

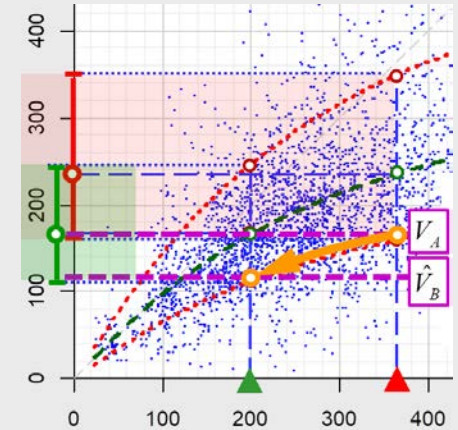
Prognose des Heizenergieverbrauchs von Wohngebäuden auf Basis des EnEV-Nachweises

Tobias Loga / Britta Stein

IWU – Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt

Auszugsweise Darstellung von Ansätzen, Analysen und Ergebnissen des vom IWU im Auftrag des BBSR durchgeführten Projekts „Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen“

Projekttitel	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 im Auftrag	10.08.17.7-16.23 des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)



Problemlage beim Nachweis für Altbauten

- viele thermische Eigenschaften der Gebäudehülle nicht bekannt (Materialien, Wärmeleitfähigkeiten, Luftkammern / Luftschichten, ...)
- manches nur aufwändig zu ermitteln, da nicht zugänglich / nicht sichtbar (Dachdämmung, Leitungslängen, Dämmung vertikaler Rohre, ...)
- kleinere Verbesserungsmaßnahmen nicht bekannt bzw. nicht sichtbar oder auch bei Datenaufnahme vernachlässigt
- in der Praxis große Bandbreite bei Klimabedingungen und Bewohnerverhalten
- ▶ häufige Beobachtung in der Praxis: große Differenzen zwischen dem gemessenen Energieverbrauch und dem Norm-Energiebedarf
- ▶ bezüglich Bestandsgebäuden hat Energiebedarfsausweis einen schlechten Ruf

„Übersetzung“ der Norm-Berechnung benötigt

- Die Norm-Berechnung hat als Referenz zur Herstellung von Vergleichbarkeit ihre Berechtigung.
- Nutzer und Gebäudeeigentümer benötigen jedoch auch praxisnahe vertrauenswürdige Aussagen
 - ❖ zur Einordnung ihres gemessenen Energieverbrauchs im Vergleich zu anderen Häusern
 - ❖ über das nach einer Modernisierung mit bestimmten Maßnahmen erzielbare Verbrauchsniveau
- ▶ ergänzende Informationen benötigt
- ▶ die im Folgenden vorgestellte Methodik soll einen Beitrag für eine solche „Übersetzung“ in praxisnahe Angaben leisten

Metaanalyse von Studien

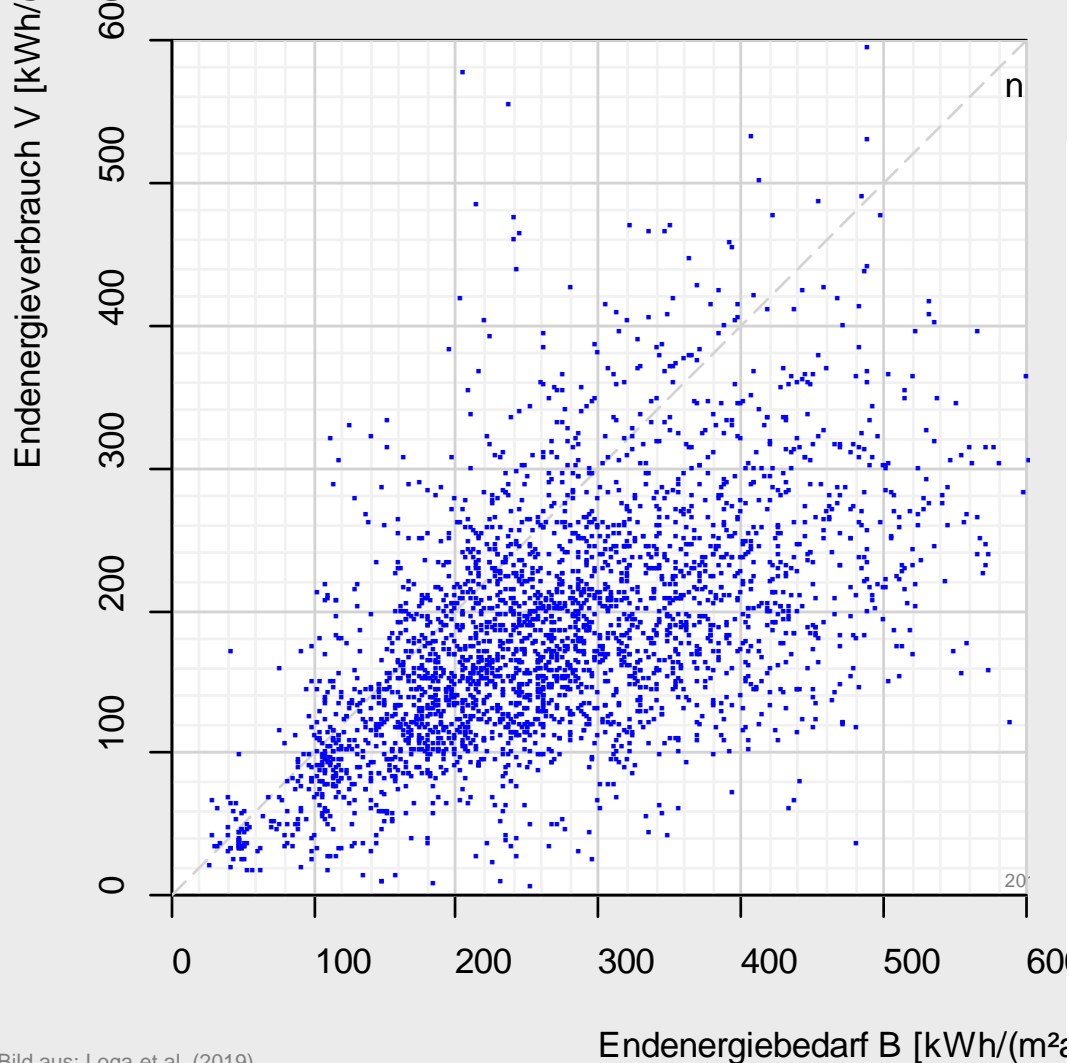
Ziel: möglicher Beitrag zur Ableitung von Vergleichskennwerten für den Energieverbrauch von Wohngebäuden

