C.0779	244,07	197,82	C.0852	272,54	180,92
C.0634	171,77	166,82	C.0707	205,69	123,80	C.0780	270,99	266,56	C.0853	359,27	275,02
C.0635	174,61	214,04	C.0708	353,57	216,44	C.0781	270,13	156,77	C.0854	188,58	92,05
C.0636	173,37	213,18	C.0709	390,47	242,38	C.0782	431,26	174,33	C.0855	166,54	107,77
C.0637	382,44	222,24	C.0710	341,96	222,98	C.0783	314,78	265,82	C.0856	269,21	191,25
C.0638	275,87	253,68	C.0711	394,80	242,38	C.0784	192,97	150,40	C.0857	280,47	180,58
C.0639	420,02	218,76	C.0712	495,78	221,61	C.0785	312,17	188,57	C.0858	302,44	205,87
C.0640	287,35	199,75	C.0713	342,22	214,67	C.0786	368,75	130,59	C.0859	244,48	175,23
C.0641	504,40	229,06	C.0714	183,86	156,36	C.0787	207,30	200,95	C.0860	537,94	279,53
C.0642	413,43	299,43	C.0715	206,69	180,02	C.0788	207,51	73,79	C.0861	336,82	249,05
C.0643	514,44	192,45	C.0716	316,00	225,03	C.0789	333,87	352,69	C.0862	206,49	160,63
C.0644	395,20	232,87	C.0717	205,67	138,22	C.0790	246,22	269,18	C.0863	293,05	172,38
C.0645	317,88	106,77	C.0718	235,66	129,51	C.0791	242,66	123,26	C.0864	278,76	203,41
C.0646	430,85	369,57	C.0719	153,09	164,02	C.0792	275,97	133,84	C.0865	273,69	281,03
C.0647	359,70	252,16	C.0720	183,18	207,62	C.0793	281,83	256,49	C.0866	257,55	136,78
C.0648	429,78	208,90	C.0721	211,95	130,01	C.0794	328,42	124,24	C.0867	337,03	162,98
C.0649	211,01	186,58	C.0722	304,36	241,95	C.0795	178,70	136,90	C.0868	437,52	215,51
C.0650	179,23	170,71	C.0723	189,59	215,34	C.0796	219,09	156,29	C.0869	180,77	112,61
C.0651	201,59	114,00	C.0724	333,93	242,45	C.0797	186,86	111,88	C.0870	212,18	246,89
C.0652	476,29	369,84	C.0725	189,00	194,89	C.0798	324,52	176,90	C.0871	259,41	167,65
C.0653	433,01	416,21	C.0726	181,17	136,46	C.0799	277,43	192,84	C.0872	316,49	199,09

ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
C.0873	248,76	204,34	C.0946	417,05	139,59	C.1019	201,78	173,56	C.1092	423,75	208,08
C.0874	351,21	152,02	C.0947	176,10	107,65	C.1020	191,34	120,68	C.1093	277,05	166,33
C.0875	201,43	171,74	C.0948	193,01	204,67	C.1021	234,67	140,82	C.1094	237,99	252,35
C.0876	248,63	196,15	C.0949	316,99	232,07	C.1022	182,33	161,42	C.1095	204,30	127,11
C.0877	181,59	173,76	C.0950	220,59	183,36	C.1023	218,78	135,65	C.1096	379,60	192,76
C.0878	259,11	131,94	C.0951	225,78	256,70	C.1024	208,67	131,00	C.1097	436,81	150,35
C.0879	258,13	182,56	C.0952	241,20	147,96	C.1025	154,47	133,10	C.1098	196,96	139,67
C.0880	324,38	267,85	C.0953	230,41	167,95	C.1026	318,79	200,24	C.1099	286,93	174,37
C.0881	180,23	140,17	C.0954	380,93	283,22	C.1027	213,08	148,08	C.1100	284,03	116,90
C.0882	141,79	141,40	C.0955	189,61	108,09	C.1028	324,04	135,21	C.1101	285,26	163,04
C.0883	264,65	100,51	C.0956	228,96	132,70	C.1029	260,20	212,44	C.1102	213,96	101,46
C.0884	231,32	123,13	C.0957	402,39	225,94	C.1030	184,91	135,06	C.1103	269,99	250,14
C.0885	394,14	271,76	C.0958	194,62	108,86	C.1031	324,30	168,80	C.1104	453,69	255,44
C.0886	223,56	100,34	C.0959	235,31	155,61	C.1032	377,72	214,73	C.1105	225,78	134,14
C.0887	173,61	187,15	C.0960	562,40	244,68	C.1033	402,64	154,15	C.1106	284,23	183,93
C.0888	466,24	259,22	C.0961	351,50	214,20	C.1034	364,84	175,28	C.1107	356,14	229,97
C.0889	282,46	223,61	C.0962	485,01	228,03	C.1035	198,01	122,06	C.1108	345,54	241,18
C.0890	261,68	168,09	C.0963	223,77	192,14	C.1036	246,80	126,81	C.1109	213,18	134,17
C.0891	318,06	210,88	C.0964	256,93	159,73	C.1037	248,39	99,17	C.1110	205,87	185,43
C.0892	239,33	117,55	C.0965	319,67	159,64	C.1038	400,65	260,36	C.1111	178,16	104,96
C.0893	248,77	213,34	C.0966	374,30	195,77	C.1039	193,44	124,91	C.1112	272,90	157,44
C.0894	386,41	280,76	C.0967	218,22	161,81	C.1040	314,98	202,86	C.1113	272,04	267,24
C.0895	291,99	242,65	C.0968	405,65	305,63	C.1041	209,03	207,16	C.1114	243,40	229,05
C.0896	263,13	171,83	C.0969	372,96	164,92	C.1042	428,50	317,62	C.1115	392,96	350,27
C.0897	262,86	213,06	C.0970	356,71	273,61	C.1043	211,31	142,94	C.1116	240,04	96,75
C.0898	223,45	126,09	C.0971	257,26	142,32	C.1044	216,90	141,51	C.1117	190,55	143,29
C.0899	335,48	220,45	C.0972	185,58	131,92	C.1045	204,72	115,45	C.1118	300,00	173,88
C.0900	356,96	196,36	C.0973	264,30	130,71	C.1046	343,08	205,98	C.1119	185,07	124,53
C.0901	240,62	139,89	C.0974	192,12	152,77	C.1047	172,26	136,58	C.1120	223,20	153,24
C.0902	136,50	150,72	C.0975	338,31	199,98	C.1048	322,14	256,49	C.1121	181,32	149,67
C.0903	290,01	216,69	C.0976	352,70	158,37	C.1049	219,56	167,98	C.1122	278,62	218,07
C.0904	241,67	168,08	C.0977	218,46	167,45	C.1050	196,58	192,72	C.1123	346,32	195,58
C.0905	211,77	172,50	C.0978	200,42	79,61	C.1051	264,15	278,31	C.1124	225,24	223,13
C.0906	162,51	155,03	C.0979	388,00	107,15	C.1052	279,90	201,65	C.1125	370,88	330,74
C.0907	236,95	120,11	C.0980	283,45	207,58	C.1053	175,87	91,00	C.1126	186,76	115,64
C.0908	232,61	177,67	C.0981	245,38	179,26	C.1054	288,69	263,83	C.1127	229,67	179,06
C.0909	369,77	329,30	C.0982	160,89	198,41	C.1055	391,72	229,22	C.1128	213,43	165,52
C.0910	346,59	210,13	C.0983	228,33	129,25	C.1056	172,91	107,53	C.1129	185,34	127,27
C.0911	382,37	231,63	C.0984	209,56	150,20	C.1057	273,86	286,51	C.1130	443,66	245,11
C.0912	241,52	153,46	C.0985	123,31	55,57	C.1058	186,99	123,51	C.1131	220,93	120,66
C.0913	366,74	229,37	C.0986	170,93	118,44	C.1059	289,44	162,85	C.1132	349,72	217,70
C.0914	290,37	250,14	C.0987	342,63	337,78	C.1060	325,68	211,75	C.1133	519,77	265,26
C.0915	211,35	117,91	C.0988	206,23	119,31	C.1061	246,37	186,67	C.1134	169,89	113,02
C.0916	319,24	195,38	C.0989	498,44	305,63	C.1062	306,16	111,19	C.1135	253,18	137,59
C.0917	246,45	153,74	C.0990	394,88	282,89	C.1063	319,29	195,92	C.1136	250,58	221,82
C.0918	395,46	178,64	C.0991	316,10	235,35	C.1064	293,54	112,34	C.1137	325,61	139,54
C.0919	237,17	175,01	C.0992	247,59	118,19	C.1065	530,86	250,22	C.1138	415,73	165,07
C.0920	208,97	143,93	C.0993	174,54	106,98	C.1066	325,80	308,72	C.1139	266,40	217,52
C.0921	342,93	244,41	C.0994	206,67	246,59	C.1067	180,30	82,91	C.1140	220,56	206,36
C.0922	277,07	113,23	C.0995	268,19	237,91	C.1068	330,27	177,16	C.1141	364,55	165,20
C.0923	257,78	146,74	C.0996	255,90	264,63	C.1069	466,91	126,87	C.1142	352,97	293,61
C.0924	210,99	211,38	C.0997	349,91	195,56	C.1070	278,63	200,42	C.1143	260,82	168,54
C.0925	216,41	140,64	C.0998	194,66	139,25	C.1071	215,10	205,69	C.1144	262,86	323,64
C.0926	263,93	201,30	C.0999	202,08	107,50	C.1072	387,89	216,11	C.1145	345,91	172,45
C.0927	205,56	150,71	C.1000	229,80	213,03	C.1073	187,24	105,27	C.1146	306,41	128,24
C.0928	318,88	237,44	C.1001	232,02	91,03	C.1074	272,29	209,95	C.1147	154,99	123,28
C.0929	204,65	155,64	C.1002	358,60	243,96	C.1075	354,94	193,35	C.1148	269,55	199,66
C.0930	239,48	82,06	C.1003	357,67	203,68	C.1076	218,62	196,50	C.1149	376,87	228,99
C.0931	282,52	267,42	C.1004	256,74	225,35	C.1077	218,16	157,73	C.1150	369,12	220,83
C.0932	207,33	173,34	C.1005	168,36	126,20	C.1078	232,51	183,81	C.1151	286,06	140,57
C.0933	182,32	124,28	C.1006	288,31	212,36	C.1079	349,75	276,56	C.1152	276,28	264,91
C.0934	302,52	212,28	C.1007	283,07	157,28	C.1080	221,83	115,41	C.1153	386,29	185,17
C.0935	266,72	209,32	C.1008	336,52	264,95	C.1081	416,47	282,87	C.1154	530,83	323,21
C.0936	292,39	229,08	C.1009	328,99	152,09	C.1082	223,16	195,45	C.1155	174,14	112,29
C.0937	302,60	156,57	C.1010	202,61	171,43	C.1083	318,40	159,80	C.1156	134,85	97,31
C.0938	142,95	149,83	C.1011	323,83	156,38	C.1084	240,08	145,46	C.1157	205,36	218,77
C.0939	282,59	184,24	C.1012	170,50	143,13	C.1085	447,25	370,63	C.1158	284,78	148,33
C.0940	448,24	271,67	C.1013	167,96	149,27	C.1086	165,47	107,87	C.1159	150,50	151,73
C.0941	166,18	144,48	C.1014	235,77	106,86	C.1087	276,52	149,70	C.1160	177,61	211,47
C.0942	380,18	172,48	C.1015	307,18	146,51	C.1088	204,45	254,52	C.1161	209,57	110,97
C.0943	196,08	211,17	C.1016	356,74	255,10	C.1089	240,88	145,51	C.1162	252,95	248,10
C.0944	257,03	197,51	C.1017	279,99	162,83	C.1090	186,67	220,23	C.1163	254,76	164,78
C.0945	165,23	117,13	C.1018	492,10	328,23	C.1091	422,05	235,84	C.1164	153,42	86,77

ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
C.1165	487,95	216,88	C.1238	182,04	145,56	C.1311	336,46	190,36	C.1384	376,11	209,72
C.1166	225,11	283,32	C.1239	296,80	244,00	C.1312	181,44	184,09	C.1385	221,07	282,83
C.1167	195,16	160,26	C.1240	386,40	296,26	C.1313	184,29	111,83	C.1386	364,95	381,32
C.1168	377,49	138,73	C.1241	265,73	190,69	C.1314	271,46	207,51	C.1387	199,63	93,10
C.1169	229,10	213,02	C.1242	272,18	160,37	C.1315	419,22	218,45	C.1388	251,10	191,08
C.1170	477,91	418,27	C.1243	233,57	126,26	C.1316	168,55	203,34	C.1389	374,48	188,73
C.1171	300,40	239,34	C.1244	350,92	223,48	C.1317	388,64	182,67	C.1390	172,62	145,44
C.1172	354,87	181,41	C.1245	226,41	136,23	C.1318	242,47	195,05	C.1391	366,88	293,50
C.1173	264,89	197,91	C.1246	189,35	70,75	C.1319	214,14	211,80	C.1392	157,89	100,03
C.1174	261,03	107,89	C.1247	248,81	124,68	C.1320	153,52	112,31	C.1393	445,04	190,38
C.1175	179,02	92,15	C.1248	335,47	220,85	C.1321	363,94	239,46	C.1394	395,37	325,77
C.1176	264,64	280,14	C.1249	401,48	206,51	C.1322	211,89	154,91	C.1395	351,21	156,07
C.1177	200,09	204,61	C.1250	482,45	442,93	C.1323	272,67	147,13	C.1396	333,70	213,70
C.1178	138,94	98,27	C.1251	380,89	171,53	C.1324	212,62	211,11	C.1397	307,21	371,15
C.1179	305,63	195,91	C.1252	330,63	234,47	C.1325	296,04	148,22	C.1398	231,05	242,62
C.1180	265,12	175,62	C.1253	289,25	267,40	C.1326	232,71	230,03	C.1399	382,10	134,67
C.1181	481,00	264,63	C.1254	350,67	186,84	C.1327	363,73	255,51	C.1400	201,08	194,09
C.1182	185,48	95,09	C.1255	238,54	161,69	C.1328	398,23	351,26	C.1401	208,82	197,43
C.1183	268,26	103,87	C.1256	210,47	107,97	C.1329	190,31	149,73	C.1402	304,90	214,70
C.1184	182,17	156,80	C.1257	345,27	200,49	C.1330	431,10	316,63	C.1403	233,30	111,33
C.1185	217,18	170,17	C.1258	308,85	148,53	C.1331	315,59	278,23	C.1404	216,48	115,48
C.1186	316,15	250,71	C.1259	502,64	190,70	C.1332	397,21	182,87	C.1405	196,08	108,20
C.1187	199,49	118,90	C.1260	446,35	150,75	C.1333	239,72	119,97	C.1406	562,15	402,08
C.1188	208,83	114,31	C.1261	462,46	148,33	C.1334	384,67	276,64	C.1407	277,76	320,60
C.1189	317,56	128,69	C.1262	294,12	176,48	C.1335	515,39	274,90	C.1408	276,63	119,24
C.1190	255,04	164,70	C.1263	442,96	165,17	C.1336	236,58	195,03	C.1409	173,59	136,70
C.1191	190,63	156,66	C.1264	218,34	105,91	C.1337	282,01	328,92	C.1410	159,50	118,08
C.1192	324,92	151,16	C.1265	427,66	339,90	C.1338	273,08	274,28	C.1411	212,15	231,07
C.1193	316,18	190,10	C.1266	287,71	239,92	C.1339	238,76	230,11	C.1412	447,33	223,48
C.1194	257,45	273,85	C.1267	245,69	161,01	C.1340	153,30	102,93	C.1413	193,63	144,62
C.1195	282,52	202,86	C.1268	274,34	186,42	C.1341	221,32	170,46	C.1414	450,87	492,65
C.1196	310,38	259,13	C.1269	228,29	160,11	C.1342	151,37	189,64	C.1415	196,28	139,64
C.1197	334,82	161,78	C.1270	366,99	387,66	C.1343	399,28	183,24	C.1416	146,69	87,70
C.1198	292,36	274,91	C.1271	257,40	126,02	C.1344	220,54	184,77	C.1417	252,88	112,93
C.1199	374,79	217,80	C.1272	494,37	266,75	C.1345	163,04	91,96	C.1418	356,96	99,87
C.1200	393,51	268,94	C.1273	248,04	143,09	C.1346	238,02	177,32	C.1419	338,99	270,34
C.1201	508,50	237,55	C.1274	228,40	195,49	C.1347	191,56	116,63	C.1420	248,99	187,15
C.1202	222,38	169,73	C.1275	313,63	175,76	C.1348	268,03	170,38	C.1421	242,20	281,34
C.1203	253,09	213,45	C.1276	357,13	143,41	C.1349	218,61	153,34	C.1422	391,52	259,09
C.1204	407,79	150,84	C.1277	280,22	178,82	C.1350	180,44	71,26	C.1423	198,42	155,15
C.1205	289,14	300,87	C.1278	276,71	134,52	C.1351	192,06	238,26	C.1424	317,89	250,42
C.1206	176,42	216,21	C.1279	181,03	178,64	C.1352	347,50	212,44	C.1425	288,79	191,62
C.1207	267,21	312,75	C.1280	499,39	155,72	C.1353	176,65	110,31	C.1426	421,95	259,76
C.1208	292,17	219,25	C.1281	99,35	97,49	C.1354	286,50	122,22	C.1427	239,95	209,50
C.1209	318,62	185,37	C.1282	287,98	270,28	C.1355	212,11	258,62	C.1428	184,69	172,69
C.1210	401,25	167,53	C.1283	370,28	236,41	C.1356	385,73	338,65	C.1429	448,26	214,54
C.1211	148,20	99,99	C.1284	226,82	118,67	C.1357	402,59	356,64	C.1430	446,72	144,75
C.1212	423,14	361,68	C.1285	416,25	148,20	C.1358	238,48	131,76	C.1431	213,03	223,72
C.1213	301,73	328,21	C.1286	167,82	161,73	C.1359	226,19	159,64	C.1432	296,54	186,52
C.1214	428,00	137,55	C.1287	432,58	267,72	C.1360	167,26	182,00	C.1433	148,84	178,54
C.1215	226,82	262,86	C.1288	209,67	190,50	C.1361	349,70	186,30	C.1434	537,14	285,32
C.1216	181,83	139,24	C.1289	277,65	259,73	C.1362	175,84	194,42	C.1435	426,83	181,92
C.1217	276,37	117,68	C.1290	442,20	341,85	C.1363	263,64	99,82	C.1436	181,65	133,61
C.1218	207,38	162,21	C.1291	424,58	285,23	C.1364	384,67	130,16	C.1437	241,29	189,10
C.1219	498,11	306,78	C.1292	249,42	228,40	C.1365	242,36	153,31	C.1438	202,22	120,53
C.1220	289,49	191,90	C.1293	495,03	306,79	C.1366	251,57	205,67	C.1439	284,41	185,19
C.1221	430,90	234,15	C.1294	401,65	107,50	C.1367	309,14	150,55	C.1440	384,60	405,50
C.1222	359,25	319,19	C.1295	175,78	92,81	C.1368	201,97	119,53	C.1441	478,59	151,45
C.1223	202,08	118,60	C.1296	179,62	189,57	C.1369	228,82	156,33	C.1442	303,33	222,38
C.1224	466,07	285,32	C.1297	344,12	184,46	C.1370	282,30	242,18	C.1443	268,06	136,60
C.1225	183,29	107,37	C.1298	245,63	119,83	C.1371	400,41	159,65	C.1444	367,60	232,02
C.1226	253,91	218,24	C.1299	313,20	228,23	C.1372	195,70	96,53	C.1445	290,60	219,66
C.1227	416,23	324,67	C.1300	200,25	134,32	C.1373	206,02	147,04	C.1446	215,70	165,37
C.1228	376,28	257,82	C.1301	320,82	119,00	C.1374	209,74	138,77	C.1447	365,75	165,76
C.1229	383,68	114,68	C.1302	162,27	176,59	C.1375	163,17	119,76	C.1448	165,50	149,19
C.1230	242,46	132,74	C.1303	216,49	100,05	C.1376	207,90	136,64	C.1449	392,33	300,15
C.1231	377,14	194,99	C.1304	263,66	175,89	C.1377	170,28	108,75	C.1450	215,63	206,15
C.1232	190,85	137,88	C.1305	366,26	114,43	C.1378	472,45	201,09	C.1451	405,39	228,92
C.1233	216,00	113,89	C.1306	466,97	127,85	C.1379	266,46	173,15	C.1452	303,79	258,25
C.1234	422,48	244,20	C.1307	274,42	246,35	C.1380	242,09	154,19	C.1453	299,76	180,65
C.1235	299,14	126,70	C.1308	311,41	217,53	C.1381	269,91	206,08	C.1454	231,29	238,05
C.1236	402,08	206,51	C.1309	432,07	216,47	C.1382	175,71	158,29	C.1455	300,49	247,81
C.1237	183,35	137,76	C.1310	210,63	165,03	C.1383	505,71	181,15	C.1456	188,45	122,04

ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
C.1457	323,88	217,16	C.1530	227,21	190,90	C.1603	229,46	89,16	C.1676	299,64	308,49
C.1458	317,21	228,89	C.1531	269,02	128,06	C.1604	554,99	181,42	C.1677	173,71	162,67
C.1459	162,19	114,08	C.1532	193,85	154,88	C.1605	475,64	164,64	C.1678	426,43	198,46
C.1460	194,67	206,93	C.1533	192,88	155,46	C.1606	458,87	271,53	C.1679	356,14	195,69
C.1461	374,54	183,58	C.1534	212,80	169,69	C.1607	344,16	159,36	C.1680	446,17	178,39
C.1462	267,40	336,53	C.1535	156,23	127,80	C.1608	410,59	304,26	C.1681	262,55	106,28
C.1463	244,30	236,84	C.1536	259,92	198,55	C.1609	192,81	111,90	C.1682	370,45	282,91
C.1464	197,38	146,61	C.1537	311,93	171,22	C.1610	319,87	219,36	C.1683	481,62	494,92
C.1465	148,35	133,89	C.1538	156,62	196,79	C.1611	226,42	162,68	C.1684	499,82	371,69
C.1466	176,78	113,81	C.1539	260,23	188,16	C.1612	298,78	266,89	C.1685	440,82	313,11
C.1467	298,87	129,66	C.1540	187,98	163,96	C.1613	161,44	125,84	C.1686	457,80	286,20
C.1468	130,75	101,84	C.1541	157,58	138,13	C.1614	302,36	236,32	C.1687	421,49	166,46
C.1469	341,51	392,20	C.1542	182,54	123,83	C.1615	317,88	175,31	C.1688	303,22	214,20
C.1470	304,02	163,07	C.1543	182,92	168,51	C.1616	442,63	241,22	C.1689	193,59	147,21
C.1471	343,88	412,74	C.1544	447,44	122,68	C.1617	323,59	222,13	C.1690	216,11	220,94
C.1472	360,97	270,28	C.1545	189,14	93,70	C.1618	474,24	322,48	C.1691	352,80	168,75
C.1473	353,31	214,20	C.1546	402,98	249,60	C.1619	356,42	136,50	C.1692	312,80	167,61
C.1474	346,20	341,28	C.1547	154,81	80,24	C.1620	290,96	159,37	C.1693	185,13	165,35
C.1475	487,98	313,02	C.1548	152,34	100,01	C.1621	324,86	128,18	C.1694	281,95	198,33
C.1476	371,61	242,26	C.1549	241,63	149,28	C.1622	462,43	213,93	C.1695	217,16	190,22
C.1477	468,98	291,61	C.1550	109,96	107,22	C.1623	338,44	204,25	C.1696	262,46	163,50
C.1478	297,45	217,20	C.1551	267,75	158,87	C.1624	410,07	155,05	C.1697	271,16	217,24
C.1479	374,81	187,12	C.1552	164,69	105,17	C.1625	310,26	140,31	C.1698	307,25	190,51
C.1480	226,07	225,95	C.1553	222,42	155,58	C.1626	184,74	108,30	C.1699	476,12	123,40
C.1481	227,13	203,39	C.1554	317,60	173,68	C.1627	337,32	141,55	C.1700	389,70	137,81
C.1482	233,94	285,51	C.1555	175,82	136,01	C.1628	342,24	242,40	C.1701	422,71	114,42
C.1483	255,97	105,10	C.1556	300,32	219,58	C.1629	316,53	100,39	C.1702	528,11	421,27
C.1484	148,30	128,80	C.1557	288,38	168,60	C.1630	171,69	152,39	C.1703	418,30	482,36
C.1485	263,06	192,32	C.1558	311,19	289,36	C.1631	309,71	184,80	C.1704	426,13	340,87
C.1486	131,20	143,29	C.1559	519,57	272,05	C.1632	164,55	117,75	C.1705	328,45	257,82
C.1487	518,15	401,60	C.1560	554,89	272,05	C.1633	295,46	176,24	C.1706	304,09	212,79
C.1488	213,30	97,92	C.1561	487,64	347,57	C.1634	378,07	215,37	D.0002	207,95	218,44
C.1489	564,50	256,54	C.1562	173,32	172,60	C.1635	147,20	161,16	D.0003	298,50	180,92
C.1490	239,03	147,91	C.1563	321,50	153,63	C.1636	366,23	139,18	D.0004	371,79	200,55
C.1491	231,93	288,45	C.1564	236,84	159,30	C.1637	312,45	181,69	D.0005	127,09	103,87
C.1492	194,94	184,63	C.1565	247,31	123,17	C.1638	212,41	97,90	D.0006	139,82	121,83
C.1493	206,59	111,99	C.1566	310,79	195,74	C.1639	250,23	262,03	D.0007	269,78	228,18
C.1494	180,34	184,76	C.1567	279,51	193,62	C.1640	357,35	262,92	D.0008	369,88	201,80
C.1495	241,09	132,56	C.1568	453,73	331,97	C.1641	291,20	152,43	D.0009	140,46	126,17
C.1496	434,17	188,96	C.1569	176,34	198,44	C.1642	271,58	223,67	D.0010	183,17	119,21
C.1497	193,75	188,23	C.1570	348,99	198,82	C.1643	308,63	208,01	D.0011	202,28	142,12
C.1498	303,16	190,27	C.1571	339,54	234,22	C.1644	498,99	308,34	D.0012	207,28	262,51
C.1499	168,77	129,33	C.1572	264,88	158,95	C.1645	284,26	361,04	D.0013	136,63	129,29
C.1500	267,48	158,14	C.1573	225,31	233,12	C.1646	454,39	260,92	D.0014	239,28	103,52
C.1501	230,42	203,51	C.1574	381,87	118,52	C.1647	305,91	265,64	D.0015	126,42	138,01
C.1502	150,74	101,15	C.1575	509,25	232,74	C.1648	331,21	250,06	D.0016	369,21	242,14
C.1503	198,73	192,05	C.1576	411,02	209,89	C.1649	309,15	294,65	D.0017	396,53	350,05
C.1504	160,28	167,16	C.1577	401,00	114,40	C.1650	162,69	160,20	D.0018	200,90	276,80
C.1505	175,89	139,53	C.1578	335,71	217,61	C.1651	262,92	187,02	D.0019	267,88	207,08
C.1506	285,92	201,80	C.1579	281,12	211,73	C.1652	269,48	178,71	D.0020	245,61	162,47
C.1507	265,35	185,90	C.1580	339,66	236,89	C.1653	244,90	137,33	D.0021	104,81	59,88
C.1508	206,33	232,19	C.1581	485,92	222,53	C.1654	213,90	157,62	D.0022	147,49	100,71
C.1509	216,57	133,82	C.1582	417,14	226,30	C.1655	376,53	245,03	D.0023	162,18	62,80
C.1510	402,92	293,78	C.1583	405,64	426,67	C.1656	252,95	119,56	D.0024	174,83	185,03
C.1511	238,25	171,25	C.1584	409,15	208,13	C.1657	172,39	209,76	D.0025	98,31	217,54
C.1512	219,92	198,14	C.1585	321,09	97,13	C.1658	263,44	201,62	D.0026	129,01	95,18
C.1513	112,94	111,36	C.1586	287,05	239,29	C.1659	544,59	175,83	D.0027	158,32	108,12
C.1514	261,79	231,81	C.1587	417,26	238,90	C.1660	524,94	276,87	D.0028	175,54	101,24
C.1515	247,86	105,98	C.1588	188,08	177,44	C.1661	272,31	208,13	D.0029	326,58	141,73
C.1516	228,75	173,25	C.1589	260,74	207,77	C.1662	367,89	236,40	D.0030	110,53	87,17
C.1517	373,59	311,58	C.1590	224,61	271,23	C.1663	396,95	254,18	D.0031	199,06	177,51
C.1518	305,14	132,36	C.1591	274,74	204,20	C.1664	386,20	196,05	D.0032	272,38	163,00
C.1519	436,00	252,49	C.1592	301,29	154,74	C.1665	373,38	352,38	D.0033	285,74	192,75
C.1520	232,97	124,07	C.1593	109,68	113,74	C.1666	540,85	291,90	D.0034	260,29	134,49
C.1521	414,59	210,84	C.1594	358,29	190,88	C.1667	419,28	197,60	D.0035	241,77	184,20
C.1522	374,62	229,62	C.1595	576,24	308,21	C.1668	519,53	304,36	D.0036	171,06	116,15
C.1523	198,39	128,76	C.1596	341,76	228,74	C.1669	163,08	203,83	D.0037	167,15	222,91
C.1524	389,02	188,63	C.1597	480,84	329,84	C.1670	423,92	209,40	D.0038	234,81	115,95
C.1525	308,83	339,66	C.1598	446,37	195,00	C.1671	464,32	424,92	D.0039	336,11	181,42
C.1526	317,97	153,96	C.1599	367,28	179,23	C.1672	302,87	312,36	D.0040	376,97	105,58
C.1527	206,88	157,71	C.1600	356,27	381,56	C.1673	319,50	327,76	D.0041	131,55	106,34
C.1528	225,18	172,81	C.1601	317,73	192,39	C.1674	333,44	336,79	D.0042	136,66	90,81
C.1529	157,16	158,27	C.1602	275,50	166,56	C.1675	365,45	351,03	D.0043	176,86	41,65

ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter	ID_Building	q_calc	q_meter
D.0044	175,52	126,07	E.0018	111,44	82,81	E.0051	170,88	107,87	F.0033	68,40	57,21
D.0045	298,46	234,92	E.0019	112,66	90,99	F.0001	23,76	27,72	F.0034	69,72	52,58
D.0046	301,65	224,36	E.0020	113,89	77,71	F.0002	25,20	73,21	F.0035	72,72	55,92
D.0047	375,58	250,19	E.0021	114,30	118,18	F.0003	30,60	41,53	F.0036	74,40	73,17
D.0048	144,25	171,47	E.0022	115,72	94,02	F.0004	36,72	48,81	F.0037	75,48	48,47
D.0049	174,23	147,17	E.0023	115,72	87,48	F.0005	36,84	73,56	F.0038	75,95	40,29
D.0050	233,43	250,63	E.0024	116,20	87,22	F.0006	37,37	53,14	F.0039	77,40	85,99
D.0051	315,76	120,04	E.0025	117,14	73,58	F.0007	37,92	177,23	F.0040	78,24	64,17
D.0052	334,23	136,74	E.0026	120,50	90,79	F.0008	38,09	39,36	F.0041	84,00	54,94
D.0053	157,67	124,88	E.0027	120,77	110,38	F.0009	39,25	69,71	F.0042	87,48	90,38
D.0054	202,21	224,04	E.0028	121,74	114,47	F.0010	39,48	31,31	F.0043	87,49	67,40
D.0055	327,07	322,34	E.0029	123,32	142,41	F.0011	40,56	65,45	F.0044	87,60	25,88
D.0056	142,99	148,51	E.0030	123,38	83,16	F.0012	42,48	58,65	F.0045	91,73	58,77
D.0057	204,19	139,01	E.0031	127,80	109,50	F.0013	42,56	70,23	F.0046	94,80	86,90
D.0058	178,02	181,29	E.0032	133,01	114,24	F.0014	44,04	105,25	F.0047	95,76	30,37
D.0059	271,69	226,31	E.0033	133,75	122,66	F.0015	44,64	44,87	F.0048	109,44	51,52
D.0060	299,14	177,82	E.0034	136,40	98,48	F.0016	45,96	38,30	F.0049	113,52	85,41
E.0002	26,27	40,87	E.0035	139,95	110,84	F.0017	46,60	30,96	F.0050	114,00	98,00
E.0003	28,15	40,90	E.0036	141,49	122,85	F.0018	46,80	62,57	F.0051	118,80	75,30
E.0004	28,43	66,66	E.0037	141,79	144,62	F.0019	47,88	31,63	F.0052	122,40	80,50
E.0005	36,80	37,10	E.0038	141,79	153,49	F.0020	48,00	65,39	F.0053	123,60	109,07
E.0006	38,91	38,97	E.0039	142,45	123,27	F.0021	49,54	24,07	F.0054	125,21	72,57
E.0007	91,77	149,19	E.0040	142,97	125,22	F.0022	50,04	55,19	F.0055	129,89	89,42
E.0008	96,54	48,87	E.0041	143,61	125,34	F.0023	50,76	52,12	F.0056	132,00	19,52
E.0009	99,90	105,88	E.0042	144,79	118,69	F.0024	50,88	53,67	F.0057	143,64	64,45
E.0010	103,53	76,65	E.0043	145,26	128,79	F.0025	54,12	22,73	F.0058	145,20	78,72
E.0011	104,08	67,11	E.0044	148,54	150,01	F.0026	57,60	36,88	F.0059	148,80	155,71
E.0012	105,22	223,55	E.0045	152,42	105,78	F.0027	58,80	38,96	F.0060	150,00	92,58
E.0013	105,33	93,28	E.0046	153,64	86,23	F.0028	59,04	23,35	F.0061	159,96	120,93
E.0014	107,39	65,64	E.0047	155,27	138,80	F.0029	61,87	60,83	F.0062	200,40	141,54
E.0015	109,18	99,65	E.0048	158,14	122,66	F.0030	65,04	74,63			
E.0016	110,51	84,20	E.0049	159,35	129,20	F.0031	66,00	53,64			
E.0017	110,71	93,86	E.0050	170,31	159,41	F.0032	67,20	58,16			

## Anhang zu Kap 2.3 (Messdaten zum Nutzerverhalten und zu den Wohnbedingungen)

### Basisdaten zur Auswertung bzw. Zusammenführung empirischer Daten (Grundlage für Tab. 55)

Einige der Messdaten wurden bereits im Projekt „Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten“ (Loga et al. 2003) zur Auswertung aufbereitet und sind nicht als eigene Projekte im Kapitel 2.3 Messdaten zum Nutzerverhalten beschrieben.

