

Stand: 8. Juli 2022

Realitätsnahe Berechnung des Energiebedarfs

Ad-hoc Papier

Zusammenfassung

Das vorliegende Kurzgutachten beschäftigt sich mit Abweichungen zwischen dem normativ rechnerisch ermittelten Energiebedarf (gemäß DIN V 18599 bzw. DIN V 4701-10/DIN V 4108-6 und GEG) und dem tatsächlich messbaren Energieverbrauch. Eine möglichst realitätsnahe Berechnung des Energiebedarfs ist von zentraler Bedeutung, da diese u. a. die Grundvoraussetzung für die Quantifizierung der Einsparungen von Sanierungsmaßnahmen und damit grundlegend für die Planung der Energiewende im Gebäudebestand ist.

Mögliche Abweichungen zwischen berechneten und messbaren Einsparungen können entweder auf sogenannte kritische Prebound- oder Reboundeffekte zurückzuführen sein. Beim kritischen Prebound-effekt ist der rechnerische Energiebedarf vor einer energetischen Sanierung höher als der reale Verbrauch. Beim kritischen Reboundeffekt ist der rechnerische Energiebedarf nach einer energetischen Sanierung niedriger als der reale Verbrauch. Beides führt bei der Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen zu einer Überschätzung der tatsächlich erreichbaren Energieeinsparung und der damit verbunden CO₂-Reduktionen.

Im Rahmen des vorliegenden Kurzgutachtens wird nach einer Beschreibung von Ursachen und Treibern zunächst eine Literaturlauswertung vorgenommen, um die vorhandenen Informationen zu Hintergründen und Ursachen der Abweichungen tiefer zu durchleuchten.

Anschließend werden indikative Berechnungen für eine Quantifizierung der möglichen Abweichungen durchgeführt. Dazu werden Berechnungen durchgeführt, die die, in der Literaturlauswertung identifizierten, wesentlichsten Parameter für Prebound- und Reboundeffekte variieren. Anschließend werden die normativen Standardwerte mit den Ergebnissen potentiell geeigneterer Standardwerte am Beispiel eines teilsanierten und eines sanierten Einfamilienhauses verglichen. Außerdem werden Bandbreiten aufgezeigt, die sich aus Extremwerten der einzelnen Parameter ergeben (MIN, MAX), um aufzuzeigen wie hoch im Extremfall Abweichungen ausfallen könnten.

Schließlich werden aus den Erkenntnissen Schlussfolgerungen für das bestehende Anforderungssystem abgeleitet. Dabei werden insbesondere auch Hinweise auf systematische Abweichungen der Standard-Randbedingungen gemäß DIN V 18599 gegeben.

1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Berechnungen gemäß Gebäudeenergiegesetz (GEG^{1,2}) basieren auf Standard-Randbedingungen. Die gemäß GEG-Vorgaben berechneten Energiebedarfskennwerte einzelner Gebäude weichen häufig deutlich von ihrem tatsächlichen Energieverbrauch ab. Ursachen für eine Überschätzung der Einsparwirkung von Sanierungen können dabei sein:

1. **Die Bauausführung** der Sanierungsmaßnahmen entspricht nicht der geplanten Qualität (Komponenten mit anderen Eigenschaften, abweichende Ausführung von wärmebrückenrelevanten Details etc.)
2. **Die Berechnungsannahmen hinsichtlich der Betriebsweise der Gebäudetechnik** entsprechen nicht der Realität (z. B. nicht optimale Betriebseinstellung der Anlagen)
3. **Weitere Randbedingungen** der Energiebedarfsberechnungen entsprechen nicht der statistisch erwartbaren Realität, z. B.
 - a. grundsätzliche Abweichungen beim Nutzungsverhalten: abweichende Raumtemperaturen, Anteil unbeheizter Flächen, Luftwechsel bei Fensterlüftung; das Referenzklima
 - b. im Zusammenhang mit einer Sanierung auftretende Abweichungen beim Nutzungsverhalten (**Prebound³- und Reboundeffekte⁴**)
 - c. Abweichungen weiterer energiebedarfsrelevanter Größen wie z. B. Leitungslängen oder Bauteilkennwerte

Sowohl die Ex-ante- als auch die Ex-post-Quantifizierung der Einsparungen von energetischen Sanierungsmaßnahmen sind grundlegend für die Steuerung der Energiewende im Gebäudebereich, insbesondere im Hinblick auf realistisch erreichbare THG-Minderungsziele. Problematisch ist insbesondere eine Überschätzung der Einsparwirkung von Sanierungen. In diesem Fall verschlechtert sich nicht nur die THG-Minderung, sondern auch die Wirtschaftlichkeit gegenüber der vorher angestellten (unrealistischen) Berechnung, was sich in der Praxis durch längere Amortisationszeiten von Sanierungsmaßnahmen bis hin zu deren Unwirtschaftlichkeit äußert. Realitätsnähere Berechnungen tragen somit entscheidend dazu bei, wirksame Maßnahmen auszuwählen, keine unrealistischen Erwartungen zu wecken, "Sanierungsfrust" zu vermeiden und somit die Akzeptanz für die Energiewende im Gebäudebereich zu steigern.

Die konkreten Folgen einer möglichen systematischen Überschätzung von energetischen Sanierungsmaßnahmen sind:

- Falsche Priorisierung von Maßnahmen (z. B. in Bezug auf die aktuell diskutierte Sanierungsverpflichtung (MEPS⁵) aus der EPBD, wo es im Kern darum geht, die tatsächlich größten Emittenten bzw. Verbraucher zu identifizieren und deren Verbräuche bzw. verursachte Emissionen zu reduzieren).

¹ GEG:2020

² Nach DIN V 18599 bzw. bis 31.12.2023 auch noch DIN V 4701-10/DIN V 4108-6.

³ Der Preboundeffekt (P) bezieht sich ausschließlich auf den Zustand **vor** der Sanierung. Er bewertet die Differenz zwischen dem **Energiebedarf** vor der Sanierung (B_1) und dem **Energieverbrauch** vor der Sanierung (V_1) über folgende Formel: $P = (B_1 - V_1) / B_1 * 100\%$. (vgl. BBSR, 2017)

⁴ Der Rebound-Effekt (R) bezieht sich ausschließlich auf den Zustand **nach** der Sanierung. Er bewertet die Differenz zwischen dem **Energiebedarf** nach der Sanierung (B_2) und dem **Energieverbrauch** nach der Sanierung (V_2) über folgende Formel: $R = (B_2 - V_2) / B_2 * 100\%$.

Somit beschreibt „der Rebound-Effekt (...) die Differenz zwischen der theoretisch zu erwartenden Einsparung durch eine Effizienzmaßnahme und der tatsächlichen erreichten Einsparung.“ Golde, 2016

⁵ MEPS = Minimum Energy Performance Standards, vgl. COM(2021) 802 final:2021, Art. 9

- ▶ Eine falsche Priorisierung führt entsprechend zu einer Fehlausrichtung der staatlichen Förderung und suboptimalen Allokation von Fördermitteln/Steuergeldern
- ▶ Verlust der individuellen und gesellschaftlichen Akzeptanz
- ▶ Fehleinschätzungen der Klimawirkung in Szenarienrechnungen durch falsche Priorisierung von Maßnahmen in diesen Untersuchungen
- ▶ Verfehlen der Klimaschutzziele im Gebäudebereich und ggf. sogar im Energiesektor
- ▶ Probleme, die tatsächlichen Mikro-Ursachen von makro-ökonomisch festgestellten Soll-Ist-Abweichungen zu erkennen

Ziel dieses Ad-hoc Papiers ist es herauszufinden, durch welche Anpassungen bei den Berechnungen des Energiebedarfs von Gebäuden im bestehenden Anforderungssystem realitätsnäher abgebildet werden kann.

Dafür werden in einem ersten Schritt Ursachen und Treiber der aktuellen Abweichungen aus der Literatur identifiziert (Kapitel 2). Anschließend werden die Größenordnungen der Fehleinschätzungen aus der Literatur ermittelt und in indikativen Modellrechnungen überprüft (Kapitel 3). Schließlich werden Lösungsansätze für realitätsnähere Bedarfsberechnungen diskutiert und daraus Empfehlungen abgeleitet (Kapitel 4).