Arten der Studien:

- Studien zur Analyse von Verbrauchsausweis-Datenbanken
- Daten, die im Rahmen der Begleitforschung von Modellprojekten energieeffizienten Bauens ermittelt wurden
- Auswertung von Daten, die im Kontext von Energieberatungsaktivitäten

Ergebnis

- ▶ 6 Studien verwendbar
 - Energieträger: Erdgas und Fernwärme
 - Gebäude mit kombinierter Wärmeversorgung für Heizung und Warmwasser (ohne zusätzliche Wärmeerzeuger)
- ▶ Extraktion von Wertepaaren Bedarf / Verbrauch für Gebäude-Stichproben:
 - Norm-Energiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10
 - Verbrauchsdaten Gradtagzahl-korrigiert auf Standardklima



Verbrauch-Bedarf-Diagramm für die analysierte Gebäuestichprobe

Einzelpunkte: Wertepaare (n = 2856)
x-Achse: Energiebedarf
y-Achse: Energieverbrauch

Gebäude mit kombinierter
Wärmeversorgung für Heizung und
Warmwasser (ohne zusätzliche
Wärmeerzeuger)

Energieträger: Erdgas
und Fernwärme

Flächenbezug: beheizte Wohnfläche
Brennwert-Bezug bei Brennstoffen

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*		Stichprobe	gemessener Verbrauch, bezogen auf beheizte Wohnfläche			
bezogen auf beheizte Wohnfläche			Mittelwert	Kalibrierungsfaktor: Verhältnis Verbrauch zu Bedarf		Streuweite** zugeordneter Verbrauch
Intervall	Mittelwert	Anzahl Gebäude		Mittelwert	relative Streubreite**	
	(a)		(b)	(d)	(e)	(c)
kWh/(m²a)	kWh/(m²a)		kWh/(m²a)			kWh/(m²a)
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
Gesamt		n=2849				

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

**) „Streuweite“ = basiert auf Standardabweichung der Verbrauchswerte je Bedarfsklasse

Zusammenführung von Daten aus 6 Studien



Benchmark-Tabelle

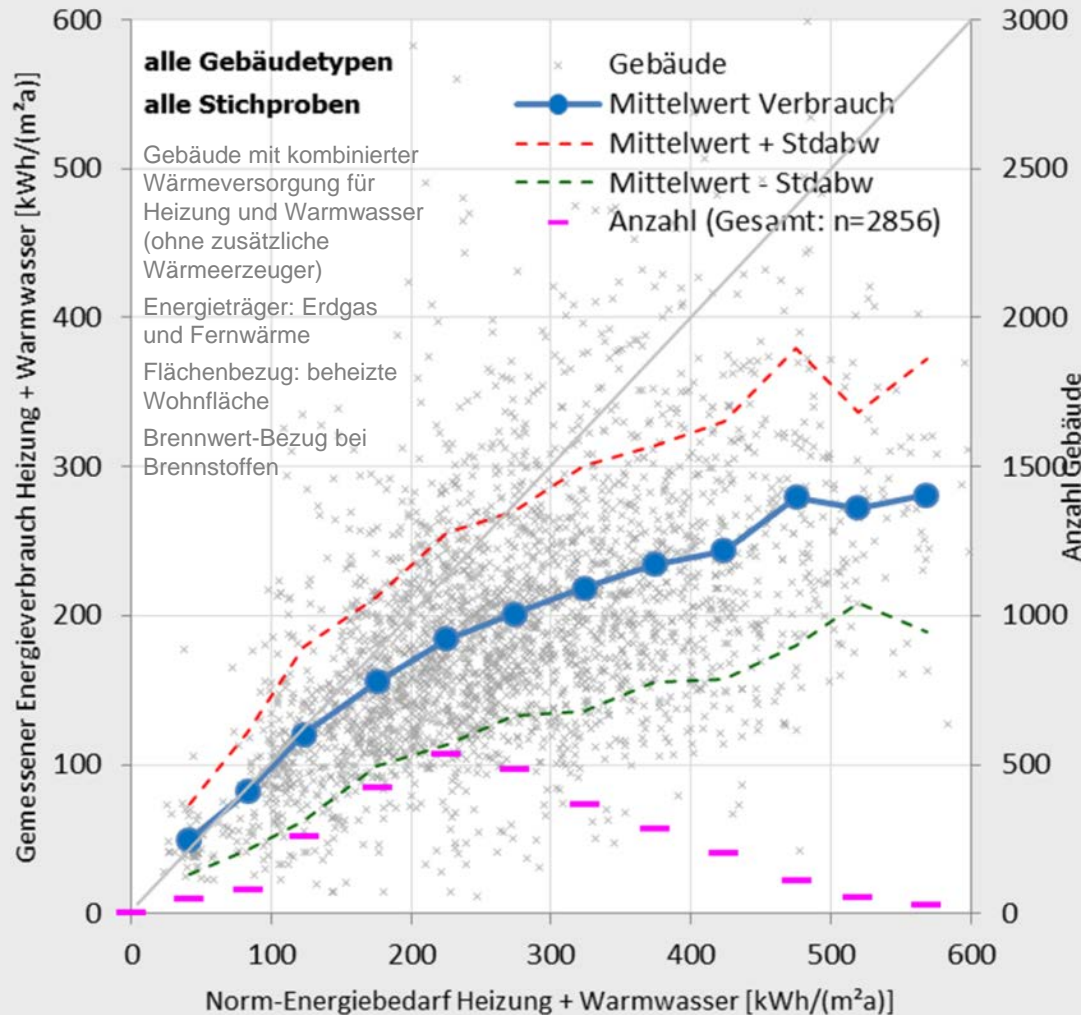
Analyse (n = 2856*)

- ▶ Unterteilung der Bedarfskennwerte in Klassen à 50 kWh/(m²a) + Angabe der Häufigkeit

je Bedarfsklasse (Zeile der Tabelle):

- (a) Bedarfsmittelwert
- (b) Verbrauchsmittelwert („Verbrauchsbenchmarks“)
- (c) Streubreite Verbrauch (Standardabweichung)
- (d) Verhältnis Verbrauch zu Bedarf („Kalibrierungsfaktor“)
- (e) relative Streubreite des Verhältnisses Verbrauch zu Bedarf

*) höhere Bedarfsklassen mit weniger als drei Gebäuden hier nicht dargestellt



Verbrauch-Bedarf-Diagramm für die analysierte Gebäudestichprobe

- Einzelpunkte: Wertepaare (n = 2856)
x-Achse: Energiebedarf
y-Achse: Energieverbrauch

zusätzliche Darstellung:

