

Prognose des Heizenergieverbrauchs von Wohngebäuden auf Basis des EnEV-Nachweises

Tobias Loga¹ und Britta Stein²

1 Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt, 06151/2904-53, t.loga@iwu.de

2 Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt, 06151/2904-51, b.stein@iwu.de

Die hier dargestellten Forschungsergebnisse wurden im Rahmen des Projekts „Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen“ im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) erarbeitet.

Kurzfassung

Es wird ein praxisnahes Verfahren vorgestellt, mit dem für ein konkretes Wohngebäude auf Basis des Energiebedarfs nach DIN V 4108-6 / 4701-10 oder DIN V 18599 ein Intervall angegeben werden kann, in dem der Messwert des Energieverbrauchs zu erwarten ist. Damit ist die Einordnung eines vorliegenden Verbrauchs, aber auch die realitätsnahe Prognose des Verbrauchs nach einer Modernisierung möglich.

Grundlage des Verfahrens ist die Zusammenführung und Analyse der Daten von mehr als 2800 Wohngebäuden aus verschiedenen wissenschaftlichen Studien. Der Zusammenhang zwischen Verbrauch und Bedarf konnte in Form eines Schätzmodells abgebildet werden. Die im individuellen Sanierungsfahrplan bei der Energiekostenbetrachtung vorgesehene Formel für den „typischen Verbrauch“ wurde als passend bestätigt und durch Faktoren für die Modellierung der typischen Bandbreite ergänzt. Zur Verbesserung der Prognose des Energieverbrauchs nach Modernisierung wird eine Systematik vorgeschlagen, die den gegebenenfalls vorliegenden individuellen Jahresverbrauch im Ist-Zustand mit einbezieht.

Die Methodik zur Verbrauchsschätzung basiert auf Analysen von Kennwerten nach DIN V 4108-6 / 4701-10 und ist somit nicht direkt auf die DIN V 18599 anwendbar. Daher wurde eine Parameterstudie durchgeführt, in der der Zusammenhang zwischen beiden Normen für Wohngebäude geklärt und entsprechende Korrekturfaktoren ermittelt wurden.

Beispiele belegen, welchen praktischen Nutzen das Verfahren bei der Interpretation von Verbrauchswerten vor und nach Modernisierung haben kann.

Einführung

Der Energiebedarfsausweis soll in vergleichbarer Art und Weise über den energetischen Zustand eines Gebäudes informieren. Gleichzeitig dient er bei Neubauten und bestimmten Modernisierungen auch der Dokumentation der Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen. Eine wesentliche Kenngröße im Energiebedarfsausweis ist die für Heizung und Warmwasser benötigte Energiemenge. Um Vergleichbarkeit zu erreichen sind für deren Ermittlung einheitliche Regeln erforderlich. Ähnlich wie bei einem PKW muss in einer Art „Prüfstandsmessung“ der Verbrauch ermittelt werden, der sich einstellt, wenn das Nutzerverhalten und die klimatischen Verhältnisse standardisierten Randbedingungen entsprechen.

Ein solch normierter Verbrauchstest ist bei realen Gebäuden praktisch nicht durchführbar, daher wird beim gesetzlichen Nachweis eine „virtuelle Prüfstandsmessung“ umgesetzt: Die Eigenschaften des Gebäudes werden in einem physikalischen Modell abgebildet, das den Jahresverbrauchstest in virtueller Form durchläuft. Das funktioniert für Neubauten auf Basis von Planungsdaten recht gut – bei Altbauten stellt sich jedoch das Problem, dass viele thermische Eigenschaften der Gebäudehülle nicht genau bekannt sind. Für die virtuelle Prüfstandsmessung wird im gesetzlichen Nachweis bei solchen Unsicherheiten oft eher von ungünstigen Annahmen ausgegangen. In der Folge werden die Wärmeverluste bei unsanierten Altbauten bzw. Altbauten, deren Zustand unklar ist, tendenziell überschätzt. Darüber hinaus weisen die lokalen Klimabedingungen und das Verhalten der Bewohner eine große Bandbreite auf, die von den Normrandbedingungen nicht abgebildet werden können. Diese umfassen auch systematische Verschiebungen: Insbesondere werden unsanierte Altbauten tendenziell bei tieferen mittleren Raumtemperaturen genutzt als energieeffiziente Neubauten. Auf Grund der genannten Effekte ist es nicht verwunderlich, dass in der Praxis große zufällige und systematische Differenzen zwischen dem Norm-Energiebedarf und den tatsächlichen Energieverbrauchswerten der Gebäude festgestellt werden können.

Als Grundlage für eine Modernisierungsentscheidung benötigen Nutzer und Gebäudeeigentümer jedoch vertrauenswürdige Aussagen über den Energieverbrauch vor und nach Durchführung der Maßnahmen. Diesem Informationsbedürfnis kann der Energiebedarfsausweis in seiner derzeitigen Form nicht gerecht werden. Es werden also ergänzende Informationen darüber benötigt, wie ein vorliegender Jahresverbrauch einzuordnen ist und mit welchem Energieverbrauch typischerweise bei einem bestimmten Modernisierungsstand zu rechnen ist.

Im Folgenden wird eine Methodik vorgestellt, die es erlaubt auf Basis des für ein Wohngebäude erstellten Norm-Nachweises zu solchen realistischen Aussagen zu kommen. Dabei werden sowohl Bestandsgebäude vor und nach energetischer Modernisierung als auch Neubauten betrachtet. Die hier vorgestellten Inhalte sind Teile der im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) durchgeführten Studie „Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen“ (Loga et al. 2019).

Metaanalyse verschiedener Studien zum Verbrauch-Bedarf-Zusammenhang

Im Rahmen einer Metaanalyse wurden zunächst verschiedene Publikationen bezüglich ihres möglichen Beitrags zur Ableitung von Vergleichskennwerten für den Energieverbrauch von Wohngebäuden gesichtet. Es handelte sich um Studien zur Analyse von Verbrauchsausweis-Datenbanken, 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 6 der insgesamt 22 Studien konnten Wertepaare Bedarf/Verbrauch für Gebäude-Stichproben extrahiert und zusammengeführt werden.

Ergebnis der Analyse der nutzbaren Daten ist eine Zuordnung des Verbrauchs zum Normenergiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10 für mehr als 2800 Wohngebäude (Bild 1). Das Diagramm gibt einen Überblick über die Wertepaare Bedarf/Verbrauch dieser Gebäuestichprobe. Für eine erste Analyse des systematischen Zusammenhangs zwischen beiden Größen wurden die Bedarfswerte in Klassen à 50 kWh/(m²a) eingeteilt. Für jede Bedarfsklasse wurden dann jeweils der Mittelwert des Verbrauchs und die Standardabweichung des Verbrauchs gebildet (durchgezogene und gestrichelte Linien in Bild 1).

Tabelle 1 gibt die entsprechenden Zahlenwerte wieder. Zusätzlich sind mit den roten Zahleneinträgen in der Tabelle auch für jede Bedarfsklasse das Verhältnis aus mittlerem Verbrauch und mittlerem Bedarf („Kalibrierungsfaktor“) sowie die relative Streuung dieses Faktors angegeben. Die Kalibrierungsfaktoren stellen bereits ein einfaches Modell für die Schätzung des Energieverbrauchs dar: Multipliziert man den Norm-Energiebedarf eines gegebenen Gebäudes mit dem zur relevanten Bedarfsklasse gehörenden Kalibrierungsfaktor, so erhält man einen Schätzwert des Verbrauchs.

