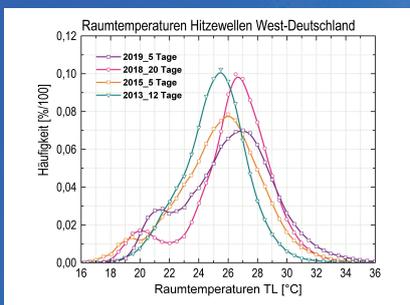


Hitze frei in deutschen Wohnungen



Entwicklung deutscher Wohnraumtemperaturen mit intensiveren sommerlichen Hitzewellen

von

Franz Schröder, Bernhard Gill, Guido Halbig, Julia Mittermüller, Dieter Novotny und Tobias Teich

Teil 1: Meteorologie und Statistik

Teil 2: Fallbeispiele für alte und moderne Bausubstanz



Ausgeprägte Hitzeperioden führen immer häufiger zu langanhaltend aufgeheizten Wohnumgebungen.
Bild: jplenio / pixabay.com

Entwicklung deutscher Wohnraumtemperaturen mit intensiveren sommerlichen Hitzewellen

Teil 1: Meteorologie und Statistik

Hitze frei in deutschen Wohnungen

Hitzewellen in Deutschland haben sich seit dem Jahr 2000 gehäuft und verstärkt.

Diese gesteigerte Erwärmung erfasst auch die Innenräume. Gleichzeitig haben die Hitzeepisoden erstmalig und ununterbrochen über mehr als drei Wochen andauert. Damit einher geht ein nichtlinearer Anstieg der Häufigkeit extremer Wohnraumtemperaturen oberhalb von 29 bis 30 °C. Diese klimatische Tendenz ist geeignet, notwendige sommerliche Wohnraumkühlung zum drängenden Leitthema der Wohnungswirtschaft zu machen. Flächendeckende bauliche und anlagentechnische Umbauten bestehender Wohnlandschaften sowie Modifikationen der aktuellen Baurichtlinien scheinen dringend geboten.

TEXT: Franz Peter Schröder, Guido Halbig, Julia Mittermüller und Dieter Novotny

Bezogen auf die vergangenen 50 Jahre fallen sechs von zehn Jahren mit ausgeprägten Hitzeperioden und mit steigender Frequenz auf den Zeitraum nach der Jahrtausendwende: 2003, 2006, 2010, 2013, 2015 und 2018. Die Kühlgradtage (CDD) haben sich von 70/a im Fünfjahresmittel auf annähernd 140/a verdoppelt und ihre Saison auf März bis November ausgedehnt. Gesteigerte Erwärmung erfasst auch die Innenräume: Während frühere sommerliche Hitzeperioden die Wohnraumtemperaturen im Mittel um 2-3 K auf etwa 25 °C angehoben haben (mit Ausnahme 2003), so war dieser Effekt mit 5 K in den Jahren 2015 und 2018 annähernd doppelt so stark.

Einleitung und Motivation

Der erste Teil dieses Fachaufsatzes setzt die meteorologisch-klimatischen Tendenzen der vergangenen 50 Jahre auf Basis einer aktuellen Studie in Zusammenhang mit statistischen Zufallsbeobachtungen sommerlicher Wohnraumtemperaturen der vergangenen 20 Jahre in Deutschland und dokumentiert im Wesentlichen deren typische Verteilungen nach 2000 und deren nichtlineare Veränderung – primär während ausgedehnter Hitzeereignisse – innerhalb der vergangenen Halbdekade.

Im zweiten Teil des Beitrags werden anhand ausgewählter Fallbeispiele die differenzierte Hitzeauswirkung auf klassische wie moderne Bausubstanz beschrieben. Zudem ziehen die Autoren Schlussfolgerungen hinsichtlich des Zusammenwirkens von Klimaerwärmung und EnEV-Baustandards auf die Hitzebelastung der Bewohner.

Vorrangig dokumentiert die diesem Aufsatz zugrunde liegende Studie die systematisch eintretenden Veränderungen im Sommerwohnklima und belegt deren steigende Relevanz für die Wohnungswirtschaft. Zunehmender sommerlicher Hitzestress wird immer stärker zu einer medizinisch relevanten Problematik, die auch öffentliche Daseinsvorsorge auf den Plan rufen und letztlich alle Immobilieneigentümer betreffen wird. Betriebstechnisch und arbeitsrechtlich wird möglicherweise bald relevant, dass die Temperaturen in Wohn- und Arbeitsumgebungen häufig die zulässigen Obergrenzen überschreiten und somit zu Arbeitsverboten und Mietminderungs-forderungen führen könnten. Solche Situationen werden im beobachteten Trend der sommerlichen Wohnraumtemperaturen immer wahrscheinlicher.

Betrachtung der meteorologischen Entwicklung

Die Wahrnehmung meteorologischer Hitzeperioden als insbesondere für die Gesundheit der Stadtbevölkerung bedrohliche Wetterphänomene, ist in Westeuropa durch den „Jahrhundertssommer“ 2003 in den Fokus getreten, mit tausenden Todesfällen durch Hitze vorwiegend in Südeuropa, Frankreich aber auch Deutschland. Der Deutsche Wetterdienst führte infolgedessen 2005 ein Hitzewarnsystem ein, über das in 2006 über 6 400, in 2015 über 6 100 und in 2018 über 5 600 Hitzewarnungen herausgegeben wurden. Anhand des Indikators „Anzahl der Sommertage“ (Tage mit mindestens 25 °C) zeigt sich ganz deutlich die Ausnahmesituationen der Jahre 2003 und 2018, sowie ein allgemeiner Trend einer Zunahme der Sommertage um ein Drittel innerhalb der vergangenen 50 Jahre (Bild 1, oben).

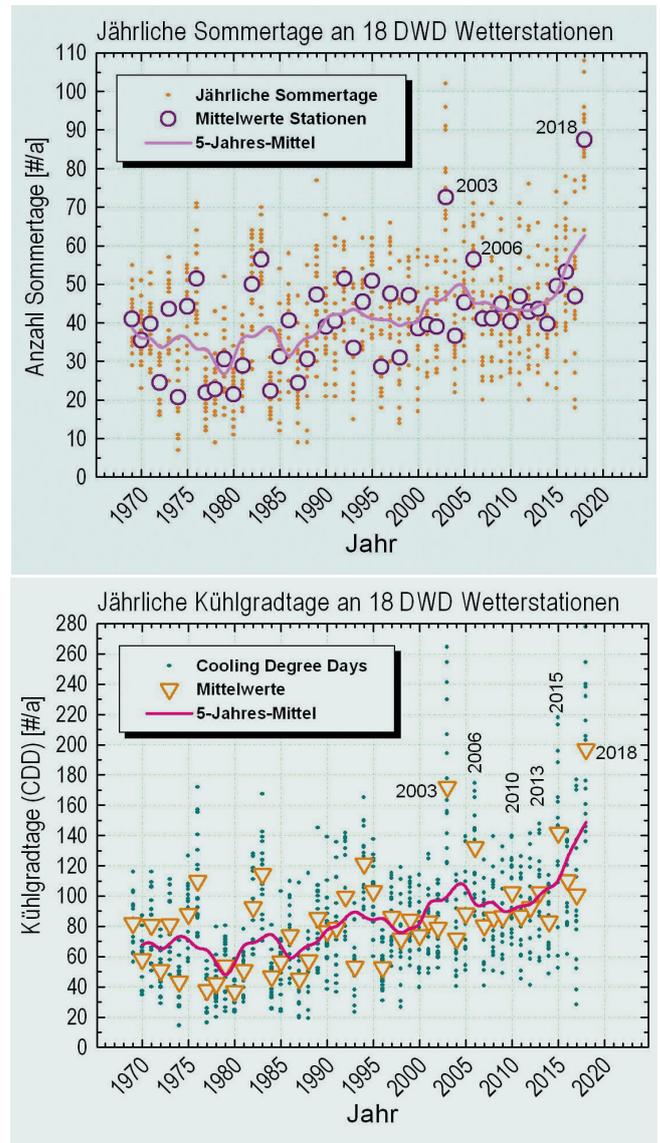


Bild 1a und 1b: Zeitreihen der Sommertage (oben, a) und Kühlgradtage (unten, b, CCD, Kelvin*Tage) an 18 hauptamtlichen DWD-Wetterstationen seit 1969 [2]. Kleine Symbole: Einzelstationen, große Symbole: deren jährliche Mittelwerte. Linien: Gleitende 5-Jahres-Mittelwerte.

Eine naheliegende Korrelation besteht auch zwischen der Zunahme sommerlicher Wärmebelastung und den sogenannten Cooling Degree Days (CDD) oder Kühlgradtagen [1], welche als Indikator für den Kühlbedarf im Wesentlichen den Anstieg der Tagestemperaturen über 22 °C (gewichtet) beschreiben. Bild 1 (unten) illustriert dazu die Jahressummen von CDD an 18 hauptamtlichen DWD-Wetterstationen [2] nahe städtischen Ballungszentren sowie deren Jahres- und Fünf-Jahres-Mittelwerte. Als Hintergrundtrend ist zu erkennen, dass sich die CDD seit den 1970er Jahren verdoppelt haben. Mindestens sechs der zehn höchsten CDD-Mittelwerte fallen in die vergangenen beiden Dekaden, vier davon in die aktuelle.

Bild 2 veranschaulicht zusätzlich, dass die Saison, in der signifikante CDD auftreten, sich von vormals Mai bis September um mindestens zwei weitere Monate auf April bis Oktober ausgedehnt hat. Kühlbedarf entsteht wohl eher noch sporadisch und

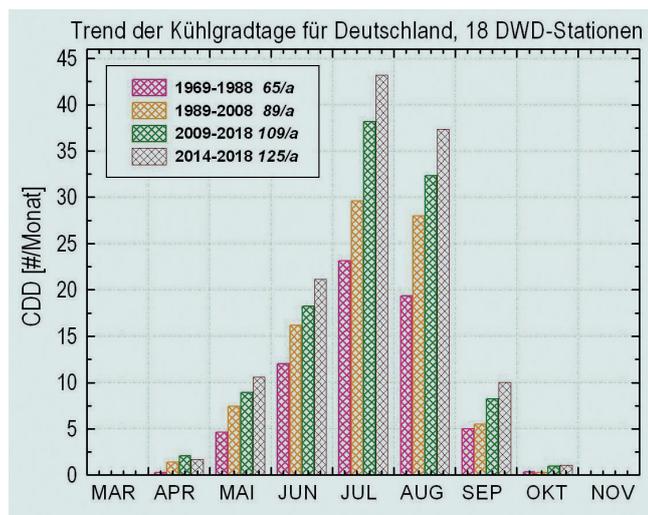


Bild 2: Entwicklung der saisonalen Ausweitung der Cooling Degree-Days (CDD) für 18 Wetterstationen nahe Ballungszentren ([2], Bild 1) bezogen auf vier Jahresintervalle seit 1969.

