Gebäude im Klimawandel

Auswirkungen auf das thermische und energetische Verhalten

A. Maas[1], M. Vukadinovic[1]

[1]Fachgebiet Bauphysik, Universität Kassel, Kassel, Deutschland

Stand/Änderungsdatum: 05.11.2021 16:25

1 Einleitung

Seit der Mitte des 20. Jahrhunderts findet eine messbare globale Erwärmung der Troposphäre und der Ozeane statt, die in den letzten Jahrtausenden bis Jahrhunderten nicht aufgetreten ist. Dies stuft der Weltklimarat als praktisch sicher ein (1). Steigende Temperaturen verringern den Heizwärmebedarf von Gebäuden und führen im Sommer zu häufiger auftretenden Überschreitungen komfortabler Raumtemperaturen. Laut Deutschem Wetterdienst (DWD) war das Jahr 2018 das bisher wärmste in Deutschland beobachtete seit Beginn regelmäßiger Aufzeichnungen im Jahr 1881 (2). Der vorliegende Beitrag zeigt die sich in den letzten Dekaden ereigneten sowie zukünftig zu erwartenden klimatischen Veränderungen anhand bauphysikalisch relevanter Beispiele auf. Dabei werden für Deutschland Klimadaten des DWD verwendet.

1.1 Begriffe Klima- und Klimadaten

Das Wort Klima steht im Griechischen für „neigen“, was auf die veränderliche Sonnenhöhe abhängig vom Breitengrad bezogen ist. Thermisch-dynamische Simulationstools beschäftigen sich u. a. mit der Berechnung derartiger Zusammenhänge.

Im Kontext thermisch-energetischer Verhaltensweisen von Gebäuden taucht der Begriff „Klima“ mit unterschiedlichen Bedeutungen auf. Klima-Daten werden im Allgemeinen zwischen vergangenen und zukünftig prognostizierten unterschieden. Eine in diesem Zusammenhang weitere Unterscheidung bildet die Herangehensweise der Datenerfassung, wobei zwischen Energieverbrauchsmessungen und Energiebedarfsberechnungen unterschieden wird. Diese Unterscheidung ist analog zu den beiden Varianten von Energieausweisen nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) zu verstehen (3). Diese Varianten definieren auch die zu verwendenden Klima-Daten, wobei zwischen Klimafaktoren und Testreferenzjahren (TRY) unterschieden wird.

1.1.1 Klimafaktoren des Deutschen Wetterdienstes

Thermisch-energetische Verhaltensweisen von Gebäuden können mithilfe von Energieverbrauchen beschrieben werden. Um Energieverbrauchsdaten überschlägig vergleichbar zu machen, muss der periodische Einfluss der Witterung auf das Klima und entsprechend auf den Energieverbrauch mittels Klimafaktoren (teilweise auch Klimakorrekturfaktoren) korrigiert werden. Klimafaktoren sind demnach Korrekturfaktoren, welche die Klimaelemente (Temperatur, Luftfeuchte etc.) und damit das Klima eines Ortes während eines vergangenen Betrachtungszeitraumes beeinflussen (4). Mithilfe von Klimafaktoren können somit Energieverbrauchsdaten von Gebäuden für unterschiedliche Betrachtungszeiträume und in verschiedenen Regionen verglichen werden. Klimafaktoren werden monatsweise vom Deutschen Wetterdienst veröffentlicht und können ferner als ein Indikator für den Klimawandel verstanden werden. Der Deutsche Wetterdienst ermittelt Klimafaktoren

flächendeckend für ganz Deutschland und stellt diese für jede Postleitzahl zur Verfügung. Daraus ergeben sich etwa 8.200 Klimafaktoren. Steigt ein Klimafaktor im zeitlichen Verlauf, ist der Energieverbrauch gesunken und es ist tendenziell wärmer geworden.

1.1.2 Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes

Im Zuge von Energiebedarfsberechnungen kommen i. d. R. Klimadaten in Form von Testreferenzjahren zum Einsatz. Testreferenzjahre bilden klimatische Gegebenheiten für mehrere Jahre im Mittel ab. Die Besonderheit dabei ist, dass diese Klimadaten nicht-gemittelte, realistische Witterungsabschnitte enthalten, welche allerdings für den betrachteten Zeitraum im Mittel repräsentativ sind. TRY sind weltweit in verschiedenen räumlichen- und zeitlichen Auflösungen verfügbar. Für das Bundesgebiet werden TRY u. a. vom DWD zur Verfügung gestellt. DWD-TRY sind im Stundenzeitschritt aufgelöst, das heißt, jede Kenngröße enthält $365\,\mathrm{d} \times 24\,\mathrm{h/d} = 8760$ Werte. Klimatische Veränderungen sind aufgrund der zeitlichen Entwicklung der Testreferenzjahre darin enthalten.