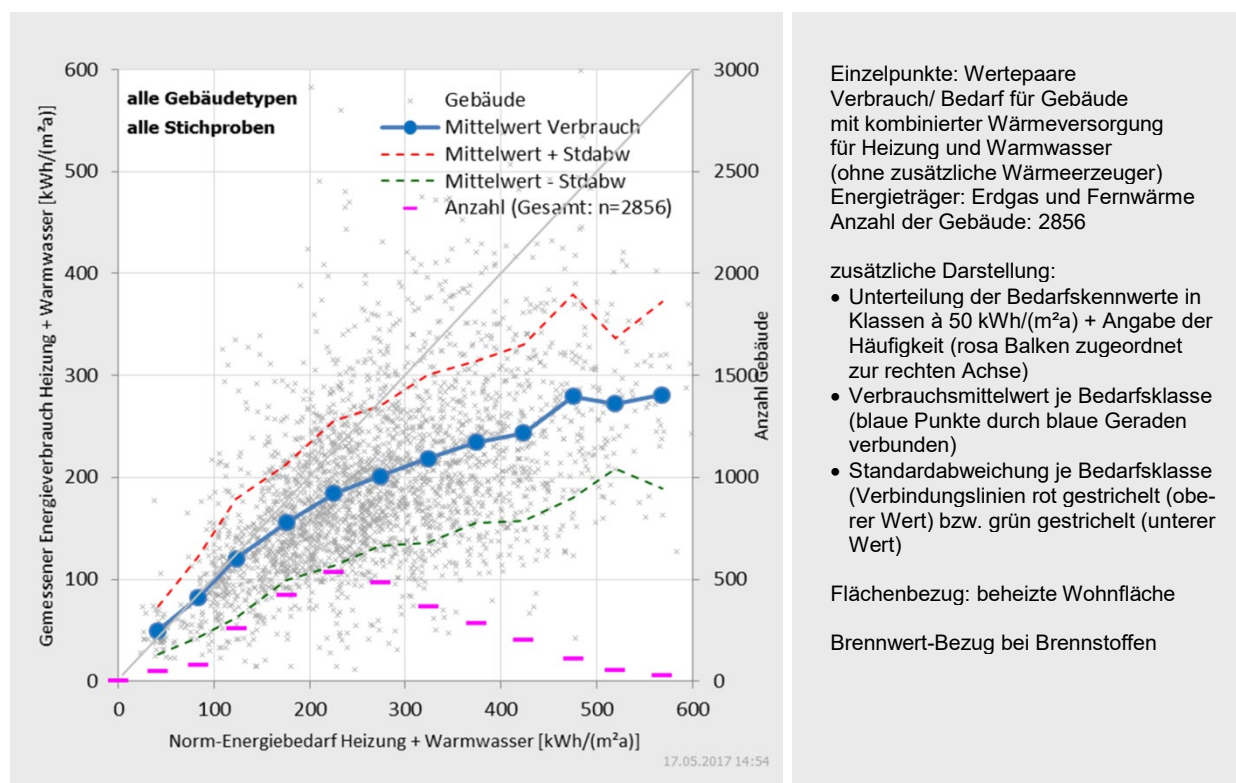


Bild 1: Verbrauch-Bedarf-Diagramm für die analysierte Gebäuestichprobe (n = 2856)
(Bild aus: Loga et al. 2019)

Tabelle 1: Benchmark-Tabelle (bedarfsdifferenzierte Verbrauchsbenchmarks) für die analysierte Gebäuestichprobe (n = 2856)
(aus: Loga et al. 2019)

| 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** bezogen auf beheizte Wohnfläche | | Stich- probe Anzahl Gebäude | Mittel- wert kWh/(m ² a) | gemessener Verbrauch, bezogen auf beheizte Wohnfläche | | Streubreite* zugeordneter Verbrauch kWh/(m ² a) |
| Intervall | Mittel- wert | | | Kalibrierungsfaktor: Verhältnis Verbrauch zu Bedarf Mittelwert | relative Streubreite* | |
| kWh/(m ² a) | kWh/(m ² a) | | kWh/(m ² a) | | | kWh/(m ² a) |
| 1 ... 50 | 41 | n=49 | 50 | 1,20 | ±57% | ± 24 |
| 51 ... 100 | 83 | n=76 | 82 | 0,98 | ±42% | ± 40 |
| 101 ... 150 | 123 | n=257 | 121 | 0,98 | ±48% | ± 58 |
| 151 ... 200 | 176 | n=421 | 156 | 0,89 | ±37% | ± 57 |
| 201 ... 250 | 225 | n=534 | 184 | 0,82 | ±39% | ± 71 |
| 251 ... 300 | 274 | n=482 | 201 | 0,74 | ±34% | ± 68 |
| 301 ... 350 | 324 | n=364 | 218 | 0,67 | ±37% | ± 82 |
| 351 ... 400 | 374 | n=281 | 234 | 0,63 | ±33% | ± 79 |
| 401 ... 450 | 424 | n=199 | 244 | 0,58 | ±36% | ± 86 |
| 451 ... 500 | 475 | n=109 | 280 | 0,59 | ±35% | ± 100 |
| 501 ... 550 | 519 | n=52 | 272 | 0,52 | ±23% | ± 64 |
| 551 ... 600 | 568 | 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

Funktionale Beziehung zwischen gemessenem Energieverbrauch und Norm-Endenergiebedarf – Schätzfunktion für den Energieverbrauch

Neben diesen einfachen Kalibrierungsfaktoren wird auch eine kontinuierliche Funktion benötigt, mit der ausgehend von einem Norm-Energiebedarf der Energieverbrauch geschätzt und der Erwartungsbereich angegeben werden kann. Analog zu den von Hörner et al. (2016) für den Energiepass Luxemburg durchgeführten Untersuchungen zum Verbrauch-Bedarf-Zusammenhang wurde durch lineare Regression der logarithmierten Variablen ein Modell in Form einer Exponentialfunktion entwickelt. Weiterhin wurde auch die im integrierten Sanierungsfahrplan des BMWi (BMW 2017) für die Ermittlung der Kosteneinsparung verwendete Formel aus Loga et al. (2015) bzw. Pehnt et al. (2015) geprüft. Beide Modelle liefern über den gesamten Bereich empirischer Daten eine ähnlich gute Abbildung. Das für den Sanierungsfahrplan eingeführte Modell wurde dann weiter betrachtet, da es in Deutschland bereits

praktisch angewendet wird. Neben der Formel für den Erwartungswert wurden die in der Analyse ermittelten Faktoren zur Abbildung der Streuung neu in das Verfahren integriert. Das in Bild 2 gezeigte Diagramm gibt den Verlauf des Schätzmodells als Funktion des Norm-Endenergiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10 und die typische Spanne des Verbrauchs an.

