

5.6 Trendanalyse von Hitzewellen im 21. Jahrhundert auf der Basis von IPCC Szenarien mit Anwendung auf den Gebäudesektor

LYDIA AX & UDO DIETRICH

Trendanalyse von Hitzewellen im 21. Jahrhundert auf der Basis von IPCC Szenarien mit Anwendung auf den Gebäudesektor: Im Brennpunkt ökologischer Anforderungen gewinnen Untersuchungen des zukünftigen Klimas mehr und mehr an Bedeutung. Die Szenarien des Special Report on Emission Scenarios (SRES) beschreiben mögliche künftige demographische, gesellschaftliche, wirtschaftliche und technische Entwicklungspfade der Menschheit ohne dezidierte Klimapolitik. Eine zukünftige Zunahme von Extremwetterereignissen, wie Starkregen oder Hitzewellen folgt aus diesen Szenarien. Hier werden mit einer aus der Literatur übernommenen und für das Untersuchungsziel entsprechend modifizierten Definition von Hitzewellen die Ergebnisse eines regionalen Klimamodelles für die Emissionsszenarien A1B und A2 mit dem Rekordsommer 2003 für Hamburg verglichen. Demnach werden die Hitzewellen des Rekord-sommers 2003 in Zukunft für beide Szenarien bezüglich Dauer und Temperatur mehrfach überschritten. Unsere Analysemethodik und/ oder die Ergebnisse der Analyse können für verschiedenste Forschungszwecke im Bereich bebauter Umwelt, Gesundheit, Nutzerkomfort, Stadtplanung und andere eingesetzt werden. Abschließend wird der Einfluss der ohne Klimapolitik auftretenden Hitzewellen auf die zukünftige Gebäudeplanung sowie ihre Auswirkung auf die bebauter Umwelt und den Nutzerkomfort beispielhaft erläutert.

Trend analysis of heat waves in the 21st Century based on IPCC scenarios with application to the building sector: Focusing on environmental needs, research on future climate is becoming more and more important. The Scenarios of the Special Report on Emissions Scenarios (SRES) describe possible future development changes on a demographic, social, economic as well as on a technical level of humanity without decided climate policy. An increase of future extreme weather events like heavy rainfall or heat waves is indicated by these scenarios. With an assumed definition of heat waves from further reading and a correspondingly modified one suitable for this work here the results of a regional climate model of emissions scenarios A1B and A2 for Hamburg are compared with the actual data of the hot summer 2003. In future the heat waves of the hot summer 2003 will be exceeded by the two scenarios both concerning length and temperature several times. Our analyzing system and / or the outcome of the analysis can be used for research goals in the sectors of the built environment, health, users comfort, urban planning and others. In conclusion the influence of heat waves on development in the future without decided climate policy as well as their impact on the built environment and users comfort is exemplified.

Definition Hitzewelle

Eine Hitzewelle ist eine längere Zeitspanne mit sehr hohen Temperaturen. Da eine Hitzewelle vom üblichen Wetter des jeweiligen Gebietes abhängig ist, gibt es für ihre Definition keine fixe Festlegung der Zeitspanne oder Temperatur. Was in einem heißen Klima als normales Wetter erscheint, wird in einem kühleren Klima als Hitzewelle erlebt. Für Deutschland wird für viele Forschungsgebiete eine Folge von mindestens fünf Tagen mit einem mittleren Tagesmaximum der Lufttemperatur über 30 °C als Hitzeperiode verstanden, wenn kein Tag mit Tagesmaximum < 25 °C vorhanden ist (Tinz et al. 2008). Für den deutschen Wetterdienst sind in Abhängigkeit von Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit mit gefühlten Temperaturen von 32 °C an zwei Tagen in Folge die Bedingungen für eine starke Wärmebelastung und damit für Hitzewarnungen erfüllt (DWD 1996–2014). Unter Einfluss von den persönlichen Komfort beeinflussenden Parametern wie z.B. trockener Luft oder Zugluft wird eine gefühlte Temperatur wahr-

genommen. Die gefühlte Temperatur kann sich deutlich von der tatsächlichen Temperatur unterscheiden.