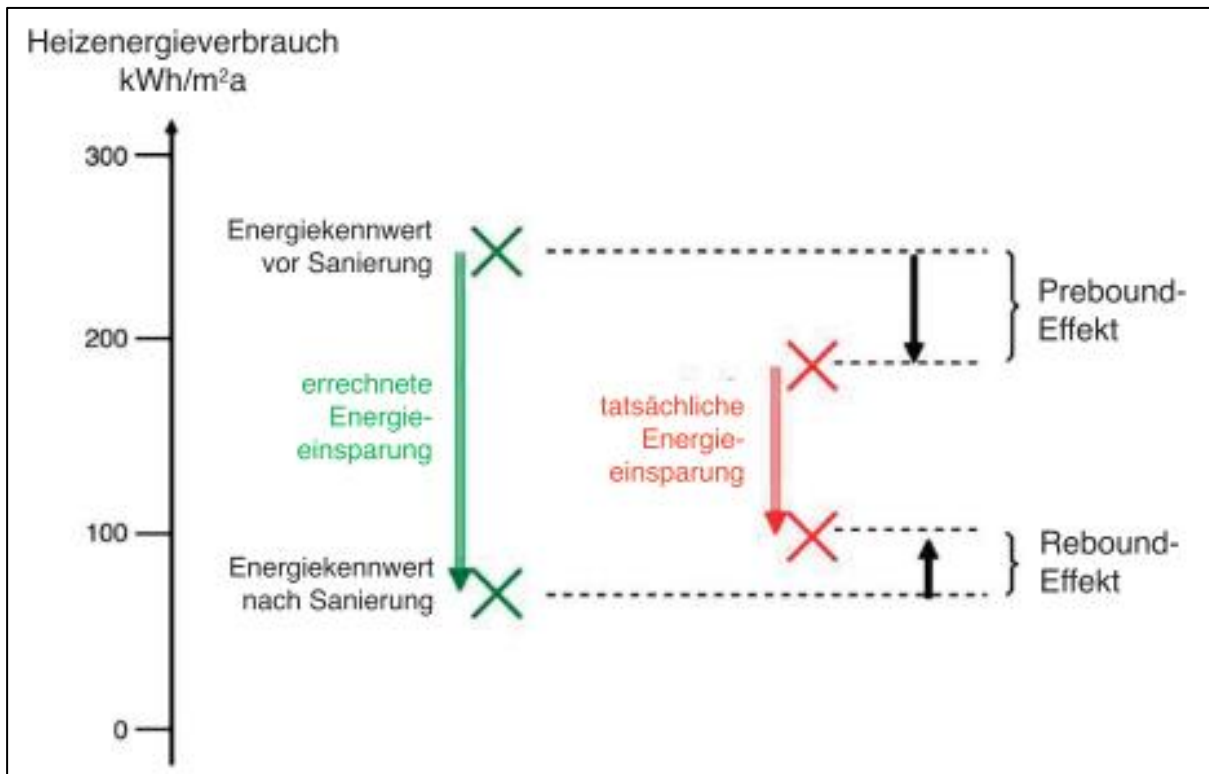
2 Ursachen und Treiber der Abweichungen

Setzt man die formale Richtigkeit der Berechnungsmethodik voraus, so können systematische Abweichungen zwischen rechnerischen und messbaren Einsparungen nur noch aus Eingabeparametern für Rechengrößen bzw. Randbedingungen folgen, die das durchschnittliche Nutzungsverhalten nicht hinreichend treffen. Dies kann sowohl den Ausgangszustand vor als auch den Endzustand nach der Sanierung betreffen. In beiden Fällen wird als Ergebnis ein falscher d. h. unzutreffender Energiekennwert ermittelt. Plakativer werden diese Phänomene häufig als Prebound³- und Reboundeffekt⁴ illustriert. Der Prebound-effekt meint im Falle der Gebäudesanierung die Situation, dass der Energiekennwert vor der Sanierung in Wirklichkeit niedriger (= besser) als angenommen ist, während der Reboundeffekt den gegenteiligen Effekt umschreibt, dass der Verbrauch nach der Sanierung höher (= schlechter) als angenommen ist.

Abbildung 1 veranschaulicht die Problematik der in der Realität geringeren Energieeinsparungen als Summe aus Prebound- und Reboundeffekt.

Abbildung 1

Begrenzung des theoretischen Energieeinsparpotentials durch den Prebound- und den Reboundeffekt bei der Gebäudesanierung, Quelle: [Sunikka-Blank und Galvin, 2012]



Für eine möglichst realitätsnahe Energiebedarfsberechnung werden in Beiblatt 1 der DIN V 18599 zum Bedarfs-/ Verbrauchsabgleich⁶ und in [Oschatz, 2009] die Überprüfung der folgenden Standardwerte empfohlen:

- ▶ Standort
- ▶ Nutzungsverhalten:
 - Raumtemperatur (Niedrigbeheizung, Teilbeheizung inkl. Leerstand)
 - Lüftung
- ▶ Verschattung
- ▶ Rohrleitungslängen

Aber auch die Einschätzung des Gebäudezustands vor der Sanierung⁷ und die Bauausführung der geplanten Gebäude und Sanierungsmaßnahmen ist von hoher Bedeutung. Dazu zählen gemäß Beiblatt 1 insbesondere die in der Praxis tatsächlich erreichte:

- ▶ Anlagentechnik-/ Heizungsfunktionalität⁸
- ▶ Luftdichtheit

In [Oschatz, 2009] werden noch weitere übliche Bauausführungsmängel benannt:

- ▶ Baufeuchte
- ▶ Qualität der durchgeführten Dämmmaßnahmen (Gebäude und Rohrleitungen) und
- ▶ Wärmebrücken

In der vorliegenden Untersuchung liegt der Fokus auf den systematischen Abweichungen durch Standard-Randbedingungen, die nicht der mittleren Praxis entsprechen.

Die Diskrepanz zwischen Bauplanung und Bauausführung wurde nicht näher betrachtet, da hierzu im Rahmen des vorliegenden Kurzgutachtens keine belastbaren Daten evaluiert werden konnten. Ebenso konnten etwaige Abweichungen aus Messfehlern nicht betrachtet werden.

⁶ DIN V 18599 Beiblatt 1

⁷ Loga et al., 2021; z. B. Unsicherheiten bei der Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten vor der Sanierung

⁸ insbesondere Wirkungsgrade von Wärmepumpen und ein hydraulischer Abgleich und Regler-Einstellungen

3 Größenordnungen der Abweichungen

In diesem Kapitel wird die Bedeutung des Problems der Abweichungen bei den Bedarfsberechnungen für ein zukünftiges Anforderungssystem auf Basis von Bandbreiten der Diskrepanz zwischen Energiebedarf und -verbrauch evaluiert. Zunächst werden die wesentlichen Erkenntnisse aus der Literatur beschrieben, gefolgt von indikativen Modellrechnungen für ein teilsaniertes und saniertes Einfamilienhaus mit Gas-Brennwertgerät bzw. Luft-Wärmepumpe. Der Fokus liegt auf den systematischen Abweichungen durch Standardwerte, die nicht der realen Gebäudenutzung entsprechen.

3.1 Literaturlauswertungen

Eine umfassende Literaturlauswertung von Wohngebäudestudien [Sunikka-Blank und Galvin, 2012] kommt zu dem Schluss, dass deutsche Wohngebäude durchschnittlich etwa **30 % weniger verbrauchen** als es dem errechneten Energiekennwert entspricht.

Die Studie kommt zu dem Schluss, dass sich ein Prebound-Effekt einstellt, der der Logik folgt: Je höher der Energiekennwert, desto geringer der tatsächliche Verbrauch im Verhältnis zum Energiekennwert. Bei hohen Energiekennwerten wie 300 kWh/m²a liegen die gemessenen Energieverbräuche etwa 40 % unter dem errechneten Wert. Bei niedrigeren Energiekennwerten von 150 kWh/m²a sind es nur noch etwa 17 % Abweichung. Den umgekehrten Effekt (Rebound-Effekt) stellt die Studie für umfassend sanierte Gebäude/ Niedrigenergiehäuser unter 50 kWh/m²a fest. Hier übersteigt der gemessene Verbrauch den errechneten Bedarf.

