

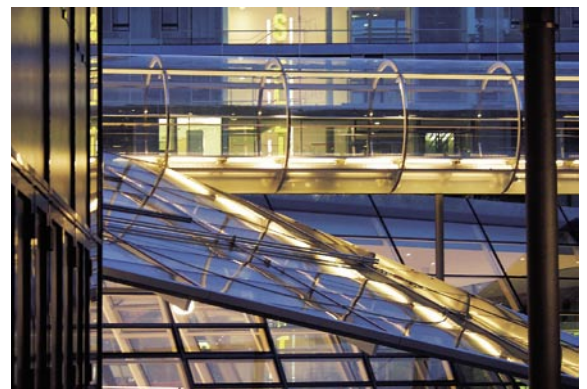


Fotos: Nord LB/Ulji Reinecke

Detaillierte Gebäudeanalyse mit dynamischer Simulation

Mit Testreferenzjahren auf der sicheren Seite?

Der sommerliche Wärmeschutz spielt bei der Planung von Gebäuden mit großem Verglasungsanteil eine zentrale Rolle. Als planungsunterstützendes Werkzeug gewinnt dabei die dynamische Gebäudesimulation an Bedeutung. Voraussetzung für eine hohe Qualität der Simulationsergebnisse ist allerdings die Verwendung repräsentativer meteorologischer Eingangsgrößen.



Großzügig verglaste Außenflächen, besonders bei Verwaltungsgebäuden, sind ein typisches Merkmal gegenwärtiger Architektur. Bei der Planung hat deswegen die Sicherstellung des sommerlichen Überhitzungsschutzes eine bedeutende Rolle. Längere Phasen mit Raumtemperaturen oberhalb von ca. 25 °C beeinträchtigen das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit der Nutzer.

Darüber hinaus drohen Planern, Architekten und Betreibern rechtliche Konsequenzen, wenn beispielsweise die nach der alten Arbeitsstättenrichtlinie geforderte maximale Raumtemperatur von 26 °C bei bis zu 32 °C Außenlufttemperatur regelmäßig nicht eingehalten wird (vgl. auch Bielefelder Klimaurteil, April 2003). Im internationalen Vergleich ist die Forderung nach einer maximalen Raumtemperatur von 26 °C sogar noch recht großzügig. Ausländische Investoren und Nutzer erwarten häufig die Einhaltung deutlich niedrigerer Raumtemperaturen [1].

Planungshilfe: Simulation von Last- und Temperaturverläufen

Ein effektives und bei komplexen Gebäuden unverzichtbares planungsunterstützendes Werkzeug zur Analyse des zu erwartenden thermischen Gebäudeverhaltens ist die dynamische Simulation. Sie liefert Aussagen zum Energiebedarf für die Raumheizung und Kühlung sowie zu den im Gebäude auftretenden zeitlichen Last- und Temperaturverläufen. In einem frühen Planungsstadium eingesetzt, lassen sich aus einer dynamischen Simulation Maßnahmen zur Einhaltung der raumklimatischen Anforderungen ableiten.

Insbesondere bei immer häufiger eingesetzten passiven Systemen, wie die Kühlung über eine Bauteilaktivierung, die Zuluftkonditionierung über einen Erdreichwärmeübertrager oder die einfache Nachtlüftung, ist eine dynamische Simulation nahezu unerlässlich. Denn die kleinen Leistungsreserven dieser Systeme erfordern in jedem Fall eine sehr sorgfältige

Planung, um vereinbarte Bedingungen und/oder Überschreitungsstunden garantieren zu können.

Die Aussagekraft der Simulationsergebnisse wird maßgeblich von den verwendeten meteorologischen Eingangsgrößen bestimmt, vor allem von der solaren Bestrahlungsstärke und der Außenlufttemperatur. Im Idealfall verwendet man zur Simulation Messdaten mit hoher zeitlicher Auflösung aus der näheren Umgebung des Gebäudestandorts. Solche Daten sind allerdings selten verfügbar. Es ist daher üblich, Simulationsrechnungen auf der Grundlage von Testreferenzjahren (Test Reference Year, TRY) durchzuführen. Bei diesen vom Deutschen Wetterdienst (DWD) herausgegebenen Testreferenzjahren handelt es sich um meteorologische Daten in stündlicher Auflösung für verschiedene Regionen in Deutschland. Es sind synthetische Jahre, zusammengesetzt aus realen Witterungsabschnitten, deren Wetterelemente in etwa das dreißigjährige Jahreszeitenmittel von 1961 bis 1990 repräsentieren.

