

Auswertung Hitze-bezogener Indikatoren als Orientierung der gesundheitlichen Belastung

Analysis of heat health-related indicators in view of the national adaption strategy to climate change

ZUSAMMENFASSUNG

Wärmeextreme sind eine der größten Herausforderungen hinsichtlich gesundheitlicher Folgen des Klimawandels. In dieser Studie werden anhand der Kenntage „Heißer Tag“ (Tagesmaximumtemperatur $\geq 30^\circ\text{C}$) und „Tropennacht“ (Tagesminimumtemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$) räumliche Unterschiede in Deutschland für den Beobachtungszeitraum 2001 bis 2015 am Beispiel von verschiedenen stadtnahen und innerstädtischen Messstationen ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Belastung durch Hitze regional und lokal sehr unterschiedlich ist, mit teils ausgeprägten Gradienten zwischen Nord- und Süddeutschland sowie Innenstadt und Stadtrand. Ein hoher Anteil dieser gesundheitsbezogenen Hitze-Indikatortage tritt in mehrtätigen Perioden auf, die im Durchschnitt etwa drei Tage lang anhalten, in Extremsommern aber auch deutlich länger andauern können.

ALEXANDER KRUG,
HANS-GUIDO MÜCKE

ABSTRACT

Extreme temperatures are the main challenge of health-related consequences in view to climate change. This study examines spatial differences in counts of “hot days” (daily maximum air temperature $\geq 30^\circ\text{C}$) and “tropical nights” (daily minimum air temperature $\geq 20^\circ\text{C}$) in Germany between 2001 and 2015 between measurement sites within different cities. Results reveal a gradient between North and South, and from the centre to suburbs. Most of these days persist over periods of three days on average, but occurring much longer in duration during extreme summers.

EINLEITUNG

Seit Beginn der Wetteraufzeichnungen Ende des 19. Jahrhunderts wurden in Deutschland sieben der zehn wärmsten Jahre im Zeitraum zwischen 2000 und 2017 beobachtet. Im Rekordjahr 2014 betrug die mittlere Lufttemperatur $10,3^\circ\text{C}$, im darauffolgenden Jahr $9,9^\circ\text{C}$. Damit ist das Jahr 2015 gemeinsam mit den Jahren 2000 und 2007 das zweitwärmste je gemessene Jahr der vergangenen 130 Jahre (DWD 2016). Auch wenn das Klimasystem sehr variabel ist und auf warme Jahre immer wieder kühlere folgen, bestätigt die Entwicklung einen langjährigen Trend steigender Lufttemperatur. Retrospektive Studien, wie

zum Beispiel Schönwiese et al. (2004) oder Schönwiese und Janoschitz (2008), zeigen für Deutschland einen mittleren Temperaturanstieg von 1°C innerhalb des letzten Jahrhunderts. Darüber hinaus wurde nachgewiesen, dass nicht nur das mittlere Temperaturniveau zunimmt, sondern auch Wärmeextreme in jüngerer Vergangenheit häufiger auftreten (Fischer, Schär 2009; IPCC 2013). Es gibt bereits belastbare Hinweise darauf, dass sich die maximale Lufttemperatur in Deutschland in Richtung extremer Hitze verschieben wird (Deutschländer, Mächel 2017), wie die Trendentwicklung der klimatologischen Kenngröße „Heißer Tag“ (definiert als Tag mit einem Lufttemperatur-Maximum



FOTO

©Tom Wang / Fotolia.

von mindestens 30 °C) für den Zeitraum 1951 bis 2017 in **ABBILDUNG 1** zeigt (UBA 2018).

Das Auftreten und die Ausprägung extremer Hitze kann jedoch regional sehr verschieden sein, was insbesondere von der geographischen Lage, der Topografie des Geländes, der Art der Landnutzung und der Siedlungsform beeinflusst wird (Kuttler 2009). So konnten einerseits in der jüngeren Vergangenheit Hitzeereignisse vermehrt in den südwestlichen, aber auch in den östlichen Regionen Deutschlands beobachtet werden (DWD 2018). Dies zeigt **ABBILDUNG 2** für den Sommer 2015 anhand der beiden Indikatoren „Heißer Tag“ und „Tropennacht“. Andererseits sind Städte von besonderer Bedeutung.

Fenner et al. (2015) untersuchten stadtklimatologische Unterschiede am Beispiel Berlins und konnten zeigen, dass in dicht bebauter Umgebung thermische Belastungssituationen um den Faktor 3 häufiger auftreten können im Vergleich zu Freiflächen. Aufgrund der Bausubstanz, dem erhöhten

Versiegelungs- und dem reduzierten Vegetationsanteil sowie einer verminderten Durchlüftung kühlt sich die Lufttemperatur nachts in Städten schlechter ab als im Umland. Daher kann die nächtliche Minimaltemperatur innerhalb einer dicht bebauten Stadt bis zu 10 K höher sein als im unbebauten Umland (Oke 1973; Fenner et al. 2014). Die Kombination aus witterungsbedingter Hitze und dem Phänomen der „Urbanen Wärmeinsel“ ist die Ursache für eine verstärkte wärmebelastende Wirkung auf die Gesundheit der in der Stadt lebenden Bevölkerung.

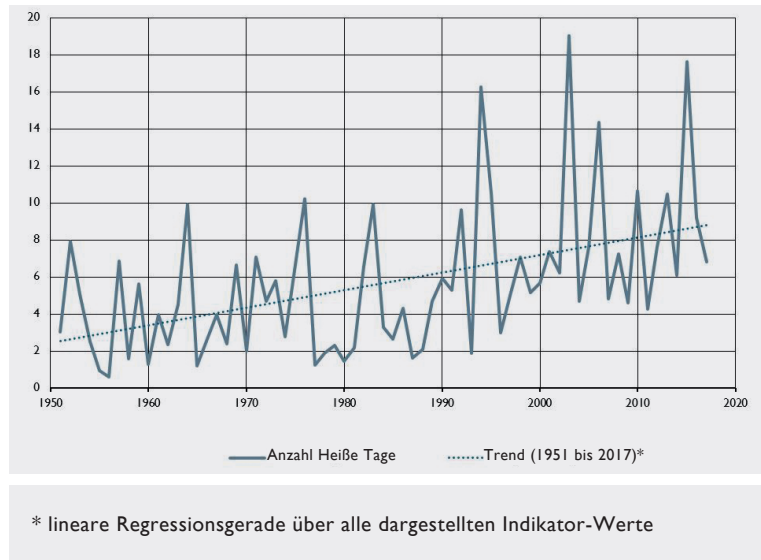
In den vergangenen Jahren gewann der Themenaspekt der gesundheitlichen Folgen des Klimawandels und insbesondere der thermischen Belastung in verschiedenen Fachdisziplinen immer mehr an Bedeutung. Vor allem an der Schnittstelle zwischen Klimageographie und Epidemiologie weisen Studien ein erhöhtes Mortalitätsrisiko aufgrund hoher Lufttemperatur nach (Heudorf, Mayer 2005; Koppe, Jendritzky 2014;