Weil sich die Innenraumtemperaturen von Gebäuden den Außentemperaturen verzögert anpassen, haben Hitzewellen auch einen großen Einfluss auf das Auskühlverhalten von Gebäuden. Das Gebäude selbst kann je nach Bauweise (massiv bis leicht) kurzzeitige Spitzen im Energieeintrag abfangen, passt sich jedoch – ohne Kühlung – mit seiner Innentemperatur an eine längere Hitzeperiode an. Dies geschieht im Laufe von wenigen Tagen (leichte Bauweise) bis zu 2 Wochen (massiv Bauweise).

Da zur Bewertung von Innenraumtemperaturen die gefühlte Temperatur und das Auskühlverhalten von Gebäuden berücksichtigt werden muss, ist für die folgende Untersuchung unter Berücksichtigung beider Definitionen für Hitzewellen zweckabhängig eine Modifizierung vorgenommen worden – mind. 4 Tage \geq 26 °C, max. 2 Tage unter 26 °C sind in den ermittelten und den Gebäude-Nutzerkomfort beeinflussenden Hitzewellen enthalten.

Methoden zur Analyse von Hitzewellen aus regionalen Emissionsszenarien

Die Emissionsszenarien beschreiben die möglichen künftigen demographischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technischen Entwicklungspfade. Die IPCC Szenarien im *Special Report on Emissions Scenarios* (IPCC SRES 2000 und IPCC 2007) beschreiben vier verschiedene Entwicklungen der Menschheit (storylines): A1, A2, B1 und B2.

Wegen weiterer Verfeinerung der storyline für A1 gibt es insgesamt 6 illustrative Szenarien - A1T, A1B, A1FI, A2, B1 und B2.

Die Szenarien A1B und A2 sind Szenarien mit starker mittlerer globaler Erwärmung. Sie werden in der Forschung oft als Grundlage verwendet, da sie bei fehlender globaler Klimapolitik als am wahrscheinlichsten gelten.

Eine Gebäudesimulation zur Ermittlung des thermischen Komforts in Innenräumen benötigt mindestens diese Informationen:

- Stündliche Wetterdaten
- Mindestparameter: Temperatur und solare Einstrahlung (diffus und direkt)
- Daten, die das Auskühlverhalten des Gebäudes bestimmen, wie z.B. Speicherverhalten oder Gebäudenutzung etc.
- Zukunftstauglichkeit, mindestens für die Zeitperiode 2036 bis 2065, mit speziellem Fokus auf das Jahr 2050.

Damit man mit solchen Simulationen auch Vorhersagen für die zukünftigen Entwicklungen entsprechend der genannten Szenarien treffen kann, muss das zu wählende Klimamodell diese Inputs liefern können.

Das regionale Klimamodell REMO vom Max-Planck-Institut für Meteorologie erfüllt diese Voraussetzungen. REMO ist ein Gitterbox Modell mit einem $10 \times 10 \text{ km}^2$ Raster.

Bei Gebäudesimulationen zum thermischen Komfort im Sommer gibt es drei Hauptziele für die Analyse von Hitzewellen:

- Bewertung des Verhaltens von Hitzewellen hinsichtlich ihrer Länge im Klimamodell,
- Betrachtung des Einflusses der Hitzewellen auf die Innentemperaturen und das Auskühlverhalten von Gebäuden und
- Die Auswertung des Rekordsommers 2003.

Analyse Hitzewellen

Szenario A1B

Um die Klimaszenarien also mit Blick auf den Sommer und in einer großen Zeitspanne betrachten zu können,

wurde für die Analyse durchschnittlicher und extremer Sommer die Variable T2MAX (Maximum der Lufttemperatur in 2 m Höhe) als täglicher Datensatz (in Grad Celsius) aus der Datenbank des REMO Modells entnommen.

Für die folgenden Analysen soll hier noch einmal erwähnt sein, dass die namentliche Darstellung bestimmter Jahre oder Sommer, z.B. »Sommer 2047« oder »Jahr 2050«, aus den Szenarien lediglich zur Orientierung in den Statistiken dienen soll. Natürlich muss ein kalter Sommer 2047 im Modell nicht auch in der Realität (Zukunft) ein kalter Sommer sein.