Die Autoren der Studie haben die folgende Formel entwickelt, die den Prebound- bzw. Rebound-Effekt basierend auf der Höhe des Energiekennwerts quantifiziert:

$$P (\%) = 100 [1,2 - 1,3 / (1 + \text{Energiekennwert}/500)]$$

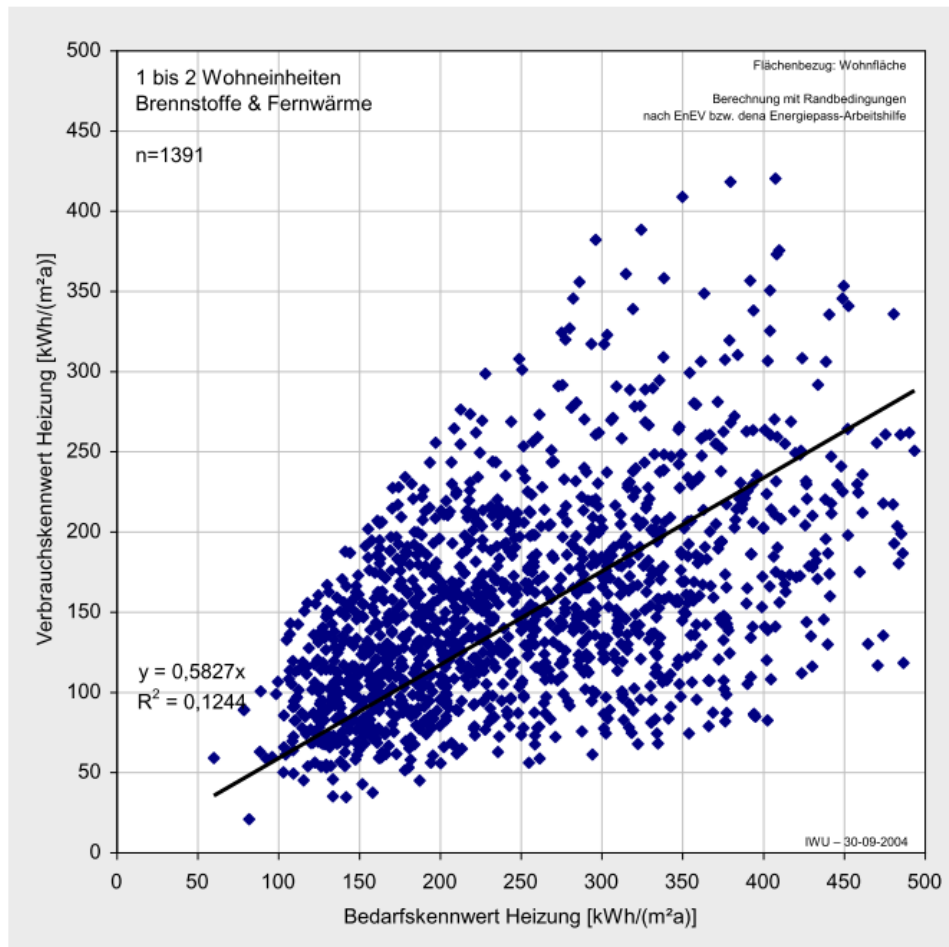
Gemäß dieser Formel ist bei einem Energiekennwert > 50 kWh/m²a ein Prebound-Effekt zu erwarten, und bei einem Energiekennwert < 50 kWh/m²a ein Reboundeffekt. Mithilfe dieser Korrekturen sollen tatsächliche Energieeinsparungen aus Sanierungen realitätsnäher ermittelbar sein.

Als mögliche **Ursachen** für die oben genannten Prebound- und Rebound-Effekte nennt die Studie realitätsferne Standardannahmen der DIN V 4108-6:2003 wie bspw. die *Lüftungsverluste* (Luftwechsel von 0,7 1/h) und die *Innentemperatur* (19°C). Aber auch das *Nutzungsverhalten* wird als wesentlicher Treiber identifiziert, was allerdings unscharf ist, da gerade die Innentemperatur und die Lüftungsverluste Wirkungen des Nutzungsverhaltens sind. Die Analyse zeigt: Je schlechter die thermische Gebäudequalität ist, umso „energiesparender“ ist das Nutzungsverhalten im Vergleich zu den Standardannahmen der Norm (Prebound-Effekt) bzw. je besser die thermische Gebäudequalität jenseits eines „Kippunktes“ (bei ca. 70 kWh/m²a, s.u.) desto „energieverschwenderischer“ (Rebound-Effekt) ist das Nutzungsverhalten (wiederum im Vergleich zu den Standardannahmen der Norm).

Auch [Oschatz, 2009] stellt auf Basis der Daten in Abbildung 2 von [Knissel et al., 2006] fest, dass die berechneten Bedarfswerte im Mittel stark über den Verbrauchswerten liegen (ca. 40 %).

Abbildung 2

Zusammenhang zwischen dem Verbrauchs- und Bedarfskennwert (Heizung) für Ein- und Zweifamilienhäuser, Quelle: [Knissel et al., 2006]



[Oschatz, 2009] stellt dabei auch folgenden Zusammenhang heraus: Je höher die Energiekennwerte und je weniger Wohneinheiten, desto größer ist die Diskrepanz zwischen Energiebedarf und Energieverbrauch.

In [Loga et al., 2019] wurden darüber hinaus auch die Einflüsse des Nutzungsverhaltens auf den Energiebedarf berechnet. Tabelle 1 zeigt den erheblichen Einfluss des Nutzungsverhaltens auf den errechneten Energiekennwert in den Bereichen Raumtemperatur (bis +29 kWh/m²a), Lüftung (bis +23 kWh/m²a), Teilbeheizung (bis -30 kWh/m²a), Wärmequellen (-1,6 bis +7 kWh/m²a) und Warmwasser (bis 898 kWh/a).

Tabelle 1

Aus Parameterstudien abgeleitete und vereinfachte Aussagen zum Einfluss des Nutzungsverhaltens auf den Energiebedarf von Gebäuden, Quelle: [Loga et al., 2019]

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

[Loga et al., 2019] stellt ebenfalls fest, dass die aktuellen Energiebedarfsberechnungen nicht für eine realistische Bilanzierung und nur für standardisierte Vergleiche geeignet sind. In [Loga et al., 2019] wurde der Norm-Energiebedarf⁹ und der Energieverbrauch in Form von Kalibrierungsfaktoren Verbrauch zu Bedarf verglichen. Wie auch schon in [Sunikka-Blank und Galvin, 2012] wurde auch hier festgestellt: je höher der Energiekennwert, desto geringer der tatsächliche Verbrauch im Verhältnis zum Energiekennwert.

Bei vergleichbaren Energiekennwerten wie in [Sunikka-Blank und Galvin, 2012] von 300 kWh/m²a liegen die gemessenen Energieverbräuche etwa 35 % unter dem errechneten Wert. Bei niedrigeren Energiekennwerten von 150 kWh/m²a sind es nur noch etwa 10 % Abweichung. Auch hier kehrt sich der Effekt ab einem Energiekennwert von etwa 50 kWh/m²a um. Bei einem Energiekennwert von 34 kWh/m²a liegt der Verbrauch 20 % über dem errechneten Bedarf.

[Loga et al., 2019] hat aus den obigen Auswertungen für die DIN V 4701/4108 anhand von Beispielrechnungen auch eine Umrechnungsgleichung für das Bilanzierungsverfahren DIN V 18599 erstellt. Abbildung 3 zeigt die Verhältnisse der Verbrauchs- zu den Bedarfswerten für kombinierte Heiz- und Warmwassererzeugung.