Gasparrini et al. 2015). Aber nicht nur die erhöhte Zahl von Sterbefällen ist mit extremer Hitzebelastung assoziiert. Auch weitere Gesundheitsindikatoren verdeutlichen die besondere Belastungssituation während Hitzeereignissen, wie zum Beispiel eine nachweislich erhöhte Anzahl von Rettungsdiensteinsätzen (Bassil et al. 2009; Steul et al. 2018) oder vermehrte Krankenhauseinweisungen (Scherber et al. 2014). Darüber hinaus muss davon ausgegangen werden, dass Hitzeereignisse mit weiteren gesundheitlich beeinträchtigenden Umweltbelastungen korrelieren können (Mücke, Matzarakis 2017). Dazu gehören zum Beispiel eine erhöhte Exposition gegenüber UV-Strahlung und Luftschadstoffkonzentrationen, allen voran bodennahes Ozon (Burkart et al. 2013; Augustin et al. 2017) oder auch die Zunahme natürlicher Aerosole, wie zum Beispiel Pollen (WHO 2013; Augustin et al. 2017).

Der vorliegende Beitrag knüpft zum einen an die oben genannte stadtklimatologische „Berlin-Auswertung“ von Fenner et al. (2015) mit der Erweiterung für die Jahre 2011 bis 2015 an. Zum anderen werden regionale Unterschiede innerhalb Deutschlands anhand ausgewählter Messstellen von vier Großstädten beispielhaft im Hinblick auf Temperaturextreme, nämlich die klimatologischen Kenngrößen „Heißer Tag“ und „Tropennacht“ für den Zeitraum 2001 bis 2015 ausgewertet. Diese wurden innerhalb der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) als hitzebedingte Indikatoren aufgenommen und dienen als Orientierung für die gesundheitliche Belastung der Bevölkerung gegenüber der Exposition durch Hitze.

UNTERSUCHUNGSGEBIETE UND METHODEN

Für diese Studie wurden Temperaturmessungen der Städte Hamburg, Berlin, Frankfurt am Main und München des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Diese wurden um zwei Messstellen aus dem



Stadtgebiet von Berlin ergänzt, welche vom Fachgebiet Klimatologie der Technischen Universität Berlin betrieben werden. Der zu untersuchende Zeitraum umfasst die Jahre 2001 bis 2015. **ABBILDUNG 3** zeigt die Lokalisation der beschriebenen Messstellen in Deutschland beziehungsweise in Berlin.

Das Klima Deutschlands insgesamt wird als warm-gemäßigt, feucht mit warmen Sommern klassifiziert (Klasse „Cfb“ nach Köppen und Geiger, s. Rubel, Kottek 2010).

Hamburg ist durch die Nähe zum Meer in Wintern milder und in Sommern kühler als die übrigen Landesteile Deutschlands. Die Fläche beträgt 755 km² mit einer Einwohnerzahl von 1,83 Millionen (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2016). Die Messstation „Hamburg-Fuhlsbüttel“ (53,63° N; 9,99° O) befindet sich auf dem Gelände des Flughafens Hamburg am nördlichen Stadtrand 11 Meter über Meeresspiegelniveau.

Berlin (52,52°N; 13,40°O) besitzt eine Fläche von etwa 891 km² und eine Einwohnerzahl von rund 3,61 Millionen (Stand Dezember 2015; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2016). Umgeben ist die Stadt vom größtenteils flachländlich geprägten Bundesland Brandenburg. Die Geländehöhe beträgt zwischen 35 und 56 Metern über Meeresspiegelniveau. Um eine Vergleich-

ABBILDUNG 1
Anzahl heißer Tage mit einem Maximum der Lufttemperatur von mindestens 30°C („Heißer Tag“) im Flächenmittel für Deutschland. Quelle: UBA 2018.

