

Untersuchungsbericht:

Energiebedarf versus Energieverbrauch oder Theorie versus Realität



**Prof. Dr.-Ing. Thomas Ackermann
Fachhochschule Bielefeld
Campus Minden
Institut für Bauphysik und Baukonstruktion**

Datum: 25. Oktober 2019

Zusammenfassung:

Die Angabe der Energiemenge, die in Gebäuden zum Beheizen und zur Bereitstellung von Trinkwarmwasser erforderlich ist, zählt zu den wesentlichen Angaben für die Bewertung von Bauwerken. Entsprechend den in Deutschland geltenden energiesparrechtlichen Vorschriften (Energieeinsparverordnung – EnEV bzw. künftig Gebäudeenergiegesetz – GEG) kann diese auf der Basis des Energiebedarfs oder auf der Basis des Energieverbrauchs erfolgen. Der Energiebedarf wird rechnerisch unter Verwendung standardisierter Randbedingungen ermittelt, während der Energieverbrauch aus realen Ablesedaten bestimmt wird. Anhand von sieben Wohngebäuden wird im vorliegenden Untersuchungsbericht ermittelt, ob es zu Unterschieden zwischen dem rechnerischen Bedarf und dem realen Verbrauch kommt. Die Bandbreite der untersuchten Gebäude erstreckt sich dabei vom Passivhaus bis zum Gebäude aus dem Jahr 1928 und vom Einfamilienhaus bis zum Mehrfamilienwohngebäude mit 22 Wohneinheiten, womit ein repräsentativer Querschnitt der Wohngebäudestruktur in Deutschland abgebildet wird. Da es gemäß den gesetzlichen Vorgaben zulässig ist, den Energiebedarf nach zwei unterschiedlichen Rechenansätzen zu führen, wurde der Energiebedarf von allen untersuchten Gebäuden nach diesen beiden Varianten ermittelt.

Wie die Auswertung der Ergebnisse von Energiebedarf und Energieverbrauch bei den untersuchten Gebäuden zeigt, liegen die Energiemengen, die aus den Bedarfsberechnungen resultieren, im Vergleich zum Verbrauch um bis zu 173 % höher. Außerdem macht die Untersuchung deutlich, dass Berechnungen des Energieverbrauchs unter Verwendung von DIN V 4108-6 (in Verbindung mit DIN V 4701-10) dichter an den tatsächlichen Verbrauchszahlen liegen als die Verfahren unter Verwendung von DIN V 18599. Betrachtet man außerdem die Einstufungen der verschiedenen Gebäude in die Energieeffizienzklassen, ermittelt nach den beiden Nachweismethoden des Energiebedarfs und nach dem Energieverbrauch, dann erstreckt sich das daraus resultierende Spektrum auf eine Bandbreite von bis zu fünf Klassen. Insbesondere ältere Gebäude werden nach den Bedarfsermittlungen schlechter eingestuft als nach den Verbrauchsanalysen. Daraus folgt wiederum, dass ältere Immobilien bei einem Bedarfsbezug unter Wert angeboten werden.

Um aufzuzeigen, woher die Unterschiede zwischen standardisierten Bedarfs- und realen Verbrauchswerten kommen können, werden im vorliegenden Bericht Auswer-

tungen aus Langzeitmessungen der Temperaturen in 59 Wohngebäuden und die korrespondierenden Außendaten mit den theoretischen Berechnungsansätzen nach Norm verglichen. Damit soll der Unterschied zwischen Theorie und Praxis aufgezeigt werden.

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen des Energiebedarfs bzw. des Energiebedarfsausweises
- 3 Analyse von Energiebedarfsberechnungen und Vergleich mit Angaben aus Langzeitmessungen
- 4 Bestimmung des Energieverbrauchs
- 5 Untersuchung zum Unterschied Energiebedarf bzw. Energieverbrauch am Beispiel realer Gebäude
- 6 Analyse der Untersuchungen in Bezug auf die Energieeffizienzklassen der Endenergie
- 7 Resümee
- 8 Literaturverzeichnis

1 Einleitung

Gemäß § 17 Absatz 1 der Energieeinsparverordnung – EnEV, zuletzt geändert am 24. Oktober 2015, bzw. § 79 Absatz 1 des Kabinettsentwurfs zum Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG) [1] vom 23. Oktober 2019 gilt:

„Energieausweise sind auf der Grundlage des berechneten Energiebedarfs (Energiebedarfsausweis) oder auf der Grundlage des erfassten Energieverbrauchs (Energieverbrauchsausweis) auszustellen. Es ist zulässig, sowohl den Energiebedarf als auch den Energieverbrauch anzugeben.“

Wenn die energetische Qualität von Gebäuden nach EnEV [2] bzw. GEG auf zweierlei Möglichkeiten nachgewiesen werden kann, dann stellen sich folgende Fragen:

- a) Gibt es Unterschiede zwischen den beiden Varianten und worin bestehen sie?
- b) Wie sinnvoll sind die Ergebnisse?

Um diesen Fragen nachzugehen, sollen mit den vorliegenden Ausführungen die unterschiedlichen Ansätze von Energiebedarfs- und Energieverbrauchsausweisen dargestellt und an einer Reihe von Wohngebäuden nachgewiesen werden. Um die Unterschiede zwischen den theoretischen Berechnungen nach Norm mit realen Verbräuchen zu verdeutlichen, werden verschiedene der standardisierten Berechnungsparameter mit Messwerten realer Untersuchungen verglichen. Die Echtzeitangaben resultieren aus Langzeitmessungen der Innenraumverhältnisse an 59 Wohngebäuden, verteilt über das gesamte Bundesgebiet. Darüber hinaus werden in die Vergleiche zwischen Theorie und Praxis die in unmittelbarer Nähe zu den Standorten gehörenden Außenklimawerte, ermittelt vom Deutschen Wetterdienst (DWD), einbezogen.

2 Grundlagen des Energiebedarfs bzw. des Energiebedarfsausweises

Wie in § 79 Absatz 1 des Entwurfs zum Gebäudeenergiegesetz (GEG) dargestellt, wird der Energiebedarf eines Gebäudes rechnerisch mittels der Simulation des energetischen Verhaltens bestimmt. Die erforderlichen Untersuchungen beruhen auf standardisierten Randbedingungen, unabhängig vom Nutzerverhalten und den örtli-

chen meteorologischen Verhältnissen. Der Betrachtungszeitraum erstreckt sich dabei über ein Jahr und beinhaltet im Wesentlichen folgende Komponenten:

- Wärmeverluste über wärmeübertragende Bauteile (Transmissionswärmeverluste)
- Lüftungswärmeverluste durch Undichtheiten in der Gebäudehülle sowie durch das natürliche Lüftungsverhalten der Nutzer oder mechanische Be- und Entlüftungsanlagen
- Energie zur Aufbereitung von Trinkwarmwasser
- Energie zum Betrieb gebäudetechnischer Anlagen und Einrichtungen
- Wärmegewinne durch solare Einstrahlung in das Gebäude
- Interne Wärmegewinne durch Prozesse im Gebäude oder durch gebäudetechnische Anlagen und Einrichtungen