Der Deutsche Wetterdienst stellt TRY seit 1986 zunächst nur für die alten Bundesländer zur Verfügung (5). Innerhalb mehr oder weniger regelmäßig wiederkehrender Zeiträume werden die TRY aktualisiert und erweitert.

Seit dem Jahr 2004 sind neben den „mittleren“ Testreferenzjahren auch „extrem“ warme und kalte Jahre enthalten. Diese extremen Jahre sind allerdings weniger zur Bewertung klimatischer Veränderungen als vielmehr für spezielle Auslegungsfragen geeignet. In dieser Untersuchung werden somit ausschließlich mittlere Jahre betrachtet.

In der vorletzten TRY-Veröffentlichung im Jahr 2011 sind neben messtechnisch gewonnenen Vergangenheitsklimadaten erstmals Klimaprognosen mittels Zukunftsklimadaten enthalten. Diese TRY liegen wie die Jahre davor räumlich auf der Mesoskala für Gebiete in etwa der Größenordnung von Bundesländern vor (6). Aufgrund der relativ groben Skalierung ist mit der TRY-Veröffentlichung im Jahr 2011 außerdem ein Tool zum Aufprägen des Stadtklimaeffektes und einer Höhenkorrektur enthalten. Das Aufprägen der beiden genannten Effekte kann in einigen Fällen sinnvoll sein, beispielsweise um Bewertungen innerhalb von Großstädten vornehmen zu können.

Die zurzeit aktuellste Veröffentlichung von TRY stammt aus dem Jahr 2017. Seitdem liegen TRY für das Bundesgebiet räumlich flächendeckend im 1 km^2-Raster auf der Mikroskala vor (7). Als bemerkenswertestes Mikroklima gilt das Stadtklima. Dabei sind es vor allem die Nachttemperaturen in der Stadt, die sich von denen des Umlands unterscheiden. Ein Aufprägen von Stadtklimaeffekt und Höhenkorrektur ist bei Verwendung der TRY aus dem Jahr 2017 obsolet.

Eine Übersicht über die Entwicklung der DWD-TRY-Datensätze ist mit Abbildung 1 dargestellt.

DWD TRY 1985	DWD TRY 2004	DWD TRY 2011	DWD TRY 2017
• 1951-1967	• 1961-1990	• TRY 2010: 1988-2007 • TRY 2035: 2021-2050	• TRY 2015: 1995-2012 • TRY 2045: 2031-2060
• Klima um 1959	• Klima um 1976	• TRY 2010: Klima um 1998 • TRY 2035: Klima um 2035	• TRY 2015: Klima um 2003 • TRY 2045: Klima um 2045
• Mesoklima	• Mesoklima	• Mesoklima	• Mikroklima
		• Zukunftsdaten mit 5 Prognosemodellen	• Zukunftsdaten mit 12 Prognosemodellen
		• Stadtklima über Tool	• Stadtklima enthalten
• 12 Datensätze (alte Bundesländer)	• 3 × 15 Datensätze (mittlere und extrem warme und kalte)	• 2 × 3 × 15 Datensätze (mittlere und extrem warme und kalte)	• 2 × 3 × 333.321 Datensätze (mittlere und extrem warme und kalte)

Abbildung 1 Übersicht Entwicklung DWD-TRY-Datensätze; (5) (6) (7) (8)

Die Komplexität der TRY nimmt mit dem Voranschreiten der Zeit zu. Der innerhalb der nächsten Jahrzehnte zu erwartende Klimawandel ist mit den TRY 2015 und 2045 abbildbar.

1.2 Raummodell in Anlehnung an DIN EN ISO 13792:2012-08

Die Identifikation der klimatischen Veränderungen erfolgt zum Teil mittels Raummodell in Anlehnung an DIN EN ISO 13792:2012-08 (Abbildung 2). Die Wahl der Raumgeometrie ist für die hier vorliegenden relativen (!) Untersuchungen klimatischer Veränderungen im Winter und Sommer zunächst nicht relevant.

Das Wärmeschutzniveau der Außenbauteile entspricht dem GEG 2020 (3). Die Speichermasse der Innen- und Außenbauteile ist so gewählt, dass sich für die betrachtete Gebäudezone eine mittelschwere Bauart ergibt.

Die Fensterfläche beträgt 5,04 m^2, so dass sich ein grundflächenbezogener Fensterflächenanteil von 25 % ergibt. Die Simulationsrandbedingungen sind gemäß DIN 4108-02:2013-02 gewählt. Dabei wird ein Wohngebäude mit erhöhter Nachtlüftung ($n = 2\ h^{-1}$), einem g-Wert von 0,6 und einem variablen Sonnenschutz mit einem F_C-Wert von 0,75 betrachtet.