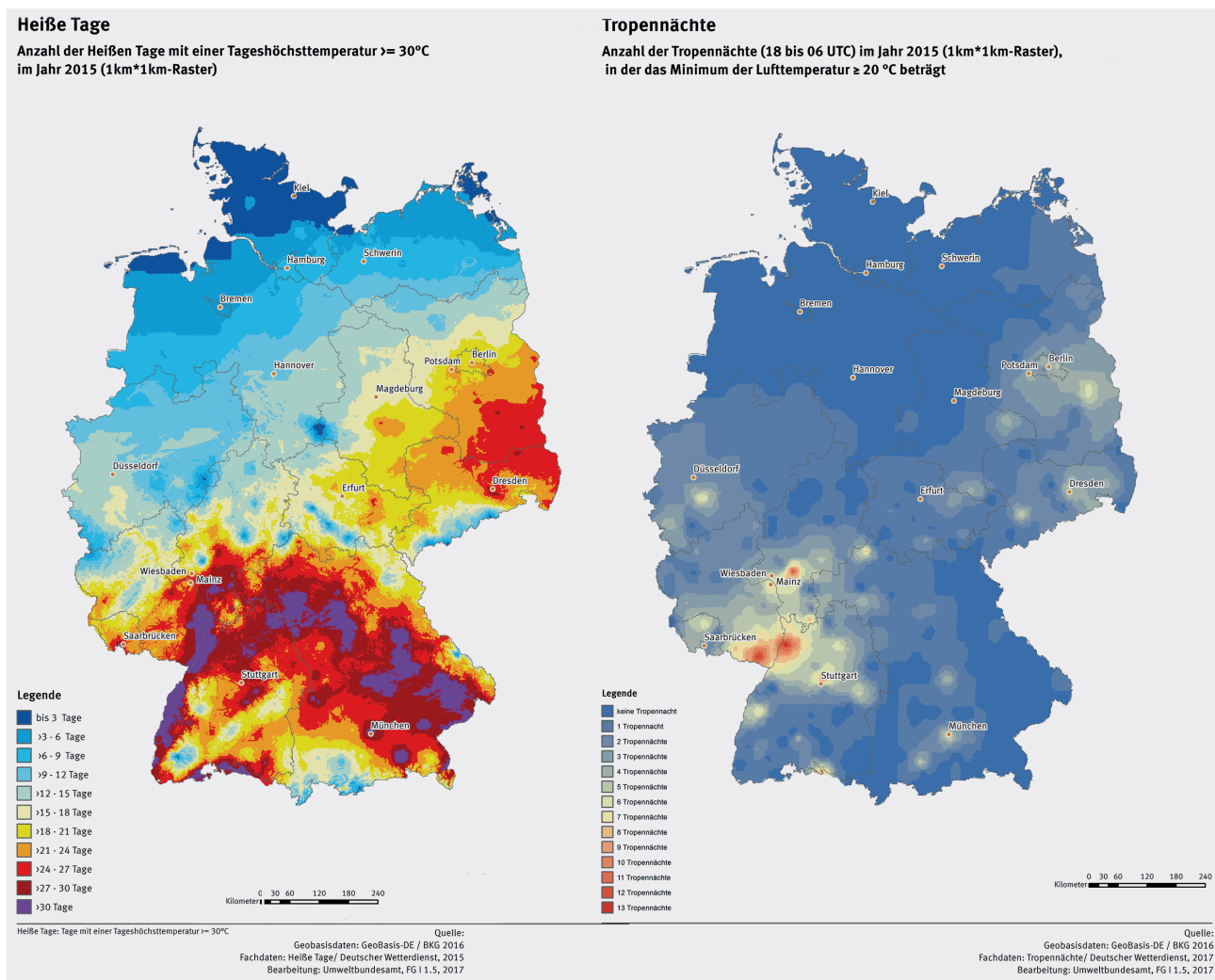


ABBILDUNG 2
Summe der Kenntage
„Heißer Tag“ (links) und
„Tropennacht“ (rechts)
in Deutschland im Jahr
2015 (UBA 2017).

barkheit zu gewährleisten, werden für Berlin dieselben Messstationen herangezogen wie in dem Beitrag von Fenner et al. (2015). Eine detaillierte Standortbeschreibung kann dem Artikel entnommen werden und soll hier nur kurz zusammengefasst dargestellt werden.

Die Station „Berlin-Tempelhof“ ($52,47^{\circ}\text{N}$; $13,40^{\circ}\text{O}$) befindet sich auf einem stillgelegten Flughafengelände innerhalb des zentralen Stadtgebietes. Die Station „Berlin-Tegel“ ($52,57^{\circ}\text{N}$; $13,31^{\circ}\text{O}$) liegt auf dem Gelände des namensgleichen Flughafens im nord-westlichen Teil der Stadt. Beide Stationen besitzen weitestgehend Offenlandcharakter und werden vom DWD betrieben. Die Station „Dahlemer Feld“ befindet sich auf einer mit Gras bewachsenen Freifläche inmit-

ten des Grunewalds südwestlich der Stadt ($52,48^{\circ}\text{N}$; $13,23^{\circ}\text{O}$). Die Station „Dessauer Straße“ ($52,50^{\circ}\text{N}$; $13,38^{\circ}\text{O}$) befindet sich an einer nach Osten ausgerichteten Hausfassade einer Straßenschlucht in einem dicht bebauten Viertel östlich des Potsdamer Platzes. Diese beiden Messstationen sind Teil des Stadtklimaobservatoriums des Fachgebiets Klimatologie der Technischen Universität Berlin.

Frankfurt/Main umfasst eine Fläche von 248 km^2 mit einer Einwohnerzahl von 0,72 Millionen (Stand 2015; Stadt Frankfurt am Main 2016) und liegt am nördlichen Rand der Oberrheinischen Tiefebene, welche zu den wärmsten Regionen Deutschlands zählt. Die Messstation Frankfurt/Main-Westend

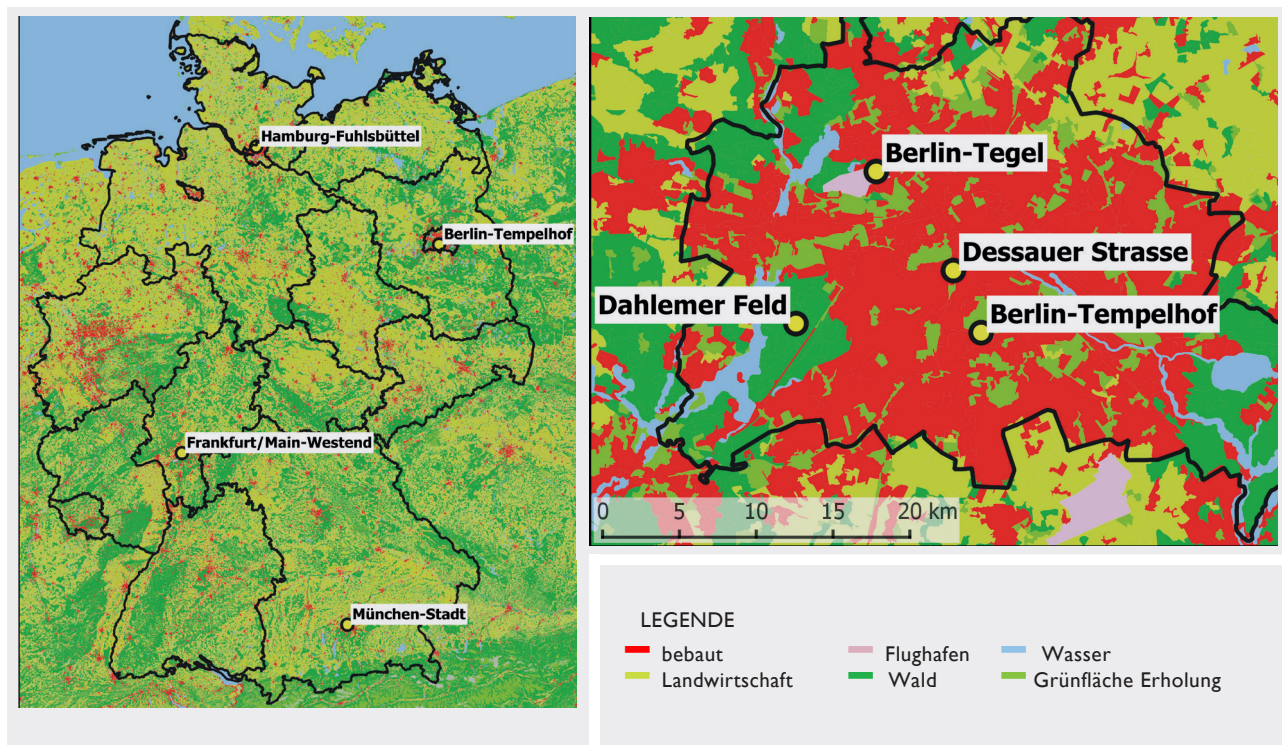
(50,13°N; 8,67°O) befindet sich etwa zwei Kilometer nördlich des Stadtzentrums auf dem Gelände der Universität. In der näheren Umgebung befindet sich größtenteils dichte Bebauung. Der Campus selbst ist reich an Grünflächen und vereinzelt Bäumen. Die Geländehöhe beträgt 124 Meter. Im Jahr 2008 wurde die Station innerhalb des Stadtviertels versetzt.