Bis zum Jahr 2004 waren Testreferenzjahre für zwölf Regionen des alten Bundesgebiets verfügbar. Seit dem Herbst 2004 sind neue Testreferenzjahre verfügbar, die mit 15 regionalen Datensätzen [2] das gesamte Bundesgebiet abdecken sollen. Daneben stellt der DWD für jede dieser Regionen 3-monatige Datensätze für extreme Winter und Sommer bereit. Aber wie repräsentativ sind eigentlich diese regionalen Testreferenzjahre und Winter- bzw. Sommerdatensätze für einen Standort innerhalb der entsprechenden Region?

Lokale Messdaten versus Testreferenzjahr

Für den Standort Hannover wurde hinsichtlich der jährlichen Globalstrahlungssummen in der Horizontalen und dem Jahresmittelwert der Außenlufttemperatur ein Vergleich der regionalen Testreferenzjahre (alt und neu) mit lokal am Standort Hannover gemessenen Daten und den Daten der Repräsentanzstationen für das neue Testreferenzjahr durchgeführt.

Jedem der neuen regionalen Testreferenzjahre liegen die Daten einer oder zweier Repräsentanzstationen des DWD zugrunde. Für das für Hannover gültige neue Testreferenzjahr sind das die Stationen Hamburg-Sasel (Strahlungsdaten) und Hamburg-Fuhlsbüttel. Die Quelle der lokal am Standort Hannover gemessenen Daten ist die meteorologische Station Hannover/Hainholz des Instituts für Solarenergieforschung, Hameln/Emmerthal (ISFH). Von 1989 bis 2001 wurden an dieser Station meteorologische Daten mit hoher zeitlicher Auflösung bei einer Verfügbarkeit von über 99% erfasst [3]. Die Strahlungsdaten sind bis zum Jahr 2001 als Monatssummen im so genannten Strahlungswetterbericht der Zeitschrift „Sonnenenergie“ veröffentlicht [4].

Bild 1 zeigt die Solarstrahlungsdaten der Testreferenzjahre (alt und neu) und für den Zeitraum 1991 bis 2000 die lokal gemessenen Daten sowie die Daten der Repräsentanzstation. Beide Testreferenzjahre weisen eine Summe der jährlichen Globalstrahlung (horizontal) von etwa 900 kWh/(m²a) aus, wobei die Globalstrahlungssumme im neuen Testreferenzjahr um ca. 50 kWh/(m²a) geringer ausfällt. Die lokal gemessenen Daten zeigen, dass am Standort Hannover höhere Globalstrahlungssummen um 1000 kWh/(m²a) auftreten. Mit im Mittel etwa 975 kWh/(m²a) treten ähnlich hohe Werte auch an der Repräsentanzstation auf, deren Messwerte die Datenbasis für die neuen Testreferenzjahre bilden. Die Abweichung zwischen den regi-

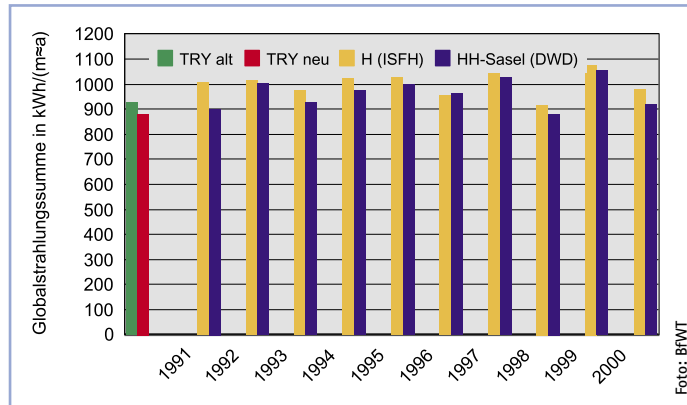


Bild 1 Jährliche Globalstrahlungssummen: Testreferenzjahr (alt und neu) für Hannover, Messdaten der ISFH-Station Hannover und der Repräsentanzstation Hamburg-Sasel des DWD (Messdaten aus den Jahren 1991 bis 2000)