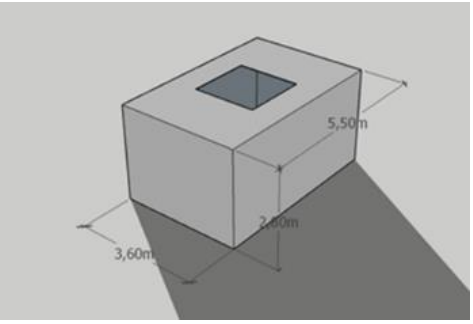

Abbildung 2 Raummodell in Anlehnung an DIN EN ISO 13792:2012-08; (9)

2 Entwicklung im Winter

Klimatische Veränderungen im Winter können für die letzte Dekade mit Klimafaktoren beschrieben werden. Diese kennzeichnen sich im zeitlichen Verlauf ergebende relative Unterschiede der Witterung und bei langfristiger Betrachtung des Klimas. Das für Deutschland zu verwendende Referenzklima bezieht sich seit der Energieeinsparverordnung 2013 auf das TRY für den Standort Potsdam (TRY 2010 Nr. 4). Folglich ist mit Abbildung 3 die Entwicklung der Klimafaktoren für den Standort Potsdam und im Vergleich dazu für den Standort Kassel real und im Trend dargestellt.

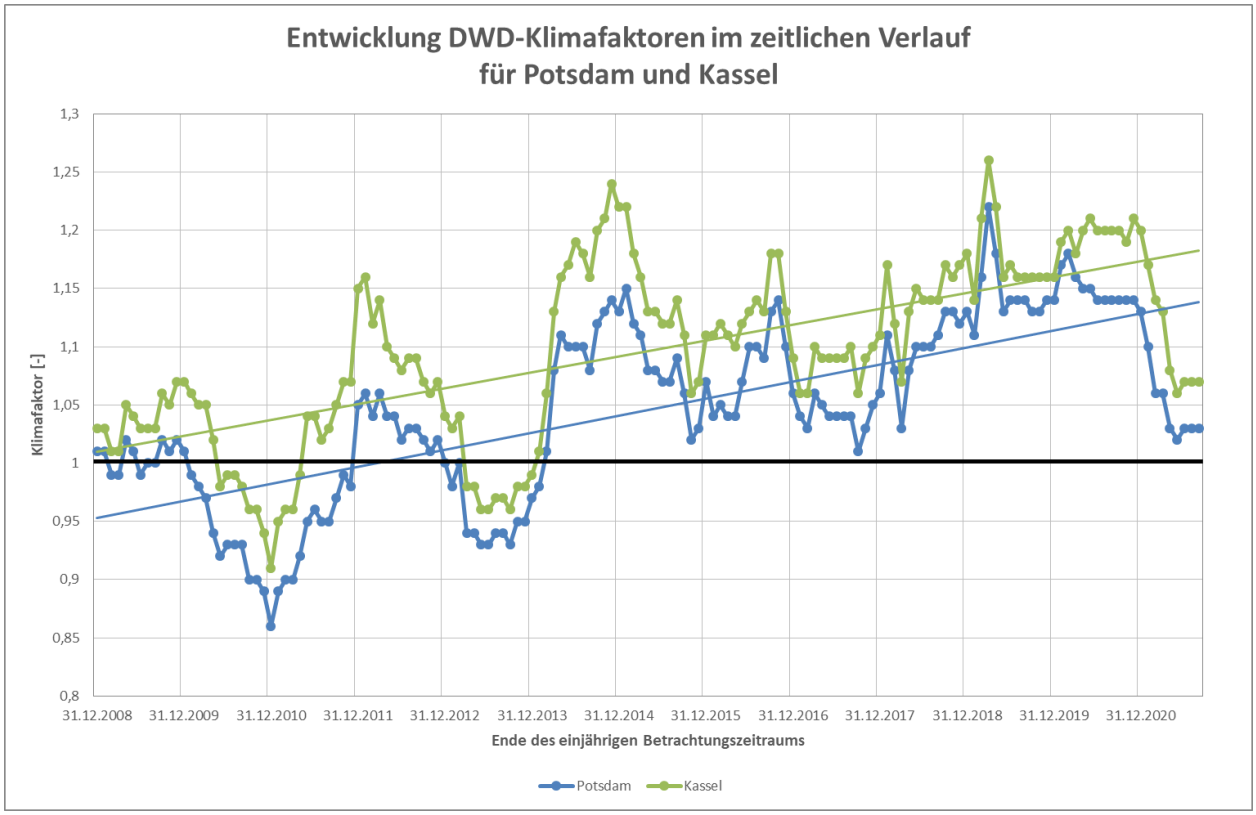

Abbildung 3 Entwicklung DWD-Klimafaktoren im zeitlichen Verlauf für Potsdam und Kassel; DWD (10)

Es ist zu erkennen, dass die Klimafaktoren im Verlauf der letzten Dekade tendenziell um ca. 15 Prozent angestiegen sind. Entsprechend ist es wärmer geworden.