In **München** leben 1,45 Millionen Einwohner auf einer Fläche von 311 km². Klimatisch liegt München an der Grenze zwischen warm-gemäßigt maritimem Klima und feucht-warmem Kontinentalklima. Die Messstation „München-Stadt“ (48,16°N; 11,54°O) befindet sich etwa zwei Kilometer nordwestlich des Stadtzentrums auf dem ehemaligen Olympiagelände mit hohem Vegetationsanteil. Südlich grenzt ein dicht bebautes Wohngebiet an.

Untersuchungen zu Wärmeextremen berücksichtigen in der Regel die Häufigkeit von Überschreitungen definierter Werte. Veränderungen im Hinblick auf den Klimawandel lassen sich mit Hilfe der klimatologischen Kenntage „Heißer Tag“ (HT) und

„Tropennacht“ (TN) sehr gut identifizieren und verfolgen. Ein „Heißer Tag“ definiert einen Kalendertag, an dem die maximale Temperatur der Luft in Bodennähe (T_{max}) mindestens 30°C beträgt. In einer Tropennacht sinkt die Lufttemperatur nicht unter 20°C. **ABBILDUNG 2** zeigt für diese beiden gesundheitsbezogenen DAS-Indikatoren eine räumliche Analyse für das Bundesgebiet für die in Gesamtsumme aufgetretenen jeweiligen Anzahltage während des letzten „Hitze-Sommers“ 2015. Ergänzend hierzu ist auch die Ermittlung von Kombinationen dieser beiden Kenngrößen von speziellem Interesse. Aus gesundheitlicher Sicht ist dies besonders wichtig, da neben der Hitzebelastung tagsüber eine darauf folgende, besonders warme Nacht keine ausreichende Erholung gewährleistet (Buguet 2007; Joshi et al. 2016). Darum wird nachfolgend zusätzlich untersucht, wie viele Tage sich zu einer Episode zusammensetzen, an denen die beiden Indikator-Kenntage unmittelbar aufeinanderfolgend auftreten.

ABBILDUNG 3
Standorte der Messstationen in Deutschland (links) und in Berlin (rechts) und Darstellung der Landbedeckung. Kartengrundlage: Corine Land Cover 2012 (EEA 2017).



		FRANKFURT/MAIN- WESTEND	MÜNCHEN- STADT	HAMBURG- FUHLSBÜTTEL	BERLIN- TEMPELHOF
2001-2015	Heiße Tage / HT (Tage/Jahr) (Tmax ≥ 30 °C)	16,3	13,7	4,9	12,5
	Tropennächte / TN (Tage/Jahr) (Tmin ≥ 20 °C)	4,2	1,5	0,2	1,9
1961-1990	Heiße Tage / HT (Tage/Jahr) (Tmax ≥ 30 °C)	-	4,8	2,5	6,8
	Tropennächte / TN (Tage/Jahr) (Tmin ≥ 20 °C)	-	0,5	0,1	1,0

Obere Zeilen: Analysezeitraum 2001 bis 2015. Untere Zeilen: Klimanormalperiode 1961 bis 1990. Für die Messstation Frankfurt/Main-Westend liegen Temperaturen erst ab 1985 vor.

TABELLE I

Durchschnittliche
Anzahl der klimatologi-
schen Kenntage pro Jahr
an vier ausgewählten
DWD-Messstationen.