- ▶ Unterteilung der Bedarfskennwerte in Klassen à 50 kWh/(m²a) + Angabe der Häufigkeit (rosa Balken zugeordnet zur rechten Achse)
- ▶ Verbrauchsmittelwert je Bedarfsklasse (blaue Punkte durch blaue Geraden verbunden)
- ▶ Standardabweichung je Bedarfsklasse (Verbindungslinien rot gestrichelt (oberer Wert) bzw. grün gestrichelt (unterer Wert))

über diskrete Kalibrierungsfaktoren je Bedarfsklasse hinaus erforderlich:

kontinuierliche Funktion

Zwei Ansätze:

- **Modell 1:** lineare Regression der logarithmierten Variablen → Modell in Form einer Exponentialfunktion; analog zu Analysen des Energiepass Luxemburg [1]
 - **Modell 2:** Hyperbel-Funktion für den Kalibrierungsfaktor [2] bzw. [3]; verwendet im integrierten Sanierungsfahrplan des BMWi [4] für die Ermittlung des „typischen Verbrauchs“ bei der Energiekostenbetrachtung
- ▶ **Beide Modelle liefern über den gesamten Bereich empirischer Daten eine ähnlich gute Abbildung.**

Entscheidung für weitere Betrachtung

= **Modell 2** (weil schon in der Praxis eingeführt)

Ergänzung des Konzepts (siehe folgende Beispiele):

- Faktoren zur Abbildung der Streuung neu in das Verfahren integriert
- Systematik für die Anwendung im Kontext der Energieberatung zur Prognose des Energieverbrauchs
- Die formelmäßige Darstellung des kompletten Verfahrens findet sich in [5]

- [1] 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
- [2] Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie.; erarbeitet im Rahmen der EU-Projekte TABULA und EPISCOPE; IWU Darmstadt http://episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf
- [3] 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 BMWi; ifeu / IWU / Ecofys / Universität Bielefeld http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/Sanierungsfahrplan_AP_2_Teil_I_final.pdf
- [4] BMWi (2017): Mein Sanierungsfahrplan - Handbuch für Energieberater; Hrsg.: BMWi; Verfasser: dena / ifeu / PHI <https://www.febs.de/fileadmin/Service/Downloads/iSFP/iSFP-Handbuch.pdf>
- [5] 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; Studie im Auftrag des BBSR; Hrsg.: BBSR; BBSR-Online-Publikation 04/2019; ISSN 1868-0097 <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2019/bbsr-online-04-2019-dl.pdf>

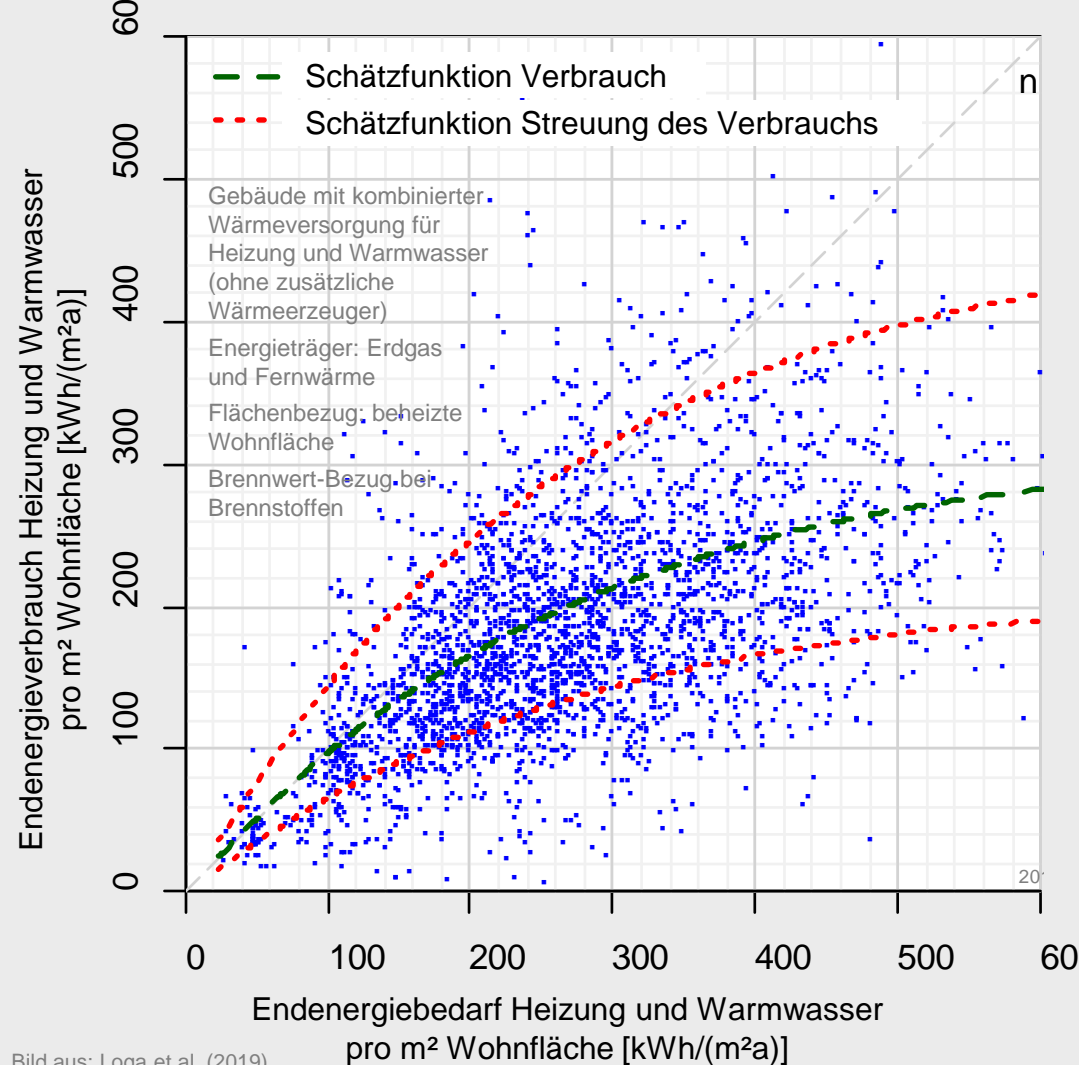
Vorgeschlagene Schätzfunktion (Modell 2)

Abbildung des Zusammenhangs zwischen Energieverbrauch und Energiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10

Einzelpunkte: Wertepaare Verbrauch/ Bedarf für die Gebäudestichprobe (entsprechend den vorangegangenen Diagrammen)