Zukünftig prognostizierte klimatische Veränderungen können für Deutschland mit den TRY 2015 und 2045 beschrieben werden. Um eine deutschlandweite Darstellung zu ermöglichen, werden simulativ ermittelte Heizwärmebedarfe Q_H in kWh/a für das definierte Raummodell in Anlehnung an DIN EN ISO 13792:2012-08 für alle TRY 2015 und 2045 ermittelt.

Abbildung 4 zeigt die sich für Deutschland ergebenden mikroklimatisch aufgelösten Unterschiede der Heizwärmebedarfe Q_H von Rot (geringer) nach Blau (höher). Die verwendete Farbskala gilt für über beide Reihen aufgetretene Extremwerte.

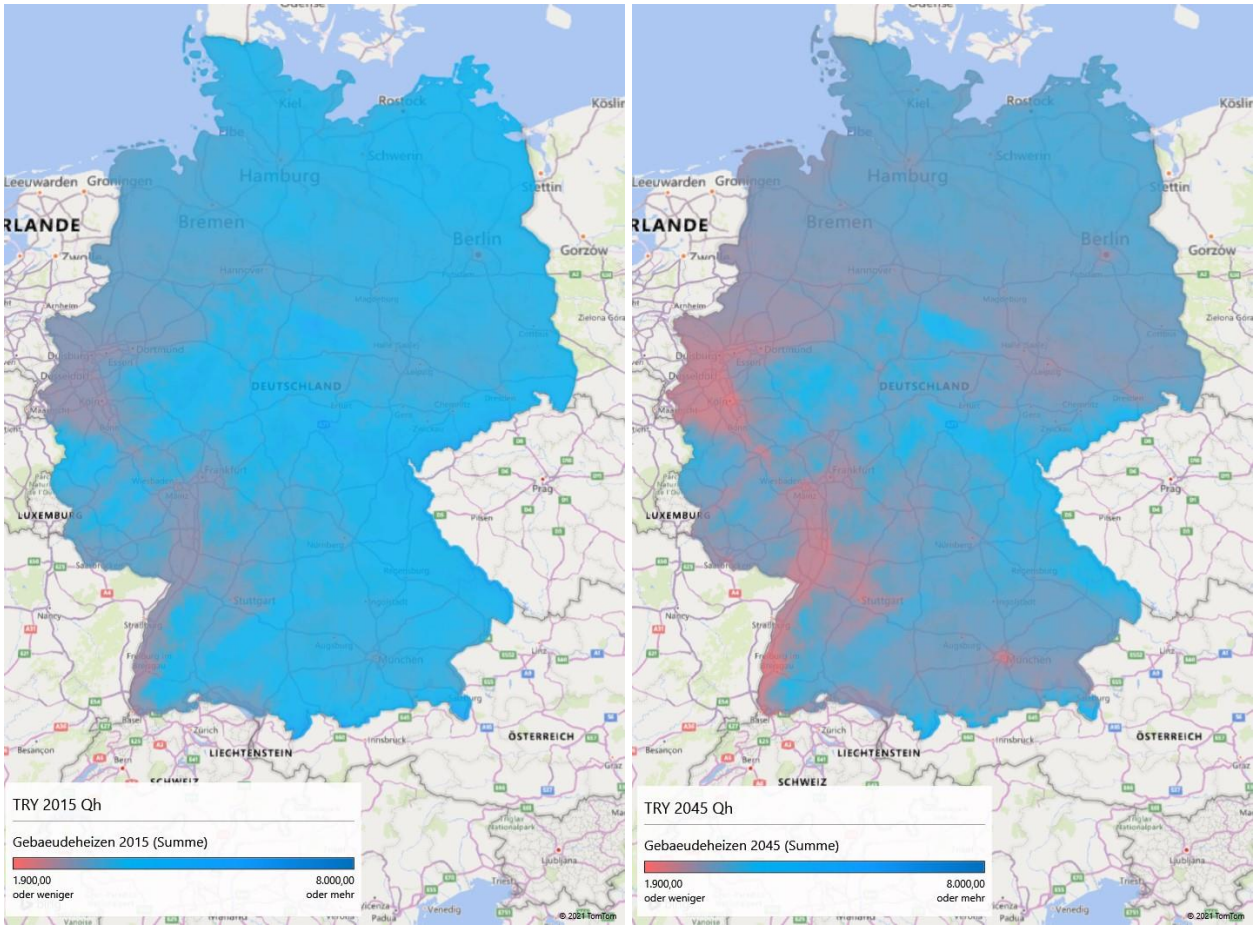

Abbildung 4 Heizwärmebedarfe Q_H mittlere TRY 2015 (links) und 2045 (rechts) mit mikroklimatischer Auflösung

Die sich über Deutschland ergebenden Mittelwerte der Heizwärmebedarfe Q_H betragen 3700 kWh/a für die TRY 2015 und 3211 kWh/a für die TRY 2045. Demnach ist um das Jahr 2045 im Vergleich zum Klimawandel um das Jahr 2003 (TRY 2015) für die vorliegenden Fälle mit einer Abnahme der Heizwärmebedarfe Q_H von ca. 13 Prozent zu rechnen. Dies ist durch die tendenzielle Zunahme der Außenlufttemperaturen zu erklären.