Um die Simulation durchführen zu können, müssen jedoch zunächst die Randbedingungen – sowohl die klimatischen und nutzerbedingten als auch die bautechnischen – definiert werden. Dies ist erforderlich, da beispielsweise die Wärmeverluste über wärmeübertragende Bauteile (Wände, Fenster, Dächer oder Kellerbauteile) zwar einerseits von deren Dämmqualität abhängen, andererseits aber auch von der Differenz $\Delta\theta$ zwischen der Außen- und Innenlufttemperatur; d. h., je größer der Temperaturunterschied $\Delta\theta$ zwischen innen und außen ist, umso größer ist die Wärmemenge, die durch ein Bauteil hindurchströmt, und umso größer sind die Wärmeverluste. Daraus folgt, dass der zu ermittelnde Wärmebedarf eines Gebäudes sowohl durch die anzusetzende Innentemperatur θ_i als auch durch den Temperaturverlauf der Außenluft beeinflusst wird. Bei der Betrachtung der Lüftungswärmeverluste kommt neben $\Delta\theta$ noch ein weiterer Einfluss hinzu: Wie soll das Lüftungsverhalten der Nutzer eines Gebäudes in die Berechnungen einfließen? Denn je höher der nutzerbedingte Austausch warmer Innenluft gegen kalte Außenluft während der Heizperiode in einem Gebäude ist, umso größer ist die Energiemenge, die zum Erwärmen der Frischluft benötigt wird. Weitere Einflussgrößen, die den Energiebedarf eines Gebäudes beeinflussen und die vor einer Simulation festgelegt werden müssen, sind die Auswirkung von Wärmebrücken oder die Menge an Trinkwarmwasser, die in einem Gebäude bereitgestellt werden muss. Da die Fülle dieser Randbedingungen den Rahmen der Rechtsvorschriften zum energiesparenden Wärmeschutz sprengen würde, nimmt der Gesetzgeber in der EnEV bzw. dem GEG Bezug auf bautechnische Regeln, wie z. B. DIN-Normen. Aus der Notwendigkeit, Berechnungsrandbedingungen zur Simulation

von Gebäuden zu definieren, folgt das nächste Problem: Soll der Energiebedarf eines Gebäudes eine neutrale, von den örtlichen und nutzerspezifischen Verhältnissen unabhängige Aussage darstellen, mit deren Hilfe Gebäude bewertet und verglichen werden können? Oder soll er eine Information über die zu erwartende tatsächlich erforderliche Energiemenge für Heizung und Trinkwarmwasser beinhalten? Die diesbezüglichen Festlegungen in den verschiedenen Versionen der Energieeinsparverordnung (EnEV), aber auch im Entwurf zum GEG gingen und gehen davon aus, dass der Energiebedarf eine Aussage über die energetische Qualität eines Gebäudes macht, und zwar unabhängig vom jeweiligen Standort und dem Verhalten seiner Nutzer.

Zur Berechnung des Jahres-Primär- bzw. des Jahres-Endenergiebedarfs von Wohngebäuden stehen gemäß dem Entwurf zum GEG § 20 Absatz 1 und 2 zwei Verfahren zur Verfügung: DIN V 4108-6:2003-06 [3] in Verbindung mit DIN V 4701-10:2003-08 [4] (zeitlich begrenzt bis zum 31. Dezember 2023) oder DIN V 18599-2:2018-09 [5]. Da in DIN V 4108-6:2003-06 Anhang D.3 und in DIN V 18599-10:2018-09 Tabelle 4 [6] unterschiedliche nutzerspezifische und bautechnische Randbedingungen angesetzt werden, führt dies – auch bei identischen Gebäuden – zu einem unterschiedlichen Ergebnis für den Energiebedarf. So geht beispielsweise der Rechenansatz nach DIN V 4108-6 während der gesamten Heizzeit, also der Zeit, in der einem Raum oder Gebäude Energie zugeführt werden muss, um die erforderliche Innentemperatur aufrecht zu erhalten, von einer Raumlufttemperatur von $\theta_i = 19 \text{ °C}$ aus; dagegen ist gemäß DIN V 18599-10 für diesen Zeitraum eine Raumlufttemperatur von $\theta_i = 20 \text{ °C}$ anzusetzen. Diese Abweichung führt zu unterschiedlichen Wärmeströmen und damit zu unterschiedlichen Wärmeverlusten. In Hinblick auf die zu verwendenden Außenlufttemperaturen ist zwar bei beiden Nachweismethoden das gleiche Klima anzusetzen, das jedoch, wie bereits angemerkt, nicht das ortsspezifische Klima, sondern ein sogenanntes Referenzklima mit dem Standort Potsdam ist. Mit anderen Worten: Bei einer Berechnung des Jahres-Primär- und des Jahres-Endenergiebedarfs von Gebäuden zum Eintrag in den Energieausweis werden fiktive Innen- und Außenlufttemperaturen herangezogen.

Daraus folgt, dass die Angaben in Energiebedarfsausweisen keine Aussage über die zu erwartende Energiemenge machen, die für ein Gebäude zum Beheizen und für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser erforderlich ist, sondern einen auf standardisierte Randbedingungen bezogenen Wert darstellen. Damit kann dann eine Klassifi-

zierung der energetischen Qualität von Gebäuden vorgenommen werden, und das unabhängig vom jeweiligen Standort und Nutzerverhalten.

3 Analyse von Energiebedarfsberechnungen und Vergleich mit Angaben aus Langzeitmessungen

Der wesentliche Unterschied zwischen Energiebedarf und Energieverbrauch liegt, wie in Abschnitt 2 bereits dargelegt, darin, dass der Bedarf eine rechnerische Größe darstellt, die auf der Basis standardisierter Randbedingungen ermittelt wurde, während der Verbrauch die Energiemenge widerspiegelt, die an Messstellen erfasst oder aus Unterlagen zur Kostenverteilung entnommen werden kann. D. h., während der Energiebedarf auf der Basis standardisierter Randbedingungen ermittelt wird und damit unabhängig ist von einer ganzen Reihe technischer Details, von der handwerklichen Ausführung des realen Gebäudes sowie vom örtlichen Klima und dem Verhalten seiner Nutzer, gehen eben diese Einflüsse in den Energieverbrauch ein.

Dementsprechend beeinflussen folgende orts- und objektspezifische Faktoren, die nicht oder nur als Standardwerte in die Berechnung des Energiebedarfs eingehen, den Energieverbrauch wesentlich:

- **Raumlufttemperatur:** Die Temperatur der Raumluft ist neben dem individuellen Empfinden der Nutzer auch der wärmetechnischen Qualität der Außenbauteile geschuldet. Dabei geht die als behaglich eingestufte Raumtemperatur einerseits auf das subjektive Empfinden zurück, hängt andererseits aber auch von weiteren Faktoren, wie z. B. der Luftfeuchtigkeit im Raum oder Luftzugerscheinungen, ab. Des Weiteren beeinflusst auch die Oberflächentemperatur der raumumschließenden Bauteile die Innentemperatur, die vom Nutzer eingestellt wird. Dieser Zusammenhang ist auf den Umstand zurückzuführen, dass sich bei schlecht gedämmten Bauteilen ein erhöhter Wärmestrom von der Hautoberfläche der Bewohner oder Nutzer eines Gebäudes hin zu den niedrig temperierten Umfassungsbauteilen einstellt. Dieser oft auch als Zugscheinung deklarierte Sachverhalt führt dazu, dass die Temperatur in Räumen mit schlecht gedämmten Bauteilen oder mit Wärmebrücken höher gewählt wird, um das Gefühl von Behaglichkeit zu erzeugen. Diese persönliche Wahrnehmung, die die Heizgewohnheiten der Nutzer stark steuert, geht zwar in den Energieverbrauch, nicht aber in den Energiebedarf ein.

Wie unterschiedlich die Raumtemperaturen θ_i in Gebäuden ausfallen können, ist Bild 2 zu entnehmen. Dargestellt werden dort Mittelwertzyklen der Raumlufthtemperatur θ_i in 33 Gebäuden unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher technischer Ausführung im Zeitraum vom 1. Januar 2011 bis 31. Dezember 2015. Die Messstellen waren über das gesamte Bundesgebiet verteilt (s. Bild 1). Genauere Angaben zu den Standorten und den Temperaturverteilungen sind im Forschungsbericht [7] enthalten.