Darstellung des vorgeschlagenen Modells:

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



Basis des oben dargestellten Verbrauch-Schätzverfahrens: Endenergiebedarf nach DIN V 4108-6 / 4701-10

- ▶ Wunsch: auf DIN V 18599 übertragen
- ▶ Klärung des Zusammenhangs zwischen den beiden Normverfahren

Parameterstudie (85 Varianten)

für jede Variante: beide Normverfahren

- 9 Wohngebäude (3 EFH, 3 RH, 3 MFH)
- 4 Wärmeschutzstandards
- 2 Wärmeerzeuger + Zusatzsysteme

Durchführung mit Software ZUB Helena

Wärmeversorgung

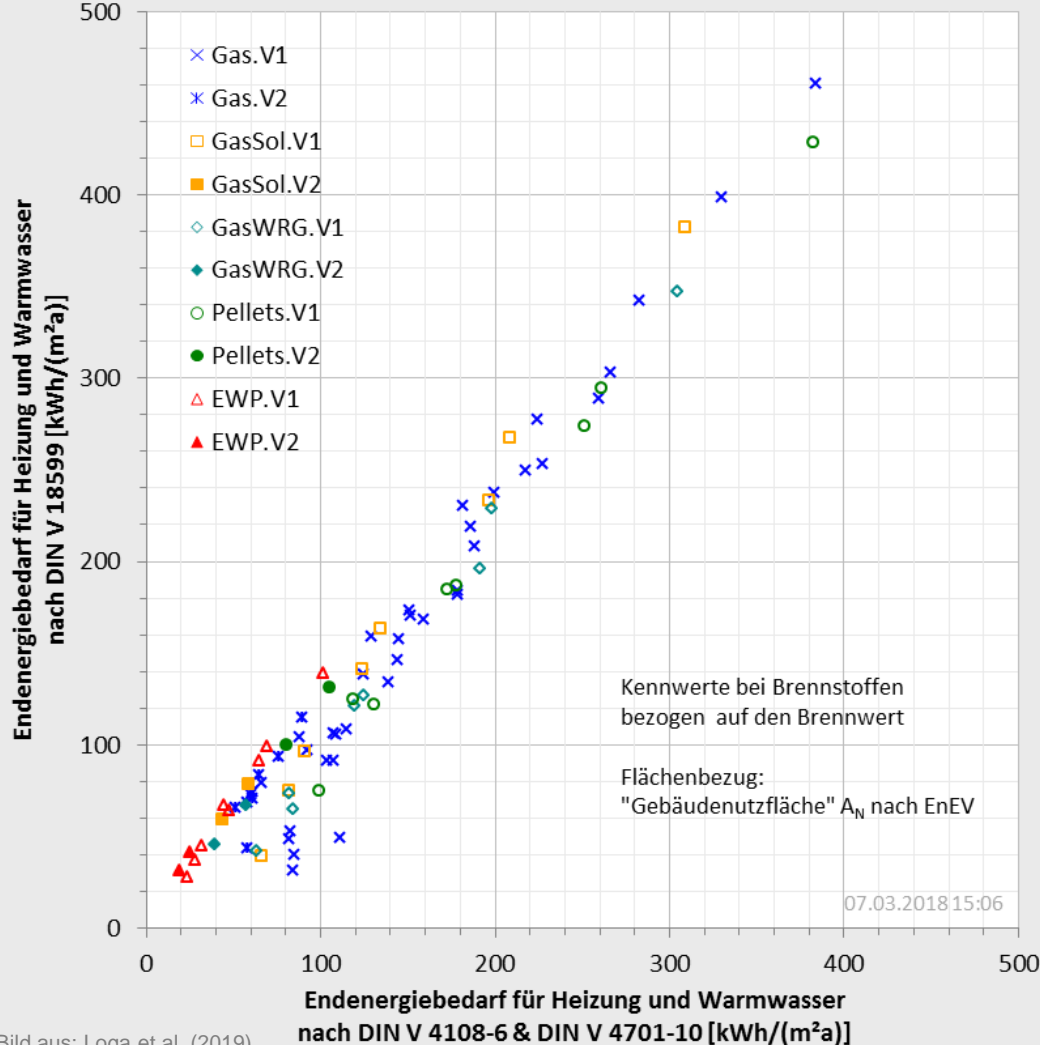
- Basisfall: Gas-Brennwertkessel.
- optional: thermische Solaranlage; Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- alternative Wärmeversorgung: Holzpellet-Kessel, Luft/Wasser-Wärmepumpe

Herausforderung: kongruente Definition des Wärmeversorgungssystems

für beide Verfahren sind die Anlagenkonfigurationen, Eingabegrößen und Parameter bei der Anlagentechnik sehr unterschiedlich

teilweise notwendig: Konsultation der detaillierten Beschreibungen in den Normtexten
→ Was genau ist jeweils mit den Größen und Auswahloptionen gemeint?