Die verwendete Definition einer Hitzewelle ist eine Modifizierung der bekannten Hitzewellendefinitionen für Deutschland abhängig vom Untersuchungsthema (siehe – Definition einer Hitzewelle unter Berücksichtigung des verzögerten Auskühlverhaltens von Gebäuden).

Eingabeparameter für Hamburg:

- maximale Temperatur in 2 m Höhe (T2MAX) als täglicher Datensatz für Szenario A1B aus dem Klimamodell – Gitterpunkt in Altona (GP4) und
- beobachtete Temperatur im Extremsommer 2003 (DWD – Messstation Fuhlsbüttel)

Analyse: Zuerst sind für das Klimaszenario A1B die extremen Sommer hinsichtlich ihrer Tage $\geq 26^\circ\text{C}$ (rote Felder in den folgenden Abbildungen) für die Zeitspannen 2001 bis 2050 und 2051 bis 2100 untersucht und gegenübergestellt worden. Die rot markierten Zeitabschnitte stellen die Hitzewellen in ihrer zeitlichen Abfolge dar. Ganz eindeutig ist zu sehen, dass die aufeinanderfolgenden heißen, den Komfort beeinflussenden Tage (Hitzewellen) bis ins Jahr 2050 deutlich zunehmen und bis 2100 weiter ansteigen (*Abb. 5.6-1* und *-2*).

Vergleicht man die Rekordsommer des 21. Jahrhunderts, so ergibt sich zwischen den Spitzen der gemessenen Daten aus 2003 und dem Modelljahr 2075 eine Temperaturerhöhung von bis zu 7°C (*Abb. 5.6-3*). Dies zeigt die Notwendigkeit Emissionsszenarien für die angewandte Zukunftsforschung zu nutzen.

Szenario A2

Für die Analyse des A2 Szenarios gelten die gleichen vier Hauptziele wie für die Analyse von A1B. Ebenso sind die Parameter für den Standort Hamburg identisch.

Analyse: Wie in Szenario A1B sind die Hitzewellen von A2 hinsichtlich heißer Sommer und ihrer heißen Tage $\geq 26^\circ\text{C}$ für die Zeitspannen 2001 bis 2050 und 2051 bis 2100 untersucht worden.