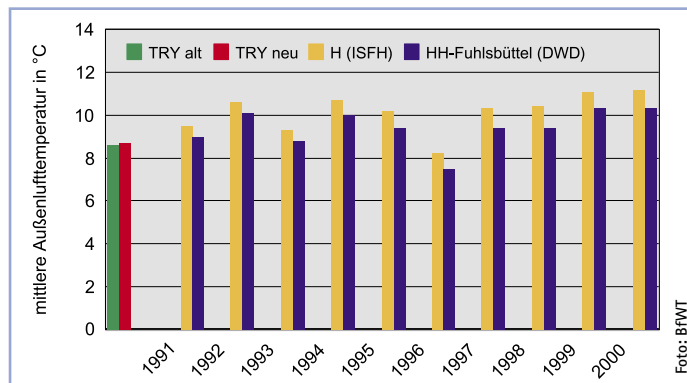


Bild 2 Mittlere jährliche Außenlufttemperaturen: Testreferenzjahr (alt und neu) für Hannover, Messdaten der ISFH-Station Hannover und der Repräsentanzstation Hamburg-Fuhlsbüttel des DWD (Messdaten aus den Jahren 1991 bis 2000)

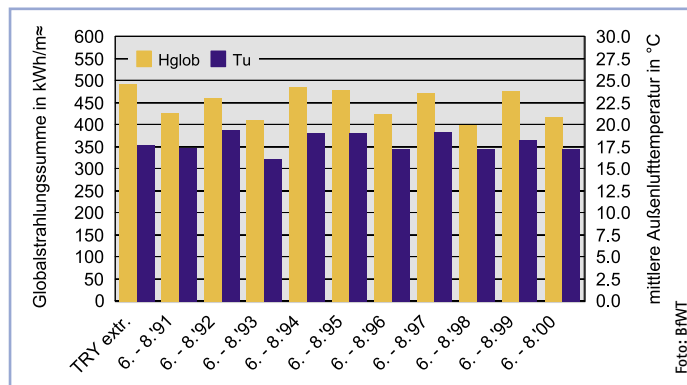


Bild 3 Sommerliche Globalstrahlungssummen und mittlere Außenlufttemperaturen am Standort Hannover: Referenzdaten des DWD für extreme Sommer (TRY extr.) und lokale Messdaten des ISFH aus den Jahren 1991 bis 2000

onalen Testreferenzjahren und den lokal am Standort Hannover gemessenen Daten ist also nur zu einem kleinen Teil auf die räumliche Variabilität zurückzuführen. Vielmehr weicht das 10-Jahres-Mittel von 1991 bis 2000 offenbar auffällig von dem 30-jährigen Mittel von 1961 bis 1990 ab, welches die Testreferenzjahre repräsentieren.

Gleiches gilt auch für die mittlere Außenlufttemperatur (Bild 2). Beide Testreferenzjahre weisen etwa gleiche mittlere Außenlufttemperaturen von 8,6 bzw. 8,7 °C aus. In den lokal gemessenen Daten liegt die Außenlufttemperatur für den Standort Hannover im 10-Jahres-Mittel bei 10,1 °C. Bereinigt um den Einfluss der innerstädtischen Lage der meteorologischen Station des ISFH¹⁾ auf die Messungen, reduziert sich dieser Wert auf ca. 9,6 °C. Er ist mit dem 10-Jahres-Mittelwert der Außenlufttemperatur an der Repräsentanzstation des DWD in Hamburg-Fuhlsbüttel von 9,4 °C vergleichbar. Es verbleibt eine Abweichung der 10-Jahres-Mittelwerte von 1991 bis 2000 zu den Testreferenzjahren von 0,7 bis 1,0 K.

Wie sich die Situation für die ergänzend zu den neuen Testreferenzjahren bereitgestellten Referenzdatensätzen für extreme Witterungsabschnitte darstellt, ist für den Sommerfall in Bild 3 gezeigt. Der Referenzdatensatz des extremen Sommers der für Hannover gültigen Region umfasst die Monate Juni bis August. Die über diesen Zeitraum auftretende Globalstrahlungssumme in der Horizontalen und der Mittelwert der Außenlufttemperatur sind den entsprechenden Messwerten für Hannover aus den Jahren 1991 bis 2000 gegenübergestellt.