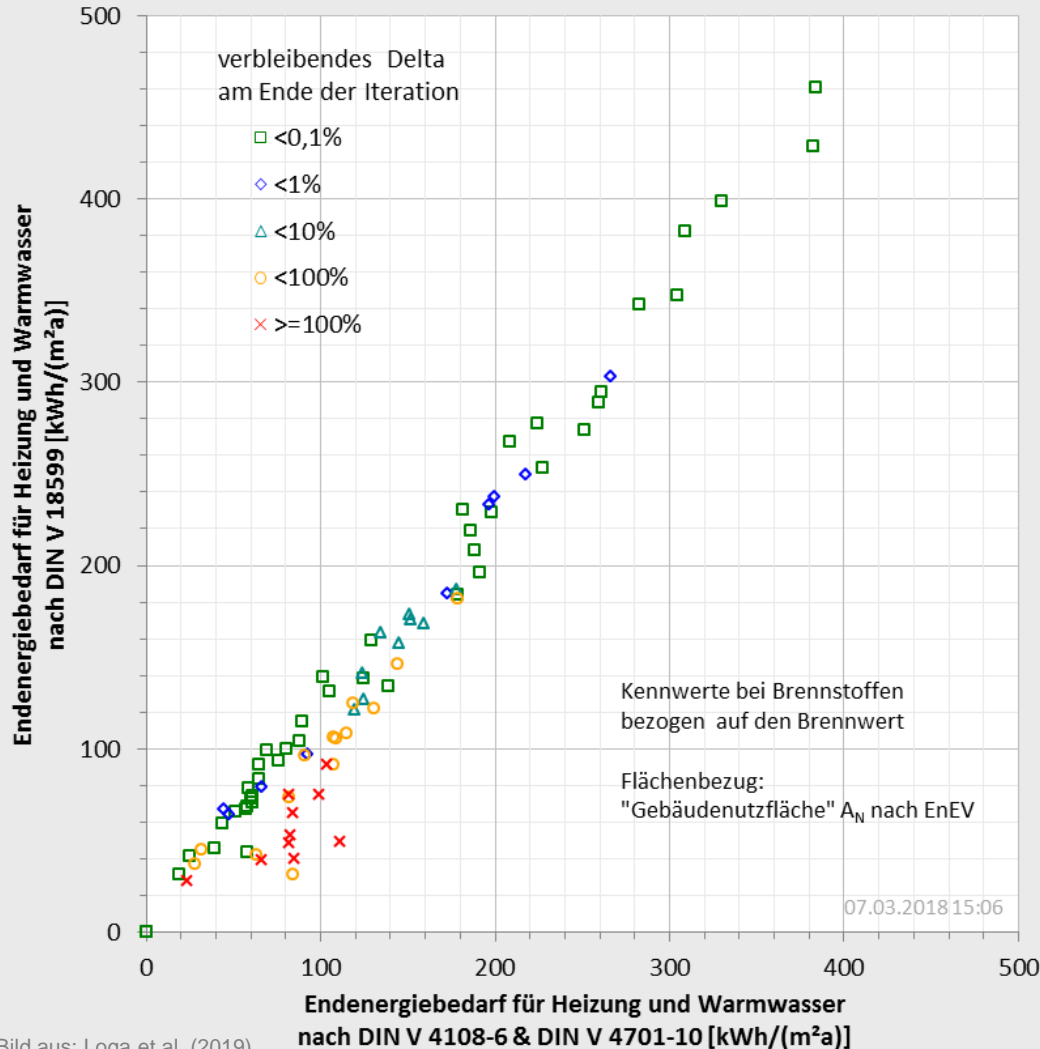
(Im Projektbericht synoptische Gegenüberstellung der jeweiligen Anlagentechnik-Definitionen)



Ergebnisse der Parameterstudie differenziert nach Anlagentechnik

Erläuterung der Kürzel:

- „Gas“: Gas-Zentralheizung
- „GasSol“: Gas-Zentralheizung mit therm. Solaranlage für WW
- „GasWRG“: Gas-Zentralheizung mit Lüftungsanlage und WRG
- „Pellets“: Zentralheizung mit Holzpellet-Kessel
- „EWP“: Zentralheizung mit Elektrowärmepumpe
- „V1“: altes Verteilnetz
- „V2“: neues Verteilnetz

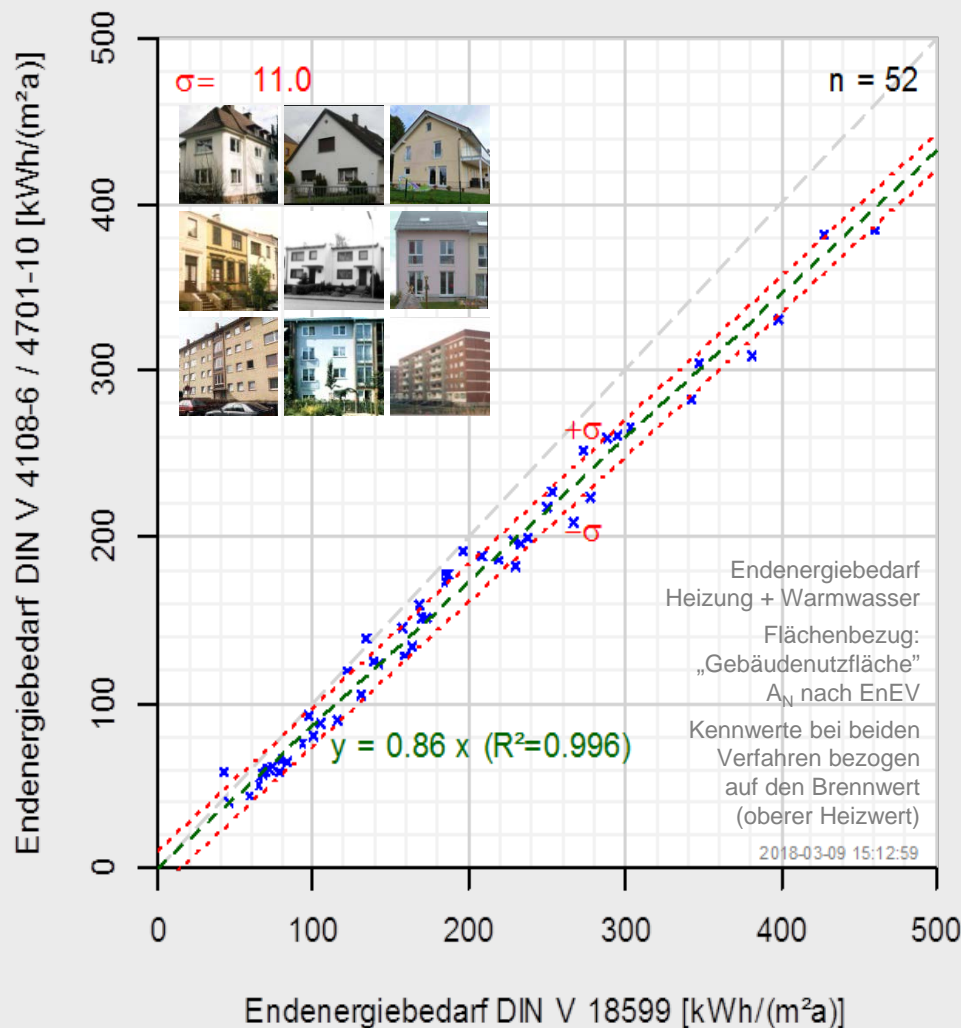


Ergebnisse der Parameterstudie differenziert nach Konvergenz der DIN V 18599 Berechnung

Delta beim Iterationsende der Berechnung nach DIN V 18599

Erläuterung: In der Legende sind jeweils nur die oberen Grenzen der Kategorien genannt.

► In der Analyse bleiben Fälle mit einem Abbruch der Iteration und einem verbleibenden Delta von mehr als 10 % unberücksichtigt (15 Varianten / gelbe Kreise und rote "x").