#### Mittlere Raumtemperaturen in der Heizzeit

<b>Ein- und Zweifamilienhaus, Niedrigenergiehaus (n = 69)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Raumtemperatur (Okt-Apr) in °C</b>
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B8	20,9
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B9	20,3
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B10	20,9
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B11	20,7
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B12	20,5
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B13	20,6
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B14	20,2
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B15	18,2
Bochum-Werne 1996/97	Haus 1	21,1
Bochum-Werne 1996/97	Haus 2	20,1
Bochum-Werne 1996/97	Haus 3	21,4
Bochum-Werne 1996/97	Haus 4	20,4
Bochum-Werne 1996/97	Haus 5	20,8
Bochum-Werne 1996/97	Haus 6	20,0
Bochum-Werne 1996/97	Haus 7	19,0
Bochum-Werne 1996/97	Haus 8	20,9
Bochum-Werne 1996/97	Haus 9	19,1
Heidenheim 1992/93	NEH A1	18,8
Heidenheim 1992/93	NEH A2	19,5
Heidenheim 1992/93	NEH B1	19,4
Heidenheim 1992/93	NEH B2	20,0
Heidenheim 1992/93	NEH C1	19,4
Heidenheim 1992/93	NEH C2	19,1
Heidenheim 1992/93	NEH D1	18,6
Heidenheim 1992/93	NEH D2	16,5
Heidenheim 1992/93	NEH E1	18,2
Heidenheim 1992/93	NEH E2	18,6
Niedernhausen 1995	Dis01	19,8
Niedernhausen 1995	Dis02	19,9
Niedernhausen 1995	Dis03	19,3
Niedernhausen 1995	Dis04	20,6
Niedernhausen 1995	Dis05	19,4
Niedernhausen 1995	Dis06	21,5
Niedernhausen 1995	Dis07	20,9
Niedernhausen 1995	Dis08	21,8
Niedernhausen 1995	Dis09	19,4
Niedernhausen 1995	Dis10	20,1
Niedernhausen 1995	Dis11	21,1
Niedernhausen 1995	Dis12	19,3
Niedernhausen 1995	Dis13	20,2
Niedernhausen 1995	Dis14	20,6
Niedernhausen 1995	Dis15	20,5
Niedernhausen 1995	Dis16	18,6
Niedernhausen 1995	Dis17	17,1
Niedernhausen 1995	Dis18	19,4

<b>Ein- und Zweifamilienhaus, Niedrigenergiehaus (n = 69)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Raumtemperatur (Okt-Apr) in °C</b>
Niedernhausen 1995	Dis19	19,1
Niedernhausen 1995	Dis20	20,1
Niedernhausen 1995	Dis21	19,9
Niedernhausen 1995	Dis22	19,3
Niedernhausen 1995	Dis23	18,2
Niedernhausen 1995	Dis24	20,4
Niedernhausen 1995	Dis25	20,0
Niedernhausen 1995	Dis26	19,4
Niedernhausen 1995	Dis27	20,5
Niedernhausen 1995	Dis28	22,9
Niedernhausen 1995	Dis29	21,7
Niedernhausen 1995	Dis30	19,8
Niedernhausen 1995	Dis31	19,5
Niedernhausen 1995	Dis32	20,2
Niedernhausen 1995	Dis33	21,1
Niedernhausen 1995	Dis34	21,6
Niedernhausen 1995	Dis35	20,1
Niedernhausen 1995	Dis36	19,7
Niedernhausen 1995	Dis37	19,0
Niedernhausen 1995	Dis38	19,0
Niedernhausen 1995	Dis39	20,1
Niedernhausen 1995	Ast01	18,2
Hofheim 2006/2007	Haus 1	19,4
Hofheim 2007/2008	Haus 1	18,8

<b>Ein- und Zweifamilienhaus, Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 56)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Raumtemperatur (Okt-Apr) in °C</b>
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C1	20,7
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C2	20,5
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C3	20,7
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C4	21,2
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C5	20,8
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C6	22,3
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C7	21,7
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C8	20,6
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C9	20,2
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C10	20,9
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C11	21,1
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C12	21,5
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C13	20,9
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C14	20,5
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	C15	21,2
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B1	21,8
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B2	20,7
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B3	21,4
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B4	21,4
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B5	19,6
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B6	21,4
Wiesbaden Lummerlund 2001/2002	B7	21,4
Hofheim 2006/2007	Haus 3	20,7
Hofheim 2007/2008	Haus 3	20,4
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b1	20,8
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b2	19,9
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b3	20,9
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b4	20,9
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b5	20,4
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b6	21,2
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b7	20,2
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b8	21,5
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b9	22,1
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b10	21,2
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b11	20,9

<b>Ein- und Zweifamilienhaus, Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 56)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Raumtemperatur (Okt-Apr) in °C</b>
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b12	22,1
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b13	22,0
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b14	22,4
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b15	21,3
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b16	21,6
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b17	22,9
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b18	21,3
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b19	22,7
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b20	21,9
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b21	21,6
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b22	22,1
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b23	21,5
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b24	22,8
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b25	23,1
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b26	22,2
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b27	22,5
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b28	23,2
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b29	22,6
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b30	23,0
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b31	23,7
Hannover-Kronsberg 2000/01	Haus b32	23,8

<b>Mehrfamilienhaus, Niedrigenergiehaus (n = 28)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Raumtemperatur (Okt-Apr) in °C</b>
Wien-Leopoldstadt 1996/97	Wohnung 4	20,0
Wien-Leopoldstadt 1996/97	Wohnung 7	18,4
Wien-Leopoldstadt 1996/97	Wohnung 46	19,0
Wien-Leopoldstadt 1996/97	Wohnung 47	20,2
Wien-Leopoldstadt 1996/97	Wohnung 49	20,4
Mannheim 1996/97	40.1	21,4
Mannheim 1996/97	40.2	20,7
Mannheim 1996/97	40.3	21,3
Mannheim 1996/97	40.4	21,7
Mannheim 1996/97	40.5	22,5
Mannheim 1996/97	40.6	20,5
Mannheim 1996/97	42.1	19,1
Mannheim 1996/97	42.2	21,0
Mannheim 1996/97	42.3	19,3
Mannheim 1996/97	42.4	20,6
Mannheim 1996/97	42.5	20,3
Mannheim 1996/97	42.6	21,1
Berlin Bülowstraße 1982/83	6L	20,9
Berlin Bülowstraße 1982/83	5L	22,9
Berlin Bülowstraße 1982/83	4L	23,6
Berlin Bülowstraße 1982/83	3L	22,1
Berlin Bülowstraße 1982/83	2L	21,3
Berlin Bülowstraße 1982/83	6M	21,8
Berlin Bülowstraße 1982/83	5M	23,0
Berlin Bülowstraße 1982/83	4M	23,5
Berlin Bülowstraße 1982/83	3M	22,5
Hamburg Kleine Freiheit 2006/07	S3	21,8
Hamburg Kleine Freiheit 2007/08	S3	19,6

<b>Mehrfamilienhaus, „EnSan“ (n = 24)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Raumtemperatur (Okt-Apr) in °C</b>
Hamburg Kleine Freiheit 2006/07	E1	21,0
Hamburg Kleine Freiheit 2006/07	E2	21,5
Hamburg Kleine Freiheit 2006/07	E3	21,0
Hamburg Kleine Freiheit 2007/08	E1	21,1
Hamburg Kleine Freiheit 2007/08	E2	21,4
Hamburg Kleine Freiheit 2007/08	E3	21,8



<b>Mehrfamilienhaus, „EnSan“ (n = 24)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Raumtemperatur (Okt-Apr) in °C</b>
Schwabach 2005/06	I_EG_NM	20,5
Schwabach 2005/06	I_EG_NN	23,4
Schwabach 2005/06	I_EG_NS	23,5
Schwabach 2005/06	I_EG_SM	22,3
Schwabach 2005/06	I_EG_SN	25,3
Schwabach 2005/06	I_EG_SS	22,9
Schwabach 2005/06	I_OG1_NM	19,9
Schwabach 2005/06	I_OG1_NN	23,2
Schwabach 2005/06	I_OG1_NS	22,1
Schwabach 2005/06	I_OG1_SM	22,2
Schwabach 2005/06	I_OG1_SN	24,5
Schwabach 2005/06	I_OG1_SS	24,0
Schwabach 2005/06	I_OG2_NM	21,3
Schwabach 2005/06	I_OG2_NN	21,0
Schwabach 2005/06	I_OG2_NS	23,1
Schwabach 2005/06	I_OG2_SM	22,6
Schwabach 2005/06	I_OG2_SN	25,5
Schwabach 2005/06	I_OG2_SS	23,5