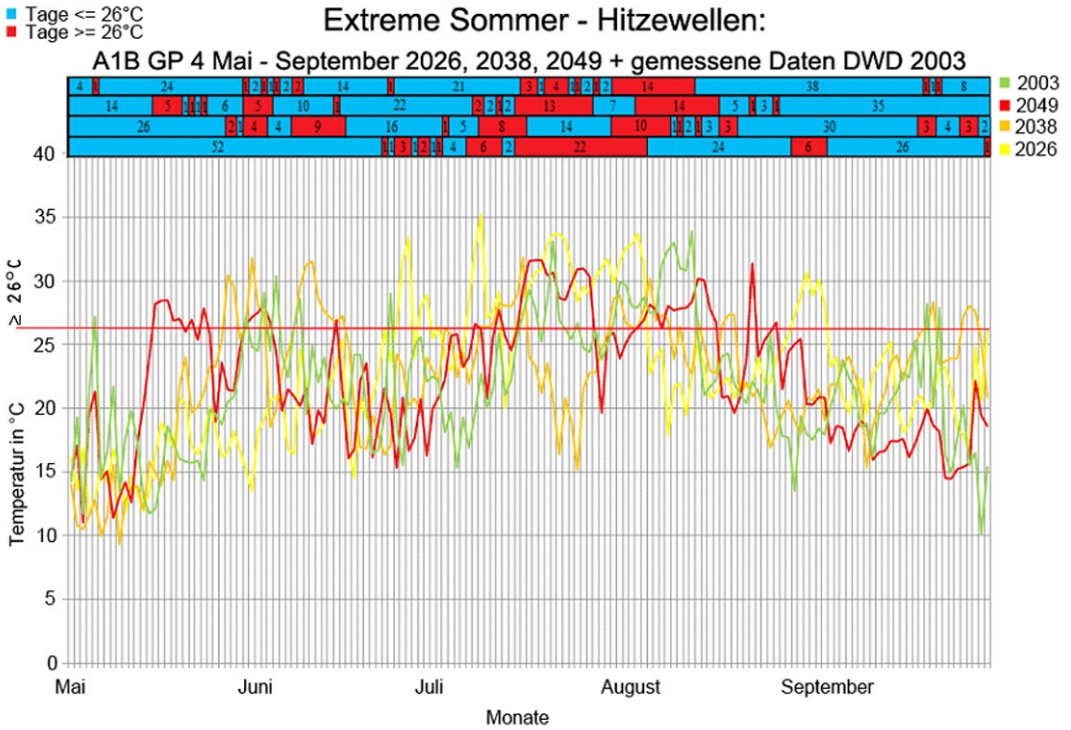


Abb. 5.6-1: Hitzewellen extremer Sommer: gemessene Daten 2003 (DWD-Messstation Fuhlsbüttel); T2max A1B Mai – September 2049, 2038, 2026.

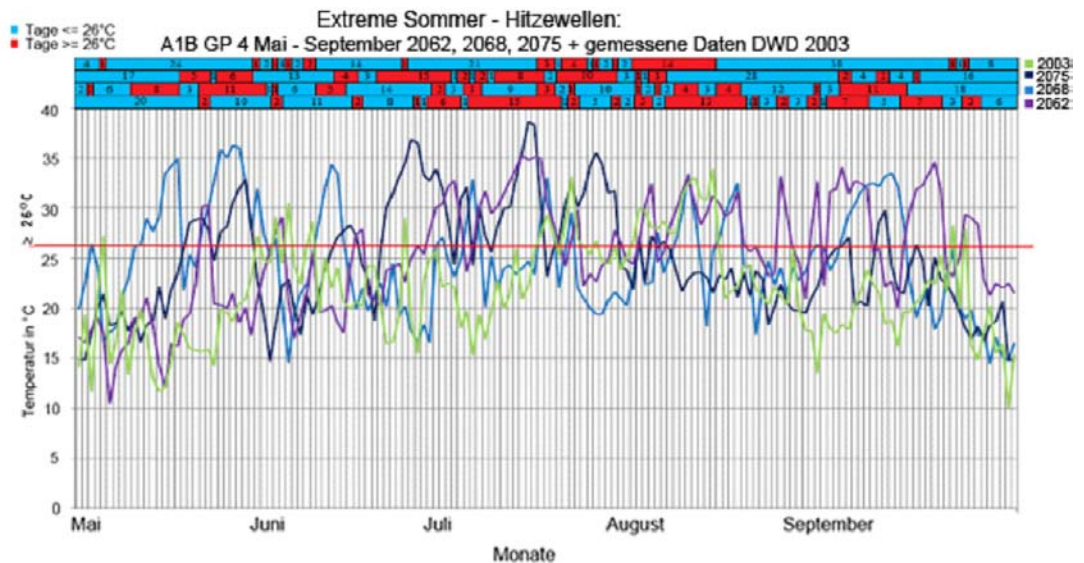


Abb. 5.6-2: Hitzewellen extremer Sommer: gemessene Daten 2003 (DWD – Messstation Fuhlsbüttel); T2max A1B Mai–September 2062, 2068, 2075.