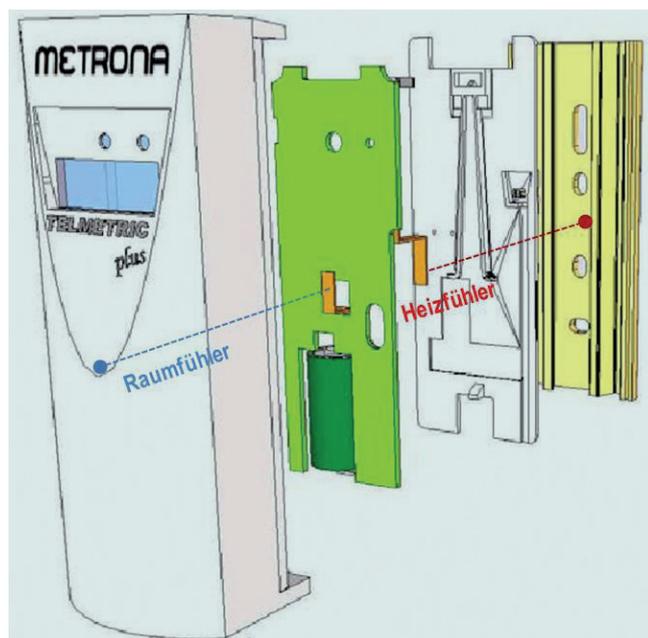


Bild 3: Schema des Elektronischen Heizkostenverteilers (EHKV): Die Gerätefunktionalität basiert auf EDV zweier Temperaturmessungen: Eine thermisch gekoppelt an ein metallisches Montageteil auf der Heizfläche, die andere thermisch isoliert hinter der Vorderseite des EHKV.

kurzzeitig, die Ausdehnung erreicht aber schon diejenige einer typischen Heizsaison und gewinnt weiter an Relevanz.

Hitzewellen sind durch ihre zeitliche Ausdehnung und insbesondere durch die Kombination von hoher Wärmebelastung im Freien (Wege zur Arbeit, Arztbesuche, Einkauf sowie Freizeitaktivitäten) und gleichzeitig hohen Temperaturen im Innenraum (arbeiten, leben, schlafen, krank sein) gekennzeichnet. Neben Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Außenraum wird in einer alternden Gesellschaft (mit zunehmenden Aufenthaltszeiten in Innenräumen) der Erhalt und die Schaffung verträglicher Temperaturen in Gebäuden immer wichtiger. Im Folgenden werden anhand systematischer Zufallsbeobachtungen die statistischen Trends typischer sommerlicher Innenraumtemperaturen im Miet-

wohnungsbestand seit 2006 dokumentiert, mit besonderem Blick auf Perioden ausgewiesener Hitzewellen. Diese Beobachtungen sind nicht flächendeckend repräsentativ aber vorwiegend typisch für städtisch geprägte Umgebungen oder Ballungszentren, die im Unterschied zu ländlicheren Regionen von Hitzestress besonders betroffen sind. Geographisch ist eine grobe Differenzierung für Süd- und Ostdeutschland einerseits, West- und Mitteldeutschland andererseits möglich.

Zufallsmessungen von Raumtemperaturen

Methodik

Elektronische Heizkostenverteiler (EHKV) werden millionenfach in Mietwohnungen betrieben, um mittels monatlicher und jährlicher Integrale von Temperaturmessungen an Heizkörpern die Basis für eine Heizkostenverteilung bereitzustellen (Zweifühlermessprinzip gemäß DIN/EN 834, [3], Bild 3).

Die Registrierung von Heizenergie erfolgt dabei primär in den Wintermonaten, die Auslesung der Verbrauchswerte wird für einen kleineren Teil der EHKV durch eine manuelle Ablesung bewerkstelligt, bei der auch eine einzelne, augenblicklich aktuelle Temperaturmessung für die Plausibilisierung der Gerätequalität verwendet wird [4]. Während des Sommers kommen so tausende über Tag und Tageszeit verteilte Zufallsmessungen zustande, welche zusammengefasst einen anonymen statistischen Schnappschuss der typischen (sommerlichen) Innenraumtemperaturen darstellen. Die hier diskutierten Verteilungen basieren je auf einigen Zehntausenden solcher gestapelter Einzelmessungen aus tausenden Gebäuden, die während Hitzewellen von der Dauer einiger Tage bis Wochen aufgenommen wurden. Für den Vergleich mit den sonst typischen Sommertemperaturen von Juni bis August stehen zugleich mehrere hunderttausend Zufallsmessungen pro Sommer zur Verfügung.

Statistische Beobachtungen seit 2006

Allgemeine Sommertemperaturverteilungen

Bild 4 illustriert typische Innenraumluftverteilungen für den Raum Südostdeutschland (a) beziehungsweise West- und Mitteldeutschland (b) im Sommer sowie deren typische Variabilität von Jahr zu Jahr. Die Messungen umfassen jeweils den Zeitraum Juni bis August, wurden zwischen 2007 und 2015 gewonnen und stützen sich auf insgesamt über drei Millionen zufälliger Einzelmessungen in vielen Gebäuden.

Es zeigen sich leicht unterschiedliche typische Modalwerte der Gesamtverteilungen, nämlich um 22,5 °C der Südostverteilungen und etwa ½ K geringer bei den mitteldeutschen Verteilungen.

Zusätzlich liegen die Standardabweichungen im Südosten mit $\sigma = 2,5$ K etwas höher, was wohl im Wesentlichen auf das etwas kontrastreichere Kontinentalwetter zurückzuführen ist. In West- und Mitteldeutschland überwiegt mehr maritimer, feuchter Wetereneinfluss, was zu einer Homogenisierung ($\sigma = 2,3$ K) und leicht geringeren, aber als schwüler empfundenen Temperaturen, beiträgt.

Insgesamt reicht ein 3 σ -Intervall, das heißt umfassend etwa 99 Prozent aller Sommertemperaturen, für den Zeitraum bis 2015 etwa von 15 °C bis 29 °C (30 °C im Südosten), was als

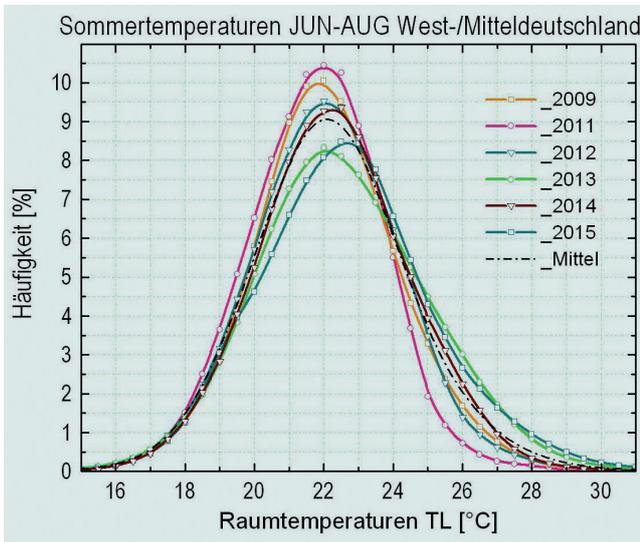
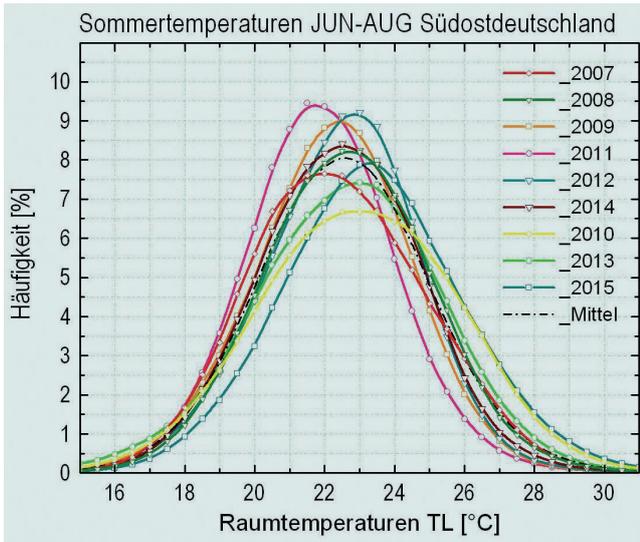


Bild 4a und 4b: Kurvenschaaren gesammelter Sommer-Wohnraumtemperaturen (Hitzewellen eingeschlossen) für jeweils den Zeitraum Juni bis August aus den Jahren 2007 bis 2015 für den Raum Südostdeutschland (oben, a) und den Jahren 2009 bis 2015 für West- und Mitteldeutschland (unten, b); sowie jeweils repräsentative gemittelte Verteilungen über den Gesamtzeitraum. Statistik: 1,3 und 1,8 Millionen Einzelmessungen bei typisch $1,2 - 4 \cdot 10^5$ Messungen in jedem Jahr.

„empirische Ausgangsreferenz“ betrachtet wird, um Hitzestress während verschiedener Hitzewellen damit zu vergleichen. Bislang charakterisieren folglich einen „normalen“ Sommer (inklusive gelegentlicher Hitzewellen) Temperaturverteilungen, bei denen die Häufigkeiten von Raumtemperaturen oberhalb von 29-30 °C noch deutlich im Promillebereich verbleiben.

Schon an diesen typischen Gesamtsommerverteilungen (Bild 4a) zeichnet sich ab, dass die Hitzewellen von 2010, 2013 und 2015 die rechte Flanke der Verteilungen deutlich hin zu höheren Temperaturen verschieben, sodass die Anteile gegebenenfalls schon unangenehmer Raumtemperaturen oberhalb von 26-27 °C insgesamt um ein Mehrfaches zunehmen. Dies gilt auch für die Häufigkeiten der west-/mitteldeutschen Kurven dieser Jahre (Bild 4b), die auf der rechten Flanke bereits jeweils 0,5 bis ein Prozent über denen der Standard-Sommerverteilungen liegen. Ausgeprägter Hitzestress tritt also ganz allgemein überregional auf.

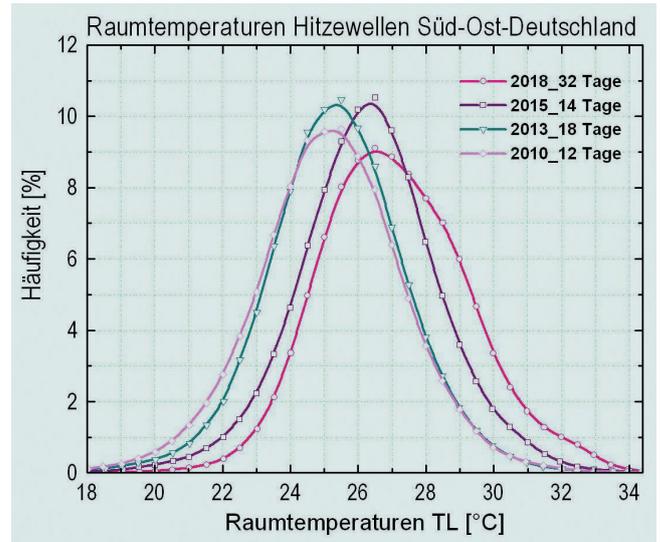


Bild 5: Histogramme von vier Hitzewellen im Raum Südostdeutschland seit 2010.