Abbildung 3

Vergleichende Darstellung des Verhältnisses des empirisch ermittelten Endenergie-Bedarfs in kWh/m²Wfl.a der beiden Normen DIN V 4108-6/4701-10 (links) und DIN V 18599 (rechts) und zum Endenergie-Verbrauch gemäß, Quelle: [Loga et al., 2019]

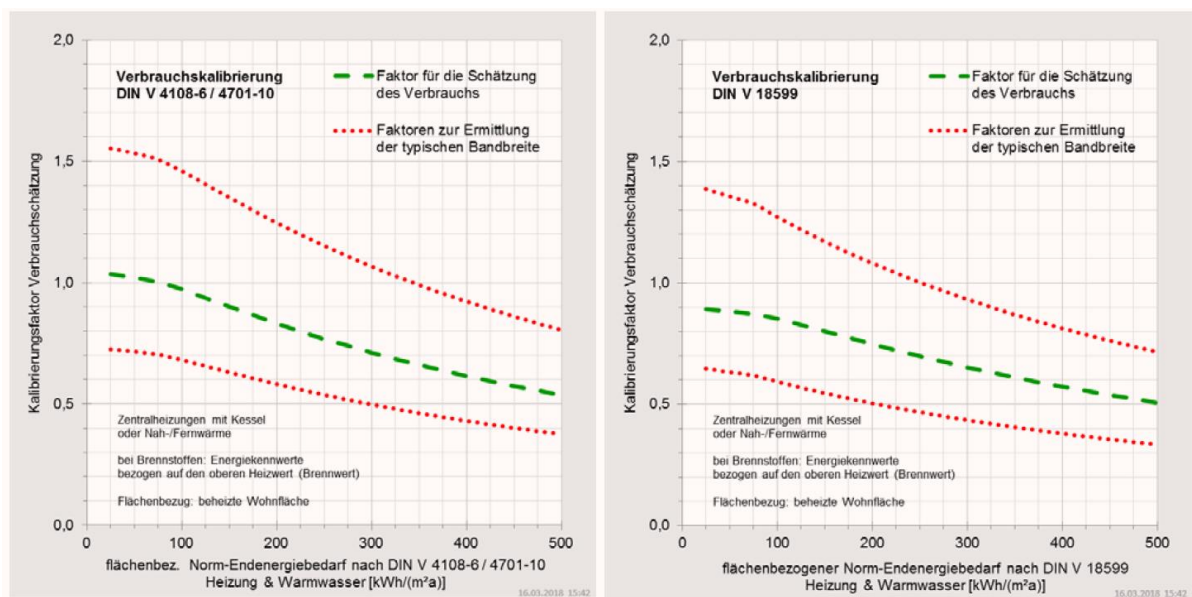


Abbildung 3 zeigt, dass gemäß [Loga et al., 2019] auch die auf der Grundlage der DIN V 18599 ermittelten Bedarfswerte über den Verbrauchswerten liegen. **Je höher der Bedarfswert, umso höher die Abweichung (-10 bis -50 %).** Im Fall der Bedarfswerte gemäß DIN V 4108-6/4701-10 liegen die Abweichungen im Bereich zwischen +5 und -45 %. Bei Niedrigenergiegebäuden mit einem Bedarfswert kleiner als ca. 70 kWh/m²Wfl.a liegen damit die DIN V 4108-6/4701-10 Bedarfswerte leicht unter dem Verbrauch. Demnach würde das Rechenverfahren nach DIN V 4108-6/4701-10 die Verbrauchswerte, insbesondere im Bereich von ca. 70 kWh/m²a deutlich besser abbilden als die DIN V 18599. Da jedoch die DIN V 18599-Umrechnungsgleichung in

⁹ Norm-Energiebedarf: Bedarf berechnet nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 (bzw. ähnliche Verfahren)

Abbildung 3 nach [Loga et al., 2019] nur auf wenigen Beispielrechnungen basiert, sollte diese nochmals statistisch überprüft werden.

Auch [Ackermann, 2019] kommt aber in Bezug auf die DIN V 18599-Abweichungen zu teilweise ähnlichen Ergebnissen wie [Loga et al., 2019]. Auch hier wird festgestellt, dass die Bedarfsberechnungen nach DIN V 18599 deutlicher von den Verbrauchswerten abweichen als mit dem Verfahren nach DIN V 4108-6/4701-10.

Alle Literaturquellen haben jedoch eines gemeinsam: **Die Einsparungen einer energetischen Sanierung werden durch die aktuellen Rechenverfahren signifikant überschätzt, wie das folgende Beispiel zeigt:**

Wird ausgehend von einem teilsanierten Zustand mit einem Endenergiebedarf von 250 kWh/m²a eine energetische Sanierung durchgeführt, die zu einer Halbierung des Energiebedarfs (d. h. 125 kWh/m²a) führt, so ergeben sich rechnerisch Einsparungen von 125 kWh/m²a. Die im Mittel zu erwartende tatsächlich messbare Einsparung auf Basis der Umrechnungsgleichungen aus [Loga et al., 2019] beträgt jedoch nur 76 kWh/m²a (DIN V 4108-6/4701-10)¹⁰ bzw. sogar nur 73 kWh/m²a (DIN V 18599).¹¹

Das Beispiel zeigt, dass in diesem Fall also **nur ca. 60 %** der rechnerisch ermittelten Einsparungen tatsächlich erzielt werden könnten.

Auch für **Nichtwohngebäude** lassen mehrere Studien,¹² die in [BBSR, 2017] zusammengefasst wurden, den Schluss zu: je höher der Energiebedarf der Nichtwohngebäude, desto weiter unterschreitet der Energieverbrauch den Energiebedarf. Dabei liegt der Verbrauch im Schnitt zwischen **13 und 31 %** unter dem Bedarf. Damit kann die bei Wohngebäuden gewonnene Erkenntnis, dass bei älteren, unsanierten Gebäuden der Bedarf über dem Verbrauch liegt, auch für die in den Studien untersuchten Nichtwohngebäude bestätigt werden.

3.2 Indikative Modellrechnungen

Basierend auf den Erkenntnissen der Literaturanalyse wird in diesem Exkurs der Einfluss von wesentlichen, aber ggf. vermeidbaren Abweichungen durch aktuelle Standard-Randbedingungen evaluiert und die Größenordnungen der Abweichungen des Energiebedarfs gem. des GEG-Berechnungsverfahrens nach DIN V 18599 am Beispiel eines Einfamilienhauses¹³ ermittelt. Dabei wurde sowohl ein teilsaniertes¹⁴ Ausgangszustand mit einem Gas-Brennwertkessel als auch eine energetische Sanierung (Dach, Fenster, Fassade) mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe berücksichtigt.

Tabelle 2 zeigt die untersuchten Variationen der Standardwerte, die in der Untersuchung berücksichtigt wurden (Untergrenze = MIN, Mittlere Annahme = AV, Obergrenze = MAX).

¹⁰ $250 \cdot 0,77 + 125 \cdot 0,94 = 76 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

¹¹ $250 \cdot 0,70 - 125 \cdot 0,82 = 73 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

¹² IWU, 2014; Oschatz, 2014; Lammers, 2014

¹³ Einfamilienhaus gem. Loga et al., 2015: EFH_F (1969-78) mit $A_N = 194 \text{ m}^2$, $A_{NGF} = 173 \text{ m}^2$, $A/V_e = 0,91$
Teilsaniertes Einfamilienhaus: Gas-Brennwertkessel, $H'_T = 0,50$

Saniertes Einfamilienhaus: Luft-Wärmepumpe, $H'_T = 0,29$

¹⁴ Ein baujahrestypischer Ersatz von Bauteilen (z. B. Fenster und Dach) mit dem jeweils gültigen Mindestenergiestandards zum Installationszeitpunkt wurde berücksichtigt.

Tabelle 2

Standardwert-Variationen, Einfamilienhaus (1969-78) mit Fensterlüftung

Standardwert-Kategorie	EFH Standardwert GEG bzw. DIN V 18599	Untergrenze (MIN)	Mittlere Annahme (AV)	Obergrenze (MAX)
Leitungslängen im unbeheizten Bereich ¹⁵	Heizen/ Warmwasser: 165 m / 66 m	0 m / 0 m ¹⁶	50 m / 30 m ¹⁷	165 m / 66 m
Heizbetriebseinstellung	teilsaniert: VL/RL = 70/55 °C saniert: VL/RL = 45/35 °C ¹⁸	- 5 K	+ 5 K ¹⁹	+ 10 K
Solltemperatur	20°C	teilsaniert: 18 °C saniert: 19°C	teilsaniert: 19 °C saniert: 22°C ²⁰	23°C
Teilbeheizung	25 % mitbeheizte Flächen ²¹	teilsaniert: 50 % saniert: 30 %	teilsaniert: 30 % saniert: 15 % ²²	teilsaniert: 10 % saniert: 0 %
Luftwechsel	teilsaniert: 0,79 1/h saniert: 0,60 1/h ²³	0,14 1/h ²⁴	0,24 1/h ²⁵	teilsaniert: 0,79 1/h saniert: 0,60 1/h
Verschattung	Geringe Verschattung ²⁶	Geringe Verschattung	20° Horizontverschattung ²⁷	40° Horizontverschattung ²⁸
Klimastandort	Potsdam	Freiburg	Potsdam	Oberstdorf

¹⁵ Leitungslängen im unbeheizten Bereich, Standard-Leitungslängen gem. GEG nach DIN V 4701-10: 2003-08 beziehen sich auf die gewählte Gebäudegeometrie und auf die Art des Verteilnetzes „Etagenring“.