<b>Mehrfamilienhaus, Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 70)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Raumtemperatur (Okt-Apr) in °C</b>
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 1	22,2
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 2	21,9
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 3	22,5
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 4	22,9
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 5	21,8
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 6	21,8
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 7	22,9
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 8	23,1
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 9	23,2
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 10	22,3
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 11	22,0
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 12	22,2
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 13	22,7
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 14	22,7
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 15	23,0
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 16	23,2
Frankfurt Cordierstraße 2014/15	Wohnung 17	21,8
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 1	22,1
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 2	22,6
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 3	22,5
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 4	22,8
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 5	23,2
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 6	21,9
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 7	22,6
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 8	21,8
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 9	22,7
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 10	22,6
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 11	21,7
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 12	21,6
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 13	21,9
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 14	23,4
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 15	23,0
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 16	23,3
Frankfurt Cordierstraße 2015/16	Wohnung 17	21,5
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A1	21,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A2	24,1
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A3	22,3
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A4	22,5
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A5	21,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A7	22,0

<b>Mehrfamilienhaus, Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 70)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Raumtemperatur (Okt-Apr) in °C</b>
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A8	21,2
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A9	22,5
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A10	22,6
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A11	21,8
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A12	22,4
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A13	24,2
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A14	21,0
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A16	20,4
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A17	23,3
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A18	24,4
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A19	22,2
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A20	22,7
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A21	23,2
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B1	22,8
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B2	22,2
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B3	21,0
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B4	21,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B5	22,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B6	23,0
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B8	21,7
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B9	23,3
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B10	22,0
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B11	21,8
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B12	22,1
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B13	22,3
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B14	23,0
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B15	23,4
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B16	21,1
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B17	22,2
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B18	22,8

## Fensteröffnungszeiten

<b>Ein-/Zweifamilienhaus (nur Reihenhaus), Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 27)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Fensteröffnungs- dauer in h/(d·Fenster)</b>
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C1	0,4
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C2	0,6
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C3	0,1
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C4	0,7
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C5	3,1
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C6	1,6
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C7	0,3
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C8	0,5
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C9	1,5
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C10	1,9
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C12	0,2
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C13	0,5
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C14	1,6
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	C15	2,5
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	B1	0,1
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	B2	0,2
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	B3	0,2
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	B4	6,1
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	B5	5,6
Wiesbaden-Dotzheim 2000/01	B6	0,3
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	H1	0,7
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	H2	1,1

<b>Ein-/Zweifamilienhaus (nur Reihenhaus), Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 27)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Fensteröffnungs- dauer in h/(d·Fenster)</b>
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	H3	0,8
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	H4	0,7
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	H5	0,5
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	H6	0,5
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	H8	0,1

<b>Mehrfamilienhaus, EnSan (n = 50)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Mittlere Fensteröffnungs- dauer in h/(Fenster·d)</b>
Karlsruhe-Rintheim	2,16	2,2
Karlsruhe-Rintheim	6,72	6,7
Karlsruhe-Rintheim	7,44	7,4
Karlsruhe-Rintheim	6,96	7,0
Karlsruhe-Rintheim	1,92	1,9
Karlsruhe-Rintheim	2,4	2,4
Karlsruhe-Rintheim	5,04	5,0
Karlsruhe-Rintheim	5,28	5,3
Karlsruhe-Rintheim	4,32	4,3
Karlsruhe-Rintheim	2,16	2,2
Karlsruhe-Rintheim	7,2	7,2
Karlsruhe-Rintheim	7,92	7,9
Karlsruhe-Rintheim	3,84	3,8
Karlsruhe-Rintheim	0,24	0,2
Karlsruhe-Rintheim	7,2	7,2
Karlsruhe-Rintheim	8,4	8,4
Karlsruhe-Rintheim	4,08	4,1
Karlsruhe-Rintheim	5,04	5,0
Karlsruhe-Rintheim	2,4	2,4
Karlsruhe-Rintheim	0,24	0,2
Karlsruhe-Rintheim	1,2	1,2
Karlsruhe-Rintheim	8,16	8,2
Karlsruhe-Rintheim	10,08	10,1
Karlsruhe-Rintheim	3,84	3,8
Karlsruhe-Rintheim	8,64	8,6
Karlsruhe-Rintheim	0,24	0,2
Karlsruhe-Rintheim	6	6,0
Karlsruhe-Rintheim	2,88	2,9
Karlsruhe-Rintheim	5,28	5,3
Karlsruhe-Rintheim	14,64	14,6
Karlsruhe-Rintheim	1,92	1,9
Karlsruhe-Rintheim	2,16	2,2
Karlsruhe-Rintheim	6,96	7,0
Karlsruhe-Rintheim	4,32	4,3
Karlsruhe-Rintheim	7,44	7,4
Karlsruhe-Rintheim	5,28	5,3
Karlsruhe-Rintheim	6,72	6,7
Karlsruhe-Rintheim	5,04	5,0
Karlsruhe-Rintheim	2,16	2,2
Karlsruhe-Rintheim	2,4	2,4
Hamburg Kleine Freiheit HP 2006/07	E3	5,5
Hamburg Kleine Freiheit HP 2006/07	E1	0,3
Hamburg Kleine Freiheit HP 2007/08	E3	4,8
Hamburg Kleine Freiheit HP 2007/08	E1	0,7
Berlin-Albert-Schweizer-Viertel <sup>1)</sup>		2,7

1) Die Angabe ist der Mittelwert der mittleren Fensteröffnungsdauer von 6 messtechnisch erfassten Wohneinheiten eines Mehrfamilienhauses.

**Warmwasserverbrauch**

<b>Ein-/Zweifamilienhaus (nur Reihenhaus), Niedrigenergiehaus (n = 39)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Warmwasserverbrauch in kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Niedernhausen 1995	Dis01	11,6
Niedernhausen 1995	Dis02	10,8
Niedernhausen 1995	Dis03	13,1
Niedernhausen 1995	Dis04	9,0
Niedernhausen 1995	Dis05	18,1
Niedernhausen 1995	Dis06	18,8
Niedernhausen 1995	Dis07	13,3
Niedernhausen 1995	Dis08	27,8
Niedernhausen 1995	Dis09	6,7
Niedernhausen 1995	Dis10	6,7
Niedernhausen 1995	Dis11	14,1
Niedernhausen 1995	Dis12	12,8
Niedernhausen 1995	Dis13	17,0
Niedernhausen 1995	Dis14	11,8
Niedernhausen 1995	Dis15	11,2
Niedernhausen 1995	Dis16	7,3
Niedernhausen 1995	Dis17	3,7
Niedernhausen 1995	Dis18	17,9
Niedernhausen 1995	Dis19	11,6
Niedernhausen 1995	Dis20	11,0
Niedernhausen 1995	Dis21	13,4
Niedernhausen 1995	Dis22	6,3
Niedernhausen 1995	Dis23	9,3
Niedernhausen 1995	Dis24	11,5
Niedernhausen 1995	Dis25	16,3
Niedernhausen 1995	Dis26	5,9
Niedernhausen 1995	Dis27	20,6
Niedernhausen 1995	Dis28	18,0
Niedernhausen 1995	Dis29	15,8
Niedernhausen 1995	Dis30	11,4
Niedernhausen 1995	Dis31	7,5
Niedernhausen 1995	Dis32	6,2
Niedernhausen 1995	Dis33	9,4
Niedernhausen 1995	Dis34	14,2
Niedernhausen 1995	Dis35	11,3
Niedernhausen 1995	Dis36	10,8
Niedernhausen 1995	Dis37	12,1
Niedernhausen 1995	Dis38	7,2
Niedernhausen 1995	Dis39	16,0

<b>Ein-/Zweifamilienhaus (nur Reihenhaus), Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 79)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Warmwasserverbrauch in kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	1	2,9
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	2	3,1
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	3	3,1
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	4	5,1
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	5	5,7
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	6	6,1
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	7	6,4
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	8	7,0
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	9	7,0
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	11	8,0
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	12	8,3
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	14	8,3
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	16	9,1
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	17	10,0
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	18	10,8