Raumtemperaturverteilungen während Hitzewellen

In der Thermal-Comfort-Forschung werden traditionell Raumtemperaturen von 20-22 °C als optimal angenommen, da sich der Großteil der Menschen bei normaler Kleidung in diesem Spektrum in einem metabolischen Gleichgewicht befindet, es also weder zu kalt noch zu warm für sie ist [5]. Für den Sommer liegt das noch akzeptable Temperaturspektrum bei 23-27 °C. Höhere Temperaturen können dazu führen, dass die Körpertemperatur aufgrund der zusätzlichen Wärmeenergie nicht mehr ausreichend reguliert werden kann – es kommt zu Hitzebelastung und Hitzestress [6]. Hitzebelastung kann sehr unangenehm sein, sich zum Beispiel in Kopfschmerz, Schwindel oder Erschöpfung äußern. Bleibt eine Abkühlung auch nachts aus, stört dies häufig den erholsamen Nachtschlaf, was eine besondere Belastung für den Körper darstellt. Hitzestress kann bei vulnerablen Personen weitergehende gesundheitliche Folgen haben und zu Dehydrierung, Herz-Kreislauf-Problemen, Atembeschwerden und sogar zum Tod führen [7], [8].

Die Folgeabbildungen beschreiben die Veränderungen der Raumtemperaturverteilungen unter Einfluss der Hitzewellen in 2010, 2013, 2015 und 2018. Hitzewellen verstehen sich dabei meist als Abfolge von Hitzetagen und Tropennächten, die mindestens fünf Tage lang anhält [9]. Derzeit existiert jedoch keine allgemeingültige Definition von „Hitzewelle“, da sie sich je nach Klimaraum unterschiedlich äußert. Für diese Studie sind die Wohnraumtemperaturen relevant, weshalb im Folgenden auf eine „interne Definition“ zurückgegriffen wird: Für die Auswahl der Zeitperioden wird vorgegeben, dass die Tagesmitteltemperaturen aller Messungen in den Wohnräumen (welche typisch zwischen 7:00 und 21:00 Uhr stattfinden) an Ablesemesstagen 24-24,5 °C übersteigen müssen. Beim Einsatz einer Hitzeperiode sind 24,5 °C obligat, bei Einzeltagen Unterbrechung beziehungsweise bei Abklingen der Periode werden Tage mit Mitteltemperaturen abwärts bis 24 °C eingeschlossen.

Die **Bilder 5** und **6** zeigen die Häufigkeits- und Summenhäufigkeitsverteilungen der Raumtemperaturen der vier letzten Hitzewellen im Raum Südostdeutschland. 2010 und 2013 lagen

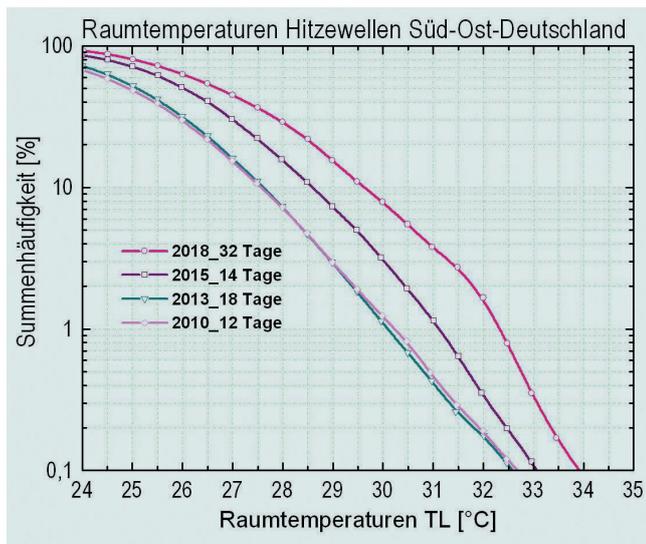


Bild 6: Summenhäufigkeit (abnehmend) zu Bild 5.

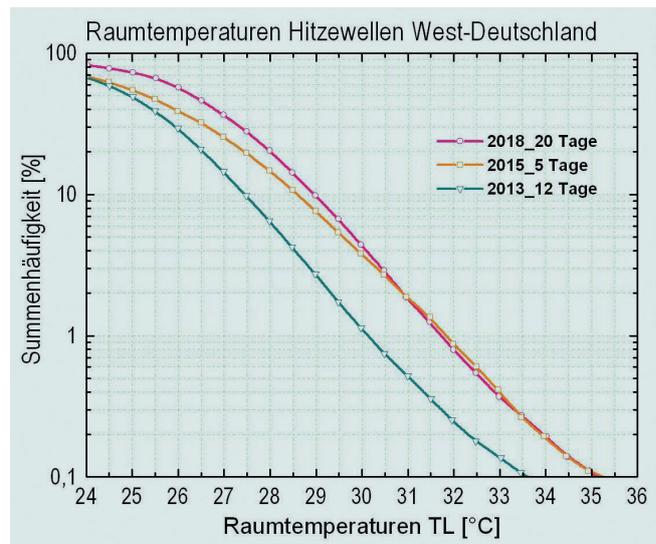


Bild 8: Summenhäufigkeit (abnehmend) zu Bild 7.

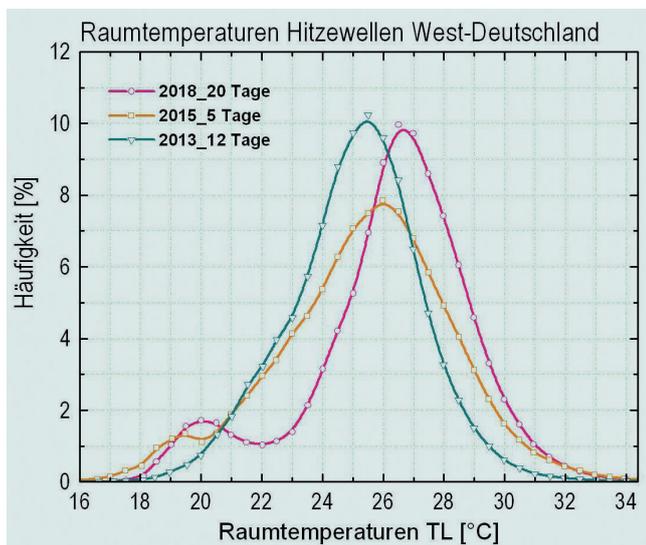


Bild 7: Histogramme von drei Hitzewellen im Raum West- und Mitteldeutschland seit 2010.

die Modalwerte (und Mediane) der Kurven noch bei 25 °C, 2015 und 2018 erfolgte eine weitere Rechtsverschiebung bis zu 26 °C und annähernd 27 °C. Dabei wandern die steilen Flanken dieser Kurven linksseitig in den Bereich um und über 24 °C, rechtsseitig in den Bereich um und über 28 °C. Das bedeutet, substantielle Anteile der Räume wechseln einerseits von einem noch angenehmen in den gerade noch akzeptablen Temperaturbereich, andererseits von noch akzeptabler Überwärmung hin zu hitzebelasteten Umgebungen. Die Summenhäufigkeitsverteilung stellt heraus, dass die Häufigkeit dieser Hitzestressumgebungen sich 2015 und 2018 verfünffacht bis verzehnfacht hat. Insgesamt ist nachzuvollziehen, dass große Anteile der Wohnumgebungen – auch gegenüber früheren Hitzewellen – in unangenehm warme Regime übergehen und auch die „angenehm kühlen Fluchtpunkte“, zum Beispiel Räumlichkeiten unter 21 °C, um ein Mehrfaches schrumpfen.

Eine sehr wichtige Beobachtung ist abschließend, dass die Dauer der Hitzeperioden sich bislang immer maximal über 1,5 bis zwei Wochen erstreckte, die Schwelle von drei und sogar vier

Wochen aber mit 2018 erstmalig und deutlich überschritten wurde. Gerade aus medizinischer Sicht weist dies auf eine möglicherweise kritische Entwicklung hin.

Entsprechende Beobachtungen gelten ebenso, allerdings etwas abgeschwächt, für die Raumtemperaturen in West- und Mitteldeutschland aus 2013, 2015 und 2018, die in den Bildern 7 und 8 illustriert sind. Die Rechtsverschiebungen der Kurven wie auch die relative Zunahme extremer Temperaturen jenseits der 29 °C sind vergleichbar, gleichzeitig finden sich im Unterschied zu Südostdeutschland aber ansatzweise eigene „Linksausleger“ auf den linken Verteilungsflanken, die einen sichtbaren Hinweis auf den zunehmenden Einsatz von Klimaanlage darstellen.

Dies liegt wohl zu weiten Teilen an dem Umstand, dass die Mietraumstrukturen in westdeutschen Regionen einen höheren Anteil an Kleingewerbeinheiten beinhalten, die typischerweise innerhalb von Mehrfamilien-Wohnhäusern beheimatet sind. Arztpraxen, Gastronomie, Friseursalons und kleine Einzelhändler klimatisieren ihre Gewerbeinheiten üblicherweise häufiger als dies in Privatwohnungen heute noch üblich ist. Die „unerwartete“ Klimaanlage-Mode auf den linken Verteilungsflanken dokumentiert mit ihrer zunehmenden Ausprägung auch den zunehmenden Energieeinsatz zur Schaffung „kühler Fluchtpunkte“ während sommerlicher Hitzewellen.

Typisch für das stärker maritim beeinflusste Westdeutschland sind ohnedies meist mildere, feuchtere Luftmassen, homogenere Bewölkung und eine tieferliegende geografische Lage, was zwar einerseits die solare Strahlungswirkung reduziert, jedoch andererseits auch die nächtliche Strahlungsauskuhlung unter Wolken-schichten begrenzt. Dadurch bestehen geringere Temperaturkontraste im Tag-Nacht-Rhythmus, häufiger schwül-tropische Nachttemperaturen, und damit längere Intervalle ohne temporäre Temperaturentlastung. Auch dies mag bereits zu einer weiteren Verbreitung von aktiven Klimaanlage in Westdeutschland beigetragen haben.

Vorläufiger Ausblick zum Stadtklima

Die Atmosphärenerwärmung mit häufigeren und ausgedehnteren Hitzeperioden spielt für das deutsche Wohnraumklima offensichtlich eine zunehmend wichtige Rolle, denn in den vergange-

nen fünf Jahren hat sich das Spektrum der Innenraumtemperaturen – wie gezeigt – unerwartet stark nach oben verschoben.