Weiterhin wird eine Systematik für die Anwendung im Kontext der Energieberatung zur Prognose des Energieverbrauchs vorgeschlagen. Liegt ein gemessener Energieverbrauch für den Ausgangszustand vor, so kann dieser bei der Ermittlung des erwarteten Energieverbrauchs nach Modernisierung berücksichtigt werden, sofern keine Nutzungsänderung vorgesehen ist (siehe unten dargestellte Beispiele).

Die formelmäßige Darstellung des kompletten Verfahrens findet sich in Loga et al. (2019, Abschnitt 4.3.9).

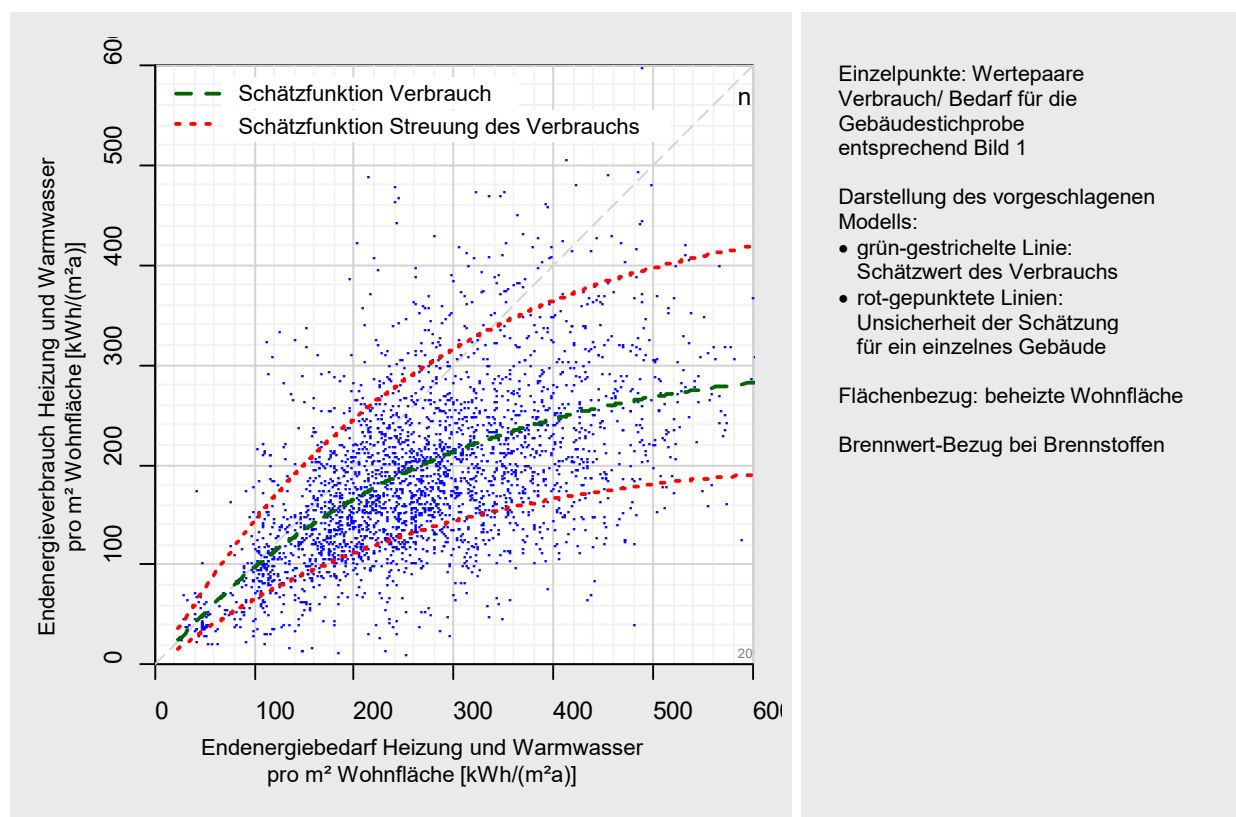


Bild 2: Vorgeschlagenes Modell für die Abbildung des Zusammenhangs zwischen Energieverbrauch und Energiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10 (Bild aus: Loga et al. (2019))

Übertragung auf DIN V 18599

Das oben dargestellte Schätzverfahren basiert auf dem gemäß DIN V 4108-6 / 4701-10 berechneten Endenergiebedarf. Um die Verbrauchsschätzung auch auf Wohngebäude anwenden zu können, deren Norm-Energiebedarf mit DIN V 18599 ermittelt wurde, ist die Klärung des Zusammenhangs zwischen den beiden Normverfahren erforderlich. Hierzu wurde die im Folgenden dargestellte Parameterstudie durchgeführt.

Es wurden neun Wohngebäude (3 Einfamilienhäuser, 3 Reihenhäuser, 3 Mehrfamilienhäuser) in die Untersuchung einbezogen, für die jeweils vier Wärmeschutzstandards angesetzt wurden. Als Basisfall diente eine Wärmeversorgung mit Gas-Brennwertkessel. Im Rahmen der Variantenbetrachtungen wurden für zwei der Gebäude zusätzlich jeweils entweder eine thermische Solaranlage oder eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung berücksichtigt, als alternative Wärmeversorgung wurden noch ein Holzpellet-Kessel und eine Luft/Wasser-Wärmepumpe einbezogen. Bei der mit der Software ZUB Helena durchgeführten Parameterstudie wurden für insgesamt 85 Gebäudevarianten jeweils eine Berechnung nach DIN V 18599 und eine nach DIN V 4108-6 / 4701-10 durchgeführt (Bild 3a).

Als Herausforderung stellte sich die kongruente Definition des Wärmeversorgungssystems dar, da für beide Berechnungsverfahren die einfließenden Parameter bzw. Eingabegrößen vor allem im Bereich der Anlagentechnik sehr unterschiedlich sind. Hier mussten teilweise neben den Eingabemasken der Software auch die detaillierten Beschreibungen in den Normtexten zu Hilfe genommen werden, um festzustellen, was genau jeweils mit den Größen und Auswahloptionen gemeint ist. In Loga et al. (2019, Abschnitt 4.4.2) findet sich eine synoptische Gegenüberstellung der für die einzelnen Teilsysteme angesetzten Parameter.

Für die Berechnungen nach DIN V 18599 ergab sich in bestimmten Fällen eine besondere Problemstellung: Bei den Bestandsgebäude-Varianten mit U-Werten auf Passivhaus-Niveau war der ausgegebene Endenergiebedarf bei Ansatz eines alten Kessels und schlechter Dämmung der Verteilleitungen niedriger als bei Modernisierung der Anlagentechnik. Als Ursache hierfür stellte sich die iterative Berechnung der DIN V 18599 heraus, die in diesen Fällen mit hohen zusätzlichen Wärmequellen innerhalb von 10 Iterationsschritten nicht zur Konvergenz gebracht werden konnte (Details in Loga et al. 2019, Abschnitt 4.4.3). Für diese Gebäudevarianten liefert die DIN V 18599 also keine sinnvollen Berechnungsergebnisse, so dass sie aus dem Vergleich entfernt werden mussten (Bild 3b).