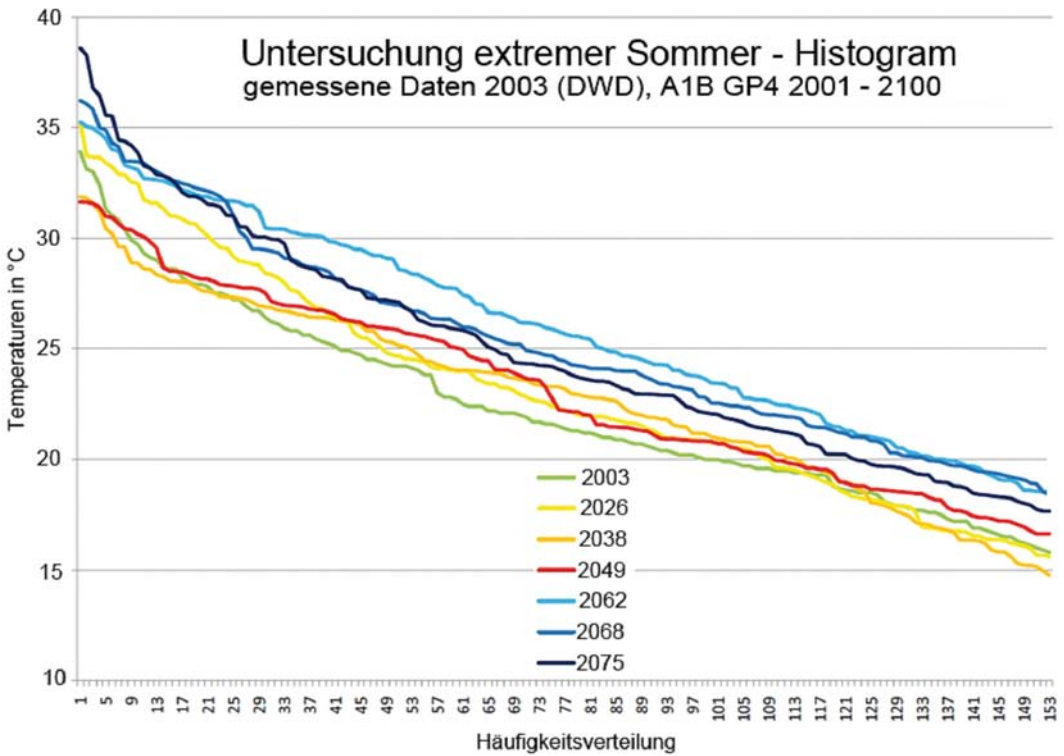


Abb. 5.6-3: Ermittlung extremer Sommer – Histogramm (Anzahl der Tage mit Überschreitung einer bestimmten Maximaltemperatur) : gemessene Daten 2003 (DWD-Messstation: Fuhrsbüttel), A1B GP4-Altona 2001–2100.

Die Hitzewellen bis zum Jahr 2050 sind vergleichbar mit dem aktuellen Rekordsommer 2003. Innerhalb der Zeitspanne 2050 bis 2100 dauern Hitzewellen allerdings länger und kommen häufiger vor. Diese Entwicklung steigert sich stark bis zum Jahr 2100.

Das Szenario A2 in REMO folgt aus nur einer Realisierung des globalen Modells ECHAM (keine Verwendung eines Ensemblemittels als Antrieb für REMO). Obwohl in A2 höhere Treibhausgaskonzentrationen angenommen werden, ist eine vergleichsweise schwächere Erwärmung als in A1B zu verzeichnen. Die Annahme einer stärkeren Luftverschmutzung und resultierend die Kühlung durch Aerosolpartikel in der Atmosphäre in A2 sind der Hauptgrund. In A2 ist außerdem ein höheres Bevölkerungswachstum zu

verzeichnen. A1B und A2 sind daher nicht direkt vergleichbar, bilden aber einen Korridor der erwarteten Entwicklung ab.

Hitzewellen für die nächsten Jahrzehnte aus den Modellen A1B und A2

Hitzewellen nehmen mit den fortlaufenden Jahren im Modell A1B deutlich an Intensität zu. Ihre Temperaturen sind höher und sie dauern länger an (Tab. 5.6-1).

Betrachtet man die Temperaturen des A2 Modells, haben Hitzewellen bis zum Jahr 2050 ähnliche Auswirkungen wie im aktuellen Rekordsommer 2003. Ab dem Jahr 2050 wird es zunehmend schwieriger werden, den sommerlichen Wärmeschutz für zukünftige Gebäude einzuhalten (Tab. 5.6-2).

Tab. 5.6-1: Extreme Sommer: gemessene Daten 2003 (DWD), A1B - Hamburg 2001–2100.

Tag	DWD 2003	A1B 2026	A1B 2038	A1B 2049	A1B 2062	A1B 2068	A1B 2075
Hitzewelle 1	7	7	6	7	23	8	12
Hitzewelle 2	14	28	9	5	14	11	4
Hitzewelle 3	-	6	8	13	9	5	42
Hitzewelle 4	-	-	11	14	7	11	4

Tab. 5.6-2: Extreme Sommer: gemessene Daten 2003 (DWD), A2 - Hamburg 2001–2100.