Natürlich sind Wohnraumtemperaturen eng assoziiert mit dem sie umgebenden Stadtklima, das sich vor allem in den Ballungsräumen aufgrund des Hitzeinseleffekts überproportional erwärmt. Am sommerlichen Münchener Stadtklima (Bild 9) ist zum Beispiel zu erkennen, dass sich die Tage mit Maximaltemperaturen > 20, > 25 und > 30 °C seit den 1980er Jahren annähernd verdoppelt, verdreifacht, beziehungsweise versechsfacht haben. Erst seit den 2010er Jahren kommen regelmäßig wenige Tage mit > 34 °C hinzu. Dieser Ballungsraum steht nun vor dem Punkt, dass Tagesmaxima von 34, 30, 25, 20 °C eine Woche, einen Monat, drei, beziehungsweise fünf Monate lang im Jahr überschritten werden. Zu dieser Stadtklimaveränderung gehört auch eine ausgedehntere Periode solarer Einstrahlung: Seit Anfang der 1990er Jahre haben Sommertage mit über acht Sonnenstunden (verglichen mit 2014 bis 2018) von 60 auf 80 zugenommen, die Sonnenstunden insgesamt um ein Drittel, von 700 auf etwa 930. Diese Beobachtung ist besonders erwähnenswert, weil die Strahlungsenergie nicht nur die Außenflächen, sondern durch Glasfronten hindurch auch die Innenraumbereiche direkt aufheizt.

Insgesamt haben sich, wie in Bild 10 gezeigt, die mittleren monatlichen Tagesminima (Juni bis August) um 2,5 K, von 13,6 °C auf 16 °C, die mittleren Tagesmaxima sogar um ganze 4,5 K, von 22 °C auf 26,5 °C gesteigert (im Fünfjahresmittel). In den vergangenen drei Jahren liegen bereits fast alle Sommermonate nahe dieser Werte.

Wie sollte man auf den Trend reagieren?

Die Zunahme immer länger und stärker aufgeheizter Wohnumgebungen im Sommerhalbjahr ergibt sich im Wesentlichen aus einem in den Spitzen erhöhten Eintrag von Wärmeenergie sowie schwächeren und selteneren Abkühlungsphasen. Physikalisch ist dem Dilemma eines hoch aufgeheizten, massereichen Wärmespeichers – nichts anderes repräsentiert eine Gebäudemasse während einer Hitzeepisode – nur beizukommen, indem Energieeinträge auf und in das Gebäude frühzeitig geblockt und auflaufende Wärmeüberschüsse innerhalb des Gebäudes frühzeitig und nachhaltig abgeführt (und möglichst anderswo zwischengespeichert) werden. Dies sollte unter der Vorgabe erfolgen, dass der Energieeinsatz zur Bewerksstelligung der Wärmetransporte („gegen die Entropie“) niedrig ausfällt und weitgehend „regenerativ“ erfolgt.

Andererseits ist die Forcierung von Klimaanlagebetrieb zur Wohnraumkühlung eigentlich nur als teure, kurzfristige „Notfallmaßnahme“ tolerierbar. Es ist – gerade für die Wohnungswirtschaft – wirtschaftlich wie technisch kaum realisierbar, den gesamten Mietwohnungssektor mit energieintensiven Klimaanlage nachzurüsten, ganz zu schweigen von deren Kontraproduktivität im Hinblick auf Klimaneutralität des Gebäudebestandes. Installationen wären bestenfalls dort sinnvoll, wo sich der Sommerbetrieb aus lokalen regenerativen (Strom)quellen speisen ließe.

Es wird wohl schon kurzfristig unabdingbar, sich mit tiefgreifenden modifizierten (Um)baukonzepten und vor allem

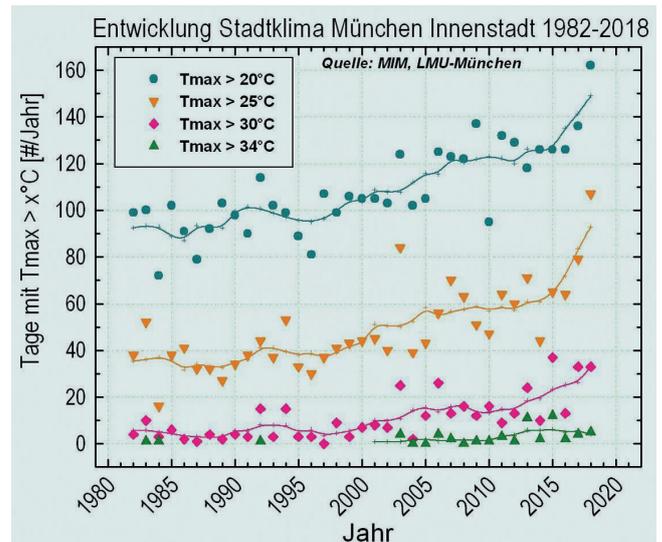


Bild 9: Stadtklimatrend in der Münchener Maxvorstadt seit 1982, dokumentiert durch die Dauer-Messdatenreihe des Meteorologischen Instituts der LMU München. Abgebildet ist die jährliche Anzahl von Tagen mit Außentemperaturmaxima über 20, 25, 30 und 34 °C. [10]

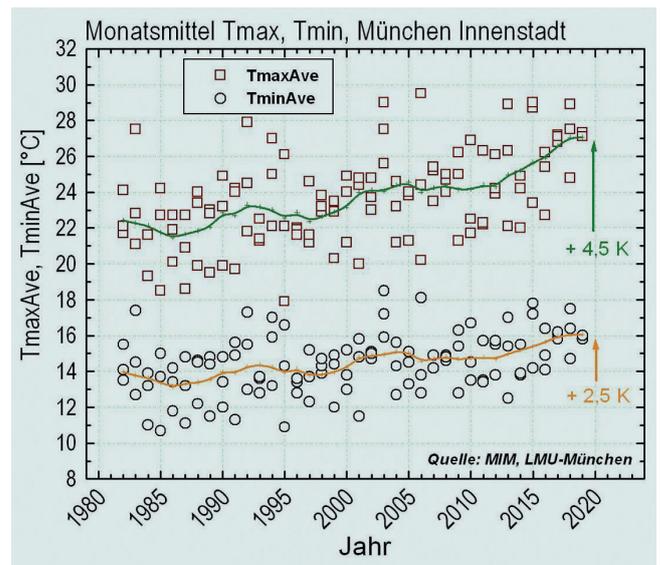


Bild 10: Entwicklung der mittleren monatlichen Tagesmaxima und Tagesminima (jeweils Juni, Juli und August) der Außentemperatur in der Münchener Maxvorstadt seit 1982. [10]

möglichst geringinvestiven Anpassungsmaßnahmen im breiten Wohnungsbestand auseinanderzusetzen. Dazu gehören auch Infragestellung und Korrektur der Baugesetzgebung, insbesondere der EnEV, welche nicht nur das Bauen an sich unwirtschaftlich verteuert hat, sondern wohl auch im Hinblick auf systematische Wohnraumerhitzung und Eliminierung letzter kühler Rückzugsräume im Sommer eine fragwürdige Rolle spielt. Der folgende, zweite dieser Studie (HLH Bd. 70 (2019) Nr. 10) wird den Fokus auf diese Aspekte legen.

L I T E R A T U R

- [1] Spinoni, J.; Vogt, J.; Barbosa, P.: European degree-day climatologies and trends for the period 1951-2011. *Int. J. Climatol.* 35: 25-36 (2015), ([wileyonlinelibrary.com](https://doi.org/10.1002/joc.3959)) DOI: 10.1002/joc.3959
- [2] Hauptamtliche Wetterstationen des DWD; Auswahl: Augsburg 232, Berlin 430, Bremen 691, Dresden 1048, Düsseldorf 1078, Erfurt/Weimar 1270, Frankfurt 1420, Hamburg 1975, Hannover 2014, Köln 2667, Lahr 2812, Magdeburg 3126, Potsdam 3987, Regensburg 4104, Saarbrücken 4336, Stuttgart 4931, Trier 5100, Würzburg 5705. Zeitreihen verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klarchivtagmonat.html?nn=495662>
- [3] DIN EN 834: Heizkostenverteiler für die Verbrauchserfassung von Raumheizflächen – Geräte mit elektrischer Energieversorgung. Deutsche Fassung EN 834:2013, Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), www.din.de, www.beuth.de
- [4] Schröder, F.; Papert, O.; Boegelein, T.; Navarro, H.; Mundry, B.: Reale Trends des spezifischen Energieverbrauchs und repräsentativer Wohnraumtemperierung bei steigendem Modernisierungsgrad im Wohnungsbestand. *Bauphysik* 36 (2014), Heft 6, S. 309-324. https://www.brunata-metrone.de/site_data/user_upload/downloads/bauphysik_36_2014.pdf
- [5] Fanger, P.O. *Thermal Comfort: Analysis and application in environmental engineering*. Danish Technical Press, Copenhagen 1970.
- [6] Epstein, Y.; Moran, D. S.: Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health* 44(3): pp. 388-98, August 2006; DOI: 10.2486/indhealth.44.388
- [7] Scherer, D.; Endlicher, W.: Urban climate and heat stress-Part 1. In: *Die Erde – Journal of the Geographical Society of Berlin* 144.3-4 (2014): S. 175-180.
- [8] Head, K.; Clarke, M.; Bailey, M.; Livinski, A.; Ludolph, R.; Singh, A. (2018): Report of the systematic review on the effect of indoor heat on health. In: *WHO Housing and Health Guidelines*. World Health Organization.
- [9] Tinz, B.; Freydank, E.; Hupfer, P. (2014): Hitzeepisoden in Deutschland im 20. und 21. Jahrhundert. In: Lozán, J. L.; Grassl, H.; Karbe, L.; Jendritzky, G. (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage. Elektron. Veröffentl. (Kap. 3.1.8) www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de
- [10] Wetterstation des Münchener Institutes für Meteorologie (MIM) der LM Universität München: Zeitreihen der meteorologischen Standardparameter am Standort M-Maxvorstadt seit 1982, einsehbar unter <https://www.meteo.physik.uni-muenchen.de/~paul.james/>

Dr. rer. nat. Franz Peter Schröder

ist Senior Scientist F&E bei der Metrona Union GmbH, München. Zuvor war der Geophysiker als Klimaforscher am DLR tätig.

Guido Halbig

ist Diplom-Meteorologe und Leiter der Niederlassung und des Klimabüros Essen des Deutschen Wetterdienstes.

M.Sc. Julia Mittermüller

ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Ludwig-Maximilian-Universität München, Institut für Soziologie.

Dipl.-Ing Dieter Novotny

ist Leiter Technik bei der Brunata-Metrone GmbH, Hürth.

Entwicklung deutscher Wohnraumtemperaturen mit intensiveren sommerlichen Hitzewellen

Teil 2: Fallbeispiele für alte und moderne Bausubstanz

Hitze frei in deutschen Wohnungen

Hitzewellen in Deutschland haben sich nach dem Jahr 2000 gehäuft und verstärkt [1].

Mittlere Aufheizungseffekte von Wohnungen bis zu 5 K konnten seit Mitte der laufenden Dekade beobachtet werden, andauernd über mehr als drei Wochen. In 2013, 2015 und 2018 wurden Hitzeepisoden auch durch Smart-Submetering dokumentiert. Besonders in modern isolierten EnEV-Gebäudehüllen kommt sommerliche „Überwärmung“ offenbar deutlicher zum Tragen als in Bestandsbauten. Dies führt weitgehend zum Verschwinden moderater Temperaturen unter 25 °C und nächtlicher Erholungsinseln.