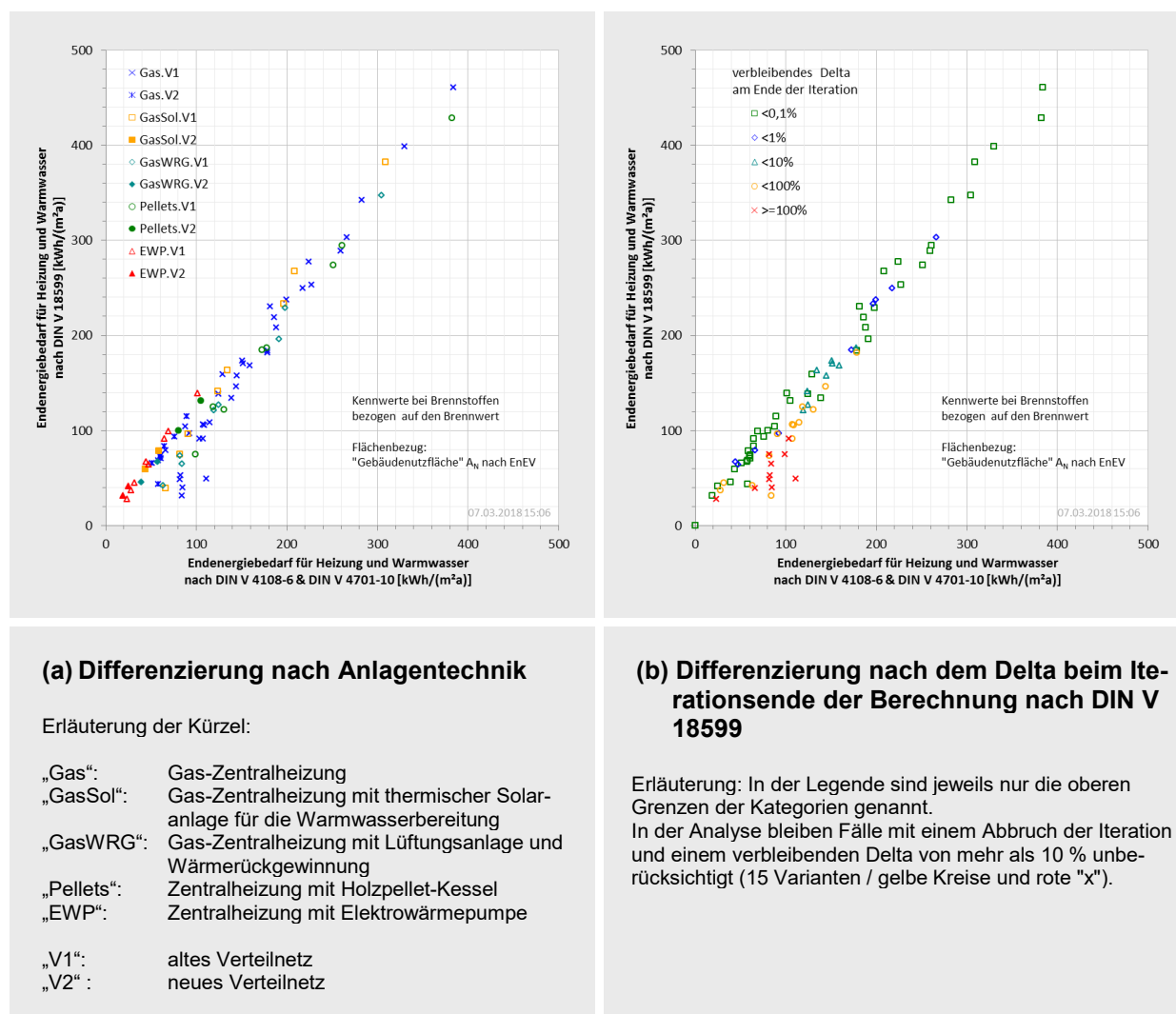


Bild 3: Auszug aus den Ergebnissen der Parameterstudie in Loga et al. (2019)

Wertepaare für den Endenergiebedarf Heizung + Warmwasser

Kennwert nach DIN V 18599 aufgetragen über den Kennwert nach DIN V 4108-6 / 4701-10
 Flächenbezug: „Gebäudenutzfläche“ A_N nach EnEV

Mit Hilfe der linearen Regression wurden Modelle hergeleitet, mit denen bei Vorliegen des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599 der Endenergiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10 geschätzt werden kann. Bild 5 zeigt die Ergebnisse für Heizsysteme mit Kessel. Das lineare Modell kann 99 % der Varianz erklären. Die Unsicherheit der Schätzung des Endenergiebedarfs nach DIN V 4108-6 / 4701-10 für ein einzelnes Gebäude beträgt $\pm 11 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, die Unsicherheit des Schätzmodells bezogen auf alle Varianten beträgt $\pm 1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Die ermittelten Faktoren für die Schätzung des Energiebedarfs nach DIN V 4108-6 / 4701-10 auf der Basis des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599 sind:

- Kessel: 0,86
- Elektro-Wärmepumpe: 0,71

Im Fall des Kessels muss der Endenergiebedarf bei beiden Verfahren auf den Brennwert bezogen sein.