Tage	DWD 2003	AIB 2048	AIB 2049	AIB 2051	AIB 2069	AIB 2089	AIB 2100
Hitzewelle 1	7	9	7	11	10	17	9
Hitzewelle 2	14	14	7	-	16	6	14
Hitzewelle 3	-	-	-	-	-	31	7
Hitzewelle 4	-	-	-	-	-	-	6

Reaktion der Innenraumtemperaturen unter Einfluss von thermischer Masse und Hitzewellen für ein Verwaltungsgebäude
(Standard Büroraum - Einzelbüro, natürliche Tag- und Nachtlüftung, Rekord Sommer 2003 bei mittlerer thermischer Masse)

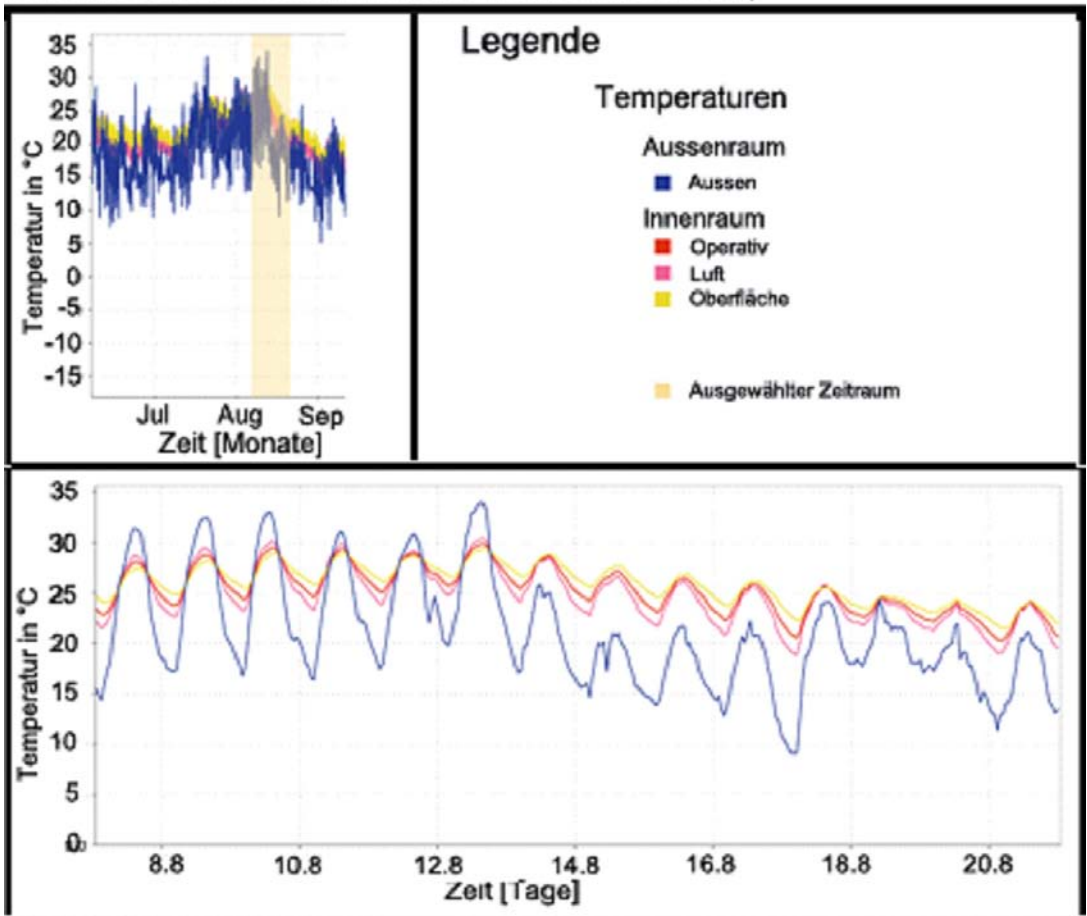


Abb. 5.6-4: Reaktion der Temperatur im Innenraum unter Einfluss der thermischen Masse und Hitzewellen eines Verwaltungsgebäudes mit mittlerer thermischer Masse, simuliert mit gemessenen Daten des Rekordsommers 2003.