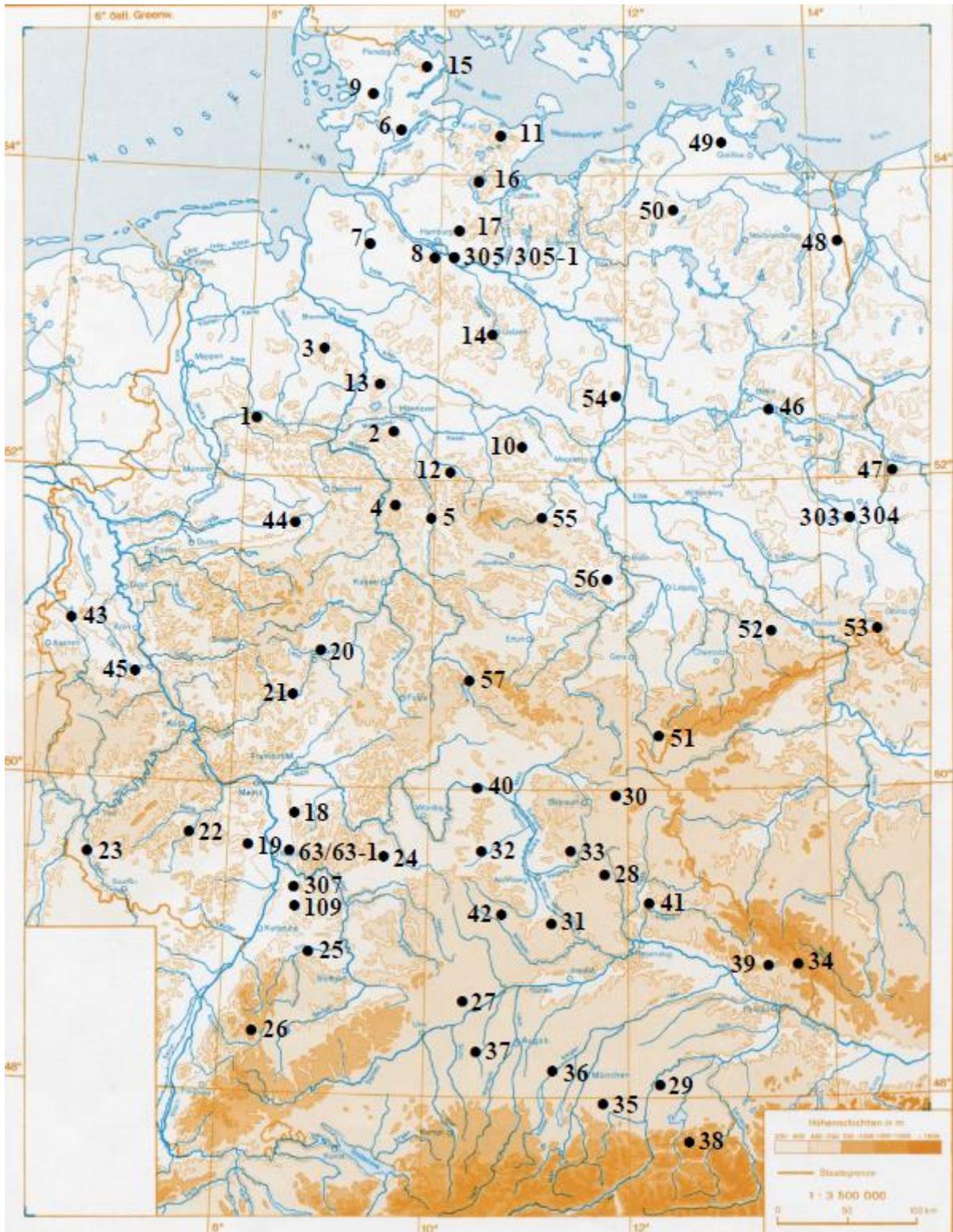


Bild 1: Standorte der untersuchten Gebäude und der Gebäude aus Langzeitmessungen

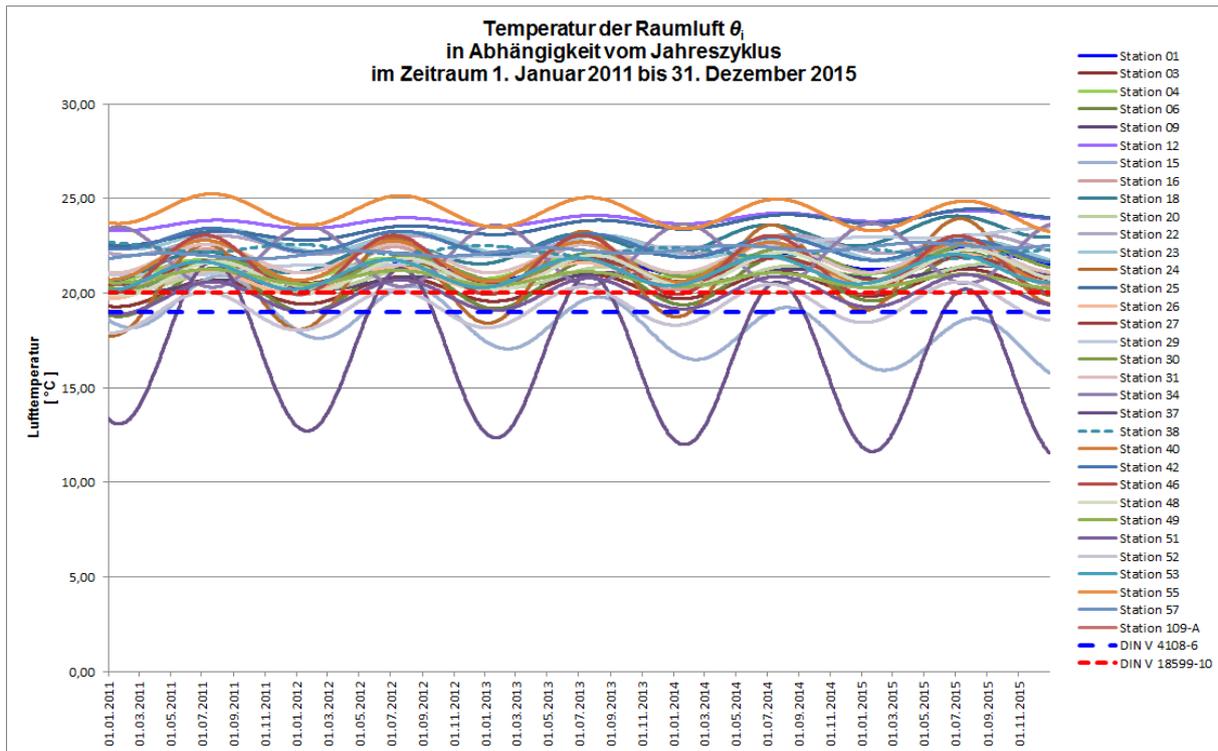


Bild 2: Mittelwertkurven der Raumluffttemperatur θ_i von 33 Gebäuden

Setzt man als Heizzeit die Spanne vom 1. September eines Jahres bis zum 30. April des darauffolgenden Jahres an, lägen die zeitlichen Mittelwerte der Innenraumtemperaturen über den fünfjährigen Betrachtungszeitraum bei den untersuchten 33 Gebäuden – also eine waagerechte Linie analog den Auslegungstemperaturen nach DIN V 4108-6 bzw. DIN V 18599-10 – zwischen $\bar{\theta}_i = 14,9 \text{ °C}$ und $\bar{\theta}_i = 23,9 \text{ °C}$. Bildet man dann, unter Vernachlässigung der Messstellen 15 und 37, da diese beiden durch eine Kohle- bzw. Holz-Einzelraumfeuerung beheizt werden, aus den verbleibenden 31 Mittelwerten $\bar{\theta}_i$ den Median $\bar{\bar{\theta}}_i$ der Raumtemperatur aus allen betrachteten Gebäuden in der Heizzeit, so liegt dieser bei $\bar{\bar{\theta}}_i = 21,3 \text{ °C}$ und damit deutlich über den normativen und damit baurechtlichen Randbedingungen zur Berechnung des Energiebedarfs.

Erschwerend kommt bei der Betrachtung der Raumluffttemperaturen hinzu, dass bei der Ermittlung des Energiebedarfs während der Heizzeit von einer konstanten Temperatur $\theta_i = 19 \text{ °C}$ bzw. $\theta_i = 20 \text{ °C}$ ausgegangen wird, wohingegen die tages- und jahreszeitlichen Schwankungen der Außentemperatur auch die Raumluffttemperatur und damit den Energieverbrauch eines Gebäudes beeinflussen. Die realen Abweichungen sind sogar noch größer, als dies die Darstellungen in Bild 2 erwarten lassen, da die in Bild 2 dargestellten Regressionskurven zwar jahreszeit-

liche Schwankungen erkennen lassen, die tatsächlichen täglichen Ausschläge der Temperatur aber zugunsten der Vergleichbarkeit der Kurvenverläufe ausgeblendet wurden. Dieser Zusammenhang zwischen Messwerten und Regressionskurven wird für einen Wohnraum im Gebäude am Standort 109 exemplarisch in Bild 3 dargestellt.