3 Entwicklung im Sommer

Klimatische Veränderungen im Sommer können mithilfe von Temperaturmessreihen und den DWD-TRY dargestellt werden. Für den Standort Kassel werden exemplarisch mittlere Sommeraußenlufttemperaturen der letzten zwei Dekaden mit den TRY 2015 und 2045 aus dem Jahr 2017 verglichen. Die verwendeten Messdaten stammen von der Universität Kassel. Die Jahre 2011 bis 2016 und fehlende Werte aufgrund stunden- bis tageweiser Messausfälle wurden mittels Datenbanken vom HLUNG und dem Fraunhofer IWES ergänzt.

Das für einen innerstädtischen Standort in Kassel ortsgenaue DWD-TRY 2015 zeigt den Stand des Klimawandels zwischen 1995 und 2012 und beinhaltet eine stadtklimatologische Bewertung. Es zeigt sich, dass mittlere Temperaturwerte mit gemessenen Werten aus diesem Zeitraum korrelieren. Eine vergleichbare Messung der zurzeit letzten, ebenfalls 18-jährigen Messperiode zwischen 2003 und 2020 ergibt Temperaturwerte, die zwischen den DWD-TRY 2015 und 2045 liegen. Das ortsgenaue DWD-TRY 2045 sagt das zukünftige Klima voraus. Mit fortschreitendem Klimawandel ist zu erwarten, dass mittlere Temperaturwerte und die Dauer von Hitzeperioden in den TRY 2045 für einen innerstädtischen Standort oberhalb aktueller Messwerte liegen. Abbildung 5 zeigt für den Standort Kassel die entsprechenden mittleren Temperaturwerte. Der Pfeil kennzeichnet die tendenziell im Mittel um das Jahr 2028 zu erwartende Situation.