<b>Ein-/Zweifamilienhaus (nur Reihenhaus), Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 79)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Warmwasserverbrauch in kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	19	10,8
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	20	10,9
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	21	11,0
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	22	12,2
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	23	12,3
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	24	12,6
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	26	13,3
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	27	13,5
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	28	15,4
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	29	17,3
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	30	18,4
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	31	22,0
Hannover-Kronsberg 5.2001/4.2002	32	25,1
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	1	9,9
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	2	5,7
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	3	6,9
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	4	8,2
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	5	4,1
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	6	3,0
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	7	4,7
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	8	2,7
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	9	9,9
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	10	4,9
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	11	4,2
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	12	18,3
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	13	9,8
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	14	6,4
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	15	9,3
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	16	6,2
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	17	8,4
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	18	6,2
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	19	3,9
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	20	6,4
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	21	6,5
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	22	4,6
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	23	6,9
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	24	5,8
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	25	6,1
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	26	6,5
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	27	5,8
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	28	4,7
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	29	10,2
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	30	7,0
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	31	1,6
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	32	1,6
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	33	6,4
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	34	4,7
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	35	2,6
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	37	8,6
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	38	7,4
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	39	10,2
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	40	6,9
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	41	18,9
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	42	2,9
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	43	9,6
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	44	2,3
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	45	5,3
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	46	4,0
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	47	4,1
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	48	5,3
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	49	7,7
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	50	9,1

<b>Ein-/Zweifamilienhaus (nur Reihenhaus), Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 79)</b>		
Projekt	Gebäude/ Wohneinheit	Warmwasserverbrauch in kWh/(m <sup>2</sup> a)
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	51	2,1
Stuttgart-Feuerbach 2001/02	52	3,7

<b>Mehrfamilienhaus, Saniert (n = 30)</b>		
Projekt	Gebäude/ Wohneinheit	Warmwasserverbrauch in kWh/(m <sup>2</sup> a)
Friedland Jahnstraße <sup>1)</sup>		19,3
1) Die Angabe ist der Mittelwert aus 30 Wohneinheiten.		

<b>Mehrfamilienhaus, Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 131)</b>		
Projekt	Gebäude/ Wohneinheit	Warmwasserverbrauch in kWh/(m <sup>2</sup> a)
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	1	1,5
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	2	5,9
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	3	6,4
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	4	8,6
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	5	17,7
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	6	23,6
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	7	13,6
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	8	11,8
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	9	12,6
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	10	13,2
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	11	9,8
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	12	13,8
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	13	20,0
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	14	40,8
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	15	20,1
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	16	17,0
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	17	31,7
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	18	36,8
Frankfurt Tevesstraße 2008/09	19	38,7
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	1	0,7
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	2	4,4
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	3	6,6
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	4	8,3
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	5	10,6
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	6	11,3
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	7	11,6
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	8	13,2
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	9	13,9
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	10	14,9
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	11	15,9
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	12	15,9
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	13	18,6
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	14	18,4
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	15	20,4
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	16	24,6
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	17	29,7
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	18	33,6
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	19	36,5
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A3	10,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A11	8,1
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A1	7,1
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A18	10,6
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A10	15,5
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A21	10,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A2	21,4
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A7	20,3
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A12	18,1
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A8	12,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A19	7,6
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A5	7,4

<b>Mehrfamilienhaus, Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 131)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Warmwasserverbrauch in kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A17	24,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A4	17,5
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A14	16,7
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A13	10,7
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A6	9,0
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A9	29,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A20	8,4
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	A16	9,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B5	15,0
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B10	25,1
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B2	13,7
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B15	15,6
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B11	11,4
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B9	3,9
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B1	14,2
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B16	11,8
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B6	13,6
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B4	13,0
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B12	15,3
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B17	13,3
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B3	25,8
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B13	14,4
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B18	28,0
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B8	11,0
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B14	26,5
Frankfurt Rotlintstraße 2011/12	B7	16,6
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A3	11,7
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A11	8,2
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A1	6,4
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A18	10,7
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A10	16,5
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A21	7,2
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A2	23,4
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A7	18,8
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A12	17,2
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A8	15,0
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A19	7,3
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A5	8,2
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A17	22,8
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A4	18,6
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A14	15,3
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A13	9,6
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A6	8,7
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A9	29,5
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A20	7,0
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	A16	7,7
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	B5	16,7
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	B10	19,2
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	B2	14,1
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	B15	10,0
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	B11	18,5
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	B9	6,1
Frankfurt Rotlintstraße 2012/13	B1	11,9
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B16	10,4
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B6	13,0
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B4	36,6
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B12	35,3
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B17	10,5
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B3	22,5
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B13	21,1
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B18	25,5
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B8	11,6
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B14	28,8

<b>Mehrfamilienhaus, Passivhaus/Effizienzhaus 40 (n = 131)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>Warmwasserverbrauch in kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Frankfurt-Rotlintstraße 2012-13	B7	18,0
Frankfurt Cordierstraße 2015	W1	13,6
Frankfurt Cordierstraße 2015	W2	9,3
Frankfurt Cordierstraße 2015	W3	14,6
Frankfurt Cordierstraße 2015	W4	24,5
Frankfurt Cordierstraße 2015	W5	20,3
Frankfurt Cordierstraße 2015	W6	15,8
Frankfurt Cordierstraße 2015	W7	6,4
Frankfurt Cordierstraße 2015	W8	14,1
Frankfurt Cordierstraße 2015	W9	9,8
Frankfurt Cordierstraße 2015	W10	13,7
Frankfurt Cordierstraße 2015	W11	19,8
Frankfurt Cordierstraße 2015	W12	31,4
Frankfurt Cordierstraße 2015	W13	13,2
Frankfurt Cordierstraße 2015	W14	15,0
Frankfurt Cordierstraße 2015	W15	27,5
Frankfurt Cordierstraße 2015	W16	29,4
Frankfurt Cordierstraße 2015	W17	15,4

### Interne Gewinne durch Haushaltsstromverbrauch

<b>Ein-/Zweifamilienhaus (nur Reihenhaushaus), Passivhaus/Effizienzhaus (n = 32)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>interne Wärmegegewinne in W/m<sup>2</sup></b>
Hannover-Kronsberg 2001/02	1	0,8
Hannover-Kronsberg 2001/02	2	1,2
Hannover-Kronsberg 2001/02	3	1,3
Hannover-Kronsberg 2001/02	4	1,5
Hannover-Kronsberg 2001/02	5	1,7
Hannover-Kronsberg 2001/02	6	1,9
Hannover-Kronsberg 2001/02	7	0,9
Hannover-Kronsberg 2001/02	8	2,0
Hannover-Kronsberg 2001/02	9	2,0
Hannover-Kronsberg 2001/02	10	0,2
Hannover-Kronsberg 2001/02	11	2,2
Hannover-Kronsberg 2001/02	12	2,2
Hannover-Kronsberg 2001/02	13	2,3
Hannover-Kronsberg 2001/02	14	2,3
Hannover-Kronsberg 2001/02	15	2,4
Hannover-Kronsberg 2001/02	16	2,4
Hannover-Kronsberg 2001/02	17	2,5
Hannover-Kronsberg 2001/02	18	2,6
Hannover-Kronsberg 2001/02	19	2,7
Hannover-Kronsberg 2001/02	20	2,7
Hannover-Kronsberg 2001/02	21	2,8
Hannover-Kronsberg 2001/02	22	2,9
Hannover-Kronsberg 2001/02	23	3,1
Hannover-Kronsberg 2001/02	24	3,1
Hannover-Kronsberg 2001/02	25	3,2
Hannover-Kronsberg 2001/02	26	3,3
Hannover-Kronsberg 2001/02	27	3,5
Hannover-Kronsberg 2001/02	28	3,5
Hannover-Kronsberg 2001/02	29	3,6
Hannover-Kronsberg 2001/02	30	3,6
Hannover-Kronsberg 2001/02	31	4,1
Hannover-Kronsberg 2001/02	32	4,2

<b>Mehrfamilienhaus, Passivhaus/Effizienzhaus 420 (n = 36)</b>		
--	--	--



Projekt	Gebäude/ Wohneinheit	interne Wärmegewinne in W/m <sup>2</sup>
Frankfurt Cordierstraße 2015	1	2,0
Frankfurt Cordierstraße 2015	2	1,3
Frankfurt Cordierstraße 2015	3	2,1
Frankfurt Cordierstraße 2015	4	2,0
Frankfurt Cordierstraße 2015	5	1,8
Frankfurt Cordierstraße 2015	6	1,4
Frankfurt Cordierstraße 2015	7	1,0
Frankfurt Cordierstraße 2015	8	1,2
Frankfurt Cordierstraße 2015	9	1,1
Frankfurt Cordierstraße 2015	10	1,9
Frankfurt Cordierstraße 2015	11	2,7
Frankfurt Cordierstraße 2015	12	4,8
Frankfurt Cordierstraße 2015	13	1,9
Frankfurt Cordierstraße 2015	14	2,2
Frankfurt Cordierstraße 2015	15	1,8
Frankfurt Cordierstraße 2015	16	3,6
Frankfurt Cordierstraße 2015	17	1,9
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	1	0,5
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	2	1,8
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	3	2,7
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	4	2,8
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	5	2,9
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	6	3,1
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	7	3,2
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	8	3,4
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	9	3,4
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	10	3,6
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	11	4,0
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	12	4,4
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	13	4,6
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	14	4,7
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	15	4,7
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	16	5,5
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	17	5,6
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	18	5,8
Frankfurt Tevesstraße 2009/10	19	7,0
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	1	1,9
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	2	1,9
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	3	2,3
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	4	2,3
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	5	2,3
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	6	2,4
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	7	2,4
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	8	2,4
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	9	0,2
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	10	2,6
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	11	2,7
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	12	2,8
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	13	3,0
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	14	3,2
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	15	4,3
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	16	4,5
Hamburg-Pinnasberg 5.2004/4.2005	17	6,7
Frankfurt Rotlint 2012	A3	2,2
Frankfurt Rotlint 2012	A11	1,9
Frankfurt Rotlint 2012	A1	3,7
Frankfurt Rotlint 2012	A18	2,0
Frankfurt Rotlint 2012	A10	3,7
Frankfurt Rotlint 2012	A21	1,8
Frankfurt Rotlint 2012	A2	3,9
Frankfurt Rotlint 2012	A7	5,7
Frankfurt Rotlint 2012	A12	2,1
Frankfurt Rotlint 2012	A8	5,4
Frankfurt Rotlint 2012	A19	2,8
Frankfurt Rotlint 2012	A5	2,5