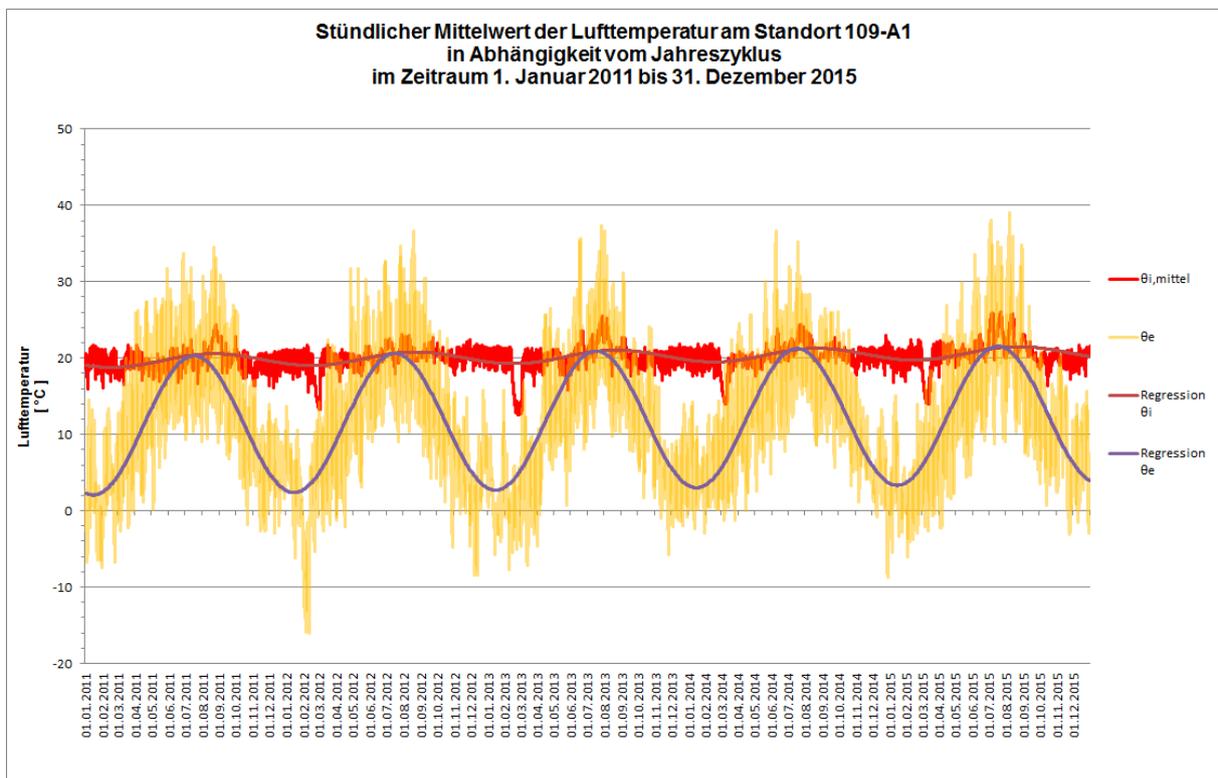


Bild 3: Verlauf der Innen- und Außenlufttemperatur am Standort 109

In Bild 3 ist zu sehen, dass die Schwankungen des Temperaturverlaufs zwar um die Mittelwert- oder Regressionskurve herum liegen, aber trotzdem deutliche Spitzen zu höheren oder niedrigeren Raumtemperaturen zu verzeichnen sind. Hierbei kommt auch das Nutzerverhalten wieder ins Spiel, denn bei intensivem Lüften, das insbesondere während der Winterzeit zum Abführen der Feuchte in den Räumen empfehlenswert ist, wird auch die Innentemperatur abgesenkt, wodurch ein vermehrter Heizwärmeverbrauch entsteht. Deutlich sichtbar wird intensives Lüften in Bild 3 anhand der Spitzen niedriger Raumlufttemperatur. Umgekehrt können Zyklen vergleichsweise hoher Außenlufttemperatur auch zu einem vermindertem Heizaufwand führen. Diese Effekte werden bei den standardi-

sierten Randbedingungen der Energiebedarfsberechnung durch den dabei anzusetzenden linearen Verlauf der Raumlufthtemperatur jedoch nicht berücksichtigt.

- **Heizzeit:** Eine weitere Abweichung zwischen Energiebedarf und Energieverbrauch liegt in der Bestimmung der Heizzeit. Beim Energiebedarf stellt die Heizzeit die Periode dar, bei der einem Gebäude so lange Wärme zugeführt werden muss, bis die Transmissionswärme- und Lüftungswärmeverluste geringer sind als die solaren und internen Wärmegewinne. Auch hier trifft zu, dass zur Bedarfsberechnung standardisierte Randbedingungen der Innen- und Außenlufttemperatur, für das Lüftungsverhalten der Nutzer und für die Wirkung von Wärmebrücken zu berücksichtigen sind. Außerdem wird von einer sachgemäßen Ausführung des zu untersuchenden Gebäudes ausgegangen. Der Energieverbrauch geht dagegen vom Gegenteil standardisierter Randbedingungen, den tatsächlichen Sachverhalten, aus: Entsprechend dem Anforderungsprofil der Nutzer einer Wohnung oder eines Gebäudes liegt die Raumlufthtemperatur über oder unter dem Mittelwert nach Norm, fließen tages- und jahreszeitliche Schwankungen, der Einfluss von Wärmebrücken, die Heizungsart (Radiatorenheizung, Fußbodenheizung, o. Ä.) und die handwerkliche Ausführung der wärmeübertragenden Bauteile in das Heizverhalten und damit in den Energieverbrauch ein. Auch die Lage, Orientierung oder Verschattung von Gebäuden oder Räumen in Gebäuden beeinflussen die sich einstellenden Raumtemperaturen, ein Aspekt, der beim Bedarf nur als standardisierte Größe Eingang findet. Besonders deutlich ist der Effekt der Orientierung und Verschattung in einem Raum in Bild 2 bei der Regressionskurve am Standort 34 zu erkennen. Der gezeigte Kurvenverlauf ist antizyklisch zu den anderen untersuchten Räumen und Gebäuden, d. h., die Messwerte am Standort 34 zeigen während der Sommerperiode niedrigere Raumlufthtemperaturen im Vergleich zur Winterzeit. Darüber hinaus kann man in Bild 2 den Einfluss der Wärmeverteilung im Raum bei Holz- bzw. Kohle-Einzelraumheizung an den Standorten 15 und 37 anhand der hohen Amplituden der Regressionskurven erkennen, während der Effekt einer gleichmäßigen Raumtemperatur, hervorgerufen durch eine Fußbodenheizung, aus den Regressionskurven der Standorte 12 und 25 ersichtlich wird.
- **Außenlufttemperatur:** Aufgrund des physikalischen Zusammenhangs, dass der Wärmestrom durch wärmeübertragende Bauteile, d. h. die Wärmeverluste, von der Differenz aus Innen- und Außenlufttemperatur abhängt, stellt auch der zeitli-

che Verlauf der Außenlufttemperatur einen wesentlichen Bestimmungsfaktor der Wärmeverluste dar. Da sich die erforderliche Energiemenge nach EnEV bzw. GEG auf den Zyklus eines Jahres bezieht, stellten sich bei der Wahl des Standardjahres zwei Fragen:

- a) Welches ist der repräsentative Standort, der den Berechnungen und Untersuchungen zugrunde gelegt wird?
- b) Welches ist das repräsentative Jahr für die Simulation nach Norm und baurechtlichen Vorgaben?

Bei der Wahl des Standortes wurde in den baurechtlichen Vorgaben auf den klimatischen Mittelpunkt der Bundesrepublik zurückgegriffen. Dieser lag vor der Wiedervereinigung in Würzburg, danach in Potsdam; d. h., die Berechnungen des Energiebedarfs von Gebäuden erfolgen auf der Basis der Außenlufttemperaturen am Standort der Station des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Potsdam. Damit wird erreicht, dass alle Gebäude auf einen einzigen Standort kalibriert werden und die Berechnungsergebnisse als Werkzeug zur Beschreibung ihrer energetischen Qualität verwendet werden können.