¹⁶ Wärmeerzeuger und alle Leitungen im beheizten Bereich, keine Warmwasserzirkulation

¹⁷ Konservative Abschätzung für typische Heiz- und Warmwasserleitungslängen im ungeheizten Bereich

¹⁸ Saniertes Einfamilienhaus mit Luftwärmepumpe; Anmerkung: Es wurde für die Luft-Wärmepumpe nicht die mit Fußbodenheizung üblichen 35/28°C gewählt, da bei Sanierungen eine nachträgliche Installation einer Fußbodenheizung meist nicht möglich/sinnvoll ist.

¹⁹ Abschätzung zur Berücksichtigung der üblichen, nicht optimalen Heizungseinstellung

²⁰ Experteneinschätzung in Anlehnung an ZVSHK, 2014 für das teilsanierte Einfamilienhaus (19°C, energiekostensparendes Heizen) und das sanierte Einfamilienhaus (22°C, Komfortheizen).

²¹ DIN V 18599-10:2018: Anteil mitbeheizter Flächen EFH: $a_{tb} = 0,25$; MFH : $a_{tb} = 0,15$

²² Experteneinschätzung für das teilsanierte Einfamilienhaus (30% => höhere Teilbeheizung um Energiekosten zu sparen) und das sanierte Einfamilienhaus (15% => geringe Teilbeheizung, z. B. nur in Schlafzimmern [Komfortaspekt im Vordergrund]).

²³ Fensterlüftung; Standardwerte variieren nach Sanierungsstand aufgrund der unterschiedlichen Infiltrationsverluste (teilsaniert: 0,79 1/h, saniert: 0,60 1/h)

²⁴ Notwendiger Mindestluftwechsel zur Gewährleistung des baulichen Feuchteschutzes (DIN 1946-6)

²⁵ Offermann und von Manteuffel, 2018: Studie zur Bestimmung des energetisch wirksamen Luftwechsels bei einer kontrollierten natürlichen Lüftung mit Fensterlüftern.

²⁶ „Bei den Berechnungen (...) ist (...) ein Verschattungsfaktor von 0,9 zugrunde zu legen (...)“ (GEG:2020: § 25)

„Für übliche Anwendungsfälle kann $F_s = 0,9$ gesetzt werden.“ (DIN V 18599-2:2018)

²⁷ Typischer Horizont-Verschattungswert für Vorstädte (durchschnittlich dichte Bebauung, Verschattungsfaktor von 0,58 (Süd) bzw. 0,59 (Ost/West))

²⁸ Horizont-Verschattungswert für Innenstadtlage (sehr dichte Bebauung, Verschattungsfaktor 0,28 (Süd) bzw. 0,44 (Ost/West))

Abbildung 4 und Abbildung 5 und die Tabelle 3 und Tabelle 4 zeigen die Standardwert-Variationen für das teilsanierte Einfamilienhaus (mit Gas-Brennwertkessel) und für das sanierte Einfamilienhaus (mit Luft-Wasser-Wärmepumpe). Dabei wird zunächst der Standardwert DIN V 18599²⁹ bzw. die Festlegungen des Gebäudeenergiegesetzes,³⁰ gefolgt von angepassten mittleren Standardwerten (Average = „AV“) gezeigt. Darüber hinaus wurden die realistischen Bandbreiten in den MIN- und MAX-Varianten berechnet. Die Festlegung der angepassten Standardwerte und der Bandbreiten basiert auf Literaturangaben und Einschätzung der Autoren (siehe Fußnoten der Tabelle 2).

²⁹ DIN V 18599-10:2018

³⁰ GEG:2020

Abbildung 4

Standardwert-Variationen für Einfamilienhaus, 1969-78, teilsaniert, Gas-BW, Quelle: Guidehouse

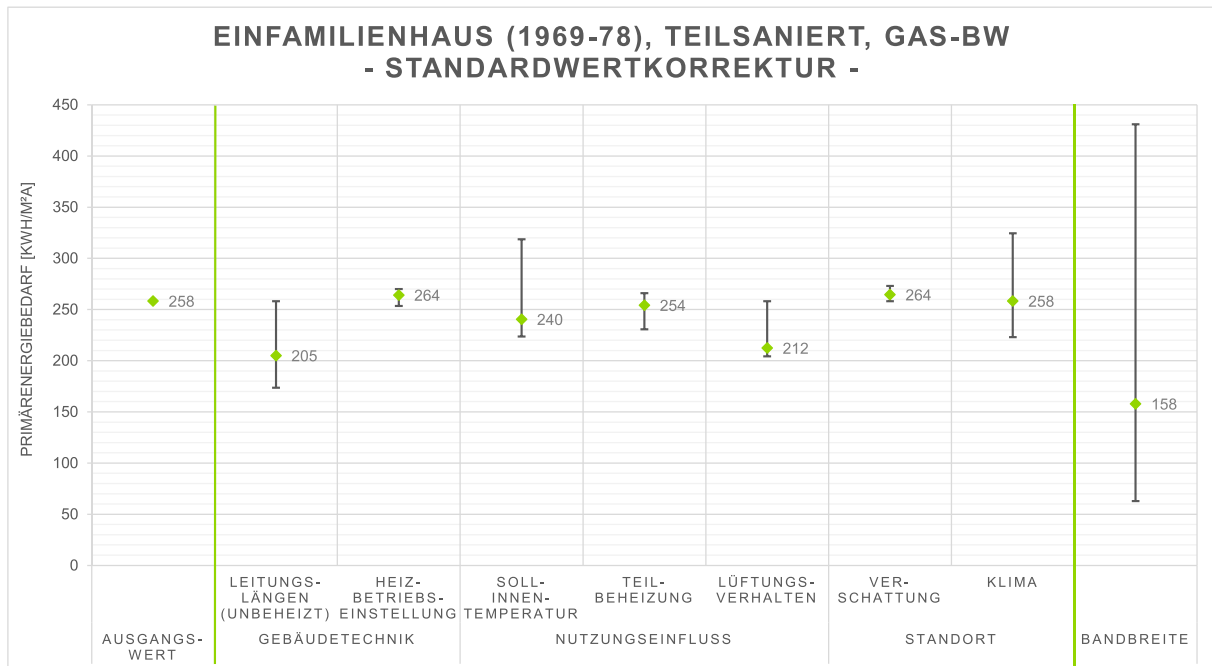


Tabelle 3

Standardwert-Variationen für Einfamilienhaus, 1969-78, teilsaniert, Gas-BW, Quelle: Guidehouse

	Aus-gangswert	Gebäudetechnik		Nutzungseinfluss			Standort		Bandbreite
		Leitungs-längen (unbeheizt)	Heiz-betriebs-einstellungen	Soll-Innen-temperatur	Teil-beheizung	Lüftungs-verhalten	Ver-schattung	Klima	
MIN	-	174	254	224	231	204	258	223	63
AV	258	205	264	240	254	212	264	258	158
MAX	-	258	270	319	266	258	273	325	431
MIN-Abweichung	-	-33 %	-2 %	-13 %	-11 %	-21 %	0 %	-14 %	-76 %
AV-Abweichung	-	-21 %	+2 %	-7 %	-2 %	-18 %	+2 %	0 %	-39 %
MAX-Abweichung	-	0 %	+5 %	+23%	+3 %	0 %	+6 %	+26 %	67 %

Abbildung 5

Standardwert-Variationen für Einfamilienhaus, 1969-78, saniert, Luft-WP, Quelle: Guidehouse