TEXT: Dr. Franz Peter Schröder, Professor Dr. Tobias Teich, Professor Dr. Bernhard Gill und Dieter Novotny

Möglicherweise wird Wohnraumkühlung als medizinische Vorsorge für den Sommer bald zum Leitthema für die Wohnungswirtschaft. Flächendeckende bauliche Veränderungen wie Fensterverschattung, Erhöhung der Fasadensadenreflexivität, dezentrale nächtliche Raumlüftung sowie Direktkühlung mittels bestehender hydraulischer Heizanlagen kommen infrage als umweltschonende Alternativen gegenüber umweltbelastendem Klimaanlagebetrieb.

Überleitung und Motivation

Teil 1 dieser Studie hatte meteorologische Hitzeepisoden als physiologisch bedrohliche Wetterphänomene, ihre statistische Häufung sowie eine substanzielle Aufheizung des Stadtklimas in Deutschland behandelt [1].

Bild 1 hebt extreme und dauerhafte Hitzeepisoden hervor, die gekennzeichnet sind durch heiße Luftmassen, begleitet durch ausgeprägte, stabile Hochdruckwetterlagen mit zusätzlich dauerhafter Solareinstrahlung. Aus den meteorologischen Langzeitdaten von 18 deutschen DWD-Wetterstationen [2] wurden jährliche Sommersequenzen integriert, an denen die tägliche Sonnenscheindauern je zehn Stunden überstiegen und die Tagesmaxima T_x je 30 °C überschritten haben. Der Parameter „Sonnenstun-

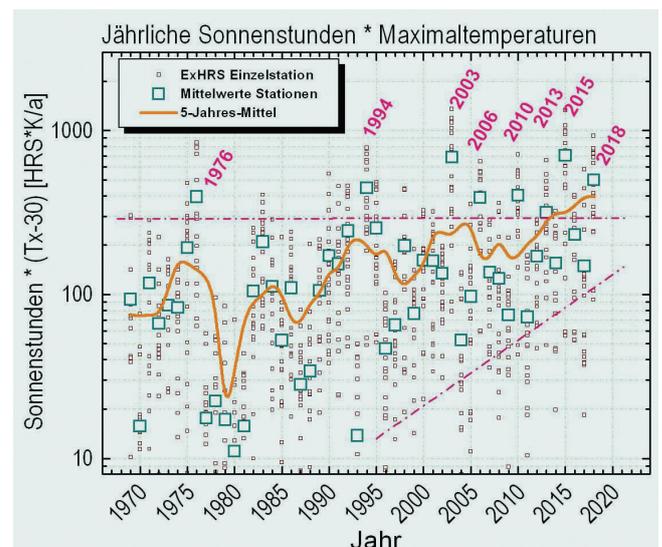


Bild 1: Zeitreihen der jährlichen Integralen Sonneneinstrahlungsdauer zwischen Juni und August an Tagen mit mindestens zehn Tagestunden Sonnenschein und gewichtet mit dem Temperaturanstieg der Tagesmaxima T_x über 30 °C hin-aus ([(Sonnenstunden • Kelvin/a)], dargestellt für 18 DWD-Wetterstationen in der Nähe von Siedlungszentren (kleine Symbole, [2]) sowie jeweils als Mittelwert aller Stationen (Quadrate, 5-Jahres-Mittel als Linie).



Bild 2: Teilmodernisierte Wohnblöcke im Großraum Leipzig, viergeschossige Altbausubstanz aus den 1960er Jahren. Zwei Wohnanlagen mit etwa 90 Wohneinheiten wurden betrachtet.

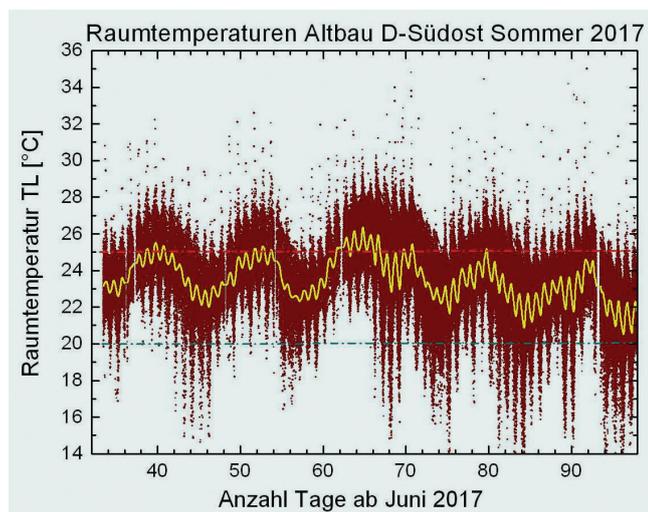


Bild 3: Stundenmittelwerte der Temperatur (braun) aus 380 Wohnräumen in etwa 90 Wohneinheiten im Sommer 2017 (3. Juli bis 4. September). Gelb: Mittelwert über je alle Messstellen und gleitend über je 24 Stunden.

den $\cdot (Tx-30)$ “ solcher Hitzeepisoden überschreitet jeweils den Wert 300, nämlich: in zwei „Jahrhundertsommern“ mit Dürreperioden, 1976 und 1994, innerhalb von 30 Jahren, anschließend sechsmal in den knapp zwei Folgejahrzehnten. Die Kennwerte der ehemaligen „Jahrhundertsommer“ erreichten jeweils um die 400, die Hitzeepisoden nach 2000 im Mittel 500, alle übrigen Sommer im Mittel etwa nur 100 [Sonnenstunden \cdot K/a]. Seitdem haben sich auch die geringsten noch auftretenden Jahres-Mittelwerte etwa verzehnfacht.

Hitzewellen werden primär wahrgenommen, sobald sommerliche Wärmephasen individuell in Hitzestress übergehen und vorzugsweise dann werden Wohnungen und Innenräume als Schutz- und Erholungszonen wichtig [1]. Teil 2 dieser Studie beschreibt hier anhand weniger Fallbeispiele die differenzierte Hitzeauswirkung auf klassische wie auf moderne Bausubstanz und weist hin auf die Zusammenwirkung fortschreitender Atmosphärenerhitzung mit der weiteren Umsetzung moderner EnEV-Baustandards.

Smart-Submetering-Messungen

Methodik

In ausgewählten Forschungs-Wohnobjekten in Süd- und Ostdeutschland werden seit Jahren elektronische Heizkostenverteiler (EHKV) eingesetzt [3], welche neben ihrer Standardfunktion als „ubiquitäre Smart-Meter“ stündlich Raumtemperaturmessungen für den Betrieb von Einzelraum-Heizungsregelungen und Information über den Heizenergieverbrauch übertragen [4]. Hochauflösenden Daten aus acht Gebäuden mit etwa 150 Wohnungen dokumentieren unter anderem auch tageszeitliche Verläufe der Innenraumtemperaturen bei Hitzewellen in unterschiedlicher Bausubstanz und sollten auch die Einschätzung verschiedener Maßnahmen zur Abmilderung von Hitzestress in Stadtquartieren erleichtern. Zwei Fallstudien in Zusammenarbeit mit der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ), der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), und gemeinnützigen Wohnungswirtschaftsunternehmen werden hier exemplarisch betrachtet, ergänzend zusätzlich Innenraum-Temperaturmessreihen aus früheren Forschungsprojekten in einigen Passiv- und Niedrigenergiehäusern, betreffend Hitzewellen bis 2010 (Quelle wie [5]).

Beobachtungen

Fallbeispiel 1: Altbau Südostdeutschland 2017/2018

Das erste Fallbeispiel beschreibt sommerliche Temperaturverteilungen im teilmodernisierten Mehrfamilienhäusern in Ostdeutschland (**Bild 2**), in denen im Zeitraum seit 2014 Feldforschung zum Energetischen Sanierungsmanagement betrieben wird. Als Ergänzung zum winterlichen Heizungs-Monitoring wurden dabei über die Sommermonate Temperaturzeitreihen aus etwa vierhundert Wohnräumen gewonnen. **Bild 3** beschreibt einen warmen, für Südostdeutschland ansonsten typischen Hochsommer, mit etwa fünf gleichmäßig verteilten periodischen Wetterwechseln im Zeitraum von jeweils etwa zwölf Tagen. Die gleitenden Mitteltemperaturen (gelbe Kurve) verdeutlichen diesen Rhythmus und die durch die Tages- und Nachtzeiten aufgeprägten Schwankungen in den Innenräumen. Im Wesentlichen bewegt sich die Mittelkurve zwischen 22 und 25 °C, die effektiven Tagesmitteltemperaturen übersteigen 25 °C mit Ausnahme der ersten Augusttage nicht. Maximale Temperaturen von um und über 30 °C in einzelnen Räumen bleiben die Ausnahme während umgekehrt die Nachttemperaturen mit den Wetterwechseln immer wieder und deutlich unter 20 °C abfallen. Insgesamt verharret das Gros der Wohnräume weitgehend unter 25 °C und es ist davon auszugehen, dass in jeder Wohneinheit durchgehend ein kühlerer Raum vorhanden sein wird.

Der Sommer 2018 hingegen (**Bild 4**) liefert einen dazu kontrastreichen Verlauf mit einer ausgedehnten Hitzeperiode, die durchgehend vier bis fünf Wochen vom letzten Julidrittel bis in die letzte Augustwoche andauerte. Für fast drei Wochen steigen hier die Mittelwerte bis über 27 °C hinaus und liegen damit um 2 bis 3 K über denen des Vorjahres. Substantielle Anteile der Wohnräume überschreiten in diesem Zeitraum deutlich 29 bis 30 °C und andererseits nur wenige Ausnahmen fallen (nachts) unter 20 °C zurück. Diese lang anhaltende Hitzeperiode – in einer

für hunderttausende Wohnungen repräsentativen Umgebung – beschreibt eindrücklich, in welche Richtung sich ein typisches Innenraumklima unter stationärer, sonnenreicher Hochdruckwetterlage („Blocking“) wie sie hier vorlag, entwickeln kann. 2018 ist das nach 2003 stärkste, dabei aber exklusiv das dauerhafteste Hitzeereignis, welches bislang in Deutschland zu beobachten war. Die statistischen Durchschnittstemperaturen der beschriebenen Sommer können mit etwa (23,4 +/- 1,8) °C für 2017 und (25,4 +/- 6,4) °C für 2018 angegeben werden, das heißt für typische Bestands-Wohnraumumgebungen wie hier hatte sich das Temperaturspektrum mindestens um 2 K nach oben verschoben. Angesichts der meteorologischen Aufwärtstrends von Sommertagen und CDD seit den 1970er Jahren [1] ist kaum zu bezweifeln, dass vergleichbare Innenraumtemperaturen zukünftig noch häufiger und unter Umständen noch stärker auftreten werden.