Um zu vermeiden, dass die Berechnungen nach EnEV bzw. GEG auf einem einzelnen realen Jahr basieren, wurde eine Hilfsgröße entwickelt, die zwar nur die Temperaturverteilung vom 1. Januar bis 31. Dezember widerspiegelt, aber auf der Basis von 20 realen Jahren bestimmt wurde, das sogenannte Testreferenzjahr (TRY). Den TRY-Daten, veröffentlicht im Jahr 2011, liegen Mess- und Beobachtungsdaten aus den Jahren 1988 bis 2007 zugrunde. Das Testreferenzjahr wird ermittelt, indem man aus den Werten der 20 Jahre eine Mittelwertkurve des zeitlichen Temperaturverlaufs entwickelt und dann Sequenzen von Messdaten aus den Stundenwerten der verschiedenen Jahre so um diese Regressionskurve anordnet, dass die statistischen Abweichungen möglichst gering sind. Daraus folgt, dass TRY-Daten einen künstlichen Verlauf auf der Grundlage realer Messwerte darstellen, das heißt aber auch, dass TRY-Daten als Stundenwerte vorliegen. Da jedoch eine Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden mit Außenlufttemperaturen auf der Basis von Stundenwerten als zu aufwendig eingestuft wurde, erfolgte zur Vereinfachung die Bildung von Monatsmittelwerten. Die Unterschiede zwischen den Regressionskurven aus „realen“ Stundenwerten der Außenlufttemperatur an 33 Standorten und der aus den TRY-Daten abgeleiteten Kurve von Monatsmittelwerten ist in Bild 4 dargestellt. Wie bereits in den voranstehenden

Punkten ausgeführt, wird bei der Berechnung des Energiebedarfs mit den vereinfachten Zyklen der Außentemperatur nach der EnEV bzw. dem GEG der Einfluss aus den „realen“, zeitlich veränderlichen Temperaturverläufen nicht berücksichtigt. Demgegenüber werden das tages- und jahreszeitliche Auf und Ab der Außenlufttemperaturen und die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Heizgewohnheiten der Nutzer im Energieverbrauch sehr wohl erfasst.

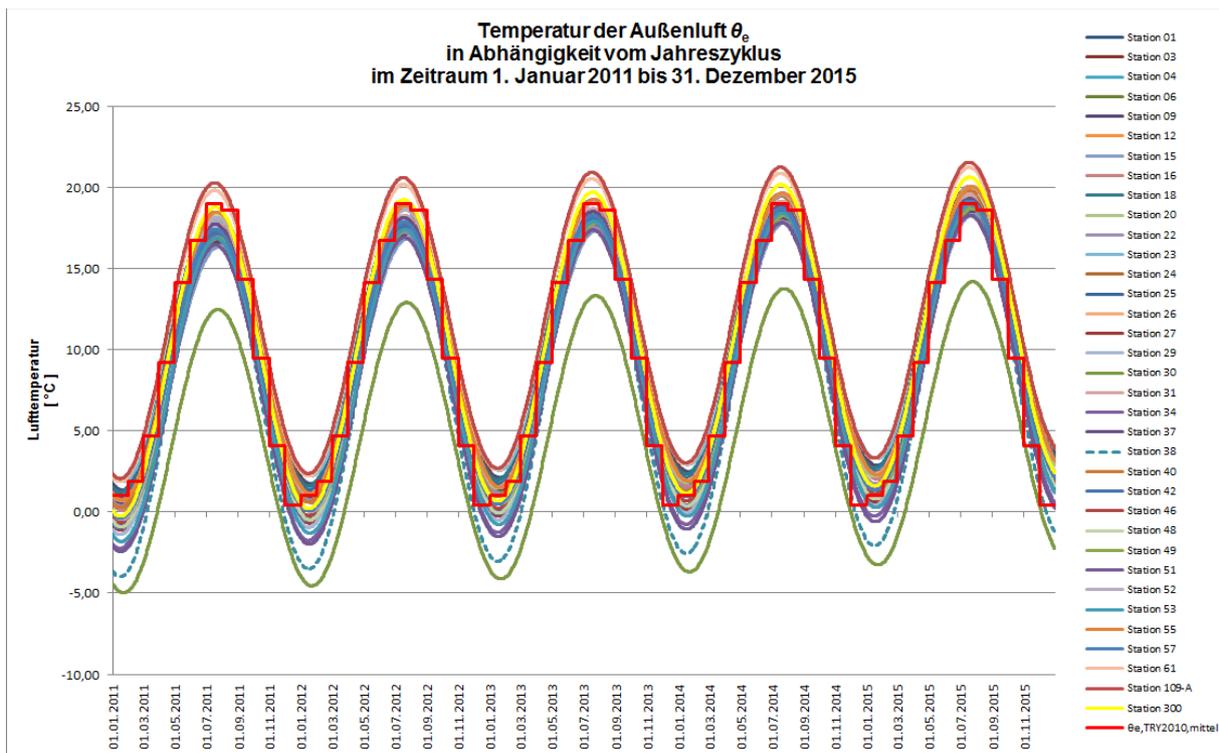


Bild 4: Mittelwertkurven der Außenlufttemperatur θ_e von 33 Gebäuden

- Raumnutzung:** Ein weiterer Aspekt, der zu Unterschieden zwischen den Ergebnissen von Energiebedarfs- bzw. Energieverbrauchsberechnungen führt, liegt in dem Umstand, dass nicht alle Räume einer Wohnung oder eines Gebäudes gleich genutzt und gleich beheizt werden. Räume zum Wohnen, Schlafen, Küche oder Bad liegen zwar innerhalb einer Wohnung oder eines Gebäudes, werden jedoch in der Regel auf unterschiedliche Raumtemperaturen beheizt. Diese Unterschiede sind exemplarisch in Bild 5 dargestellt. Darin wird deutlich, dass es signifikante Unterschiede bei den Temperaturen in unterschiedlich genutzten Räumen gibt. Während beispielsweise im dargestellten Wohnbereich die minimale Raumlufttemperatur bei ca. $\bar{\theta}_{i,min} = 17,1 \text{ °C}$ liegt, beträgt das Temperaturminimum im Schlafzimmer etwa $\bar{\theta}_{i,min} = 11,3 \text{ °C}$.