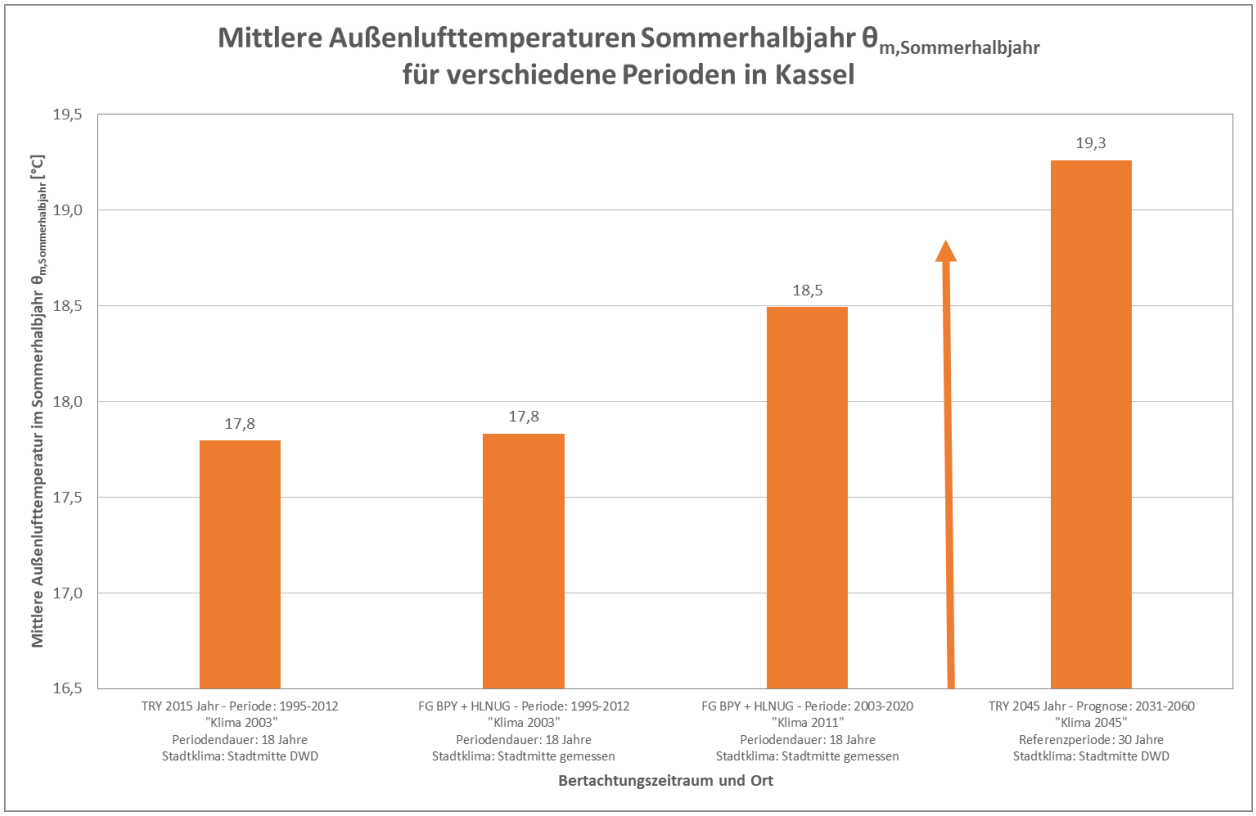

Abbildung 5 Mittlere Außenlufttemperaturen Sommerhalbjahr $\theta_{m,Sommerhalbjahr}$ für verschiedene Perioden in Kassel; DWD TRY 2015 und 2045 (7), FG-Bauphysik Universität Kassel und HLNUG

Vor dem Hintergrund klimatischer Veränderungen, verbunden mit steigenden Außenlufttemperaturen und länger anhaltenden Hitzeperioden, kommt dem sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden somit künftig ein noch höherer Stellenwert zu.

Für eine realistische Bewertung des thermischen Komforts im Sommer ist die ortsgenaue Erfassung meteorologischer Expositionen eine wesentliche Grundlage. Somit kann mikroklimatischen Auswirkungen auf Gebäude zielgerichtet begegnet werden. Prognostizierte Auswirkungen auf das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden im Klimawandel können mithilfe von thermisch-dynamischen Simulationen dargestellt werden. Dabei wird wieder das definierte Raummodell in Anlehnung an DIN EN ISO 13792:2012-08 untersucht. Der Raum wird mit einem horizontalen Dachfenster gerechnet, um klimatische Auswirkungen, insbesondere der Globalstrahlung, orientierungsunabhängig zu bewerten und das sogenannte „Ost-West-Problem“ auszuschließen (11).

Diesmal werden Übertemperaturgradstunden (Gh_{26}-Werte) für ein Jahr berechnet und die sich ergebenden Verteilungen der Sommerklimaregionen in den unterschiedlichen Zeiträumen 1995-2012 (TRY 2015) und 2030-2060 (TRY 2045) betrachtet.

$$Gh_{26} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{8760} \left(\theta_{operativ} - 26\right) \times 1h \;\; wenn \;\; \theta_{operativ} > 26 \left[\frac{Kh}{a}\right]$$

Die Ergebnisse sind in Abbildung 6 dargestellt. Die Farbgebung der Bereiche ist analog zur DIN 4108-02:2013-02 gewählt: Blau Region A, Grün B und Gelb C (von kühler nach wärmer). Oben sind die Häufigkeitsverteilungen der Ergebnisse für die TRY 2015 (links) und 2045 (rechts) zu sehen. Die Ergebnisse für die Berechnungen mit dem TRY 2045 sind mit der Standardabweichung aus den 2015er Daten dargestellt. So wird ein relativer Vergleich dazu möglich. Unten sind entsprechend die sich für Deutschland ergebenden mikroklimatisch aufgelösten Verteilungen zu sehen. Vgl. auch (9).

Es ist zu erkennen, dass mit fortschreitendem Klimawandel, welcher in den TRY 2045 bereits berücksichtigt ist, die warme Klimaregion C deutlich mehr Fläche einnimmt und dass kühle Klimaregionen A nur noch vereinzelt in Höhenlagen wie beispielsweise dem Alpenvorland auftreten. Die Berechnungen zeigen, dass bei der Weiterentwicklung der planerischen und normativen Anforderungen eine differenziertere Berücksichtigung der Klimaregionen erfolgen sollte.