Fallbeispiel 2: Neubau EnEV-2009 Süddeutschland 2013

Das zweite Fallbeispiel beschreibt sommerliche Temperaturverteilungen in sechs gemäß modernem EnEV-2009 Baustandard isolierten Mehrfamilienhäusern mit insgesamt 48 Wohneinheiten im Großraum München (Bild 5), welche ebenso bereits Gegenstand vergangener Feldforschungsprogramme zur Heizenergieeffizienz gewesen waren [4]. Auch in deren Verlauf wurde über die Saison Smart-Submetering betrieben und – in diesem Fall für 2013 – die sommerliche Hitzewelle in Wirkung auf die Innenräume dokumentiert.

Obwohl die Außentemperaturen um München während der Hitzewelle 2013 moderater und zeitlich weniger ausgedehnt verliefen als 2015 oder 2018, so sind bereits deutliche Anhebungen und Homogenisierung der Innenraumtemperaturen im Vergleich mit typischen Bestandsbauten zu beobachten. Bild 6 zeigt analog zu Fallbeispiel 1 die gesammelten Zeitreihen von 140 Temperaturmessstellen innerhalb der Gebäude (violett) mit dem entsprechenden gleitenden Temperaturmittel (orange) und dessen Tagesgang.

Die zentrale Hitzewelle begann im letzten Drittel des Juli und dauerte bis Ende der ersten Augustwoche an, etwa während das Innenraum-Temperaturmittel bis auf 27 °C und darüber hinaus ansteigt. Erwähnenswert ist, dass einerseits nur relativ wenige und sporadische Ereignisse über 30 °C Raumtemperatur auftreten, dass andererseits aber etwa während zweier Wochen keine oder kaum mehr Raumtemperaturen unter 25 °C vorkommen (vgl. auch Bild 9). Bild 7 zeigt dann anhand der linken beiden Kurven gut 1½-2 K auftretende Diskrepanz zwischen den Gesamtsommerverteilungen (Juni bis August) der Bestands- und der EnEV-2009-Gebäude, mit Modalwerten je kurz unter 23 °C und 25 °C. Entsprechendes gilt – leicht abgeschwächt – auch für deren Verteilungen während der zentralen Hitzewelle mit etwa 25 °C und 26,5 °C. Die verbleibende Verteilung rechtsaußen, mit Modalwert um 28 °C, steht schließlich für nochmals höhere Innenraumtemperaturen in zwölf Zweiraum-Appartements der Wohnanlage, mit ausschließlich südwärts ausgerichteten Fensterfronten und zum Beispiel keiner direkten Möglichkeit zur Außenverschattung und nächtlichen Querlüftung durch die Gebäudetiefe.

Zusammenfassend wird beobachtet, dass während der noch moderaten und begrenzten Hitzewelle in 2013 in diesen modern isolierten Gebäudehüllen bereits Hitzestresssituationen aufgetreten sind, die sich in vergleichbarer Ausprägung in älteren Gebäuden erst in der Folge stärkerer Hitzeereignisse 2015 und 2018 gezeigt haben.

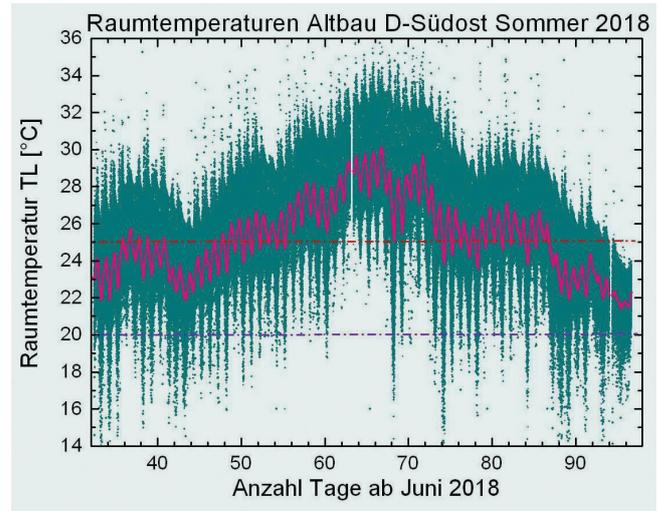


Bild 4: Stundenmittelwerte und Gesamtmittelwerte der Raumtemperaturen TL wie in Bild 3, für die Sommersaison mit Hitzeperiode in 2018.



Bild 5: Neubau-Wohnblöcke nach EnEV-2009-Standard im Raum München, dreigeschossig mit je acht Wohneinheiten und 600 m² Wohnfläche. Sechs baugleiche Gebäude mit zusammen 48 Wohneinheiten wurden betrachtet.

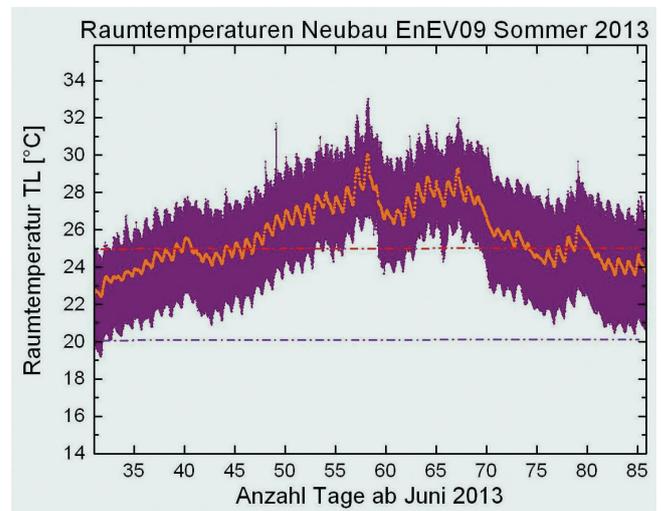


Bild 6: Stundenmittelwerte der Temperatur (violett) aus 140 Wohnräumen in 48 Wohneinheiten in 2013 (1. Juli bis 25. August). Orange: Mittelwert über alle Messstellen und gleitend über 24 Stunden.

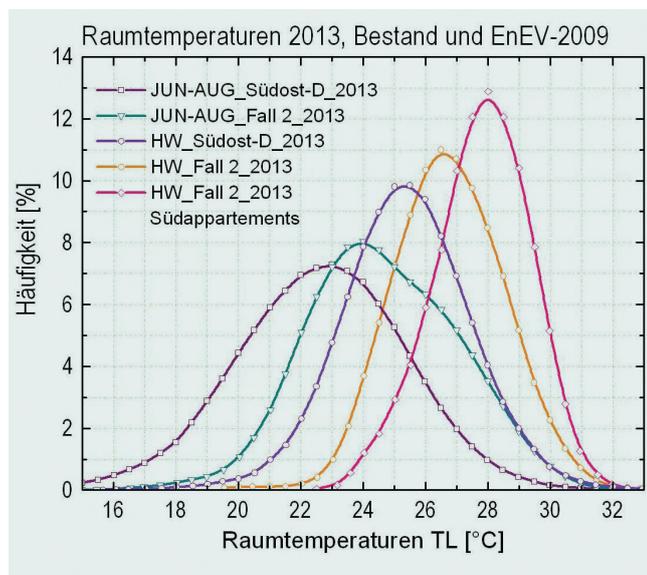


Bild 7: Häufigkeitsverteilungen der Innenraumtemperaturen, vergleichend für den allgemeinen Wohnungsbestand und den EnEV-2009-Neubau sowie den Gesamtsummer und die Hitzewelle 2013.

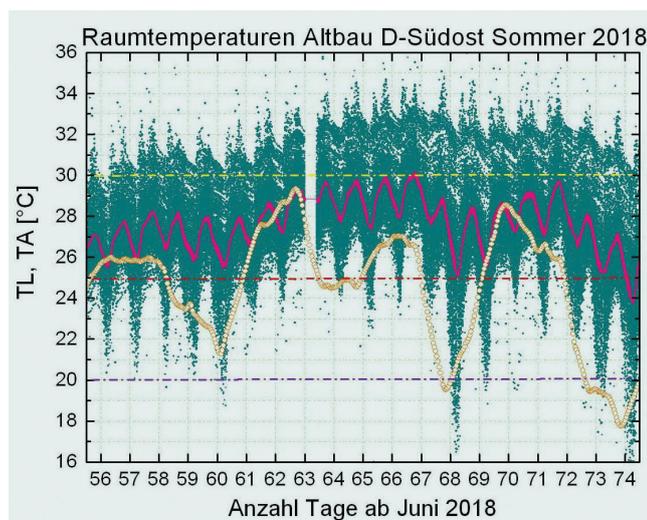


Bild 8: Ausschnitt Zeitreihe TL im Bestandsbau 2018 (vgl. Bild 5) mit gemittelter Außentemperatur TA (gelb, DWD-Stationen Leipzig/Halle und Gera).

Vergleich klassischer mit neuen EnEv-Gebäudehüllen

Die **Bilder 8** und **9** stellen die Temperaturzeitreihen der Bestands- und Neubauten beider Fallbeispiele gegenüber, stärker fokussiert auf den Kern der Hitzewellen. Die dabei festzustellende Beobachtung ist, dass die tageszeitliche Variabilität der Raumtemperaturen im Bestandsbau noch gut 15 K betragen kann, während sie in Neubauten auf nur etwa 5 K zusammenschrumpft. Dabei kommt es eben in den modernen Gebäudehüllen nicht mehr zu einer substanziellen Abkühlung in der Nacht, das heißt die „Homogenisierung“ der Innenraumtemperaturen geht ganz zu Lasten der kühleren Erholungsumgebungen unter etwa 25 °C.

Bild 8 zeigt explizit, dass sich im Bestandsbau selbst während der stärksten bislang beobachteten Hitzewelle 2018 fast jede Nacht noch Raumtemperaturen unter 25 °C etablieren und an

zwei Dritteln der Nächte noch bis nahe 20 °C absinken können. Im Kontrast dazu erzeugte die moderatere Hitzewelle 2013 im EnEV-2009 Neubau ein Raumklima, das zwar in den Tagesspitzen kaum über 32 °C hinausreicht, im Nachtverlauf aber fast ausnahmslos um oder über 25 °C verharrt (Bild 9). Dies gilt auch, wenn Episoden von einzelnen bis wenigen Tagen mit kühleren Außentemperaturen vorkommen, die sich abmildernd im Altbau aber kaum signifikant im Neubau bemerkbar machen.

Als abschließendes Beispiel werden einige statistische Beobachtungen aus den Sommern 2006 und 2010 zusammengefasst, nämlich Zufallsdaten aus Einzelräumen in 1 700 Bestandsbauten [1][3] im Vergleich mit Messzeitreihen aus einigen Passiv- und Niedrigenergiehäusern (PAH, NEH), jeweils während zweier Hitzeperioden im Juli (exemplarisch siehe [5], Abschnitt 5.2). Die **Bilder 10** und **11** illustrieren die auftretenden Unterschiede: Der Schwerpunkt der PAH/NEH-Temperaturverteilung liegt bei 1 bis 1½ K höheren Raumtemperaturen (über 27 °C) gegenüber dem der Bestandsbauten bei etwa 26 °C. Während noch über ein Drittel der Räumlichkeiten im Bestand unter erträglichen 25 °C verbleiben, ist dieser Anteil bei den hochisolierten Gebäuden bereits auf fünf Prozent geschrumpft und im Bereich unter 23 °C marginalisiert. Somit ist davon auszugehen, dass sommerliche Hitzestressbelastung in modern isolierten Gebäuden für die Bewohner in der Regel ausgeprägter und dauerhafter besteht, wobei nicht unbedingt die Maximaltemperaturen stark differieren müssen, aber die noch verbliebenen kühleren Wohnumgebungen als Fluchpunkte überwiegend oder ganz wegfallen.