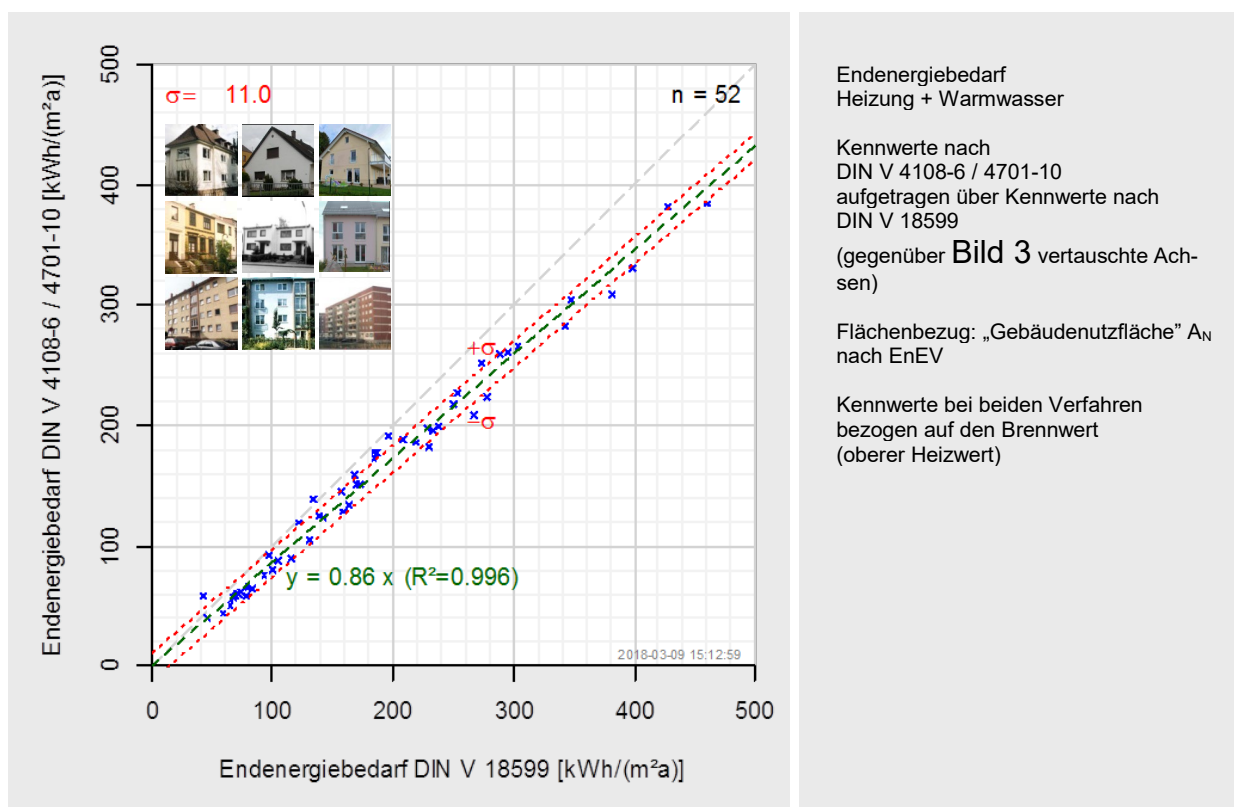


Bild 4: Ergebnis der Regressionsanalyse für Varianten mit dem Wärmeerzeuger Kessel
(Loga et al. 2019)

Illustration an Beispielen

Im Folgenden sollen die Anwendung und der Nutzen an für die Energieberatung typischen Beispielen erläutert werden.

Einspar-Prognose ohne Angaben zum Ist-Verbrauch

Wir betrachten zunächst den Fall eines Bestandsgebäudes, bei dem die durch ein Maßnahmenpaket erzielbare Einsparung ermittelt werden soll, der Verbrauch im Ist-Zustand jedoch unbekannt ist. Für diesen Einfamilienhaus-Altbau wird nach DIN V 4108-6/4701-10 ein Endenergiebedarf von 364 kWh pro m² Wohnfläche für Heizung und Warmwasser ermittelt (Bild 5). Die Kurve „Schätzfunktion Verbrauch“ liefert nun die Aussage, dass der Verbrauch von Gebäuden dieses energetischen Standards im Mittel bei 235 kWh/(m²a) liegt – dabei streuen die Werte zwischen 165 und 353 kWh/(m²a) (Kurven „Schätzfunktion Streuung des Verbrauchs“). Der große Streubereich rund um den Schätzwert kann vor allem durch das Nutzerverhalten erklärt werden, das ja in der Praxis deutlich von den Standardwerten des EnEV-Normnachweises abweichen kann. Aber auch die real sehr unterschiedlichen Materialien und Konstruktionsarten des Altbaus können in einem standardisierten Normnachweis nicht abgebildet werden.

Einspar-Prognose bei Vorliegen des Ist-Verbrauchs

Liegt der Verbrauch im Ist-Zustand als Messwert vor und steht nach Modernisierung keine Änderung der Nutzung an, sollte dieser Verbrauch in die Prognose der Energieeinsparung einbezogen werden, um die Genauigkeit der Schätzung zu verbessern. Grundlage dieser Kalibrierung ist die Vermutung, dass die relative Position innerhalb der typischen Spanne vor und nach Modernisierung von den gleichen Faktoren abhängt und daher näherungsweise gleich bleibt. Zu diesen Faktoren gehören die Nutzung (insbesondere bei Einfamilienhäusern), aber auch eine Reihe anderer Einflüsse (konstruktive Wärmebrücken, Standort mit hoher oder geringer solarer Einstrahlung, usw.), die – sofern nach der Modernisierung unverändert – eine ähnliche Abweichung vom Durchschnittsfall bewirken.

Bei unserem Beispiel liegt der gemessene Jahresenergieverbrauch des Gebäudes bei 167 kWh pro m² Wohnfläche für Heizung und Warmwasser (Bild 6a). Dies ist ca. 30 % weniger als der Schätzwert von 235 kWh/(m²a) für diesen Energiestandard (siehe oben). Eine plausible Erklärung für diese Verbrauchsabweichung findet der Energieberater in der geringen Nutzungsintensität des Gebäudes (1 Bewohner, sparsames Verhalten). Da nach der Modernisierung keine Nutzungsänderung geplant ist, wird nun angenommen, dass dann auch der Verbrauchswert 30 % niedriger liegen wird als der typische Verbrauch.

Damit ist nun in der Energieberatung die folgende Prognose möglich:

Der nach Durchführung der vorgeschlagenen Maßnahmen erwartete Jahresenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser beträgt 74 kWh pro m² Wohnfläche – je nach Nutzungsintensität sind dabei Werte zwischen 52 und 111 kWh pro m² Wohnfläche möglich. Ohne Nutzungsänderung wird der Jahresverbrauch eher im unteren Bereich der typischen Spanne liegen, nämlich bei etwa 52 kWh pro m² Wohnfläche.

Die Grundlage dieser Aussage, nämlich ein gegenüber dem Durchschnitt niedriger Verbrauchswert im Ausgangszustand, müsste natürlich vom Energieberater auch hervorgehoben werden.

Bei genauer Betrachtung des in Bild 6a dargestellten Beispiels fällt auf, dass die Korrektur des Prognosewertes insgesamt nur einen kleinen Einfluss auf die ermittelte Energieeinsparung hat. Anders sieht dies jedoch bei Teilmodernisierungen aus, wie das in Bild 6b gezeigte Beispiel belegt. Würde hier für die Prognose keine Korrektur vorgenommen, läge der Erwartungswert des Energieverbrauchs nach Modernisierung exakt bei dem gemessenen Energieverbrauch vor Modernisierung – die voraussichtliche Einsparung wäre null. Wenn jedoch der Wärmeschutz von Teilen der thermischen Hülle verbessert wird (z.B. Dämmung des Dachs) und gleichzeitig alle anderen Randbedingungen gleich bleiben, ist es sehr unwahrscheinlich, dass keine Einsparung erzielt wird. Dies legt den Ansatz nahe, in beiden Fällen von der gleichen Korrektur gegenüber dem Durchschnitt auszugehen.