Modifizierung der Definition einer Hitzewelle unter Berücksichtigung des verzögerten Auskühlverhaltens von Gebäuden

Bei der Bewertung von Gebäuden ist eine minimale kurze Veränderung der Außentemperatur für das thermische Verhalten von Innenräumen durch die Speichermasse der Gebäude nicht so relevant wie die Dauer der Hitzewellen. Ein extrem heißer Tag, auf den mehrere kühlere Tage folgen, kann zwar der heißeste Tag sein, wirkt sich aber trotzdem nicht so negativ auf die Temperaturen im Inneren des Gebäudes aus wie eine zehntägige Hitzeperiode mit niedrigeren Tageshöchsttemperaturen. Im Folgenden wird das Verhalten von Gebäuden bei einer Hitzewelle untersucht.

Mit Hilfe stündlicher thermischer Gebäudesimulation mit Primero Komfort (Gebäudesimulationsprogramm mit Zeichenmodul; www.primerosoftware.de) kann die Innenraumtemperatur in Abhängigkeit von der

thermischen Masse berechnet und visualisiert werden.

In vorangegangenen Simulationen mit TRNSYS (*TRaNsient SYstems Simulation*; deutsch etwa: *instationäre Systemsimulation*; www.transsolar.com/) wurde die Zeitverschiebung ermittelt, mit der Gebäude mit ihren Innenraumtemperaturen auf starke Veränderungen der Außenraumtemperatur unter Berücksichtigung ihrer thermischen Masse (Tab. 5.6-3) reagierten: leicht = 4–5 Tage, mittel = 7–9 Tage (Abb. 5.6-4), schwer = 12–14 Tage.

Daher kann man sich ungefähr vorstellen, wie intensiv sich der Klimawandel voraussichtlich zukünftig auf den Nutzerkomfort im Gebäude auswirken wird. In Gebäuden mit schwerer Bauweise wird sich eine Hitzewelle erst nach ein paar Tagen auf die Innentemperaturen auswirken. Hat sich das Gebäude jedoch erst einmal aufgeheizt, wird es nur langsam wieder auskühlen. Wenn also beispielsweise auf drei oder vier Tage mit Temperaturen über 26 °C nur ein kühler Tag folgt, wird

Tab. 5.6-3: Annahmen thermische Masse für leichte, mittlere und schwere Baukonstruktionen.

Erläuterung: **g-Wert** = Gesamtenergiedurchlassgrad; **Uf-Wert** = Wärmedurchgangskoeffizient Rahmen (frame); **Uw-Wert** = Wärmedurchgangskoeffizient Fenster (window); **Fc-Wert** = Sonneneinstrahlungsabminderungsfaktor – Fc-Wert 0,25, noch 25% Sonneneinstrahlung kommt im Rauminneren an (s. Abb. 5.6-4: Baukonstruktion-mittel).

Verschiedene-Baukonstruktionen						
Typ	Außenwand (Süden)	Fenster (Süden)	Zwischenboden	Zwischendecke	Innenwände	Tür (innen)
Fläche m ²	3.24	5.40	21.60	21.60	35.44	2.00
g-Wert		0.598				
Rahmenanteil %		30.00				
Rahmen Uf-Wert W/(m ² K)		2.00				
Beweglicher Sonnenschutz		Aussen				
Fc Verschattungssystem		0.25				
Baulicher Sonnenschutz		nein				
Baukonstruktion-leicht						
Baukonstruktion	Skelettbauwand leicht mit Innendämmung		Massivboden mit Estrich, Deckenverkleidung mit Schallabsorber	Massivdecke mit Estrich, Deckenverkleidung mit Schallabsorber	Ständerbauwand ausgefacht mit Dämmung	Innentür, Holz oder Plastik
Uw-Wert W/(m ² K)	0.25	1.37	0.38	0.38	0.35	1.69
Baukonstruktion-mittel						
Konstruktion	Massivwand schwer mit Außendämmung		Massivboden mit Estrich, Deckenverkleidung mit Schallabsorber	Massivdecke mit Estrich, Deckenverkleidung mit Schallabsorber	Massivwand leicht	Innentür, Holz oder Plastik
Uw-Wert W/(m ² K)	0.25	1.37	0.38	0.38	1.14	1.69
Baukonstruktion-schwer						
Konstruktion	Massivwand schwer mit Außendämmung		Massivboden mit Estrich, keine Verkleidung Decke schwer	Massivdecke mit Estrich, keine Verkleidung Decke schwer	Massivwand leicht	Innentür, Holz oder Plastik
Uw-Wert W/(m ² K)	0.25	1.37	0.83	0.83	1.14	1.69

das Gebäude je nach Baukonstruktion wenig Möglichkeiten haben, merklich auszukühlen.