ERGEBNISSE

STÄDTEVERGLEICH

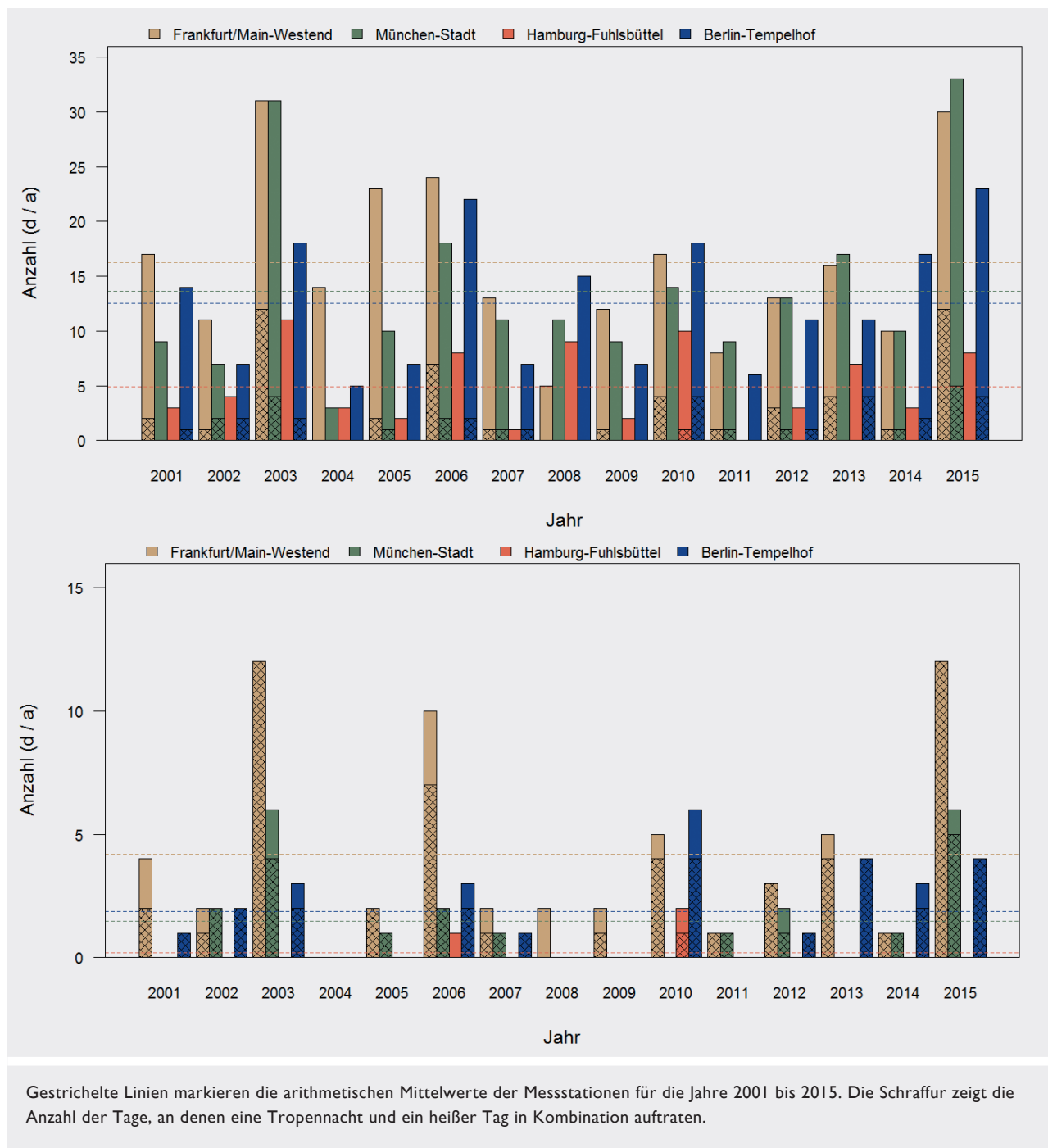
TABELLE I zeigt die mittlere Häufigkeit des Auftretens von "Heißer Tag" (HT) und "Tropischer Nacht" (TN) an vier DWD-Messstationen in Hamburg, Berlin, Frankfurt/Main und München. An der Station Frankfurt/Main-Westend traten für die Jahre 2001 bis 2015 im Mittel mit über 16 HT pro Jahr diese am häufigsten auf. München-Stadt folgt mit 13,7 und Berlin-Tempelhof mit 12,5 Tagen. HT sind an der Station in Frankfurt/Main-Westend mehr als dreimal häufiger als in Hamburg-Fuhlsbüttel, wo im Mittel mit etwa fünf Tagen pro Jahr die geringste Anzahl registriert wurde. Im Vergleich zu der derzeit noch gültigen letzten Klimanormalperiode (1961 bis 1990) traten in Hamburg-Fuhlsbüttel im Zeitraum 2001 bis 2015 HT doppelt so häufig auf. Ein ähnliches Resultat zeigt sich auch für die Station Berlin-Tempelhof. Wurden in der Klimanormalperiode noch im Mittel 6,8 HT pro Jahr registriert, sind es zwischen 2001 und 2015 mit durchschnittlich 12,5 ebenso fast doppelt so viele.

Im Vergleich zu HT sind TN an allen vier Beispielstationen deutlich seltener. Auch hier wurden an der Station Frankfurt/

Main-Westend im Mittel die häufigsten TN der vier Standorte beobachtet. Deutlich seltener kommen TN in Hamburg mit nur 0,2 im Mittel der 15 Jahre vor, das heißt, dass sie in der 15-Jahresperiode insgesamt nur dreimal registriert wurden.

Betrachtet man die Summen HT der einzelnen Jahre (ABBILDUNG 4A) zeigt sich, dass die Anzahl zwischen den Jahren und auch zwischen den gewählten Stationen stark schwankt. Mit Ausnahme von Hamburg-Fuhlsbüttel im Jahr 2011 wurden in jedem Jahr und an jeder Station HT beobachtet. In der Gesamtbetrachtung erreichen die Messstationen in Frankfurt und München vergleichsweise die höchste Anzahl mit zum Teil mehr als 30 HT pro Jahr, das heißt ein Drittel aller Tage der Sommermonate Juni, Juli und August. Dies ist in den Jahren 2003 und 2015 der Fall gewesen. Im Hitzesommer 2003 wurden auch in Berlin überdurchschnittlich viele HT registriert, wohingegen deren Anzahl in den Sommern 2006 und 2010 vergleichbar mit 2003 war. Insgesamt zeigt der Sommer 2015 eine ähnliche Ausprägung wie der des Jahres 2003, sodass auch das Jahr 2015 durch einen überdurchschnittlichen Hitzesommer charakterisiert ist.

Dieses Ergebnis lässt sich auch in den jährlichen Summen von TN beobachten (ABBILDUNG 4B). Vergleicht man diese mit



den Summen der HT, wird deutlich, dass in den Jahren mit einer hohen Anzahl HT auch die Zahl der TN überdurchschnittlich ist. Besonders deutlich ist dies an der Station Frankfurt/Main-Westend erkennbar, welche mit Ausnahme der Jahre 2010 und 2014 von allen Stationen die meisten TN aufweist.

Aus dem Vergleich der beiden **ABBILDUNGEN 4A UND 4B** wird deutlich, dass HT etwa dreimal häufiger auftreten als TN. Aus gesundheitlicher Sicht von besonderer Bedeutung sind Kombinationsereignisse, das heißt wenn beide Indikator-Kenngrößen an einem Kalendertag beziehungsweise an mehreren

ABBILDUNG 4
Anzahl „Heißer Tage“ (A, oben) und „Tropennächte“ (B, unten) im Vergleich von vier Messstationen 2001–2015 in Deutschland.

Kalendertagen aufeinander folgen, da durch eine mangelnde beziehungsweise fehlende nächtliche Erholung die thermophysiologische Belastung zunimmt und somit das Risiko für gesundheitliche Effekte steigt. In den **ABBILDUNGEN 4A UND 4B** sind diese Ereignisse als Schraffur gekennzeichnet. Die Analyse weist darauf hin, dass häufig TN in Kombination mit einem am selben Kalendertag auftretenden HT stehen, das heißt, dass in den meisten Fällen auf eine TN auch ein HT folgt.