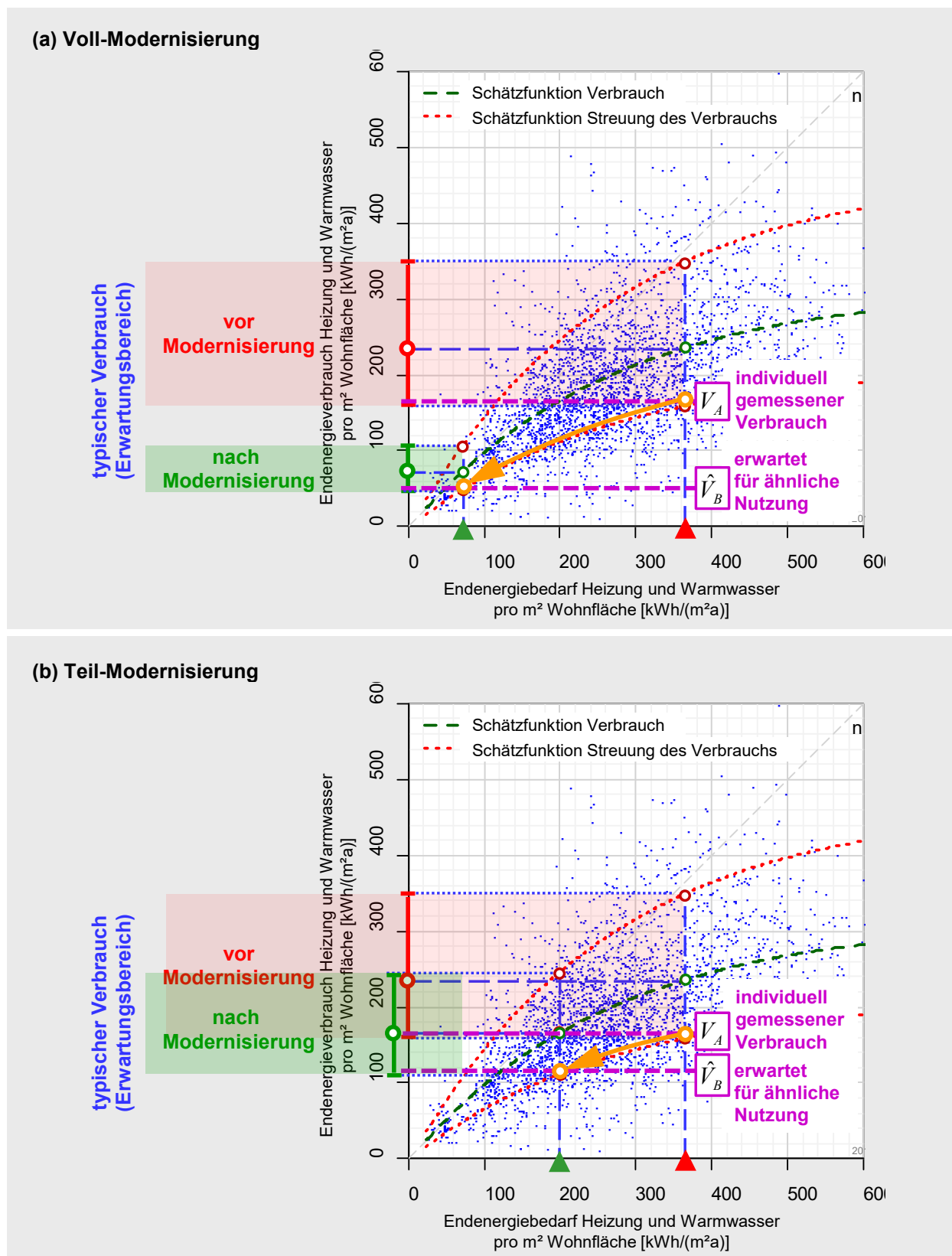


Bild 6: Beispiele für die Kalibrierung der Energiesparberechnung, wenn ein individueller Verbrauchswert im Ausgangszustand vorliegt (Loga et al. 2019)

Andererseits gibt es durchaus Fälle geben, in denen es tatsächlich sinnvoll sein kann, die voraussichtliche Einsparung bei einer Teilmodernisierung gegenüber einem gemessenen Verbrauch mit null zu bewerten: Wenn nämlich in das hier beschriebene Gebäude nach der Modernisierung andere Bewohner einziehen, über die nichts bekannt ist, sollte der (unkorrigierte) Durchschnittsverbrauch für den Zustand nach Modernisierung angenommen.

Das Prognosemodell veranschaulicht also, dass im Fall von Einfamilienhäusern bei mit Nutzungsänderung verbundenen Teilmodernisierungen die Energieeinsparungen besonders stark streuen können.

Add-On für den Energiebedarfsausweises

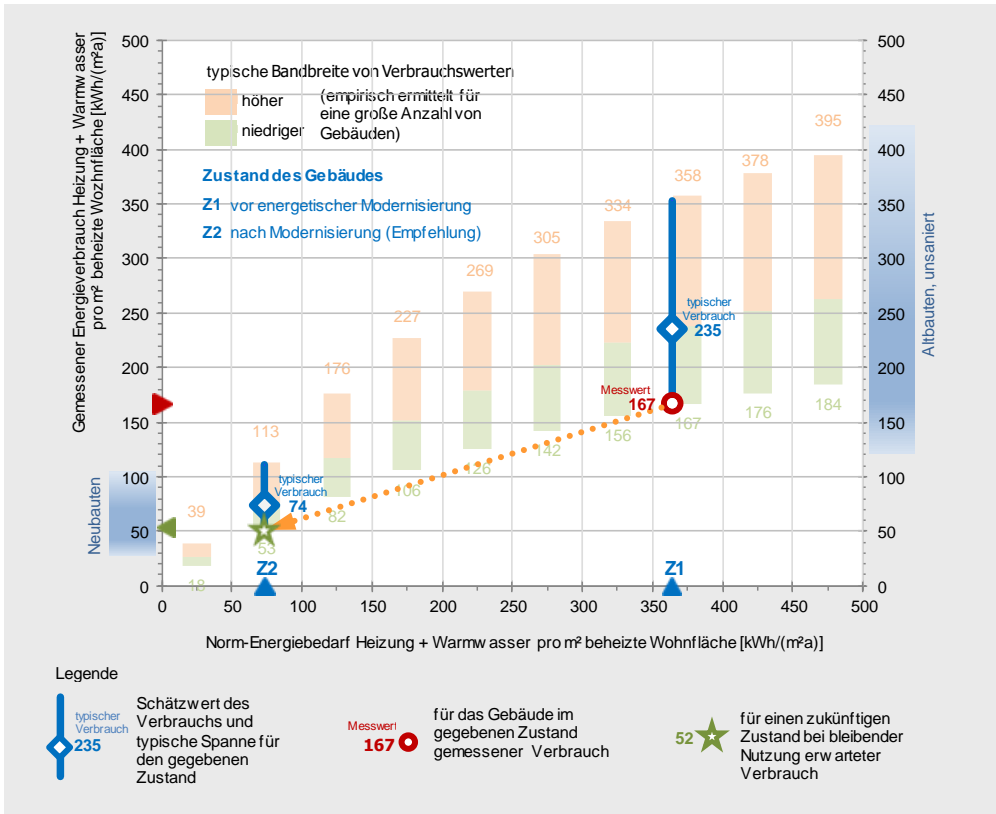
Die Zielgruppen des Energiebedarfsausweises wie Gebäudeeigentümer, Mieter, Kaufinteressenten erhalten derzeit einen behördlichen Nachweis, dessen Zahlenwerte wenig aussagekräftig, bisweilen auch verwirrend sind. Für den Nicht-Experten unklar ist, welchen Bezug diese Angaben zum realen Energieverbrauch haben, der ja für die durch die Bewohner zu tragenden Energiekosten ebenso ausschlaggebend ist wie für die in die Umwelt abgegebenen Treibhausgasemissionen.

Es wird daher eine Übersetzung in verständliche, realitätsnahe Aussagen benötigt. Bild 7 zeigt einen entsprechenden Vorschlag für ein „Add-On“ zum Energiebedarfsausweis, also eine separate informelle Zusatzinformation. Dargestellt werden der Schätzwert des Verbrauchs und die zugehörige Bandbreite sowie – sofern vorhanden – auch der tatsächliche Verbrauch im gegebenen Zustand. Darüber hinaus findet sich hier auch eine Verbrauchsprognose für einen anvisierten zukünftigen Zustand nach Durchführung von Modernisierungsmaßnahmen.