Schätzmodell für Anlagen mit Wärmerezeuger Kessel

Ergebnis der Regressionsanalyse für Varianten mit dem Wärmerezeuger Kessel (gegenüber den letzten beiden Diagrammen vertauschte Achsen)

Faktoren für die Schätzung des Endenergiebedarfs nach DIN V 4108-6 / 4701-10 auf Basis des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599:

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

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

Beispiel: Altbau, gemessener Verbrauch nicht verfügbar

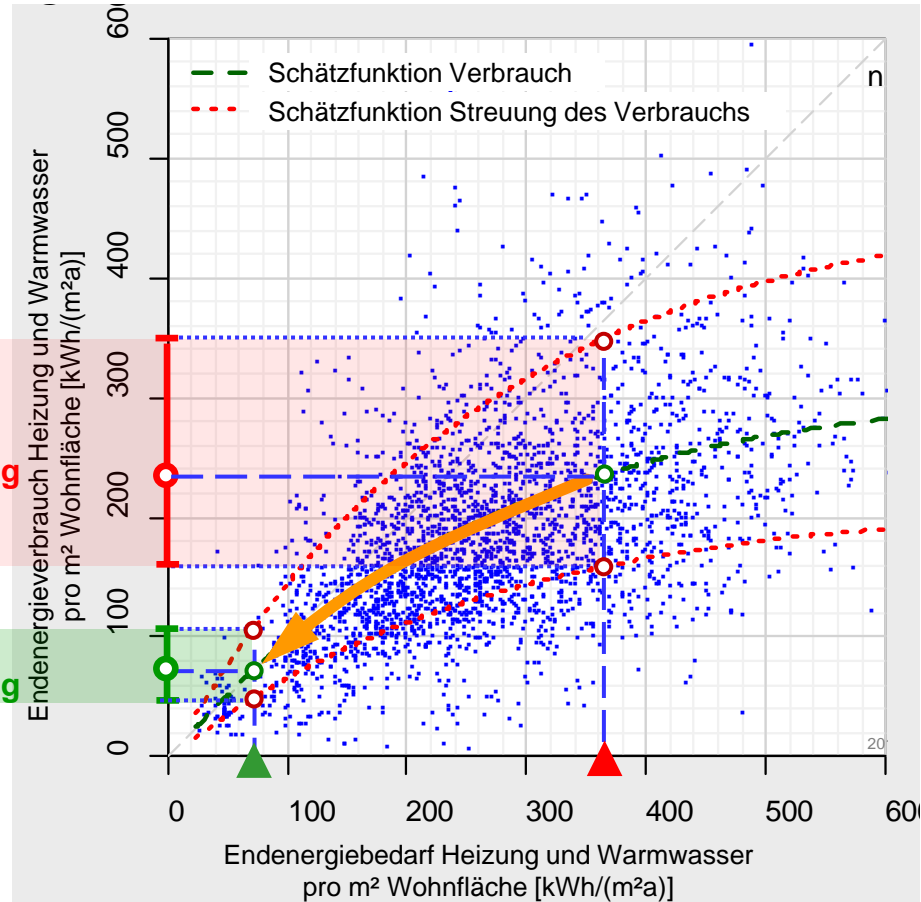
→ Kalibrierung mit mittleren Verbrauchswerten

Anspruchsvolle Modernisierung

typischer Verbrauch (Erwartungsbereich)

vor Modernisierung

nach Modernisierung



Beispiel: Altbau, gemessener Verbrauch verfügbar
(nahe dem unteren Rand des Erwartungsbereichs)

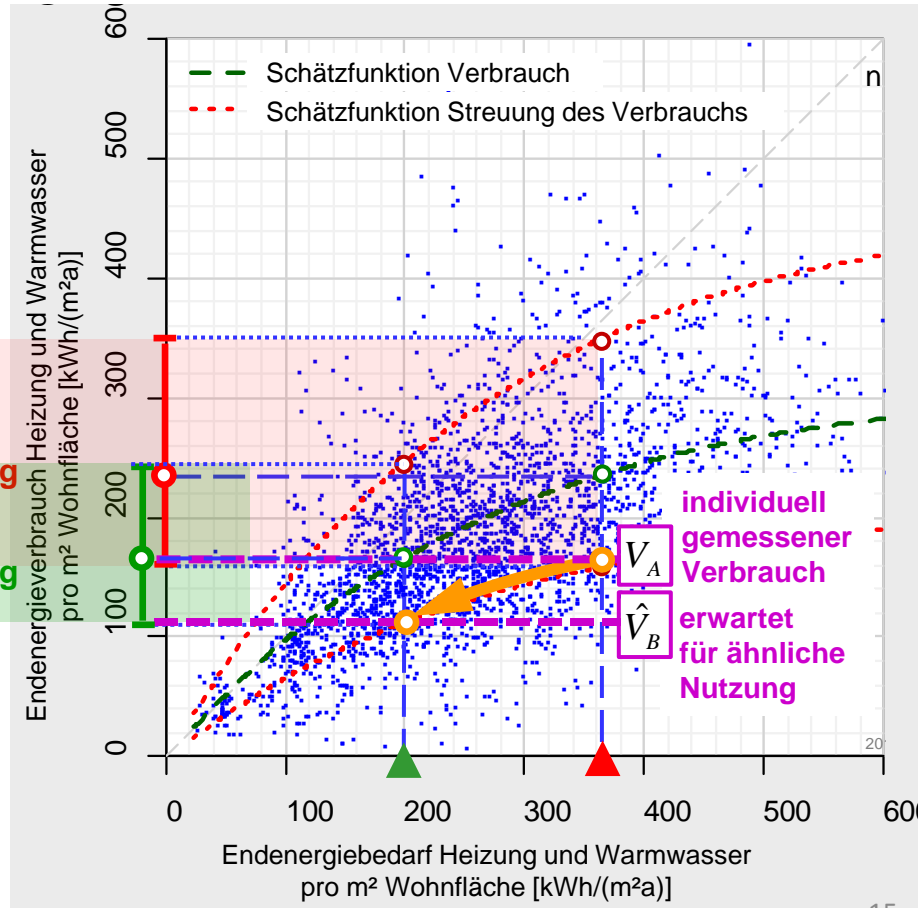
→ Prognose: gleiche relative Position im Erwartungsbereich

Teil-Modernisierung

typischer Verbrauch (Erwartungsbereich)

vor Modernisierung
nach Modernisierung

Achtung: Wird für die Prognose der Schätzwert verwendet, so sind die Einsparungen gleich null!
(Kann bei Bewohnerwechsel im EFH leicht passieren.)