Sicher sind die Fallbeispiele nicht ausreichend repräsentativ, um damit einen allgemeingültigen Trend zu beweisen. Sie rechtfertigen es jedoch, zukünftig in EnEV-Neubauten systematischer auf sommerliches Wohnklima und Wärmeschutz zu blicken, besonders auch im Vergleich zu den Bestandsbauten.

Diskussion

Zwei zunächst unabhängige Aspekte wirken bei der Veränderung des deutschen Wohnraumklimas offenbar zusammen: die forciert auftretende Atmosphärenenergieerhöhung mit häufigeren und ausgedehnteren Hitzeperioden sowie die Eigenschaft modern isolierter Gebäude, unbeabsichtigt akkumulierte Sommerhitze dauerhafter einzuschließen als in Bestandsbauten.

Da EnEV-Gebäudehüllen auf die Minimierung (winterlicher) Wärmeflüsse hin optimiert sind, lassen sie auch entsprechend wenig Wärmeabfluss aus einmal überhitzten Innenräumen zu. Was nur für substanzielle Heizenergieerhöhung im Winter erdacht ist, wendet sich im klimaveränderten Sommer nun unter Umständen direkt gegen Wohnkomfort und Gesundheit, indem die Masse der Wohnräume den Temperaturbereich physiologischer Verträglichkeit leichter überschreitet. Dauerhaft hoch aufgeheizte Wohnumgebungen im Sommerhalbjahr sind für EnEV-Gebäude also häufiger als für Bestandsbauten zu erwarten, zumal ihre Weiterverbreitung im Wohnungsbestand bevorsteht.

Wie sollte auf diesen Trend reagiert werden? Gibt es physikalische (energetische) Eckdaten für mögliche – geringinvestive und energiearme – Gegenmaßnahmen im Gebäudebestand?

Langfristige Konzepte könnten eine grundsätzliche Umorientierung von Stadt- und Siedlungsbau auf einen „mediterran“ orientierten Baustil beinhalten:

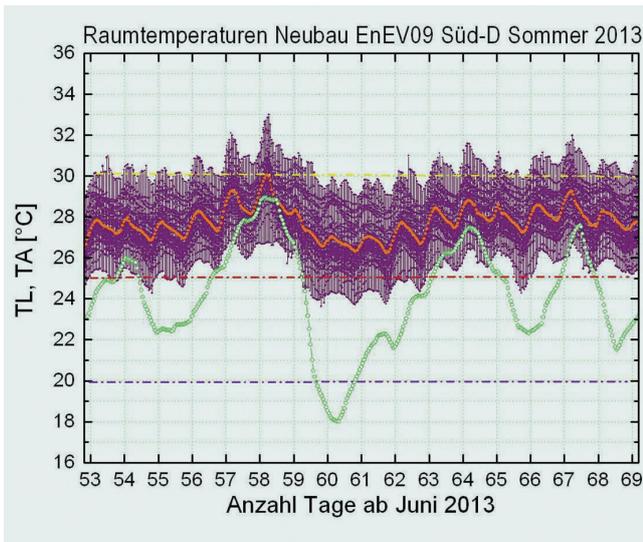


Bild 9: Ausschnitt Zeitreihe in EnEV-2009-Gebäuden in 2013 (vgl. Bild 6) mit gemittelter Außentemperatur TA (grün, gemessen im Quartier vor Ort).

- Verkleinerung von Fensterflächen
- konsequente Fenster-/Fassadenverschattung
- massive Fensterläden (auch als Sturm-/Unwetterschutz)
- systematische Albedovergrößerung der Gebäudeflächen (Farbe, Reflexion)
- Flora-Naturierung von Gebäude- und Siedlungsflächen
- Modifikation der EnEV-Richtlinien hinsichtlich stärkerer Gewichtung von Maßnahmen für passiven sommerlichen Wärmeschutz

Alle baulichen Maßnahmen, die die Vermeidung solarer Energieeinträge – idealerweise nur temporär im Sommer – zum Ziel haben, sollten vorrangig Berücksichtigung finden. Da sich andererseits der Heizenergie-Endenergieverbrauch allein durch moderne EnEV-Gebäudehüllen in wirtschaftlich vertretbarem Rahmen wohl nicht beliebig weit absenken lässt [6][7], wäre die Umwidmung von Investitionen hin zu mehr regenerativen Quellen für die Heizwärmeerzeugung und weiteren geringinvestiven Energieeinsparmaßnahmen ratsam.

Die Strukturen der Energieversorgung unterliegen andererseits einem substanziellen Wandel: Vervielfachung, Dezentralisierung und zeitliche Variation der Quellen, Sektorenkopplung und deren Digitalisierung. In diesem Kontext sind mittelfristige Differenzierungen im Gebäude-Energiemanagement zu erwarten, welche auch den sommerlichen Kühlungsbedarf berücksichtigen und einschließen könnten:

- Dezentrale Lüftungssysteme zur geregelten Ausnutzung nächtlicher und/oder temporär starker Temperaturgradienten zwischen Innenluft und Außenluftmassen (bei 4 bis 10 K, explizit ohne Wärmetausch!). Bei Luftvolumina von 150 bis 200 m³/h und Raum wären typisch einige kWh Wärme pro Raum und Tag aus Innenräumen extrahierbar.
- Moderate aber kontinuierliche (24-Stunden-)Direktkühlung mittels bestehender Heizanlagen über das Sommerquartal. Viele Standardheizkörper sind dazu geeignet, vorzugsweise in Verbindung mit geringinvestiver technischer Erweiterung des bestehenden Heizsystems auf Hybridbetrieb umgestellt zu werden. Wärmeabtransporte bis 20 kWh/(m²a) sind gegebenenfalls erreichbar.

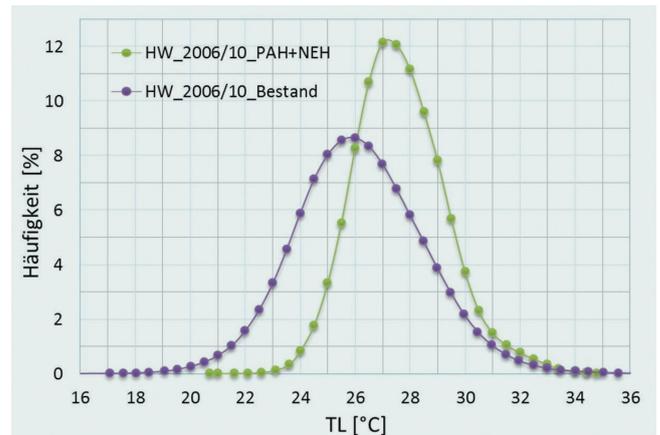


Bild 10: Häufigkeitsverteilungen der Wohnraumtemperaturen bei Hitzewellen im Juli 2006 und Juli 2010 (über je etwa zwei bis drei Wochen) in 1 700 Bestandsobjekten (deutschlandweit, Random-Sampling, 60 000 Messungen) sowie in sechs Passiv- oder Niedrigenergiehäusern (Süddeutschland, Smart-Submetering, 40 000 Messungen, u. a. [5]). Die Kurven sind unter Umständen quantitativ nur eingeschränkt vergleichbar, weil die Messungen im Bestand aus Einzelwohnräumen, die smarten Messungen teilweise aus zentraleren Bereichen der Wohnungen stammen.

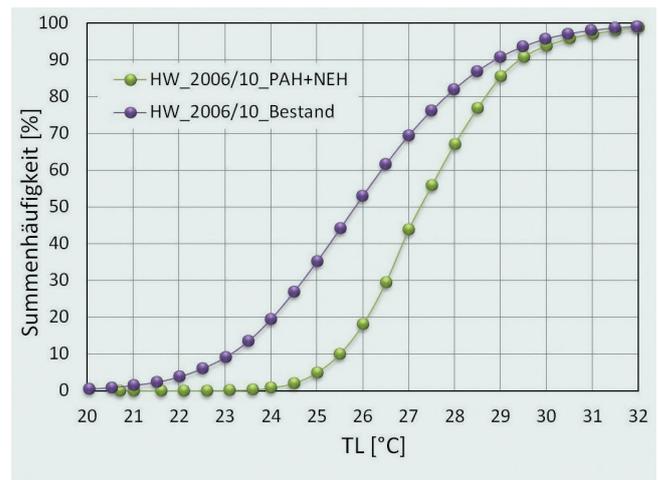


Bild 11: Summenhäufigkeitsverteilungen zu Bild 10. Alle Bilder: Metrona Union GmbH

- Kombination sommerlichen Kühlbetriebs mit Erdwärmespeichern, die im Winterhalbjahr oder in Übergangszeiten den Heizbetrieb unterstützen, im Sommerquartal hingegen und besonders bei Hitzewellen die aus den Gebäuden entfernte Überschusswärme zur späteren Weiternutzung aufnehmen. Die möglichen Kühleffekte von direktem Lüften/Belüftung und Direktkühlung über Heizflächen können sich über einen gesamten Sommer typisch in der gleichen Größenordnung bewegen, temporär aber in Abhängigkeit von Wetter und geografischer Lage stark in Wirksamkeit (Anwendbarkeit) variieren und sich dabei unter Umständen sinnvoll ergänzen. In diesem Kontext wären besonders neue intelligente IT-Infrastrukturen [6] in der Lage, klassische Heizungsanlagen um (saisonal) hybriden Heiz-/Kühlbetrieb inklusive dezentrale Belüftung zu erweitern, und zusätzlich überschüssige sommerliche Wärme aus dem Inneren von Gebäuden abzutransportieren und zwischenspeichern.

Schlussbemerkung

Sommerlicher Hitzestress entwickelt sich seit einer Dekade in beispielloser und unerwarteter Weise ([1] und Bild 1) und voraussichtlich zu einer medizinischen Problematik, die öffentliche Daseinsvorsorger und Immobilieneigentümer verantwortlich mit einbeziehen und systematische Umgestaltungen im Wohnumfeld notwendig machen wird. Die weitergehenden bauphysikalischen Anforderungen der EnEV erweisen sich in diesem Kontext eher als wachsender Teil denn als Lösung des Problems. Der alleinige Fokus von Energiesparvorschriften auf Heizen und Heizenergie verkennt, dass zukünftig der Gesamtenergieverbrauch für Klimatisierung sehr relevant wird, was den Energiebedarf gerade in „Niedrigenergiehäusern“ und bei Verwendung herkömmlicher Klimaanlage erheblich steigern würde. Die Rückbesinnung auf traditionelle Kühltechniken in heißen Ländern und die Einführung neuer intelligenter IT-Infrastrukturen inklusive Wohnungsdigitalisierung sind bei substanziiell geringeren Investitionen weit eher geeignet, mit ihren zahlreichen Anwendungsoptionen wirksam zur Klimaneutralität beizutragen.