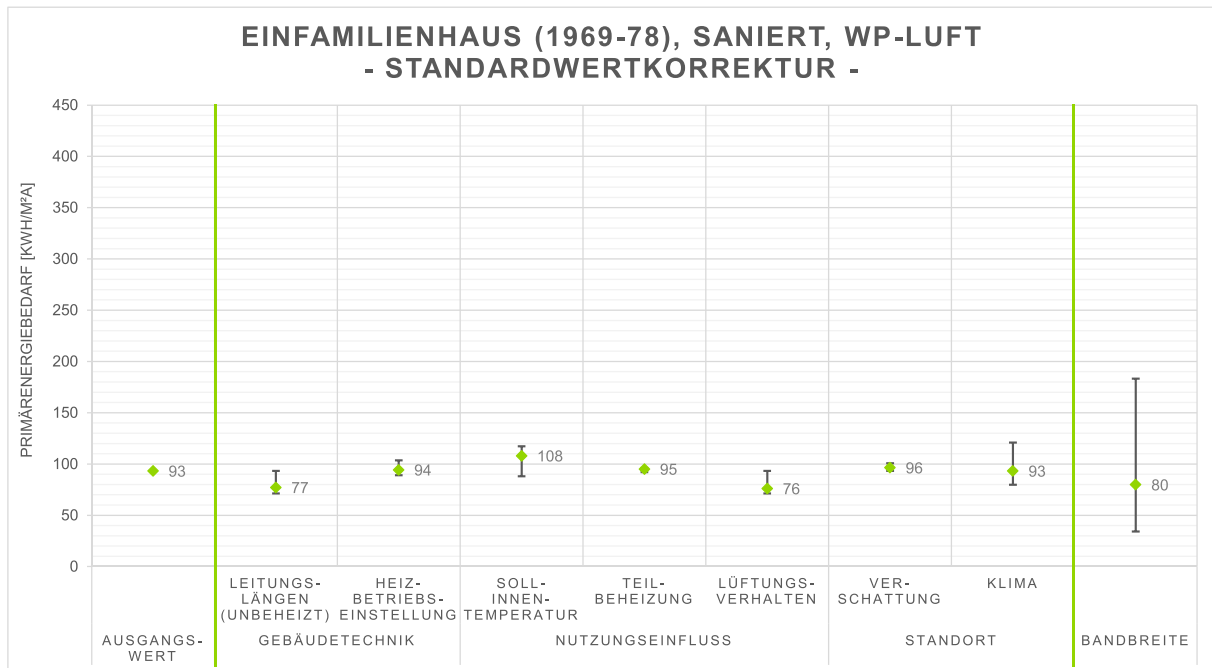


Tabelle 4

Standardwert-Variationen für Einfamilienhaus, 1969-78, saniert, Luft-WP, Quelle: Guidehouse

	Ausgangswert	Gebäudetechnik		Nutzungseinfluss			Standort		Bandbreite
		Leitungslängen (unbeheizt)	Heizbetriebs-einstellungen	Soll-Innen-temperatur	Teil-beheizung	Lüftungs-verhalten	Ver-schattung	Klima	
MIN	-	71	89	88	92	71	93	80	34
AV	93	77	94	108	95	76	96	93	80
MAX	-	93	104	117	96	93	101	121	183
MIN-Abweichung	-	-23 %	-5 %	-6 %	-1 %	-23 %	0 %	-14 %	-63 %
AV-Abweichung	-	-17 %	+1 %	+16 %	+2 %	-18 %	+3 %	0 %	-14 %
MAX-Abweichung	-	0 %	+11 %	+26 %	+3 %	0 %	+8 %	+30 %	+97 %

Bei Betrachtung der mittleren angepassten Standardbedingungen (AV) sind sowohl beim teilsanierten Einfamilienhaus mit Gas-Brennwertkessel als auch beim sanierten Gebäude mit Luft-Wasser-Wärmepumpe deutliche Abweichungen des Primärenergiebedarfskennwertes zu erkennen.

Bei den berücksichtigten Variationen der Randbedingungen konnte eine Bandbreite des Energiebedarfskennwertes von ca. **25 % bis 200 %**³¹ im Vergleich zu dem normativen Standard-Bedarf ermittelt werden. Allein die Variation des Klimastandorts bedingt im sanierten Zustand eine Bandbreite von 86 % bis 130 %.³²

Die Variationen, die zu der stärksten Verminderung der angepassten Standardwerte führen, sind die Leitungslängen Anpassung und das Lüftungsverhalten. Die größten positiven Abweichungen ergeben sich beim sanierten Gebäude durch die Anpassung der Raumtemperatursollwerte. Die Anpassung der Teilbeheizung, Betriebseinstellung und der Verschattung führen zu einer Bedarfssteigerung im Bereich von jeweils ca. 5 %.

Im teilsanierten Ausgangszustand ergibt sich bei Berücksichtigung aller angepassten Standardwerte eine **Gesamt-Abweichung von -39 %**.³³ Diese liegt etwas über den Werten von [Loga et al., 2019], jedoch noch klar innerhalb der typischen Bandbreite.³⁴

Bei dem energetisch *sanierten Gebäude* ist durch die Wärmepumpe ein Vergleich mit den Literaturwerten auf Basis des Endenergiebedarfs schwieriger. Dem Primärenergiebedarf von 90 kWh/m²a liegt ein Endenergiebedarf Strom von 50 kWh/m²a zu Grunde³⁵. Für einen Vergleich mit den Werten aus [Loga et al., 2019], die sich auf den Endenergiebedarf für konventionelle Energieträger beziehen, muss eine Umrechnung vorgenommen werden. Unter Berücksichtigung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Ausgangsfall und der Annahme einer Erzeugeraufwandszahl eines effizienten Brennwertkessels bzw. einer Fernwärmeversorgung ergibt sich ein Vergleichsendenergiebedarfskennwert von ca. 100 kWh/m²a.³⁶

Bei den vorliegenden Berechnungen des *sanierten Gebäudes* mit Wärmepumpe ergibt sich bei Berücksichtigung aller angepassten Standardwerte eine **Gesamt-Abweichung von -14 %**,³⁷ die somit genau der Abweichung aus [Loga et al., 2019] entspricht.^{38,39}

Hinsichtlich der prognostizierten Einsparungen durch die energetische Sanierung (teilsanierter zu sanierter Zustand) beträgt die Primärenergieeinsparung gemäß Standardberechnung nach DIN V 18599 165 kWh/m².⁴⁰ Bei Berücksichtigung der angepassten mittleren

³¹ Bandbreite MIN und MAX (MIN, teilsaniert: 63/258 = ca. 25 % und MAX, saniert: 183/93 = ca. 200 %)

³² Beispielhaft wurden die Standorte Freiburg (MIN) und Oberstdorf (MAX) betrachtet, um die mögliche Bandbreite von Klimavariationen in Deutschland abzubilden.

³³ Ohne Berücksichtigung der Leitungslängen Anpassung reduziert sich die Gesamt-Abweichung von -39 % auf -20 %.

³⁴ ca. -25 % bei einem Endenergiekennwert von ca. 195 kW/m²Wfl.a (258 / 1,1 / 1,2 = 195), die typische Bandbreite reicht bei 195 kW/m²Wfl.a bis etwa -50 %; vgl. **Error! Reference source not found.**

³⁵ Primärenergiefaktor Strom: 1,8

³⁶ Endenergiebedarf WP (Strom) * Jahresarbeitszahl der WP / Gesamtaufwandszahl des Wärmeerzeugers: 50 kWh/m²a * 2,35 / 1,0 / 1,2 = 100 kWh/m²a

³⁷ Ohne Berücksichtigung der Leitungslängen Anpassung steigt der angepasste Verbrauch von -14 % auf +2 % über die Standardwerte.

³⁸ ca. -14 % bei einem Endenergiekennwert von 100 kWh/m²a (gemäß in Fußnote 46 beschriebener Umrechnung); vgl. **Error! Reference source not found.**

³⁹ Hinweis: Bei den Berechnungen wurde keine Nachrüstung einer mechanischen Lüftungsanlage (z. B. Abluftanlage oder Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung) berücksichtigt. Eine mechanische Lüftungsanlage hätte zur Folge, dass die negative Abweichung beim Lüftungsverhalten im sanierten Gebäude (-21 %) wegfallen würde.