<b>Mehrfamilienhaus, Passivhaus/Effizienzhaus 420 (n = 36)</b>		
<b>Projekt</b>	<b>Gebäude/ Wohneinheit</b>	<b>interne Wärmegewinne in W/m<sup>2</sup></b>
Frankfurt Rotlint 2012	A17	2,9
Frankfurt Rotlint 2012	A4	4,1
Frankfurt Rotlint 2012	A14	2,9
Frankfurt Rotlint 2012	A13	2,6
Frankfurt Rotlint 2012	A15	2,9
Frankfurt Rotlint 2012	A9	3,4
Frankfurt Rotlint 2012	A20	3,4
Frankfurt Rotlint 2012	A16	11,0
Frankfurt Rotlint 2012	B5	2,3
Frankfurt Rotlint 2012	B10	3,3
Frankfurt Rotlint 2012	B2	2,5
Frankfurt Rotlint 2012	B15	3,8
Frankfurt Rotlint 2012	B11	3,2
Frankfurt Rotlint 2012	B9	2,3
Frankfurt Rotlint 2012	B1	2,0
Frankfurt Rotlint 2012	B16	2,1
Frankfurt Rotlint 2012	B6	2,0
Frankfurt Rotlint 2012	B4	2,6
Frankfurt Rotlint 2012	B12	4,6
Frankfurt Rotlint 2012	B17	3,2
Frankfurt Rotlint 2012	B3	2,0
Frankfurt Rotlint 2012	B13	4,4
Frankfurt Rotlint 2012	B18	2,9
Frankfurt Rotlint 2012	B8	2,1
Frankfurt Rotlint 2012	B14	2,7
Frankfurt Rotlint 2012	B7	6,3
Frankfurt Rotlint 2012	C22	3,3
Frankfurt Rotlint 2012	C1	2,4
Frankfurt Rotlint 2012	C7	4,4
Frankfurt Rotlint 2012	C3	2,8
Frankfurt Rotlint 2012	C5	3,9
Frankfurt Rotlint 2012	C11	0,3
Frankfurt Rotlint 2012	C16	1,8
Frankfurt Rotlint 2012	C19	1,9
Frankfurt Rotlint 2012	C12	3,5
Frankfurt Rotlint 2012	C21	2,3
Frankfurt Rotlint 2012	C15	2,1
Frankfurt Rotlint 2012	C4	2,6
Frankfurt Rotlint 2012	C20	3,5
Frankfurt Rotlint 2012	C17	1,0
Frankfurt Rotlint 2012	C18	2,5
Frankfurt Rotlint 2012	C10	1,6
Frankfurt Rotlint 2012	C2	1,5
Frankfurt Rotlint 2012	C13	2,9
Frankfurt Rotlint 2012	C6	1,7
Frankfurt Rotlint 2012	C14	1,9
Frankfurt Rotlint 2012	C8	2,3
Frankfurt Rotlint 2012	A2	2,2
Frankfurt Rotlint 2012	A7	1,9
Frankfurt Rotlint 2012	A12	3,7

## Anhang zu Kapitel 6 (Illustration durch Fallbeispiele)

### Übersicht über die Ergebnisse der Bilanzierungen für das Fallbeispiel Einfamilienhaus

Nutzfläche $A_N$	168,2 m <sup>2</sup>	Beheizte Wohnfläche	155,3 m <sup>2</sup>
------------------	----------------------	---------------------	----------------------

Endenergie für Heizung und Warmwasser, oberer Heizwert	absolut [kWh/a]	bezogen auf die Nutzfläche $A_N$ [kWh/(m <sup>2</sup> $A_N$ a)]	bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m <sup>2</sup> $w_{Hf}$ a)]
Normbilanzierung nach DIN V 4108/4107	56.540	336	364
Typisches Verbrauchsniveau	36.563	217	225

Endenergie für Heizung und Warmwasser, oberer Heizwert	Normbilanzierung Standardrandbedingungen DIN V 18599:2011-12	Realbilanzierung				
		Mittlerer Nutzer NP_EFH.0	NP_EFH.0 (mittlerer Nutzer)+ Anpassung auf das typische Verbrauchsniveau	NP_EFH.1	NP_EFH.2	NP_EFH.3
<b>Absolutwerte [kWh/a]</b>						
Ausgangszustand	66.703	54.278	36.539	25.970	35.801	57.428
Modernisierungsvariante 1	22.113	22.016		13.272	19.838	29.050
Modernisierungsvariante 2	12.474	13.279		7.837	12.147	18.564
<b>Spezifische Werte, bezogen auf die Nutzfläche <math>A_N</math> [kWh/(m<sup>2</sup><math>A_N</math>a)]</b>						
Ausgangszustand	397	323	217	154	213	341
Modernisierungsvariante 1	131	131		79	118	173
Modernisierungsvariante 2	74	79		47	72	110
<b>Spezifische Werte, bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m<sup>2</sup><math>w_{Hf}</math>a)]</b>						
Ausgangszustand	430	350	235	167	231	370
Modernisierungsvariante 1	142	142		85	128	187
Modernisierungsvariante 2	80	86		50	78	120

**Anmerkung:** Anders als bei der Normbilanzierung sind in den Endenergiekennwerten der Realbilanzen die nach DIN V 18599 errechneten Verluste der Anlagentechnik durch Übergabe nicht berücksichtigt.

## Übersicht über die Ergebnisse der Bilanzierungen für das Fallbeispiel Mehrfamilienhaus

Nutzfläche $A_N$	740,9 m <sup>2</sup>	Beheizte Wohnfläche	658,5 m <sup>2</sup>
------------------	----------------------	---------------------	----------------------

Endenergie für Heizung und Warmwasser, oberer Heizwert	absolut [kWh/a]	bezogen auf die Nutzfläche $A_N$ [kWh/(m <sup>2</sup> $A_N$ a)]	bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m <sup>2</sup> $w_{Hf}$ a)]
Normbilanzierung nach DIN V 4108/4107	172.905	233	263
Typisches Verbrauchsniveau	130.150	176	198

Endenergie für Heizung und Warmwasser, oberer Heizwert	Normbilanzierung  Standardrandbedingungen DIN V 18599:2011-12	Realbilanzierung			
		Mittlerer Nutzer NP_MFH.0	NP_MFH.0 (mittlerer Nutzer )+ Anpassung auf das typische Verbrauchsniveau	NP_MFH.1	NP_MFH.2
<b>Absolutwerte [kWh/a]</b>					
Ausgangszustand	209.868	174.786	130.443	85.256	198.815
Modernisierungsvariante 1	70.627	74.280		38.691	105.984
Modernisierungsvariante 2	37.900	44.180		24.482	69.568
<b>Spezifische Werte, bezogen auf die Nutzfläche <math>A_N</math> [kWh/(m<sup>2</sup><math>A_N</math>a)]</b>					
Ausgangszustand	283	236	176	115	268
Modernisierungsvariante 1	95	100		52	143
Modernisierungsvariante 2	51	60		33	94
<b>Spezifische Werte, bezogen auf die beheizte Wohnfläche [kWh/(m<sup>2</sup><math>w_{Hf}</math>a)]</b>					
Ausgangszustand	319	265	198	129	302
Modernisierungsvariante 1	107	113		59	161
Modernisierungsvariante 2	58	67		37	106

**Anmerkung:** Anders als bei der Normbilanzierung sind in den Endenergiekennwerten der Realbilanzen die nach DIN V 18599 errechneten Verluste der Anlagentechnik durch Übergabe nicht berücksichtigt.