Der Referenzdatensatz weist die höchste Globalstrahlungssumme aus. Allerdings wird der Wert in der Hälfte der Messjahre nur wenig unterschritten bei gleichzeitig höheren Mittelwerten der Außenlufttempe-

1) Die meteorologische Station Hannover/Hainholz des ISFH befindet sich innerstädtisch in einem Gewerbegebiet mit lockerer Bebauung. Im Vergleich zu einer freien Lage werden hier um ca. 0,5K höhere Jahresmittelwerte der Außenlufttemperatur gemessen. Dies ist das Ergebnis eines Datenabgleichs mit der DWD-Station Hannover-Langenhagen.

ratur: In vier der zehn Messjahre wird die mittlere Außenlufttemperatur des extremen Sommers um etwa 1,5K überschritten. Bei der Bewertung von Kühlmaßnahmen, deren Effizienz maßgeblich von der Außenlufttemperatur abhängt, beispielsweise bei der oben erwähnten Nachtlüftung, kann eine solche Differenz entscheidend sein.

Auswirkungen auf die Berechnung des Kühlenergiebedarfs

Über den Anwendungszweck der neuen Testreferenzjahre und der ergänzenden Datensätze für die extremen Witterungsabschnitte werden in der Dokumentation des DWD sowie in der neuen DIN 4710 aus dem Jahr 2003 eindeutige Aussagen gemacht [2], [5]. So dürfen die Testreferenzjahre laut DIN 4710 „ausschließlich für energetische bzw. Mittelwertbetrachtungen“ herangezogen werden. Dazu sind zu erwartende Jahres-Energieverbräuche zu zählen. Extremwertbetrachtungen, wie die Berechnung der Häufigkeit des Auftretens extremer Raumtemperaturen oder die Berechnung maximaler Heiz- und Kühllasten, sind auf der Grundlage der Referenzdatensätze für die extremen Witterungsabschnitte durchzuführen.

Die genannten Anwendungen werden im Folgenden am Beispiel einer dynamischen Simulation des thermischen Verhaltens eines Büroraums am Standort Hannover gezeigt. Die Simulation wurde mit dem Programm TRNSYS durchgeführt. Den Rechnungen liegen folgende Annahmen für den Büroraum zugrunde:

- Ausrichtung West, Grundfläche 20 m²
- Innenwände und Geschoss-Trenndecken: Beton (20 bzw. 22 cm)
- Außenwand: 24 cm Beton mit 16 cm Wärmedämmung, $U = 0,205 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Fensterflächenanteil 40%
- Verglasung: 2-fach-Sonnenschutzverglasung, $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 0,21$
- Interne Lasten: 20 W/m² (2 Personen, 2 PCs)
- Luftwechselrate: 0,5 h⁻¹

Betrachtet wird der kritischere Kühlfall. Dazu werden die Simulationsergebnisse auf der Grundlage der für Hannover gültigen Testreferenzjahre und des Referenzdatensatzes für extreme Sommer den Ergebnissen mit den am Standort Hannover gemessenen meteorologischen Daten gegenübergestellt.

Jährlicher Kühlenergiebedarf

Bild 4 zeigt den spezifischen jährlichen Kühlenergiebedarf bei Einhaltung einer maximalen Büroraumtemperatur von 26°C. Die Verwendung der Messjahre in der Simu-

Bild 4 Jährlicher Kühlenergiebedarf eines Büroraums am Standort Hannover: Simulationsergebnisse auf der Grundlage des alten und neuen Testreferenzjahres und lokaler Messdaten des ISFH aus den Jahren 1991 bis 2000

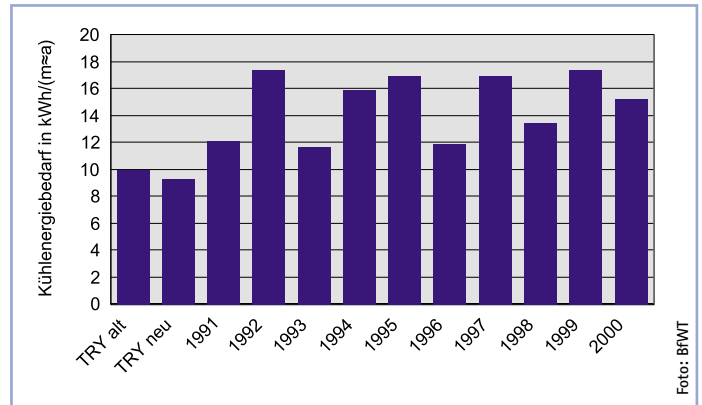
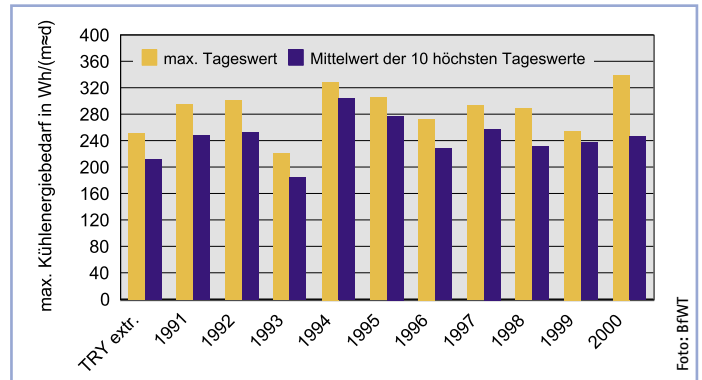