⁴⁰ 258 - 93 = 165 kWh/m²a

Standardbedingungen (AV) sinkt die Einsparung auf 78 kWh/m^2 , d. h. auf weniger als die Hälfte ab.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der indikativen Modellrechnungen, dass die berücksichtigten mittleren Anpassungen der Standardwerte zu einer deutlich besseren Übereinstimmung der Bedarfswerte mit den Verbrauchswerten und damit der durch eine Sanierung erzielbaren Einsparungen führen würden.

4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Mehrere Studien belegen erhebliche systematische Abweichungen zwischen dem realen Energieverbrauch und dem berechneten Energiebedarf⁴¹ von Gebäuden (vgl. Kapitel 3.1). Dabei steigt die Bedarfsüberschätzung mit abnehmendem Wärmeschutz. Im Gegensatz dazu wird der Bedarf bei hocheffizienten Gebäuden häufig eher unterschätzt. Dies führt dazu, dass die auf Basis der Standard-Rechenverfahren ermittelten Einsparungen von Sanierungen erheblich überschätzt werden. Es ist daher dringend zu empfehlen, die Standard-Berechnungen entsprechend anzupassen.

Davon ausgehend, dass die gültigen Rechenverfahren grundsätzlich richtig sind, verbleiben als mögliche Fehlerquelle die Randbedingungen. In Kapitel 3.2 wurden indikative Sensitivitätsberechnungen durchgeführt, um die Auswirkungen verschiedener Änderungen der Standard-Randbedingungen zu quantifizieren. Im Wesentlichen basierend auf dieser Grundlage werden im Folgenden Vorschläge für eine Anpassung der Standard-Randbedingungen der DIN V 18599-10 und des GEG gegeben.

Da die vorliegenden Untersuchungen lediglich indikativen Charakter haben, sollten die daraus abgeleiteten und im Folgenden beschriebenen Anpassungsvorschläge durch weiterführende Untersuchungen untermauert bzw. verbessert werden.

Empfehlungen zur Anpassung der Standardwerte der DIN V 18599 und des GEG

1. Standard-Raumtemperatur

Die Standard-Raumsolltemperaturen in der DIN V 18599-10 für den Heizfall (z. B. derzeit 20°C für Wohngebäude) sollten auf ein realistischeres Niveau angepasst werden.

Entsprechend der in der Literatur beschriebenen Abhängigkeit der Differenz zwischen Endenergiebedarf und -verbrauch, sollten die als Randbedingung angesetzten Raumtemperaturen für Wohngebäude zudem abhängig vom Wärmeschutzniveau des Gebäudes (z. B. der Hüllqualität ($H'T$)) sein.

Als Orientierungswert könnte 22°C, entsprechend der optimalen Komfortraumtemperatur gemäß nationalem Anhang der DIN EN 15251 dienen (vgl. auch [IWU, 2016]). Nicht zuletzt auch aufgrund der hohen Heizkosten besteht jedoch insbesondere bei ineffizienteren Gebäuden ein größerer Anreiz, erheblich niedrigere Raumtemperaturen einzustellen.^{42, 43} Anpassungsvorschlag: Variable Standard-Raumsolltemperatur als lineare Funktion des Wärmeschutzes. Wertebereich von 18°C (bei sehr geringem Wärmeschutz, z. B. $H'T > 1,0$) bis 22°C (hoher Wärmeschutz, z. B. $H'T < 0,3$).

2. Teilbeheizungsfaktor

Ein weiterer wesentlicher Faktor für den Energiebedarf eines Wohngebäudes ist die mitbeheizte Fläche.⁴⁴ Nach DIN V 18599-10 werden die Standardwerte der Teilbeheizungsanteile mit ANGF mitbeheizt / ANGF = 25% für EFH bzw. 15% für MFH vorgegeben.

Analog den zuvor beschriebenen Überlegungen zur Raumtemperatur sollte auch der teilbeheizte Bereich in Abhängigkeit vom Wärmeschutz des betrachteten Gebäudes gewählt werden.

⁴¹ Obwohl sich die Studien auf Berechnungen nach dem Normensatz DIN V 4701-10/DIN V 4108-6 beziehen, ist jedoch davon auszugehen (und wird teilweise auch angedeutet), dass dies auch für das Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 zutrifft.

⁴² ZVSHK, 2014

⁴³ Sunikka-Blank und Galvin, 2012

⁴⁴ d. h. ein bestimmter Prozentsatz der Gesamtfläche wird nicht aktiv beheizt, sondern nur durch die anderen Flächen mitbeheizt

Anpassungsvorschlag: Variable Teilbeheizungsanteile als lineare Funktion des Wärmeschutzes. Wertebereich von 15% bei EFH bzw. 10% bei MFH (hoher Wärmeschutz, z. B. $H'T < 0,3$) bis 40% bei EFH bzw. 30% bei MFH (bei sehr geringem Wärmeschutz, z. B. $H'T > 1,0$).

3. **Energetisch wirksamer Luftwechsel**

Der aktuell in der DIN V 18599 berücksichtigte energetisch wirksame Luftwechsel für Fensterlüftung ist nicht durch qualifizierte Untersuchungen abgesichert und entspricht nicht der mittleren Lüftungspraxis. Demnach beträgt der gemäß DIN V 18599 anzusetzende Luftwechsel 0,6 bis 0,8 1/h. Bei normalem Lüftungsverhalten⁴⁵ im Winter ist dieser Ansatz gemäß [Offermann und von Manteuffel, 2018] signifikant zu hoch. Durch realistische Luftwechselannahmen bei Fensterlüftung würde der Energiebedarf des über Fenster belüfteten Gebäudebestandes erheblich realistischer eingeschätzt werden.

Anpassungsvorschlag: Reduktion des Luftwechsels bei ausschließlich über Fenster belüfteten Gebäuden/Zonen auf 0,24 1/h.⁴⁶

4. **Standortspezifische Klimadaten**

Das Klima hat nicht nur einen Einfluss auf den Nutzenergiebedarf, sondern vor allem auch auf die Effizienz von Luftwärmepumpen und die Erträge von Solaranlagen. Insbesondere für die Entwicklung klimagerechter Gebäudekonzepte ist es daher wichtig, die aktuellen lokalen Klimadaten zu berücksichtigen.

Anpassungsvorschlag: Anstelle des deutschlandweit einheitlichen Klimastandorts Potsdam sollten die aktuellen Referenzklimadaten des Gebäudestandorts verwendet werden und in die Berechnungen zum Nutzenergiebedarf, der Jahresarbeitszahl der Luft-Wärmepumpe und der Erträge von Solaranlagen einfließen. Die entsprechenden Datensätze des Deutschen Wetterdienstes (DWD) liegen vor und sind in den meisten Berechnungsprogramme bereits implementiert.

5. **Verschattung**

Als Standardwert für Verschattung ist gem. GEG §25(2) „...für das zu errichtende Gebäude und das Referenzgebäude ein Verschattungsfaktor von 0,9 zugrunde zu legen, soweit die baulichen Bedingungen nicht detailliert berücksichtigt werden.“ Diese Formulierung ist zumindest unklar und führt sicherlich dazu, dass in den meisten Fällen der Wert für eine geringe Verschattung von 0,9 angesetzt wird. Diese entspricht überwiegend jedoch nicht der Realität und führt zu hohen solaren Gewinnen und damit zu einer Unterschätzung des Heizwärmebedarfs, die bei sehr effizienten Gebäuden erheblich sein kann:

Anpassungsvorschlag: Für die Verschattung sollten realistische Mittelwerte (z. B. typische Vorstadt mit 20° Horizontverschattung; F_s ca. 0,6⁴⁷) als Standardwert vorgegeben werden.

Darüber hinaus gibt es weitere Standardwerte, die zwar bei der Berechnung individuell angepasst werden sollten, jedoch mutmaßlich häufig nicht angepasst werden.

6. **Leitungslängen bei Wohngebäuden**

Die Standard-Leitungslängen des Referenzgebäudes nach DIN V 4701-10: 2003-08 (gem. GEG, Anlage 1) erscheinen zu hoch.