INNENSTÄDTISCHE UNTERSCHIEDE AM BEISPIEL BERLIN

Die Auswertung von Fenner et al. (2015) für die Jahre 2001 bis 2010 hat gezeigt, dass die innerstädtischen Stationsunterschiede bei der Anzahl HT innerhalb eines Jahres gering sind. Schwankungen existieren jedoch von Jahr zu Jahr. Die Erweiterung dieser Auswertung um die Jahre 2011 bis 2015 (**ABBILDUNG 5A**) verdeutlicht, dass im Sommer 2015 in Berlin an über 20 Tagen die maximale Lufttemperatur über 30 °C lag. Die Ergebnisse sind mit jenen des Sommers 2003 vergleichbar.

Anders als an HT werden innerstädtische Temperaturunterschiede besonders nachts deutlich, wie **ABBILDUNG 5B** anhand des kleinräumig unterschiedlich häufigen Auftretens in Berlin zeigt. An der Station „Dessauer Straße“, in einem dicht bebauten Stadtviertel, werden TN im Vergleich zu innerstädtischen Freiflächen (Tempelhofer Feld, Tegel) insgesamt etwa dreimal so häufig beobachtet. An der Umlandstation „Dahlemer Feld“ wurde dagegen keine TN registriert. Dies verdeutlicht, dass es vor allem in dicht bebauten Stadtgebieten nachts zu thermophysiologisch ungünstigen Bedingungen für die Bevölkerung kommen kann.

HITZEEREIGNISSE

Oft ist das Auftreten von extremer Hitze jedoch kein singuläres Kurzzeitereignis von einem Tag, sondern kann über mehrere

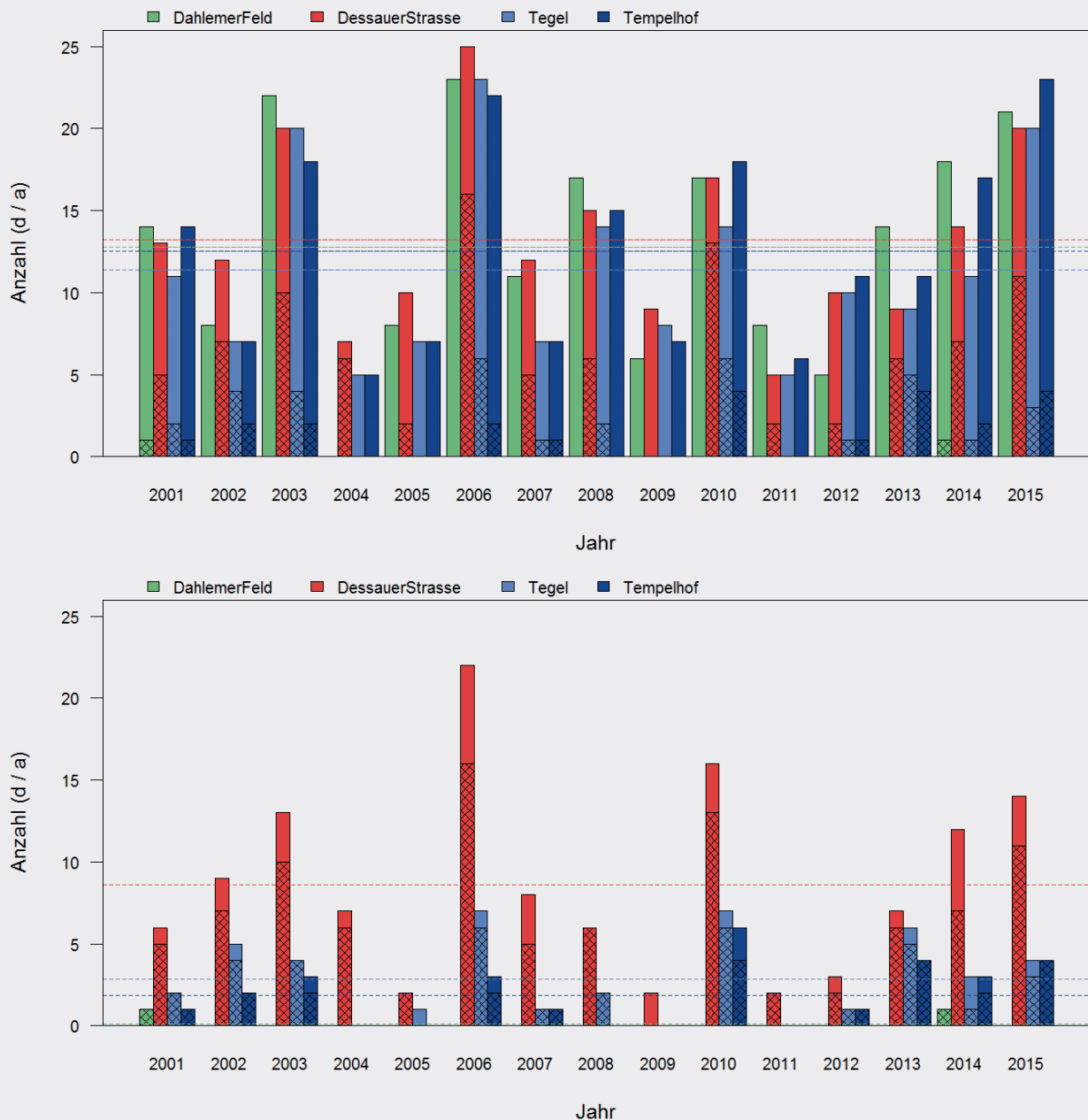
Tage, im Extremfall gar Wochen anhalten. **TABELLE 2** zeigt die Auswertung von mehrtägigen Hitzeereignissen für die oben genannten Messstationen der vier Städte Hamburg, Berlin, Frankfurt/Main und München, an denen HT und/oder TN unmittelbar, das heißt ohne Unterbrechung, aufeinander folgen. Dabei zeigt sich, dass an der Messstation Frankfurt/Main-Westend während des betrachteten Zeitraumes (2001 bis 2015) die häufigsten mehrtägigen Ereignisse auftraten (n=64), viermal häufiger als in Hamburg-Fuhlsbüttel (n=16). Die mittlere Dauer solcher Ereignisse beträgt in Hamburg und Berlin etwa drei Tage, an den beiden anderen Messstationen 3,5 Tage. Die jeweils längste zusammenhängende Hitzeperiode wurde im Sommer 2003 in Frankfurt mit einer Dauer von insgesamt 14 Tagen, in München mit 13 Tagen und in Hamburg mit sechs Tagen registriert. Im Vergleich dazu war der Sommer 2003 in Berlin weniger heiß.