Die zweite Seite des Add-Ons liefert eine Übersicht über die Treibhausgasemissionen für den heutigen und den zukünftigen Zustand (Bild 8). Ergänzend zur quadratmeterbezogenen Bewertung ist hier für Einfamilienhäuser auch eine Einordnung der Treibhausgasemissionen je Bewohner möglich.

Schätzwert Verbrauch und gemessener Verbrauch

Gebäude:



| | | |
|---------------------|----------------------------|----------------------|
| beheizte Wohnfläche | Endenergie / Energieträger | Anwendung |
| 155,3 m² | Erdgas | Heizung / Warmwasser |

| Zustand von Gebäude und Anlagentechnik | Normenergiebedarf, berechnet nach EnEV (DIN V 4108-6/4701-10) | typischer Verbrauch: Schätzwert und Spanne | | Messwert (Verbrauch pro Jahr) |
|--|---|--|-----------|---------------------------------|
| | | kWh/a | kWh/(m²a) | |
| Z1 vor energetischer Modernisierung | 56.540 | 364 | oben 353 | 167 |
| | | | unten 165 | |
| Z2 nach Modernisierung (Empfehlung) | 11.400 | 73 | oben 111 | 52 (abgeleitet aus Messwert Z1) |
| | | | unten 52 | |

Anmerkungen zum Gebäude

Erläuterungen
 Bei Brennstoffen beziehen sich die Energiewerte auf den oberen Heizwert (Brennwert).

Version: 02-12-2017 Druck: 25-06-2018 11:27







Bild 7: Mögliches Schema für eine verbraucherorientierte Darstellung der Schätzwerte des Verbrauchs als Ergänzung zum Energiebedarfsausweis (Bild aus: Loga et al. (2019))

CO2-Emissionen – Klimaschutz

Gebäude:

| | Zustand Z1 | Zustand Z2 | |
|---|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Beschreibung | | | |
| Wohnfläche | 155 | 155 | m ² |
| Anzahl Wohnungen | 1 | 1 | |
| mittlere Wohnfläche je Wohnung | 155 | 155 | m ² |
| Energieträger | Erdgas | Erdgas | |
| Jahresverbrauch | 25970 | 8146 | kWh/a |
| bezogen auf beheizte Wohnfläche | 167 | 52 | kWh/(m ² a) |
| Es handelt sich um | gemessener Verbrauch | geschätzter Verbrauch | |
| Emissionfaktor CO2 | 241 | 241 | g/kWh |
| jährliche Emissionen | 6,3 | 2,0 | t/a |
| jährliche Emissionen je Wohnung | 6,3 | 2,0 | t/a je Wohnung |
| jährliche Emissionen je m ² Wohnfläche | 40 | 13 | kg/(m ² a) |
| Klimaschutz-Ziel Heizung + WW | | 10 | kg/(m ² a) |

jährliche Emissionen pro Person

| | jährliche Emissionen in Tonnen CO2-Äquivalent je Person | | | | | jährliche Emissionen in Tonnen CO2-Äquivalent je Person | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|-----|--------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | | | |
| für: 1-Personen-Haushalt  | | | | | | 6,3 | | | | | | 2,0 | t pro Person |
| 2-Personen-Haushalt  | | | | | | 3,1 | | | | | | 1,0 | t pro Person |
| 3-Personen-Haushalt  | | | | | | 2,1 | | | | | | 0,7 | t pro Person |
| 4-Personen-Haushalt  | | | | | | 1,6 | | | | | | 0,5 | t pro Person |
| 5-Personen-Haushalt  | | | | | | 1,3 | | | | | | 0,4 | t pro Person |
| 6-Personen-Haushalt  | | | | | | 1,0 | | | | | | 0,3 | t pro Person |

Vergleichswerte Deutschland: jährlicher Verbrauch Heizung und Warmwasser

| | | | | | |
|--------------------|---|-----|---|-----|--------------|
| Durchschnitt heute |  | 1,7 |  | 1,7 | t pro Person |
| Klimaschutz-Ziel |  | 0,4 |  | 0,4 | t pro Person |

Erläuterungen

Version: 02-12-2017

Druck: 25-06-2018 11:27

Bild 8: 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 (Bild aus: Loga et al. (2019))

Resümee und Ausblick

Wie schon bei der bisher geltenden Energieeinsparverordnung wird auch im neuen Gebäudeenergiegesetz kein Bezug zwischen dem rechnerischen Energiebedarf und dem gemessenen Energieverbrauch hergestellt. Weder gibt es einen Hinweis auf die zu erwartenden Diskrepanzen, noch gibt es eine Zuordnung realitätsnaher Verbrauchswerte zum Norm-Energiebedarf. Damit wird nach Meinung der Autoren eine Chance vertan, die praktische Funktion des gesetzlichen Nachweises und die Akzeptanz des Energieausweises als Informationsinstrument wesentlich zu verbessern.

Das im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) entwickelte und 2019 als BBSR-Online-Publikation veröffentlichte Verfahren (Loga et al. 2019) zeigt einen Weg, wie dieser Zusammenhang mit vertretbarem Aufwand hergestellt werden kann. Ein empirisch hergeleitetes Verfahren ermöglicht Aussagen über den erwarteten Energieverbrauch von Wohngebäuden auf der Grundlage des Norm-Endenergiebedarfs nach DIN V 4108-6 / 4701-10 oder – bei Anwendung eines Korrekturfaktors – nach DIN V 18599. Zusätzlich wird die in der Praxis zu beobachtende Streuung von Verbrauchswerten, die durch das Nutzerverhalten oder andere im Norm-Nachweis nicht modellierte Variationen bedingt ist, in Form eines Erwartungsbereiches mit angegeben.

Das in diesem Beitrag beschriebene Verfahren und die Zusatz-Blätter zum Energiebedarfsausweis bieten eine Reihe von Vorteilen:

- Der Bezug des ordnungsrechtlichen Instrumentes Energiebedarfsausweis zur jährlichen Energiekosten- bzw. Heizkostenabrechnung wird hergestellt. Eine Einordnung des eigenen Verbrauchs ist leichter möglich – gleichzeitig rückt bei Bewohnern unsanierter Altbauten die Erreichbarkeit von nachweislich niedrigen Verbrauchswerten in den Fokus.
- Durch die Schätzfunktion wird vermittelt, in welcher Weise der durchschnittliche Verbrauch vom Norm-Energiebedarf abhängt. Dies belegt die Wirksamkeit der Maßnahmen für typische Fälle und ermöglicht realistische Aussagen auch für den gesamten Wohngebäudebestand.
- Die in der Praxis bei ähnlichen Gebäuden doch sehr unterschiedlichen Verbrauchswerte und der Einfluss des Bewohnerverhaltens können transparent gemacht werden.
- Es wird verdeutlicht, dass insbesondere bei Teilmodernisierungen und nach Bewohnerwechsel die Energieeinsparungen im Einzelfall sehr unterschiedlich ausfallen können.
- Die Ergänzung der m²-bezogenen Werte um den in der Klimaschutz-Diskussion wichtigen Pro-Kopf-Bezug rückt auch die Inanspruchnahme von beheiztem Wohnraum in den Fokus. Es wird transparent, dass eine sparsame Person in einem gut gedämmten Einfamilienhaus sehr viel höhere Treibhausgas-Emissionen verursachen kann als eine Person in einem nicht so sparsamen 6-Personen-Haushalt.