Anpassungsvorschlag: Hierzu könnten im Referenzgebäude realitätsnähere Werte vorgegeben werden (z. B. lediglich 30-50 % der aktuellen Standardwerte). Dies würde bauliche Optimierungen und kompaktere Gebäudetechnik anreizen und einen mutmaßlich häufigen Fehler bei den Energieberechnungen beseitigen.

⁴⁵ Ohne dauerhafte Kippstellung; Anmerkung: Durch den geringen Luftwechsel ist Luftqualität bei fenstergelüfteten Gebäuden in der Regel erheblich schlechter als in mechanisch gelüfteten Gebäuden.

⁴⁶ vgl. Offermann und von Manteuffel, 2018

⁴⁷ Orientierungsabhängig

Weitere Randbedingungen, die zu einer systematischen Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch bzw. zu Fehlregelungen der Klimaschutzbemühungen führen.

7. **Bauausführung und Betriebsweise**

Bei den Berechnungen wird immer von einer optimalen Bauausführung und Betriebsweise ausgegangen. Dies entspricht jedoch nicht der Realität. Nicht optimierte Betriebseinstellungen führen insbesondere bei sensiblen Systemen wie z. B. Luft-Wasser Wärmepumpen zu erheblichen Effizienzeinbußen. Für raumluftechnische Anlagen wurde ein freiwillig anwendbares Qualitätssicherungsverfahren in [Stange et al., 2020] entwickelt. Anpassungsvorschlag für Neubauten: Einführung eines Bonus/Malus im Falle einer durchgeführten/ nicht durchgeführten Qualitätssicherung und Betriebsoptimierung in Anlehnung an [Offermann et al., 2022].

8. **Warmwasser-Zirkulationssystem beim Referenz-Einfamilienhaus**

Bei einer guten Planung ist es einfach möglich, zumutbar und gängige Praxis bei Einfamilienhäusern auf ein Warmwasser-Zirkulationssystem zu verzichten. Aktuell wird jedoch ein Warmwasser-Zirkulationssystem im GEG-Referenzgebäude berücksichtigt.⁴⁸ Dadurch wird der Energiebedarf des Referenzgebäudes künstlich erhöht, was insbesondere bei zukünftig strengeren Vorgaben an das Anforderungsniveau dazu führt, dass die Planer an anderer Stelle Effizienzmaßnahmen einsparen können. Anpassungsvorschlag: Ergänzung in GEG Anhang 1, zu Punkt 7: „...Verteilssystem in Einfamilienhäusern ohne Zirkulation“.

Der individuelle Energiebedarf von Gebäuden ist sehr stark von den Randbedingungen und dem Nutzungsverhalten abhängig. Bei den indikativen Berechnungen der vorliegenden Untersuchung konnte für die dort berücksichtigten Variationen der Randbedingungen eine Bandbreite des Energiebedarfs von 25 % bis ca. 200 % im Vergleich zu den normativ nach DIN V 18599 ermittelten Standard-Bedarfswerten ermittelt werden.

Auch der aktuell auf EU Ebene diskutierte Vorschlag für die neue Europäische Gebäuderichtlinie (EPBD) sieht vor, dass die „Mitgliedstaaten sicher stellen sollen, dass der typische Energieverbrauch repräsentativ für die tatsächlichen Betriebsbedingungen für jede relevante Typologie ist und das typische Nutzerverhalten widerspiegelt.“⁴⁹ Unter bestimmten Voraussetzungen, z. B. zur Identifikation des Handlungsbedarfs bei den sog. worst performing buildings⁵⁰, erscheint es sogar sinnvoll, ggf. den messbaren Verbrauch als Kenngröße heranzuziehen. Dies böte auch die Möglichkeit, i. d. R. kostenneutrale, aber wirksame Suffizienzmaßnahmen (bspw. die Reduzierung der Raumsolltemperatur um 1°C durch die Nutzer) geeignet zu honorieren.

Da letztendlich die tatsächlichen und nicht die errechneten CO₂-Emissionen entscheidend für den Klimaschutz sind, sollte die Berechnung so realitätsnah wie möglich gestaltet und schnellstmöglich angepasst werden.

⁴⁸ GEG:2020, Anlage 19

⁴⁹ vgl. COM(2021) 802 final:2021, Annex I

⁵⁰ vgl. COM(2021) 802 final:2021, Art. 9 Minimum Energy Performance Standards (MEPS)

Quellenverzeichnis

- Ackermann, Thomas (2019): *Energiebedarf versus Energieverbrauch oder Theorie versus Realität*. Unter Mitarbeit von FH Bielefeld.
- BBSR (2017): *Quantifizierung von Rebound-Effekten bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden/Bundesliegenschaften* (2017).
- Bundesgesetzblatt (2020): *Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze, Gebäudeenergiegesetz (GEG)*. GEG.
- DIN V 18599 Beiblatt 1:2010: *Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich*.
- DIN V 18599-10:2018: *Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten*.
- DIN V 18599-2:2018: *Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen*.
- European Commission (2021): *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast) (EPBD)*. COM(2021) 802 final, vom 15.12.2021.
- Golde, Michael (2016): *Rebound-Effekte*. Empirische Ergebnisse und Handlungsstrategien. Unter Mitarbeit von Umweltbundesamt.
- IWU (2014): *Teilenergiekennwerte von Nichtwohngebäuden (TEK)*. Querschnittsanalyse der Ergebnisse der Feldphase (2014).
- IWU (2016): *Warum sind sie denn so verschieden? Energiebedarf und tatsächlicher Verbrauch – Abgleich zwischen Theorie und Praxis* (2016).
- Knissel, Jens; Alles, Roland; Born, Rolf; Loga, Tobias; Müller, Konny; Stercz, Verena (2006): *Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten*. zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln.
- Loga, Tobias; Großklos, Marc; Müller, André; Swiderek, Stefan; Behem, Guillaume (2021): *MOBASY-Teilbericht - Realbilanzierung für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich* (2021).
- Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2015): *Deutsche Wohngebäudetypologie*. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. 2. Aufl. Darmstadt.
- Loga, Tobias; Stein, Britta; Hacke, Ulrike; Müller, André; Großklos, Marc; Born, Rolf et al. (2019): *Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen*. BBSR-Online-Publikation Nr. 04/2019. Institut Wohnen und Umwelt (IWU); Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Online verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-04-2019-dl.pdf;jsessionid=3C4D2C203CA45830A29D2CBFAFED13B9.live11294?__blob=publicationFile&v=2.pdf, abgerufen am 16.12.2021.
- Offermann, Markus; Gräf, David; Oschatz, Bert; Mailach, Bettina; Köhler, Benjamin; Braungardt, Sibylle et al. (2022): *Anpassung der SRI-Systematik für eine Einführung in Deutschland*. Unter Mitarbeit von Guidehouse, ITG Dresden, Öko-Institut, FIW München und adelphi.
- Offermann, Markus; von Manteuffel, Bernhard (2018): *Studie zur Bestimmung des energetisch wirksamen Luftwechsels bei einer kontrollierten natürlichen Lüftung mit Fensterlüftern*. Ecofys Germany GmbH.

- Oschatz, Bert (2009): *Erarbeitung eines Leitfadens zum Abgleich Energiebedarf - Energieverbrauch*. Abschlussbericht. Stuttgart (Forschungsinitiative Zukunft Bau).
- Stange, Helena; Schiller, Heiko; Mai, Ronny; Weiß, Uta; Münter, Daniel (2020): *HANDBUCH Das Qualitätssiegel Raumluftechnik*. Qualitätssicherungsprozess und Energielabel für energieeffiziente Raumluftechnik (2020).
- Sunikka-Blank, Minna; Galvin, Ray (2012): *Der Prebound-Effekt: die Schere zwischen errechnetem und tatsächlichem Energieverbrauch*. In: Building Research & Information, 40. Jg., Nr. 3, S. 260–273.
- ZVSHK (2014): *Ausrichtung der Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik an den Bedürfnissen der Nutzer im Wohnungsbau unter Zugrundelegung von Wohnkonzepten* (2014).

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet:
www.umweltbundesamt.de
[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Bernhard von Manteuffel, Guidehouse

Markus Offermann, Guidehouse

Stand: Juli/2022