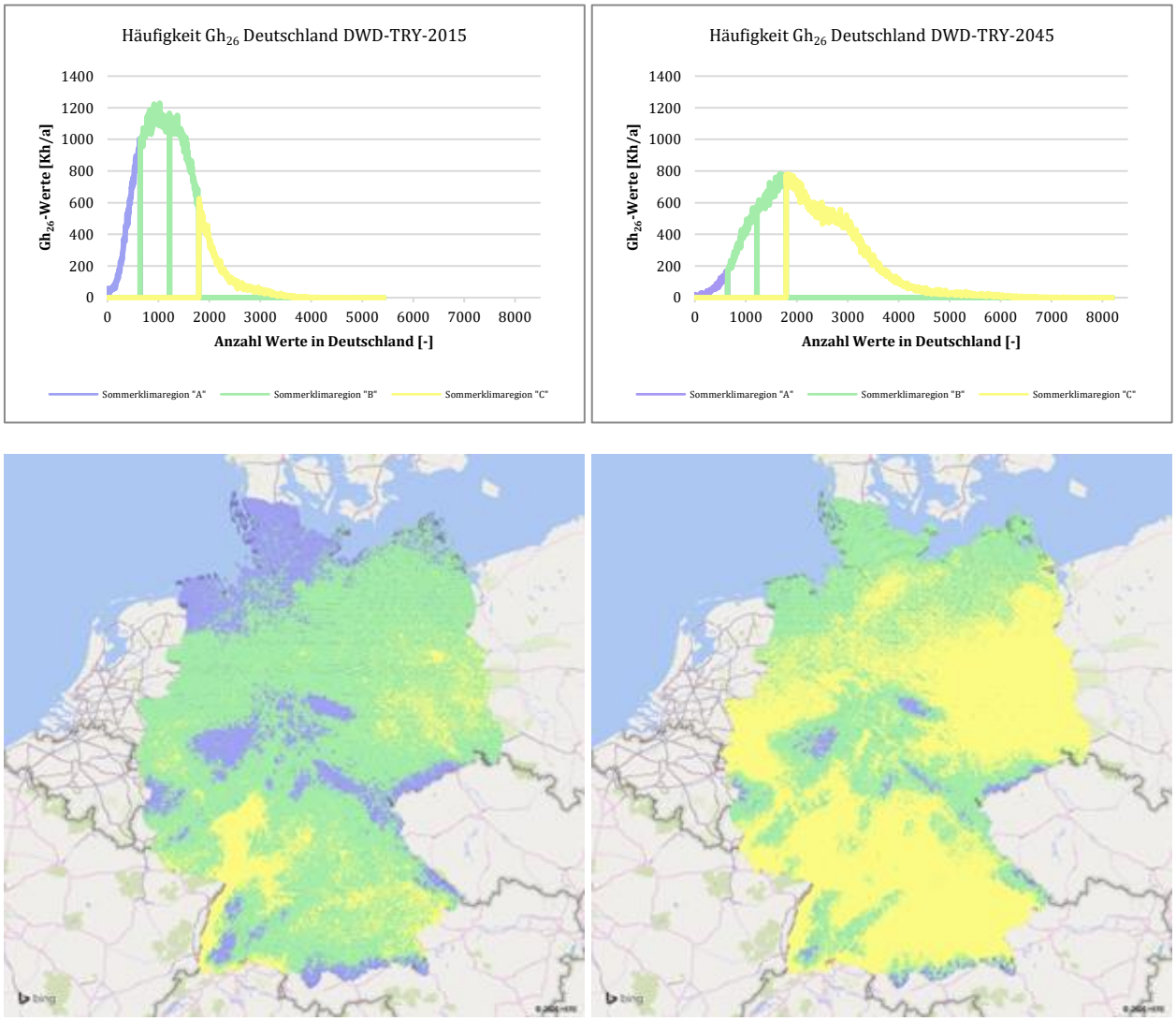

Abbildung 6 Häufigkeitsverteilungen Gh_{26}-Werte in Deutschland für mittlere TRY 2015 (oben links) und 2045 (oben rechts) mit mikroklimatischer Auflösung (entsprechend unten links und rechts); (9)

Bei näherer Betrachtung der Abbildung 6 oben ergibt sich z. B. für Berlin vor allem für die Region um das Stadtzentrum, überwiegend ein wärmeres Klima in Region C. Der Klimakarte der DIN 4108-02:2013-02 zufolge ist die Stadt der Region B zugeordnet. An dieser Stelle zeigen sich stadtklimatische Erkenntnisse, die aus der Anwendung der ortsgenauen Klimadaten resultieren.

4 Stadtklimatologische Entwicklung im Sommer in Berlin

Mit den 2017 veröffentlichten DWD-TRY sind stadtklimatologische Effekte und die Abhängigkeit von Lufttemperatur und Höhenlage erstmals direkt in den Datensätzen implementiert (7). Vorherige DWD-TRY enthalten im unkorrigierten Zustand weder Stadtklimaeffekt noch Höhenabhängigkeit. Laut DWD können Großstädte zeitweise 6 – 8 K wärmer sein als das Stadtumland. Im Jahresmittel sind Abweichungen von 0,5 – 2 K üblich (7). Vgl. auch (9).

Um für die TRY 2015 und 2045 die Intensität des städtischen Wärmeinseleffektes vergleichen zu können, sind für Berlin die mittels thermischer Gebäudesimulation am Raummodell ermittelten Ergebnisse dargestellt. Es werden wieder Übertemperaturgradstunden der operativen Innentemperatur über 26 °C (Gh_{26}-Werte) verwendet und nicht die Außentemperaturen. Die Ergebnisse sind mit Abbildung 7 abgebildet, die verwendete Farbskala gilt für über beide Reihen aufgetretene Extremwerte. Die höchsten Gh_{26}-Werte stellen sich erwartungsgemäß mit den TRY 2045 im Innenstadtbereich ein.