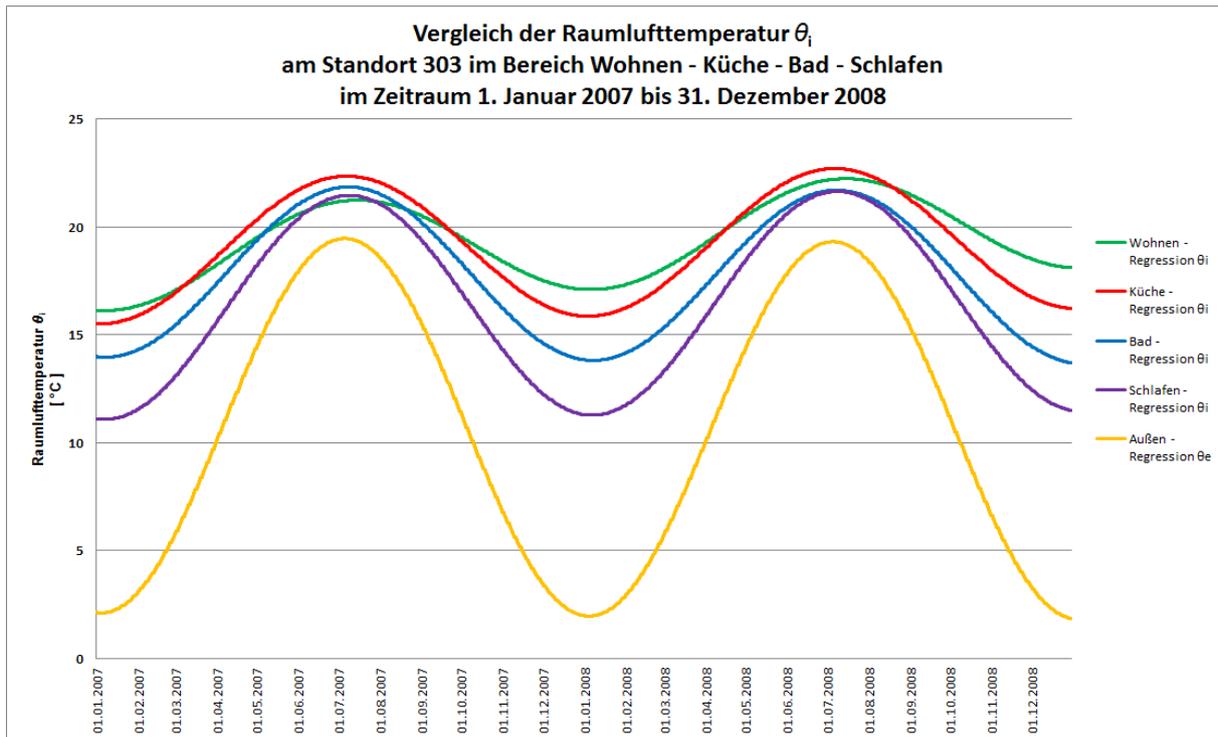


Bild 5: Innentemperatur θ_i in Räumen mit unterschiedlicher Nutzung

Der Unterschied zwischen dem Energiebedarf und dem Energieverbrauch wird noch verstärkt durch die normativen Festlegungen zu den Raumlufttemperaturen, die im Widerspruch stehen zu den realen, nutzungsbedingten Verhältnissen. Während nach DIN V 4108-6 bzw. DIN V 18599-10 beim Energiebedarf von zeitlich konstanten Innentemperaturen ausgegangen wird, fließen in den Energieverbrauch die zeitlich veränderlichen Innentemperaturen ein. Dieses unterschiedliche Herangehen ist in Bild 6 dargestellt. Zu sehen ist hier sowohl der Verlauf der zeitlich konstanten Werte nach DIN V 4108-6 bzw. DIN V 18599-10 als auch die zeitlich veränderlichen Werte in Räumen mit verschiedener Nutzung. Außerdem kann Bild 6 der Verlauf der Außenlufttemperaturen nach Norm auf der Basis mittlerer monatlicher Werte und der korrespondierenden Daten der realen Außenluftwerte entnommen werden. Bildet man auf der Grundlage dieser Angaben die Differenz zwischen Innen- und Außenlufttemperaturen, die – wie bereits dargelegt – den Wärmestrom durch eine Konstruktion und damit die Wärmeverluste bedingen, dann sind abweichende Ergebnisse zwischen Energiebedarf und Energieverbrauch unabdingbar.

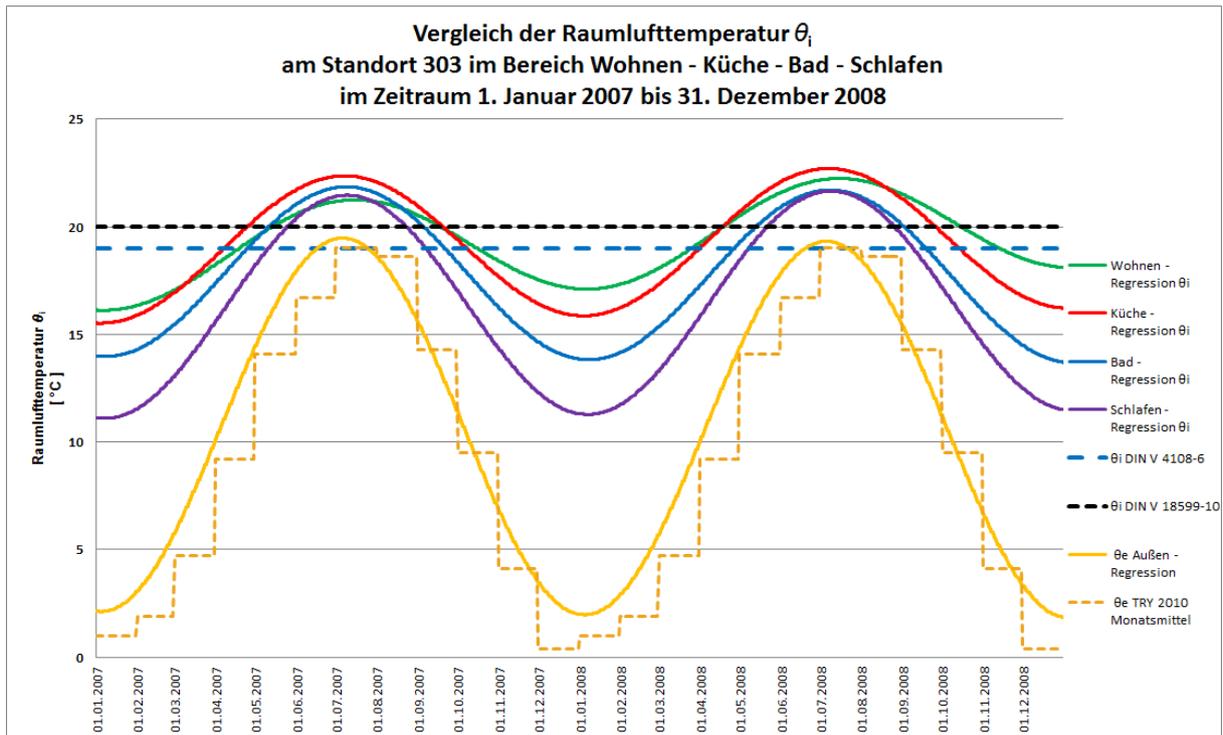


Bild 6: Regressionskurven der Innentemperatur θ_i in Räumen unterschiedlicher Nutzung und der Außentemperatur sowie Kurve der normativen Randbedingungen

- Wärmebrücken, bauliche Ausführung haustechnischer Einrichtungen:** Neben den bisher dargelegten Einflüssen bei der Bestimmung des Energiebedarfs bzw. des Energieverbrauchs sind auch die Auswirkungen aus Wärmebrücken, der bautechnischen Ausführung und den gebäudetechnischen Anlagen und Einrichtungen zu bedenken. Während die Energieverluste aus Wärmebrücken bei der Ermittlung des Energiebedarfs mit pauschalen Werten erfasst werden, geht dieses Phänomen, wie alle anderen Einflüsse auch, beim Energieverbrauch durch das tatsächliche Verhalten des Gebäudes und seiner Nutzer in die Ergebnisse ein. Aber es ist nicht nur das Phänomen standardisierter Werte zur Erfassung von Wärmebrücken welches zu Abweichungen zwischen dem Energiebedarf und dem Verbrauch führt, sondern auch die Tatsache, dass beim rechnerischen Ansatz von Wärmebrücken wesentliche Aspekte von deren physikalischem Verhalten vernachlässigt werden. So geht man bei der Betrachtung von Wärmebrücken davon aus, dass deren Wirkung unter zeitlich konstanten Temperaturrandbedingungen stattfinden. Dadurch wird jedoch das thermische Speichervermögen eines Bauteils, das den Wärmestrom wesentlich bestimmt, vernachlässigt. Schwere, sogenannte thermisch träge Bauteile geben die in ihnen gespeicherte Wärme nur zeitverzögert ab, wenn die Temperaturen an den Oberflächen absinken. Durch

diese Trägheit kühlen die Bauteile nur langsam aus, weil der durchfließende Wärmestrom verringert wird. Während also die Theorie diesen Effekt ignoriert, wirken sich schwere Bauteile in der Wirklichkeit und damit beim Energieverbrauch positiv aus. Ähnlich ist auch die bauliche Ausführung eines Gebäudes und der Zustand gebäudetechnischer Anlagen und Einrichtungen zu bewerten. Bei der rechnerischen Betrachtung von Gebäuden geht man davon aus, dass die bauliche Ausführung den Wunschvorstellungen entspricht. Wie deren Qualität allerdings wirklich ist und ob durch gebäudetechnische Anlagen und Einrichtungen dem Innenraum nicht mehr Wärme zur Verfügung gestellt wird als die Theorie veranschlagt, zeigt sich im Energieverbrauch.