Bild 5 Maximaler Kühlenergiebedarf eines Büroraums am Standort Hannover: Simulation auf der Grundlage der Referenzdaten des DWD für extreme Sommer (TRY extr.) und lokaler Messdaten des ISFH aus den Jahren 1991 bis 2000



lation führt durchgängig zu einem deutlich höheren Energiebedarf für die Kühlung als die Simulationen auf der Grundlage der Testreferenzjahre. Im Vergleich zum neuen Testreferenzjahr liefert die Simulation mit den Messjahren von 1991 bis 2000 einen im Mittel um 60% höheren Energiebedarf. Für die Hälfte der Messjahre ('92, '94, '95, '97 und '99) liegt die Abweichung sogar bei über 80%. Die Simulation auf der Grundlage der Testreferenzjahre würde in diesem Fall zu einer entsprechenden Unterbewertung der Betriebskosten zur Deckung des jährlichen Kühlenergiebedarfs führen.

Täglicher Kühlenergiebedarf

Für die Extremwertbetrachtung wird als Zielgröße der maximale tägliche Kühlenergiebedarf herangezogen. Er ist beim Einsatz passiver Systeme maßgeblich für die Systemauswahl. Passive Systeme bzw. Maßnahmen zur Kühlung nutzen die thermischen Massen des Baukörpers, um die anfallenden thermischen Lasten aufzunehmen. Die Rückkühlung des Baukörpers erfolgt dann beispielsweise durch eine Bauteilaktivierung oder eine freie Nachtlüftung. Die Leistungsfähigkeit und Einsatzmöglichkeit solcher Systeme ist begrenzt. So wird im Handbuch der passiven Kühlung die erreichbare Systemleistung einer Bauteilaktivierung mit direkter Wasserkühlung mit 250 Wh/(m²d) angegeben [6].

In der Büroraum-Simulation auf der Grundlage des Referenzdatensatzes für extreme Sommer wird dieser Wert bei einer Einzeltag-Betrachtung gerade eingehalten (Bild 5). Die Simulation auf der Grundlage der Mess-

jahre für den Standort Hannover liefert in der Einzeltag-Betrachtung dagegen Werte um 300 Wh/(m²d), was – ohne zusätzliche Maßnahmen zur Verringerung der thermischen Lasten – gegen den Einsatz der Bauteilaktivierung sprechen würde. Betrachtet man an Stelle der einzelnen Tage die Mittelwerte aus den zehn größten Tageswerten, so relativiert sich diese Aussage etwas. Die Abweichung zwischen den Simulationsergebnissen für den extrem Sommer und den Messjahren verringert sich im Mittel auf etwa 30 Wh/(m²d), beträgt aber im Extremfall (1994) immer noch 100 Wh/(m²d).

Überschreitungsstunden

Bei einer Systemauswahl und -auslegung auf der Grundlage des Referenzdatensatzes für extreme Sommer ist daher unter realen Bedingungen die Einhaltung der raumklimatischen Anforderungen nicht in jedem Fall garantiert. Bild 6 zeigt dazu für den Beispiel-Büroraum die Anzahl der Stunden mit einer Raumtemperatur über 26°C beim Einsatz einer Bauteilaktivierung mit Rückkühlung an Grundwasser. Im Vergleich zur Simulation auf der Grundlage des Referenzdatensatzes für extreme Sommer liefert die Simulation mit den Messjahren zum Teil wesentlich höhere, im Extremfall sogar dreimal so hohe Stundenzahlen mit einer Raumtemperatur über 26°C.