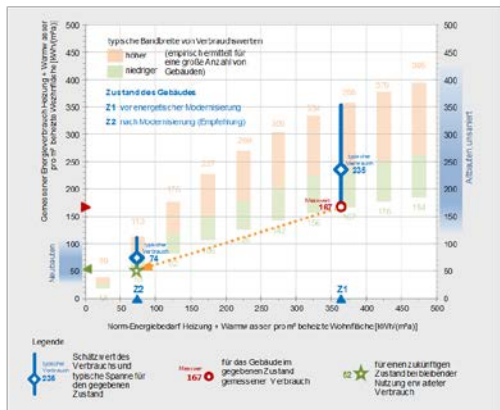
Vorschlag: Ergänzungsblatt zum Energiebedarfsausweis (informativ)

Schätzwert Verbrauch und gemessener Verbrauch

Gebäude: Beispiel-EFH, Waldstraße 8, 12345 Demostadt

Schätzwert Verbrauch und gemessener Verbrauch

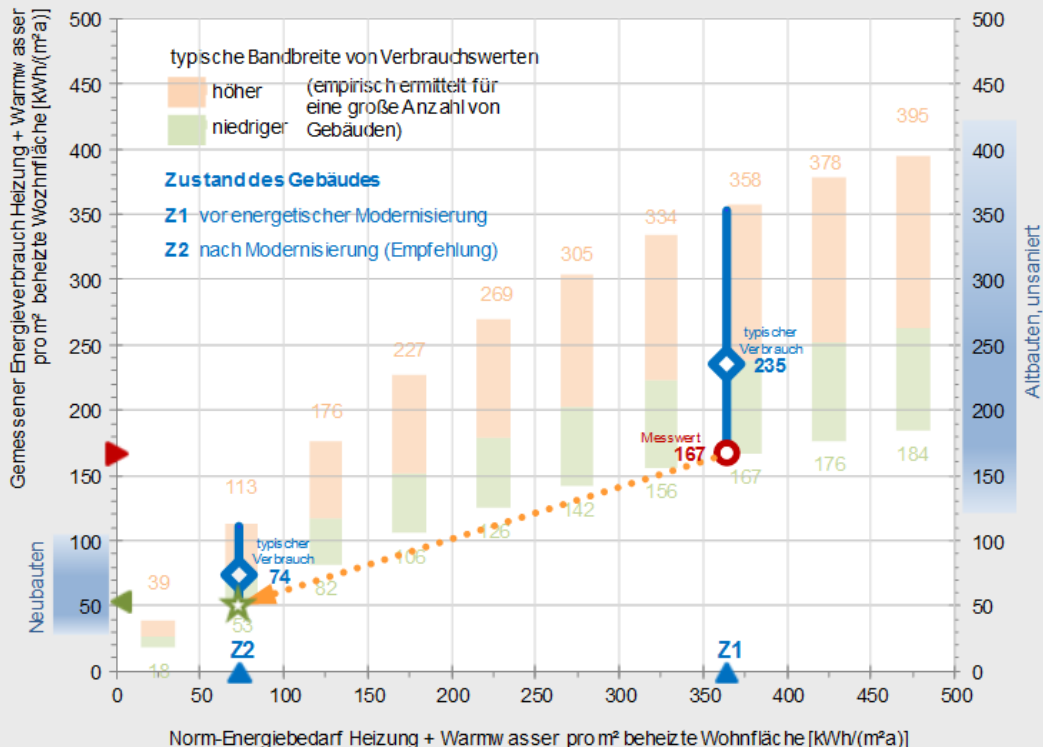
Gebäude: Beispiel-EFH, Waldstraße 8, 12345 Demostadt



Beschreibung	Zeitraum Monat / Jahr	Normenergiebedarf, berechnet nach EN15613 (DIN V 4108-6) (L2011-10)	Werte pro m² beheizte Wohnfläche		Messwert Verbrauch (pro Jahr)
			typischer Verbrauch: Schätzwert und Spanne	Werte pro m² beheizte Wohnfläche	
Z1 vor energetischer Modernisierung	vor 1. 2010 bis 5. 2010	56.940	364	oben: 353	167
				unten: 165	
				unten: 52	
Z2 nach Modernisierung (Optimierung)	vor bis	11.400	72	oben: 111	62
				unten: 52	
				unten: 52	

Anmerkungen u. um. Sekunde

Druck: 23-03-2019 11:00



Legende



Schätzwert des Verbrauchs und typische Spanne für den gegebenen Zustand

Messwert 167

für das Gebäude im gegebenen Zustand gemessener Verbrauch

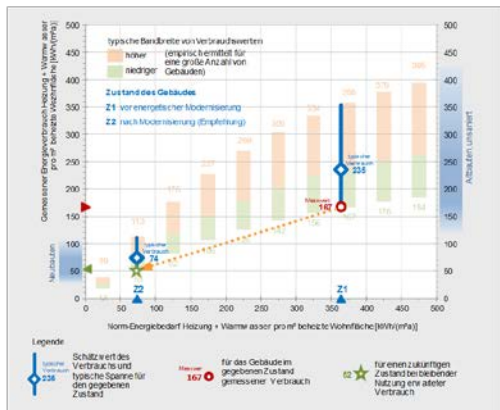
52

für einen zukünftigen Zustand bei bestmöglicher Nutzung erw. alterer Verbrauch

Vorschlag: Ergänzungsblatt zum Energiebedarfsausweis (informativ)

Schätzwert Verbrauch und gemessener Verbrauch

Gebäude: Beispiel: Waldstraße 6, 12345 Demostadt



Beschreibung	Zeitraum Monat / Jahr	Normenergiebedarf, berechnet nach EnEV (DIN V 4108-6 / 4701-10)	typischer Verbrauch: Schätzwert und Spanne		Messwert (Verbrauch pro Jahr)
			kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	
Z1 vor energetischer Modernisierung	VON 1 2010 BIS 5 2015	56.540	364	235	167
Z2 nach Modernisierung (Empfehlung)	VON BIS	11.400	73	74 52 (abgeleitet aus Messwert Z1)	