Abbildung 7 Vergleich des städtischen Wärmeinseleffektes für Berlin mit den mittleren TRY 2015 und 2045

Vergleicht man die beiden Abbildungen, fällt zuerst der enorme Unterschied der Gh_{26}-Werte auf. Sowohl die Tiefstwerte als auch die Höchstwerte sind mit den TRY 2045 um ein Vielfaches angestiegen. Der Einflussbereich der städtischen Wärmeinsel hingegen hat sich wenig verändert, so sind in beiden Abbildungen die zu erkennenden Bereiche etwa gleich groß. Allerdings hat sich die Intensität innerhalb des zu betrachtenden Bereiches deutlich gesteigert.

Im Berliner Zentrum ergeben sich die Mittelwerte der Gh_{26}-Werte für die TRY 2015 zu 2545 Kh/a und für die TRY 2045 zu 5279 Kh/a. Folglich ist um das Jahr 2045 im Vergleich zum Klimawandel um das Jahr 2003 (TRY 2015) für die vorliegenden Fälle mit einer Zunahme der Gh_{26}-Werte um etwa 207 Prozent zu rechnen. Diese signifikante Zunahme resultiert neben dem zu erwartenden Temperaturanstieg vor allem auch aus zu erwartenden, länger andauernden Hitzeperioden.

5 Fazit

Vor dem Hintergrund der global zu beobachtenden Klimaveränderung ergeben sich für die dargestellten Zeiträume bzw. Zeitpunkte unterschiedliche Situationen. Während im Winter tendenziell mit einer Verringerung der Heizwärmebedarfe zu rechnen ist, werden die Herausforderungen der Temperaturbegrenzungen im Sommer in Gebäuden künftig noch anspruchsvoller.

Bei Betrachtung der TRY 2015 stellt sich die Situation im Sommer im Vergleich zur Bewertung mit den TRY 2010 in der Nachweisführung gem. DIN 4108-2:2013-02 näherungsweise unverändert dar (9). Jedoch lassen sich durch das Vergleichen der Ergebnisse der thermischen Kenngrößen der Testreferenzjahre mögliche Effekte aufgrund des Klimawandels erkennen. Bei einer Bewertung mit den zukünftigen TRY 2045 ist sowohl ein Temperaturanstieg als auch ein Anstieg der Dauer von Hitzeperioden zu erwarten. Dabei sind sowohl die ländlichen als auch die urbanen Standorte betroffen.

Im urbanen Raum werden sommerklimatische Einflüsse durch Siedlungsstrukturen verstärkt und dort sind, bedingt durch eine hohe Stadtbevölkerung, besonders viele Menschen von den negativen Folgen des Klimawandels betroffen. Ein Vergleich der Ergebnisse der mittleren TRY 2015 und 2045 zeigt eine deutliche Erwärmung für Berlin.

Daraus ergibt sich die grundsätzliche Frage, ob energetische Bewertungen im Winter und Sommer gemäß bisheriger Vorgehensweise – mit der Verwendung von Klimadaten aus der Vergangenheit – oder mit für die Zukunft prognostizierten Klimadaten sinnvoll sind.

Literatur

1. **Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle.** *KLIMAÄNDERUNG 2013/2014 Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger.* Bonn/Wien/Bern : s.n., 2016.

2. **Friedrich und Kaspar.** *Rückblick auf das Jahr 2018.* Offenbach : Deutscher Wetterdienst, 2019.

3. **Bundesregierung.** *Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG).* 2020.

4. **Deutscher Wetterdienst.** Wetter- und Klimalexikon. [Online] 25. 10 2021. [Zitat vom: 25. 10 2021.] https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=101334&lv3=101422.

5. **Weller, et al.** *Baukonstruktion Im Klimawandel.* Wiesbaden : Springer Fachmedien, 2016.

6. **Deutscher Wetterdienst.** *Projektbericht Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse.* Offenbach am Main : Deutscher Wetterdienst, 2011.

7. —. *Handbuch Ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse.* Offenbach am Main : Deutscher Wetterdienst, 2017.

8. —. *Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY.* Offenbach am Main : Deutscher Wetterdienst, 2004.

9. **Vukadinovic, Kempkes und Maas.** *Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Überhitzung von Gebäuden.* s.l. : Eight German-Austrian IBPSA Conference, Technical University Graz, BauSIM 2020, 2020.

10. **Deutscher Wetterdienst.** Klimafaktoren (KF) für Energieverbrauchsausweise. [Online] 26. 10 2021. [Zitat vom: 26. 10 2021.] https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html.

11. **Lam und Hiller.** *Schwierigkeiten bei der Verwendung der TRY Daten 2011 für Deutschland in der thermischen Simulation.* Aachen : BauSIM, 2014.