Sieht man sich die meteorologischen Daten in Bild 3 an, so erscheinen die Abweichungen zwischen den Simulationsergebnissen auf der Grundlage des Referenzdatensatzes für extreme Sommer und den Messjahren zum Teil verwunderlich. So weisen zum

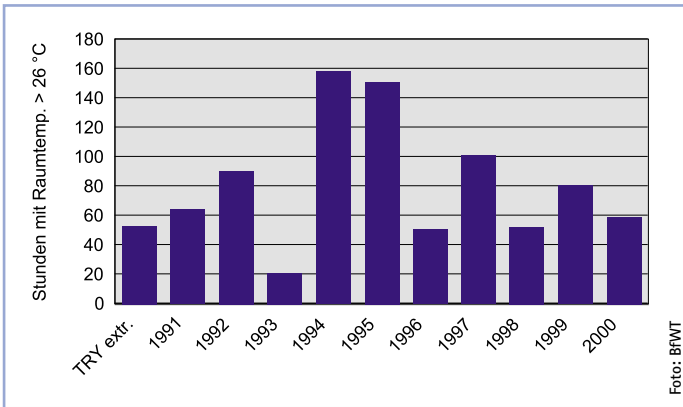


Bild 6 Stundenzahl mit Raumtemperaturen über 26 °C für einen Büroraum am Standort Hannover beim Einsatz einer Bauteilaktivierung mit Rückkühlung an Grundwasser: Simulation auf der Grundlage der Referenzdaten des DWD für extreme Sommer (TRY extr.) und lokaler meteorologischer Messdaten des ISFH aus den Jahren 1991 bis 2000

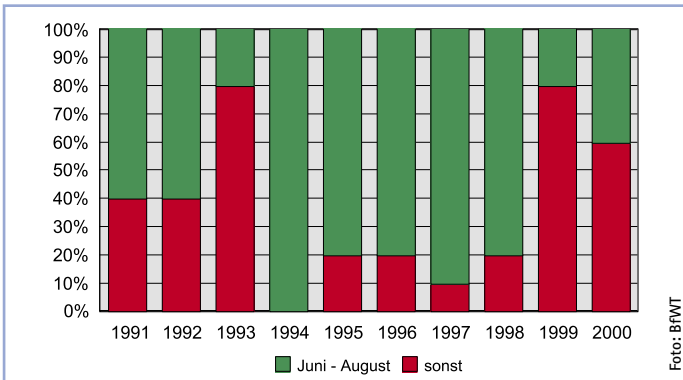


Bild 7 Aufteilung der jeweils zehn höchsten Tageswerte des Kühlenergiebedarfs eines Büroraums am Standort Hannover auf den Zeitraum Juni bis August und außerhalb: Simulation auf der Grundlage lokaler meteorologischer Messdaten des ISFH aus den Jahren 1991 bis 2000

Beispiel die Messjahre 1991 und 2000 im Zeitraum Juni bis August bei etwa gleichen Mittelwerten der Außenlufttemperatur geringere Globalstrahlungssummen auf als der Referenzdatensatz. Trotzdem ergibt sich für beide Jahre ein höherer maximaler täglicher Kühlenergiebedarf. Das liegt daran, dass für die Kühllast von Gebäuden mit großer thermischer Masse neben der Höhe der Bestrahlungsstärke und der Außenlufttemperatur auch die Abfolge dieser Daten eine wichtige Rolle spielt. So kann eine Anzahl aufeinander folgender Tage mit mäßig hoher Bestrahlungsstärke und Außenlufttemperatur den gleichen Effekt haben wie ein einzelner extremer Tag, da das Gebäude zwischenzeitlich nicht mehr auskühlen kann.

Wann tritt die Spitze auf?

Es stellt sich eine weitere Frage, nämlich ob der maximale tägliche Kühlenergiebedarf auch tatsächlich in dem Zeitraum auftritt, der durch den Datensatz für extreme Sommer (Juni bis August) abgedeckt wird. Für das eben beschriebene Büroraumbeispiel ist das der Fall. Mit anderen Gebäudeparametern können die Maximalwerte jedoch auch außerhalb dieses Zeitraums auftreten.