Die Voraussetzung für eine Verbesserung der Transparenz und des Vertrauens ist, dass in diesen ordnungsrechtlich nicht relevanten Zusatzangaben praxisnahe Bezugsgrößen verwendet werden. Hierzu gehört die den Bewohnern normalerweise bekannte tatsächliche Wohn- oder Nutzfläche und die einheitliche Verwendung des Brennwertes im Fall von Brennstoffen (Standardangabe in der Erdgas-Rechnung).

Aus wissenschaftlicher Sicht bedarf die Methode der Weiterentwicklung, Optimierung und Validierung. Augenmerk muss besonders auf die Verbesserung der Datengrundlagen gelegt werden, damit differenziertere Auswertungen möglich sind:

- Ausdehnung auf andere Wärmeversorgungs-systeme;
- bessere Differenzierung bei den Schätzmodellen zwischen dem Verbrauch für Heizung mit und ohne Warmwasserbereitung;
- Differenzierung der Unsicherheitsbereiche zwischen Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern; verfeinerte Abbildung der Abhängigkeit vom Nutzerverhalten;
- zusätzliche Kalibrierung der bisher auf das Normklima bezogenen Schätzwerte des Verbrauchs auf das jeweils gegebene lokale Klima, damit diese den am Standort erwarteten Verbrauch wiedergeben.

Für die Aktualisierung und Verfeinerung der Aussagen wird eine noch deutlich umfangreichere und differenziertere Datenbasis benötigt. Um zu deren Aufbau beizutragen, sollten einheitliche Indikatoren eingeführt und der Aufbau von gebäude- und energiebezogenen Datenbanken vorangetrieben werden. Konkrete Beispiele hierfür sind:

➤ **Basis-Monitoring-Indikatoren im Energieverbrauchsausweis**

Bei der Energieverbrauchsausweis-Erstellung werden in der Regel bereits Informationen zum energetischen Zustand des Gebäudes erfasst, um Modernisierungsempfehlungen geben zu können. Diese sind jedoch je nach Ersteller sehr unterschiedlich. Daher sollte der Gesetzgeber eine verbindliche Harmonisierung der Zustandserfassung in Form von Basis-Monitoring-Indikatoren vornehmen. Werden diese einheitlich und vollständig ermittelt, so lässt sich eine vereinfachte Energiebedarfsberechnung damit verknüpfen (siehe in Loga et al. (2020) dokumentierte beispielhafte Umsetzung in einem Wohnungsunternehmen). Verbrauchsausweis-Datenbanken könnten dann für umfangreiche und differenzierte Bedarf-Verbrauch-Analysen genutzt werden.

➤ **Verbindliches „Statistik-Blatt“ für den Energiebedarfsausweis**

Die oben genannten Basis-Monitoring-Indikatoren sollten auch beim Energiebedarfsausweis in Form eines verbindlichen „Statistik-Blattes“ ergänzt und in das Energieausweis-XML-Schema integriert werden. Damit wäre es möglich, Energieausweis-Datenbanken für eine Kalibrierung der oben genannten vereinfachten Energiebedarfsberechnung mit den beiden offiziellen Norm-Berechnungsverfahren zu nutzen. Weiterhin könnten diese Indikatoren für eine einfache Ermittlung der Modernisierungsraten und andere statistische Auswertungen in Teilsegmenten des Bestands herangezogen werden.

➤ **Verpflichtung zur Verbrauchserfassung bei Neubau und umfangreicher Modernisierung**

Mehr Transparenz bezüglich des Verbrauch-Bedarf-Verhältnisses könnte auch durch eine Pflicht zur Verbrauchserfassung und -übermittlung im Zusammenhang mit der Ausstellung eines Energiebedarfsausweises erreicht werden – ähnlich wie dies schon in Luxemburg bei Neubauten praktiziert wird. Dabei wären drei oder vier Jahre nach Fertigstellung eines Neubaus oder einer umfangreichen Modernisierung die gemessenen Energieverbrauchswerte durch den Energieausweisersteller nachzuweisen. Die Sammlung dieser Daten in einer zentralen Datenbank würde ein übergeordnetes bundes- oder länderweites Monitoring der tatsächlich erreichten Energieeffizienz und einen Vergleich mit den Zielen ermöglichen, würde aber auch beim Einzelgebäude den Soll-Ist-Vergleich und das Verbrauchscontrolling in den Fokus von Bauherr, Planer und Energieausweisersteller rücken.

Referenzen

BMW (2017): Mein Sanierungsfahrplan - Handbuch für Energieberater; Hrsg.: BMW - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin; Verfasser: dena – Deutsche Energie-Agentur GmbH, Berlin; ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg; PHI - Passivhaus-Institut, Darmstadt
<https://www.febs.de/fileadmin/Service/Downloads/iSFP/iSFP-Handbuch.pdf>

Hörner, Michael; Cischinsky, Holger; Lichtmeß, Markus (2016): 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, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2015): 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
http://episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf

Loga, Tobias; Stein, Britta; Hacke, Ulrike; Müller, André; Großklos, Marc; Born, Rolf; Renz, Ina; Cischinsky, Holger; Hörner, Michael; Weber, Ines (2019): Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen; Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); BBSR-Online-Publikation 04/2019; ISSN 1868-0097
<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2019/bbsr-online-04-2019-dl.pdf>

Loga, Tobias; Swiderek, Stefan; Grafe, Michael (2020): Modellprojekt Energieverbrauchsbenchmarks. Soll-/Ist-Vergleich des Energieverbrauchs zur Evaluierung und Steigerung der Effizienz von Energiesparmaßnahmen im Praxisalltag eines Wohnungsunternehmens; Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt; ISBN: 978-3-941140-65-3
https://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/gebaeudebestand/prj/2019_IWU_LogaswiderekGrafe_ModellprojektEnergieverbrauchsbenchmarks_NHW.pdf

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) (2015): 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 / IWU - Institut Wohnen und Umwelt / Ecofys Germany / Universität Bielefeld, Fakultät für Rechtswissenschaft; ifeu, Heidelberg 2015
http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/Sanierungsfahrplan_AP_2_Teil_I_final.pdf

Detailliertere Ausführungen zu den im vorliegenden Tagungsbeitrag dargestellten Inhalten finden sich in der mit Loga et al. (2019) referenzierten BBSR-Online-Publikation, die im Rahmen des folgenden Forschungsprojekts erarbeitet wurde:

| | |
|---------------------------|---|
| Projekttitle | Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen |
| Forschungsprogramm | Zukunft Bau, ein Forschungsprogramm des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit |
| Projektlaufzeit | 01. Dezember 2016 bis 31. Juli 2018 |
| Aktenzeichen | 10.08.17.7-16.23 |
| im Auftrag | des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) |