Auch die Sommer der Jahre 2006, 2010 und 2015 hatten Perioden extremer Hitze. In diesen Jahren sind einzelne sommerliche Hitzeereignisse nicht nur zahlreicher aufgetreten, sondern waren im Vergleich zu anderen Jahren auch durchschnittlich länger.

DISKUSSION UND AUSBLICK

Die vorliegende Auswertung zeigt, dass extreme Hitzeereignisse in verschiedenen Großstädten Deutschlands unterschiedlich häufig und lang auftreten. Es konnte gezeigt werden, dass die zur gesundheitlichen Orientierung herangezogenen klimatologischen Kenntage „Heißer Tag“ (HT) und „Tropennacht“ (TN) in dem Untersuchungszeitraum 2001 bis 2015 in Frankfurt/Main und München häufiger beobachtet wurden, als in Hamburg und Berlin. Dies lässt sich durch ihre geographische Lage, die Topographie und durch die regionale Klimazonendifferenzierung erklären.

Ogleich das Vorkommen und die Anzahl HT zwischen den vier betrachteten Städten



Gestrichelte Linien markieren die arithmetischen Mittelwerte der Messstationen für die gesamte Analyseperiode. Die Schraffur markiert die Anzahl der Tage, an denen eine "Tropennacht" und ein "Heißer Tag" in Kombination auftraten.

sehr unterschiedlich ist, zeigt die spezielle Auswertung für Berlin zwei interessante stadtklimatologische Besonderheiten: Einerseits treten HT über die ganze Stadt verteilt und innerhalb eines Jahres an allen Messstellen (in der Innenstadt und am Stadtrand) ähnlich häufig auf. Andererseits zeigt

die Auswertung für die TN einen ausgeprägten Innenstadt-Umland-Gradienten. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass tagsüber auftretende Hitze vor allem von überregionalen Gegebenheiten abhängig und witterungsbedingt ist, wohingegen das Auftreten von TN besonders von den innerstädtischen Bedin-

ABBILDUNG 5
Anzahl "Heiße Tage" (A, oben) und "Tropennächte" (B, unten) im Vergleich von vier Messstationen in Berlin für den Zeitraum 2001 bis 2015.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2001-2015
Frankfurt/Main-Westend	Anzahl	5	4	6	3	8	4	3	3	5	2	3	6	2	6	64
	Ø Dauer	3,6	3	4,3	4	2,6	5,5	3	2	3,4	2	3,3	2,7	3,5	4,2	3,3
	max. Dauer	9	4	14	8	4	12	4	2	7	2	4	3	4	8	14
München-Stadt	Anzahl	2	1	6	0	3	5	3	2	3	1	4	4	2	5	43
	Ø Dauer	2	4	4,2	/	2,3	2,8	2,7	2,5	3,3	6	2,5	4	3,5	6,2	3,4
	max. Dauer	2	4	13	/	3	4	4	3	6	6	4	7	4	12	13
Hamburg-Fuhlsbüttel	Anzahl	0	1	2	1	0	3	0	2	3	0	0	1	1	2	16
	Ø Dauer	/	2	4	3	/	2,3	/	3	3	/	/	4	2	3	2,9
	max. Dauer	/	2	6	3	/	3	/	4	5	/	/	4	2	4	6
Berlin-Tempelhof	Anzahl	4	2	5	1	2	4	1	4	5	2	3	3	5	6	47
	Ø Dauer	2,5	3	3	3	2	4,8	3	3,3	3,8	2	2,3	3	3,4	3	3
	max. Dauer	3	4	4	3	2	11	3	5	9	2	3	5	5	4	11

Die Angaben in den Zeilen beschreiben die Anzahl der Hitzeereignisse für vier Stationen in Deutschland (Anzahl), die mittlere Dauer in Tagen bezogen auf ein Jahr (Ø-Dauer) sowie die Andauer des längsten Ereignisses eines Jahres in Tagen (max. Dauer). Die letzte Spalte bezieht sich hinsichtlich der Anzahl, durchschnittlicher Dauer und maximaler Dauer auf den Gesamtzeitraum 2001–2015.

TABELLE 2
Hitzeereignisse des
Zeitraums 2001 bis 2015
auf Basis der in Folge
auftretenden Kenntage
"Heißer Tag" sowie
"Tropennacht" (mindestens 2 Kalendertage).

gungen, wie zum Beispiel Versiegelungsgrad, Architektur und Baukörperstrukturen und -material geprägt ist, die als Wärmespeicher Ursache des Wärmeinseleffekts sind und damit das Stadtklima nachhaltig beeinflussen.

Die gesundheitliche Relevanz von Hitze hängt nicht nur davon ab, ob ein als „Schwelle“ gesetzter Lufttemperaturwert erreicht beziehungsweise überschritten wurde, sondern vor allem über welchen Zeitraum extreme Hitze andauert, wie es zum Beispiel der Hitzesommer 2003 zeigte. Die Auswertung von Perioden mit Tagen extremer Hitzebelastung zwischen 2001 und 2015 zeigt, dass anhaltende Ereignisse mehrerer, aufeinanderfolgender HT und/oder TN im Vergleich zwischen den vier Großstädten mit Abstand am häufigsten in Frankfurt/Main vorkommen. Demgegenüber konnte aber auch gezeigt werden, dass diese Perioden vergleichsweise mit einer ähnlichen Dauer von durchschnittlich etwa 3 bis 3,5 Tagen anhalten können. Der Sommer 2015 kann im Vergleich zum Jahr 2003 vor allem für Mittel- und Süddeutschland ebenfalls als extremer Hitzesommer charakterisiert werden. So wurden in Frankfurt/Main und München überdurchschnittlich häufig HT und TN sowie Hitzeereignisse von außergewöhnlich langer Dauer beobachtet (in Frankfurt einen Tag und in München ca. drei Tage über dem Durchschnitt).

Die zur Orientierung der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung ausgewählten Hitze-bezogenen Indikatoren HT und TN wurden für die langfristige Beobachtung von Klimawandelfolgen im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) ausgewählt und in den DAS-Monitoringbericht 2015 aufgenommen (UBA 2016). Das Auftreten der beiden klimatologischen Kenngrößen ist über das Erreichen beziehungsweise Überschreiten der jeweiligen Lufttemperaturwerte definiert (HT: Maximumtemperatur $\geq 30^\circ\text{C}$; TN: Minimumtemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$). Die Kriterien für diese beiden Kenngrößen sind mit anderen Studien, die die gesundheitliche Belastung von Hitze untersuchten, vergleichsweise hoch

angesetzte „Schwellenwerte“. Einige Studien konnten gesundheitsrelevante Effekte schon bei Temperaturwerten nachweisen, die teilweise deutlich unter diesen lagen (Fenner et al. 2015; Gasparrini et al. 2015). Ein städteübergreifendes Monitoring temperaturassoziierter Gesundheitseffekte könnte zukünftig genauere Aufschlüsse darüber geben, ob gegebenenfalls ein Richtwert der Lufttemperatur als „Schwelle“ abgeleitet werden kann, um vor den thermisch-bedingten Gesundheitseffekten durch Hitze zu warnen und zu schützen.