4 Bestimmung des Energieverbrauchs

Gemäß dem Kabinettsentwurf zum GEG § 82 vom 23. Oktober 2019 sind in die Ermittlung des Energieverbrauchs eines Gebäudes die Daten aus mindestens 36 Monaten, einschließlich der jüngsten Ableseperiode, einzubeziehen. Aus diesen Ablesedaten ist dann der mittlere, auf ein Jahr bezogene Energieverbrauch zu bestimmen. Da der Verbrauch, wie im vorherigen Abschnitt dargelegt, auch von der Außenlufttemperatur während des Betrachtungszeitraums abhängt, die Verbrauchsangabe zur Beurteilung eines Gebäudes gemäß EnEV und GEG aber zeit- und ortsunabhängig sein soll, ist gemäß Entwurf GEG § 82 Absatz 3 vom 23. Oktober 2019 der Energieverbrauch für die Heizung einer Witterungsbereinigung zu unterziehen. Dabei werden die mittleren Verbrauchsdaten mit einem ortsspezifischen Klimafaktor K_F [8], veröffentlicht durch den Deutschen Wetterdienst (DWD), multipliziert. So erreicht man, dass der Energieverbrauch eines Gebäudes – wie bereits die Klimadaten bei der Bedarfsberechnung – auf den Referenzstandort Potsdam bezogen wird.

5 Untersuchung zum Unterschied Energiebedarf bzw. Energieverbrauch am Beispiel realer Gebäude

Nach der Darstellung der theoretischen Unterschiede zwischen dem Energiebedarf und dem Energieverbrauch besteht ein wesentlicher Teil des vorliegenden Berichtes darin, anhand realer Gebäude zu ermitteln, ob sich die rechnerischen Ergebnisse (= Bedarf) von den realen Ablesewerten (= Verbrauch) unterscheiden. Zu diesem

Zweck wurde für sieben Gebäude der Energiebedarf sowohl nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 als auch nach DIN V 18599-2 ermittelt und mit dem mittleren, witterungsbereinigten Verbrauch aus den letzten drei Jahre verglichen. Bei der Analyse von Bedarf bzw. Verbrauch wurde nicht auf die in der EnEV bzw. im GEG favorisierte Primärenergie abgehoben, sondern auf die Endenergie. Dieser Bezug wurde gewählt, da es darum geht, einen Vergleich unterschiedlicher Gebäude herzustellen. Anhand dieses Vergleichs soll ermittelt werden, wie hoch die Menge an Energie ist, die einem Gebäude „über die Grundstücksgrenze hinweg“ geliefert werden muss, um die in der Norm festgeschriebene Raumlufttemperatur und die erforderliche Menge an Trinkwarmwasser bereitzustellen – und das unabhängig vom verwendeten Energieträger. Beim Ansatz der Primärenergie würde diese Aussage durch den auf den Energieträger bezogenen Primärenergiefaktor verfälscht werden.

In die Untersuchungen gehen die in Tabelle 1 beschriebenen Gebäude ein. Der jeweilige Standort ist in Bild 1 dargestellt:

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Gebäude

Standort	Gebäudetyp	Baualter	Technische Ausstattung	Bild
63	Einfamilien-Passivhaus	2000	Brennwertheizung, mechanische Be- und Entlüftung mit Wärmetauscher	
63/1	Dreifamilien-Wohngebäude	1928	Niedertemperaturheizung	
109	Einfamilien-Wohnhaus	2009	Brennwertheizung	
304	Einfamilien-Wohnhaus	1997	Brennwertheizung	

305	Einfamilien-Effizienzhaus	2014	Wärmepumpe	
305/1	Einfamilien-Wohnhaus	2007	Wärmepumpe und eine reine Abluftanlage	
307	Mehrfamilien-Wohngebäude (22 Wohneinheiten)	1974	Brennwertheizung	

Wie man Tabelle 1 entnehmen kann, decken die in der Studie untersuchten Gebäude ein weites Feld der baulichen Wirklichkeit ab. Neben Konstruktionen mit einem höheren als dem gesetzlich vorgeschriebenen baulichen Wärmeschutz (Gebäude an den Standorten 63, 109 und 305) enthält der Bericht auch Gebäude mit gebäudetechnischen Anlagen, die nicht auf fossilen Brennstoffen basieren, sondern vollständig über Strom betrieben werden (Gebäude am Standort 305 und 305/1). Die Ergebnisse der Bedarfsberechnungen und der Verbrauchsermittlungen sind in Tabelle 2 als Endenergie in der Einheit kWh/(m²·a) zusammengestellt. Außerdem ist Tabelle 2 zu entnehmen, um welchen Betrag (in %) der Energiebedarf den Energieverbrauch über- oder unterschreitet – insbesondere auch unter Berücksichtigung des rechnerischen Ansatzes.

Tabelle 2: Vergleich Endenergiebedarf bzw. Energieverbrauch an Referenzgebäuden

Standort	Endenergie- bedarf nach DIN V 4108-6 [kWh/(m ² ·a)]	Endenergie- bedarf nach DIN V 18599-2 [kWh/(m ² ·a)]	Endenergie- verbrauch [kWh/(m ² ·a)]	Unterschied Verbrauch / Bedarf nach DIN V 4108-6 [%]	Unterschied Verbrauch / Bedarf nach DIN V 18599-2 [%]
63	28	39	32	-13	22
63/1	225	357	150	50	138
109	91	144	53	72	172
304	130	177	75	73	136
305	13	29	20	-35	45
305/1	17	41	15	13	173
307	222	245	149	49	64

Eine Analyse der Ergebnisse aus Tabelle 2 ergibt folgendes Bild:

- Die Berechnungen des Energiebedarfs nach DIN V 18599-2 führt im Gegensatz zur Berechnung nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 bei den ausgewerteten Wohngebäuden immer zu einem höheren Wert.
- Die Absolutwerte der Abweichungen aus Berechnungen des Energiebedarfs nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 bzw. nach DIN V 18599-2 liegen in der Studie zwischen 11 kWh/(m²·a) beim Gebäude am Standort 63 und 132 kWh/(m²·a) beim Gebäude am Standort 63/1.
- Während der Energiebedarf den Energieverbrauch bei einer Berechnung nach DIN V 4108-6 mit DIN V 4701-10 um bis zu 73 % überschreitet, beträgt die Abweichung des Energiebedarfs vom Energieverbrauch beim Ansatz von DIN V 18599 bis zu 173 %.
- Der Vergleich zwischen dem Energiebedarf nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 bzw. DIN V 18599-2 und dem abgelesenen, d. h. dem tatsächlichen Energieverbrauch, zeigt, dass der Energiebedarf nach DIN V 4108-6 bei

zwei Gebäuden niedriger ist als der Energieverbrauch (Gebäude am Standort 63 und 305). Der Energiebedarf nach DIN V 18599-2 ist aber prinzipiell immer höher als der reale Energieverbrauch.

- Die Unterschiede zwischen der Bedarfsermittlung nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 mit dem Verbrauch schwanken zwischen 4 kWh/(m²·a) beim Gebäude am Standort 63 und 75 kWh/(m²·a) beim Gebäude am Standort 63/1. Die Bandbreite der Abweichungen vom Bedarf nach DIN V 18599-2 und den Verbrauchsdaten liegen zwischen 7 kWh/(m²·a) beim Gebäude am Standort 63 und 207 kWh/(m²·a) beim Gebäude am Standort 63/1.
- Betrachtet man die Unterschiede aus den verschiedenen Berechnungsvarianten zur Bedarfsermittlung bei den einzelnen Gebäuden, dann ergibt sich folgendes Bild: Beim Gebäude am Standort 63/1 liegt das Verhältnis aus dem Vergleich Bedarf / Verbrauch beim Ansatz von DIN V 18599 gegenüber DIN V 4108-6 um einen Faktor von 2,76 höher (also etwa der dreifache Wert). Beim Gebäude am Standort 305/1 ergibt sich sogar ein Faktor 13,3 (ein mehr als 13-facher Wert).