LITERATUR

- [1] Schröder, F.; Halbig, G.; Mittermüller, J.; Novotny, D.: Hitze frei in deutschen Wohnungen, Entwicklung deutscher Wohnraumtemperaturen mit intensiveren sommerlichen Hitzewellen, Teil 1: Meteorologie und Statistik, HLH, Bd. 70 (2019) Nr. 9, S.
- [2] Meteorologische Standarddaten Hauptamtliche Wetterstationen des DWD; Auswahl: Augsburg 232, Berlin 430, Bremen 691, Dresden 1048, Düsseldorf 1078, Erfurt/Weimar 1270, Frankfurt 1420, Hamburg 1975, Hannover 2014, Köln 2667, Lahr 2812, Magdeburg 3126, Potsdam 3987, Regensburg 4104, Saarbrücken 4336, Stuttgart 4931, Trier 5100, Würzburg 5705. <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klararchivtagmonat.html?nn=495662>
- [3] DIN EN 834: Heizkostenverteiler für die Verbrauchserfassung von Raumheizflächen – Geräte mit elektrischer Energieversorgung; Deutsche Fassung EN 834:2013; Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.); www.din.de, www.beuth.de
- [4] Schröder, F.; Gill, B.; Güth, M.; Teich, T.; Wolff, A.: Entwicklung saisonaler Raumtemperaturverteilungen von klassischen zu modernen Gebäudestandards – Sind Rebound-Effekte unvermeidbar? Bauphysik 40 (2018), Heft 3, S. 151-160. https://www.brunata-metrona.de/site_data/user_upload/downloads/SD-bapi0318_Metrona_sec1.pdf
- [5] Peper, S.; Feist, W. et al.: Gebäudesanierung „Passivhaus im Bestand“, Messung und Beurteilung energetischer Sanierungserfolge; Forschungsendbericht, Hrsg.: Passivhausinstitut Rheinstr. 44/46, 64283 Darmstadt, Dez. 2008. https://passiv.de/downloads/05_sanierung_phib.pdf
- [6] Schröder, F.; Seeberg, A.; Novotny, D.; Johannsen, F.; Cerny, R.: Statistische Energiekennzahlen für Deutschland: Heizenergieverbrauchsentwicklung im Wohnungsbestand seit 2004. Bauphysik 40 (2018), Heft 4, S. 203-213. https://www.brunata-metrona.de/site_data/user_upload/downloads/SD-bp2018-04_Metrona_sec1.pdf
- [7] Walberg, D.; Gniechwitz, T.; Halstenberg, M.: Kostentreiber für den Wohnungsbau – Untersuchung und Betrachtung der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Gestehungskosten und auf die aktuelle Kostenentwicklung von Wohnraum in Deutschland, 2015; Studie der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e. V. (Hrsg.), Walkerdamm 17, 24103 Kiel, 2015 mail@arge-sh.de



**Dr. rer. nat.
Franz Peter Schröder**

ist Senior Scientist F&E bei der Metrona Union GmbH, München. Zuvor war der Geophysiker als Klimaforscher am DLR tätig.

Bild: Johanna Drechsel

Prof. Dr. Tobias Teich

ist Professor an der Westsächsischen Hochschule Zwickau, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl: Vernetzte Systeme der Betriebswirtschaft, Energiemanagement.

Prof. Dr. Bernhard Gill

ist Professor am Institut für Soziologie der Ludwig-Maximilian-Universität München, Leiter der Arbeitsgruppe Sozialstruktur und Umwelthanpassung.

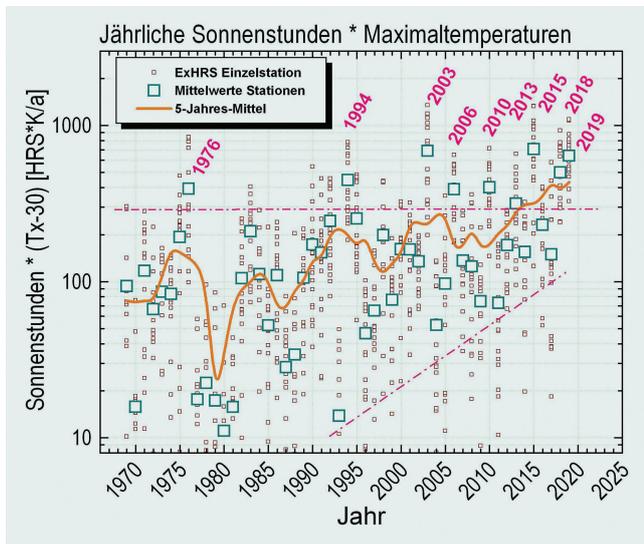
Dipl.-Ing Dieter Novotny

ist Leiter Technik bei der Brunata-Metrona GmbH, Hürth.

Nachtrag im November 2019

Die nachstehenden Graphiken dokumentieren die Fortsetzung extremer Temperaturereignisse – hier für West- und Mitteldeutschland – auch im Folgejahr 2019, die durch zwei je etwa einwöchige Extremhitzeepisoden jeweils Ende Juni und Ende Juli gekennzeichnet waren, im Juli dann mit einmaligen Hitzerekorden.

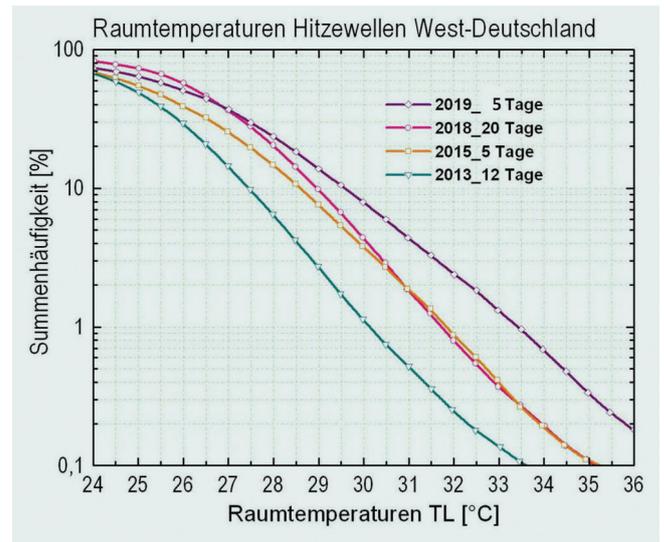
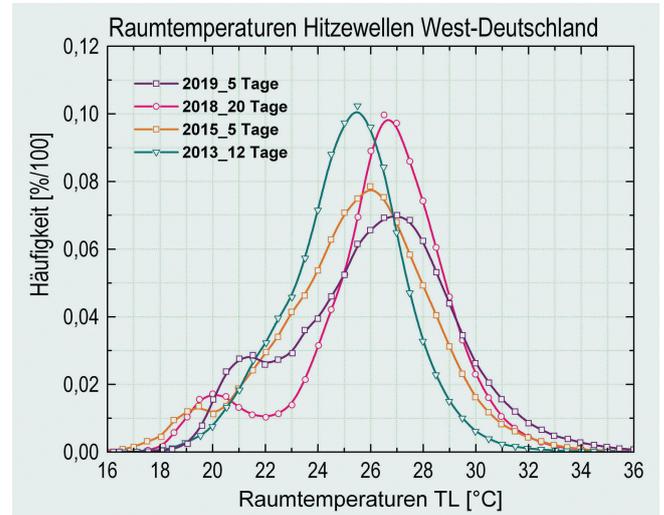
Meteorologisch bildet nun 2019 das siebente (nicht sechste) Jahr mit Extremhitzeepisoden in weniger als zwei Dekaden, während nur insgesamt neun vergleichbare Ereignisse im gesamten vergangenen halben Jahrhundert aufgetreten sind. Analoge aber für 2019 aktualisierte Information zu Bild 1 aus Aufsatz 2 ist in der Folgeabbildung niedergelegt.



Aktualisierte Information zu Bild 1 von Teil 2: Jährliche Integrale Sonneneinstrahlungsdauer zwischen Juni und August an Tagen mit mindestens 10 Tagestunden Sonne und gewichtet mit dem Temperaturanstieg der Tagesmaxima T_x über 30°C hinaus ((SonnenstundenKelvin/a)), dargestellt für 18 DWD-Wetterstationen in der Nähe von Siedlungszentren (kleine Symbole, [2]) sowie jeweils als Mittelwert aller Stationen (Quadrate, 5-Jahres-Mittel als Linie).

Die zusätzlich dargestellten Verteilungen betreffen die Rekordhitze im Juli 2019, zeigen nochmals eine Rechtsverschiebung der Raumtemperaturverteilung und einen weiteren Anstieg der Hitzestressumgebungen mit $TL > 29^\circ\text{C}$ auf über 15% oder ein Sechstel der beobachteten Wohnräume.

Auch der Anteil der klimatisierten Räume scheint sich nochmals vergrößert zu haben gegenüber 2018.



Aktualisierte Information (betreffend Bilder 7 und 8, Teil 1): Histogramme und Summenhäufigkeiten von vier Hitzewellen im Raum West- und Mitteldeutschland seit 2010, inkl. aktueller Raumtemperaturverteilungen während der Rekordhitzeperiode Ende Juli 2019.

Die Beschleunigung der Klimaerhitzung ist offenbar soweit vorangeschritten, dass erstmalig zwei aufeinanderfolgende Jahre in Deutschland von Hitzeepisoden betroffen waren.



METRONA-Union, das F&E-Tochterunternehmen für angewandte Messtechnik der BRUNATA-METRONA-Abrechnungsdienstleister in der Wohnungswirtschaft, betreibt gemeinsam mit Wohnungsgenossenschaften, kommunalen Wohnungsbaugesellschaften und Hochschulinstituten seit über einer Dekade Grundlagen- und Praxisforschung über Energieverbrauchsentwicklung, Raum- und Stadtklimawandel, Smart-Metering und allgemeine Wohnungsdigitalisierung.

Vor dem Hintergrund eintretender Klimaerhitzung und angestrebter Energiewende gewinnt heute die Einbeziehung des Wohnungsbestandes vor allem als aktive Komponente für die Sektorenkopplung an Bedeutung. Die grundlegende Umgestaltung von Wohn- und Arbeitsumgebungen kann entscheidend dazu beitragen, den Herausforderungen des demographischen Wandels, notwendiger Mobilitätseinschränkungen und Dezentralisierung der Energieversorgung zu begegnen.

Fachbeiträge und Forschungsergebnisse:

<https://www.brunata-metrona.de/unternehmen/newsroom/fachbeitraege.html#>

https://www.brunata-metrona.de/i/m/HLH_Sonderdruck_11-2010.pdf

<https://www.brunata-metrona.de/infocenter/tipps-hilfsmittel/heizenergiemonitor.html>

https://www.brunata-metrona.de/i/m/Bauphysik_Sonderdruck_Universelle_Energiekennzahlen.pdf

https://www.brunata-metrona.de/site_data/user_upload/downloads/HLH_02_2015_HEM_Webversion.pdf