Um für das Auskühlverhalten von Gebäuden eine Definition abhängig vom Zweck der Untersuchung zu nutzen, wurden die bekannten Definitionen für Hitzewellen in Deutschland modifiziert. Angenommen wurde eine Folge von mindestens vier Tagen mit einem Tagesmaximum ≥ 26 °C als Hitzeperiode. Dabei wurden einzelne Tage unter 26 °C in den Zeitabschnitt einer Hitzewelle mit einbezogen, wenn nach max. 2 Tagen die Temperatur wieder bei einem Tagesmaximum ≥ 26 °C lag.

In Tab. 5.6-3 werden am Beispiel eines nach Süden orientierten Standard Büroraumes mögliche Baukonstruktionen erläutert.

Schlussbetrachtung

Der gemessene Rekordsommer 2003 kann nur noch bedingt als Rekordsommer für die Zukunft betrachtet werden. Für die Gebäudesimulation mit Blick auf 2050 beispielsweise ist es nötig, die Daten der zu erwartenden Temperaturen aus den Klimamodellrechnungen zu ermitteln und im Gebäudesimulationsprogramm zu nutzen.

Für die Gebäudesimulation wird deutlich, dass mit dem Ziel der Komfortbewertung zum sommerlichen Wärmeschutz basierend auf den Daten aus den Emissions-Szenarien und unter Berücksichtigung des Lebenszyklus von Gebäuden Datenjahre um das Jahr 2050 ausgesucht werden sollten. Für einen anderen Forschungszweck sind eventuell andere Zieljahre signifikant.

Das analysierte Temperaturverhalten der Modelle A1B und A2 zeigt, dass die Planung adaptiver Gebäude in der Zukunft ein schwieriges Unterfangen darstellen wird.

Planern und Architekten müssen Planungswerkzeuge an die Hand gegeben werden, die es möglich machen, nachhaltige und energieeffiziente Gebäude unter Vermeidung von aktiver Kühlung zu bauen.

Für diese Planung wird die Komfortbewertung nach neuen Standards zunehmend wichtiger werden,

wie z.B. Zertifikate für nachhaltige Gebäude, sowie die Komfortkriterien der DIN EN 15251.

Die Analyseemethode zur Ermittlung von Hitzewellen ist übertragbar auf andere Zeitintervalle innerhalb der IPCC Szenarien. Diese Studie zur Häufigkeit und zum Verhalten von Hitzewellen mit Blick auf 2050 ist anwendbar auf weitere Forschungsbereiche wie die der bebauten Umwelt, Gesundheit, Nutzerkomfort, Stadtplanung und weiteren.

Literatur

DEUTSCHER WETTERDIENST (1996–2014): Starke Wärmebelastung – Hitzewarnungen; www.wettergefahren/warnungen/hitzewarnungen.html (Stand 14.07.2014).

IPCC SRES (2000): Special Report Emissions Scenarios - Published by Intergovernmental panel on climate change, Genf, 2000, ISBN:92-9169-113-5. <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf> (Stand 14.07.2014)

IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report - Published by Intergovernmental Panel on Climate Change, Valencia, 2007, ISBN 92-9169-122-4. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf (Stand 14.07.2014).

DIN EN 15251 (2007): Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik.

TINZ et al. (2008): Klimawandel und Medizin: Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen in Deutschland.

Danksagung: Die Verfasser bedanken sich bei den Mitarbeitern des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Hamburg und dem Deutschen Wetterdienst (DWD) für die Bereitstellung von Informationen.

Kontakt:

Dipl. Ing. Lydia Ax (Architektur)
HafenCity Universität Hamburg
lydia.ax@hcu-hamburg.de

Prof. Dr. Udo Dietrich
HafenCity Universität Hamburg
udo.dietrich@hcu-hamburg.de

Ax, L. & U. Dietrich (2014): Trendanalyse von Hitzewellen im 21. Jahrhundert auf der Basis von IPCC Szenarien mit Anwendung auf den Gebäudesektor. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffent. (Kap. 5.6) - www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.