Legende



Schätzwert des Verbrauchs und typische Spanne für den gegebenen Zustand



für das Gebäude im gegebenen Zustand gemessener Verbrauch

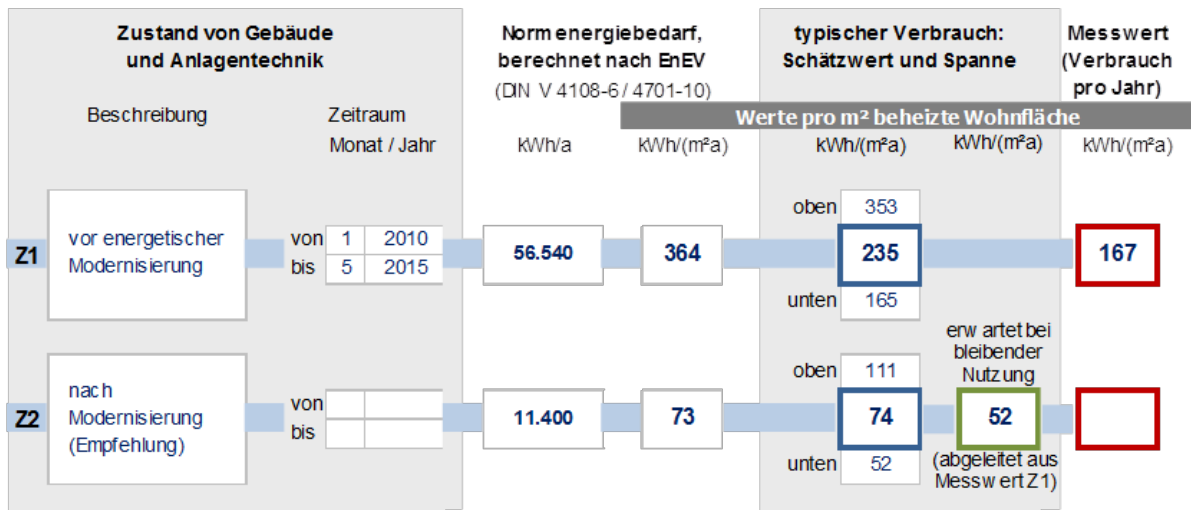


für einen zukünftigen Zustand bei bleibender Nutzung erwarteter Verbrauch

beheizte Wohnfläche
155,3 m²

Endenergie / Energieträger
Erdgas

Anwendung
Heizung / Warmwasser



Anmerkungen zum Gebäude

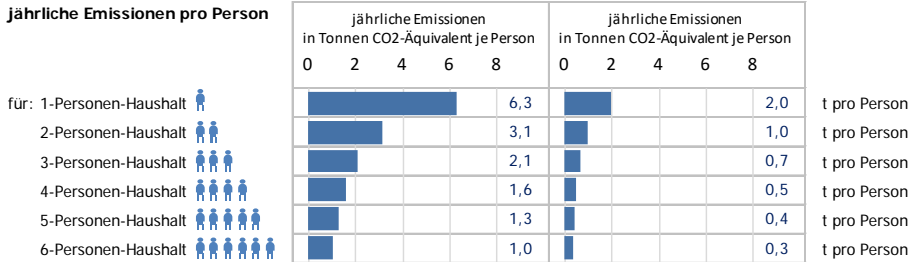
Erläuterungen

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

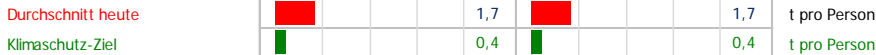
Gebäude:

	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
Klimaschutz-Ziel Heizung + WW		10	kg/m ²

jährliche Emissionen pro Person



Vergleichswerte Deutschland Heizung und Warmwasser



Vorschlag für weitere Ergänzung



Verbrauchswerte und Verbrauchsschätzwerte als Grundlage für Angabe von Treibhausgasemissionen

informative Ergänzungsblätter für den Energiebedarfsausweis

- vorherige Seite: Einbeziehung des realen Verbrauchs und damit des realen Verhaltens (m²-bezogen)
- hier jetzt: Treibhausgasemissionen pro m² und pro Kopf (Darstellung für Einfamilienhäuser)
- ▶ Inanspruchnahme von beheiztem Wohnraum rückt auch 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.

Resümee

Übersetzung von Aussagen des Energiebedarfsausweises – Nutzen für Bewohner / selbstnutzende Eigentümer:

- ▶ leichte Einordnung des eigenen Verbrauchs
- ▶ Erreichbarkeit von nachweislich niedrigen Verbrauchswerten rückt in den Blick

Nutzen für Klimaschutzstrategien auf unterschiedlichen Ebenen / Diskussion politischer Instrumente

- ▶ Herstellung des Bezugs zwischen dem ordnungsrechtlichen Instrument Energiebedarfsausweis und der jährlichen Energiekosten- bzw. Heizkostenabrechnung
- ▶ realistische Aussagen auch für den gesamten Wohngebäudebestand

Mehr Transparenz in der Energieberatung – Nutzen für die Vermittlung von Informationen

einfache Vermittlung von (teils komplexen) Zusammenhängen durch Angabe von Schätzwerten und typischen Spannen des Verbrauchs

intuitiv erfassbare Kernaussagen:

- *Bewohner können ihren Energieverbrauch durch ihr Verhalten deutlich beeinflussen. In ähnlichen Gebäuden können daher sehr unterschiedliche Verbrauchswerte auftreten.*
- *Die physikalische Wirkung energetischer Modernisierungen ist sehr gut bekannt. Es ist empirisch belegt, welche Verbrauchsminderungen durch Wärmeschutzmaßnahmen im Mittel erreicht werden.*
- *Die durch energetische Modernisierung erzielbare Verbrauchsminderung kann insbesondere bei Einfamilienhäusern im Einzelfall sehr unterschiedlich ausfallen – abhängig vom Verhalten vor und nach den Maßnahmen.*

Methodik Schätzverfahren Verbrauch

Weiterentwicklung, Optimierung und Validierung:

- ▶ Differenzierung der Unsicherheitsbereiche zwischen EFH und MFH; verfeinerte Abbildung der Abhängigkeit vom Nutzerverhalten
- ▶ bessere Differenzierung bei den Schätzmodellen zwischen dem Verbrauch für Heizung mit und ohne Warmwasserbereitung
- ▶ Ergänzung durch Methodik zur Übertragung der Verbrauchsschätzung auf das lokale Klima (erwarteter Verbrauch am Standort)

hierfür erforderlich: erhebliche systematische Verbesserung und Ausweitung der Datengrundlagen:

- ▶ energetische Einordnung über Basis-Monitoring-Indikatoren (stabiler Referenzrahmen)
- ▶ Gebäude-Datenbanken mit Bedarfs- und Verbrauchswerten + Monitoring-Indikatoren

Integration in politische Instrumente

Empfehlungen:

- Aussagen zum erwarteten Verbrauch in Energiespargesetzgebung (GEG) und Förderprogrammen (KfW, ...) integrieren
- einheitliche Basis-Monitoring-Indikatoren als Referenzrahmen in allen Bereichen einführen, in denen Gebäude energetisch bewertet werden
- Verbrauchscontrolling (Soll-/Ist-Vergleich Einzelgebäude): Förderprogramm + Verpflichtung für Neubauten und umfangreiche Modernisierungen

Endbericht des hier dargestellten Projekts:

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>