6 Analyse der Untersuchungen in Bezug auf die Effizienzklassen der Endenergie

Für die Bewertung von Gebäuden werden neben der Primärenergie und der Endenergie auch die Energieeffizienzklassen angegeben. Damit soll ein einfacher, bildhafter Vergleich der energetischen Qualität von Gebäuden, analog zu Elektrogeräten und anderen technischen Einrichtungen, erreicht werden.

Wie bereits bei den verschiedenen Ausgaben der EnEV bezieht sich auch das GEG in der Version des Kabinettsentwurfs vom 23. Oktober 2019 bei der Eingruppierung der Energieeffizienzklassen auf die Endenergie eines Gebäudes. Das Augenmerk bei der Auswertung des Endenergiebedarfs bzw. des Endenergieverbrauchs bei den Referenzgebäuden der Studie liegt im Wesentlichen darin zu zeigen, wie groß die Unterschiede bei den untersuchten Gebäuden sind in Hinblick auf die aus der Endenergie resultierende Einstufung in Energieeffizienzklassen. Diese Einstufungen können für die untersuchten Gebäude Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Endenergiebezogene Energieeffizienzklassen der untersuchten Referenzgebäude gemäß Kabinettsentwurf GEG Anlage 9 vom 23. Oktober 2019

Standort	Endenergiebedarf nach DIN V 4108-6 [kWh/m ²]		Endenergiebedarf nach DIN V 18599-2 [kWh/m ²]		Endenergieverbrauch [kWh/m ²]	
63	28	A+	39	A	32	A
63/1	225	G	357	H	150	E
109	91	C	144	E	53	B
304	130	D	177	F	75	B
305	13	A+	29	A+	20	A+
305/1	17	A+	41	A	15	A+
307	222	G	245	G	149	E

Wie die Auswertung von Tabelle 3 zeigt, liegt die Einstufung in Energieeffizienzklassen aus dem berechneten Bedarf bzw. dem abgelesenen Verbrauch bei Gebäuden mit einem sehr hohen baulichen Wärmeschutz und bei Gebäuden mit rein strombasierten gebäudetechnischen Anlagen und Einrichtungen zwischen A+ und A (Gebäude am Standort 63, 305 und 305/1). Bei den anderen untersuchten Gebäuden, die mindestens über eine Brennwertanlage verfügen, erstreckt sich die Spanne über vier Energieeffizienzklassen, mehr oder minder unabhängig vom baulichen Wärmeschutz, z. B. B bis E beim Gebäude am Standort 109. Ähnliches gilt auch für das Gebäude mit dem schlechtesten baulichen Wärmeschutz und der schlechtesten gebäudetechnischen Anlage (Gebäude am Standort 63/1). Auch hier dehnt sich die Bandbreite der Einstufungen von E bis H über vier Energieeffizienzklassen aus. Die größten Unterschiede gibt es beim Gebäude am Standort 304 mit fünf Energieeffizienzklassen.

7 Resümee

Wie die Analyse der Untersuchungen zum Energiebedarf von Gebäuden zeigt, fußen die Berechnungsverfahren auf standardisierten Randbedingungen sowie dem Bezug auf den Referenzstandort Potsdam. In den Energieverbrauch, der auf Ablesedaten oder Abrechnungsunterlagen basiert, fließen dagegen das Nutzerverhalten, die realen Klimaverhältnisse sowie die tatsächliche bauliche und gebäudetechnische Situation ein. Daraus folgt, dass der Energieverbrauch im Vergleich zum Energiebedarf bei Bestandsgebäuden eine objektivere Beurteilung des energetischen Sachverhaltes ermöglicht.

Wie die Auswertung der Berechnungen zum Energiebedarf außerdem deutlich macht, führt die Festlegung in der EnEV bzw. dem GEG dazu, dass mit zwei unterschiedlichen Berechnungsmethoden gearbeitet werden kann. So werden für ein und dasselbe Gebäude Bedarfsergebnisse erzielt, die deutlich voneinander abweichen. Wie die Darstellung in den Tabellen 2 und 3 zeigt, weisen die Bedarfsberechnungen, insbesondere bei Bestandsbauten mit einem weniger guten baulichen Wärmeschutz und möglicherweise älteren gebäudetechnischen Anlagen und Einrichtungen, Ergebnisse auf, die im Vergleich zum Verbrauch zu sehr viel höheren Werten führen. Unterschiede bei der energetischen Bewertung von Gebäuden ergeben sich jedoch nicht nur aus dem Vergleich des theoretischen Bedarfs mit dem realen Verbrauch. Unterschiede ergeben sich vielmehr auch aus dem Vergleich der verschiedenen gemäß Energiesparrecht zulässigen Berechnungsmethoden für den Energiebedarf. Abweichungen hin zu höheren Energiemengen sind generell zu beobachten, wenn der theoretische Energiebedarf nach DIN V 18599 ermittelt wird. Demgegenüber liegen die theoretischen Bedarfsnachweise unter Verwendung von DIN V 4108-6 mit DIN V 4701-10 zwar auch über den Ergebnissen der realen Verbrauchsanalyse, die Unterschiede zwischen Bedarf und Verbrauch sind jedoch deutlich geringer als bei Rechnungen nach DIN V 18599.

Überträgt man die Ergebnisse aus den Energiebedarfsberechnungen bzw. aus den Energieverbrauchsermittlungen auf die nach EnEV bzw. GEG erforderliche Einstufung in Energieeffizienzklassen dann zeigt sich, dass bei Gebäuden mit einem großen Aufwand gebäudetechnischer Anlagen und Einrichtungen eine ähnliche Eingruppierung erfolgt. Bei Gebäuden mit einem durchschnittlichen Einsatz gebäudetechnischer Anlagen und Einrichtungen kann jedoch ein Unterschied von bis zu 5

Klassen auftreten. Insbesondere Bestandsgebäude, deren energetische Qualität auf der Basis des Energiebedarfs ermittelt wird, werden damit als zu schlecht eingestuft. Für Eigentümer von Bestandsbauten führt die Einstufung in eine Energieeffizienzklasse aus Bedarfsberechnungen daher zu einer deutlich schlechteren Bewertung ihres Gebäudes und zu einem wirtschaftlichen Nachteil.

Als Konsequenz aus dem Vergleich von Energiebedarf und Energieverbrauch folgt, dass bei öffentlichen Diskussionen über die energetische Qualität des Gebäudebestandes, die auf den Ergebnissen von Bedarfsberechnungen basieren, ein falsches Bild entsteht. Die reale Energiemenge, die umgesetzt wird – und die zu einer Umweltbelastung führt – ist geringer, als es die Datenlage zeigt. Des Weiteren muss davon ausgegangen werden, dass Maßnahmen von gesetzgeberischer Seite, die zu einer Verminderung des Schadstoffausstoßes im Gebäudebestand führen sollen, wirkungslos bleiben, da der Energieverbrauch bei Altbauten bereits besser ist, als es das Bild aus Energiebedarfsberechnungen erwarten lässt. Bei der Konzeption von Maßnahmen zur Verminderung der Umweltbelastung aus Bestandsbauten sollte daher – insbesondere bei Konzepten zum älteren Gebäudebestand – auf Verbrauchsdaten zurückgegriffen werden.

8 Literaturverzeichnis:

- [1] GEG: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG), Kabinettsentwurf: Stand 23. Oktober 2019
- [2] EnEV: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Stand 24. Oktober 2015
- [3] DIN V 4108-6:2003-06: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
- [4] DIN V 4701-10:2003-08: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
- [5] DIN V 18599-2:2018-09: 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
- [6] DIN V 18599-10:2018-09: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten
- [7] Ackermann, Th.: Untersuchung zu zeitlichen Schwankungen der Feuchte in Innenräumen im Hinblick auf den Feuchtetransport durch Bauteile und die Vermeidung von Schimmelpilzbildung auf Bauteilinnenoberflächen. Bauforschung, Band T 3371, Fraunhofer IRB Verlag, 2019
- [8] Halbig, G. / Schröder, F.: Ortsgenaue Klimafaktoren für Deutschland – Teil 1, HLH, Heft 10 / 2011