Ändert man die Ausrichtung des oben beschriebenen Büroraums auf Süden und tauscht die Verglasung (neu: $U=1,1\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g=0,59$) so liefert die Simulation auf der Grundlage der Messjahre folgendes Ergebnis: Von den jeweils zehn höchsten Werten des täglichen Kühlenergiebedarfs treten im Mittel etwa 40% außerhalb des Zeitraums von Juni bis August auf (Bild 7). Ferner tritt der maximale tägliche Kühlenergiebedarf

für sechs der zehn Messjahre ebenfalls außerhalb dieses Zeitraums auf, nämlich im Mai oder September. Es ist also nicht auszuschließen, dass mit einer Simulation auf der Grundlage des Referenzdatensatzes für extreme Sommer die Maximalwerte des Kühlenergiebedarfs gar nicht erfasst werden – mit entsprechenden Konsequenzen für die Systemauswahl und -auslegung.

Fazit

Durch das regionale für Hannover gültige Testreferenzjahr findet eine Unterbewertung des Standorts hinsichtlich der solaren Bestrahlungsstärke und der Außenlufttemperatur statt. Bei dem Referenzdatensatz für extreme Sommer liegt immerhin noch eine Unterbewertung der Außenlufttemperatur vor. Vor dem Hintergrund der Ursachen und der Konsequenzen bei der Anwendung der Daten in der dynamischen Simulation wäre es wünschenswert,

- dass bei der Zusammenstellung künftiger Testreferenzjahre und Referenzdatensätze für extreme Sommer eine stärkere Berücksichtigung meteorologischer Daten des Zeitraums ab 1991 stattfindet und
- der durch die Referenzdatensätze repräsentierte Zeitraum ausgedehnt wird.

Was die Ausdehnung des durch die Referenzdatensätze repräsentierten Zeitraums angeht, hat der DWD die Bereitstellung extremer Sommerhalbjahre angekündigt.

Die Problematik der Unterbewertung eines Standorts durch die Testreferenzjahre

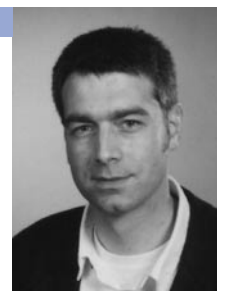
beschränkt sich nicht nur auf die Anwendung in Fragen des sommerlichen Wärmeschutzes bei Gebäuden. Sie ist übertragbar auf die Anwendung der Daten für die Ertragsvorhersage von thermischen und photovoltaischen Solaranlagen. In diesem Anwendungsfall wird eine Simulation auf der Grundlage der Testreferenzjahre den Ertrag einer Anlage am Standort Hannover ebenfalls unterbewerten.

Dabei ist bei photovoltaischen Solaranlagen eine Ertragsdifferenz in der Höhe der Differenz zwischen den Globalstrahlungssummen in den Testreferenzjahren und in den lokal gemessenen Daten zu erwarten. Für den Standort Hannover sind dies im Mittel ca. 10%. Bei thermischen Solaranlagen ist sogar mit einer überproportionalen Ertragsdifferenz zu rechnen. Der zu erwartende Ertrag ist aber maßgeblich für die Wirtschaftlichkeitsberechnung. Auch unter diesem Aspekt bzw. für diesen Anwendungsfall wäre also eine Überarbeitung der Testreferenzjahre wünschenswert. ←

Literatur

- [1] Vorländer J.: Künftige Anforderungen an Klimatechnik(er). „Viel radikaler Denken“. Stuttgart: Gentner Verlag, TGA Fachplaner 12-2004
- [2] Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. Offenbach a. Main: Hrsg. Deutscher Wetterdienst, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes 2004
- [3] Rockendorf G.: Meteorologische Daten – Erfassung am ISFH Hannover. Sonnenenergie, Nr. 5, Jg. 14 (1989)
- [4] Strahlungswetterbericht der Zeitschrift „Sonnenenergie“. München: DGS-Sonnenenergie-Verlags-GmbH, fortlaufend (zweimal jährlich)
- [5] DIN 4710 Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland. Berlin: Beuth Verlag, Januar 2003
- [6] Zimmermann M.: Handbuch der passiven Kühlung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2003

Dr.-Ing. Stefan Janßen,
Büro für Wärme-
technik BfWT Janßen
& Tepe GbR,
30163 Hannover,
Telefon
(05 11) 6 40 72 58,
E-Mail:
s.janssen@bfwt.com,
www.bfwt.com



Dipl.-Ing.
Gunter Rockendorf,
Büro für energie-
technische Beratung,
30826 Garbsen,
Telefon
(0 51 31) 45 11 51,
E-Mail:
energie@rockendorf.net