Aus gesundheitlicher Sicht stellt Hitze nicht nur in dem auftretenden Einzelereignis von HT und/oder TN eine Belastung dar, sondern darüber hinaus besonders im kombinierten Vorkommen beider Kenngrößen sowie in über mehrere Tage anhaltenden Hitzeereignissen. In diesem Zusammenhang weisen Zacharias und Koppe (2015) oder auch Fenner et al. (2015) auf eine erhöhte Mortalität für Ereignisse von mindestens drei Tagen Andauer nach. Aber auch hitzeassoziierte Erkrankungen nehmen während länger anhaltender Hitzeperioden deutlich zu, wie Steul et al. (2018) beispielhaft für die Hitzeperiode des Sommers 2015 in Frankfurt/Main zeigen konnten. Die Studie analysierte Krankenhauseinweisungen per Rettungseinsatz und zeigte unter anderem, dass die Zahl der gesamten Krankenhausaufnahmen während einer fünftägigen Hitzeperiode Anfang Juli 2015 etwa 25 Prozent höher lag, als für diesen Zeitraum zu erwarten war.

Die Erkenntnisse aus den Hitze-bezogenen Gesundheitsstudien und die eigenen Ergebnisse belegen und unterstreichen zum einen, dass zukünftig auch das Vorkommen und die Entwicklung mehrtägig anhaltender Hitzeereignisse als weiterer gesundheitsbezogener DAS-Indikator erfasst und berücksichtigt werden sollte. Zum anderen sollten auf der Basis dieser Ergebnisse zeitnah Anpassungsmaßnahmen in praxisorientierte Handlungen zum vorbeugenden Gesundheitsschutz für die Bevölkerung vor extremer Hitzebelastung überführt werden. Hierfür sind abgestimmte, koordinierte Hitzeaktionspläne auf regionaler oder lokaler

Ebene notwendig und geeignet, um die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels, insbesondere von Hitze, effizient zu kommunizieren und darüber hinaus ein an die Situation angepasstes Risikoverhalten in der Bevölkerung zu erreichen und präventive Handlungsmöglichkeiten zu etablieren. Entsprechende Hitzeaktionspläne wurden in Europa, zum Beispiel in Frankreich, der Schweiz und den Niederlanden, bereits vor mehreren Jahren erfolgreich etabliert. Aktionspläne zur Hitzeprävention gibt es bislang in Deutschland jedoch noch nicht. Daher wurden zunächst in einem ersten Schritt „Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit“ für Deutschland erarbeitet und 2017 publiziert (Straff, Mücke 2017). Sie bieten den Rahmen und die Möglichkeit für einen verbesserten Schutz der öffentlichen Gesundheit vor thermischen Belastungen ausgelöst durch extreme Hitzeereignisse. Es ist zu wünschen, dass die darin beschriebenen kurz-, mittel- und langfristigen Anpassungsmaßnahmen als bald in die konkrete, praktische Umsetzung gelangen, insbesondere vor dem Hintergrund, dass in Deutschland zukünftig mit häufiger auftretenden, intensiveren und länger andauernden Hitzeereignissen zu rechnen ist (Zacharias, Koppe 2015).

LITERATUR

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2016): Statistischer Bericht, Einwohnerinnen und Einwohner im Land Berlin am 31. Dezember 2015. Grunddaten, abgeleitet vom Melderegister.

Augustin J, Sauerborn R, Burkart K et al. (2017): Gesundheit. In: Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland, Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum. Berlin Heidelberg: 137–149.

Bassil KL, Cole DC, Moineddin R et al. (2009): Temporal and spatial variation of heat-related illness using 911 medical dispatch data. *Environmental Research* 109 (5): 600–606. DOI: 10.1016/j.envres.2009.03.011.

Buguet A (2007): Sleep under extreme environments: Effects of heat and cold exposure, altitude, hyperbaric pressure and microgravity in space. *Journal of the Neurological Science* 262 (1–2): 145–152. DOI: 10.1016/j.jns.2007.06.040.

Burkart K, Canário P, Breitner S et al. (2013): Interactive short-term effects of equivalent temperature and air pollution on human mortality in Berlin and Lisbon. *Environmental pollution* 183: 54–63. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.06.002.

Deutschländer T, Mächel H (2017): Temperatur inklusive Hitzewellen. In Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland, Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum. Berlin Heidelberg: 47–56.

DWD – Deutscher Wetterdienst(2018): Deutscher Klimaatlas. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html (Zugriff am: 11.07.2018).

DWD – Deutscher Wetterdienst (2016): Klimastatusbericht 2015. ISSN 1437–7691.

EEA (2017): Corine Land Cover 2012. Ver. v.18.5.1. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012> (Zugriff am: 11.07.2018).

Fenner D, Mücke HG, Scherer D (2015): Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins. *UMID – Umwelt und Mensch Informationsdienst* 1: 30–38.

Fenner D, Meier F, Scherer D et al. (2014): Spatial and temporal air temperature variability in Berlin, Germany, during the years 2001–2010. *Urban Climate* 10 (2): 308–331. DOI: 10.1016/j.uclim.2014.02.004.

Fischer EM, Schär C (2009): Future changes in daily summer temperature variability: driving processes and role for temperature extremes. *Climate Dynamics* 33 (7–8): 917–935. DOI: 10.1007/s00382-008-0473-8.

Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M et al. (2015): Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet* 386 (9991): 369–375. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)62114-0.

Heudorf U, Meyer C (2005): Gesundheitliche Auswirkungen extremer Hitze - Am Beispiel der Hitzewelle und der Mortalität in Frankfurt am Main im August 2003. *Gesundheitswesen* 67 (5): 369–374. DOI: 10.1055/s-2004-813924.

IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker TF, Qin D, Plattner GK et al. (eds.): Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Joshi SS, Lesser TJ, Olsen JW et al. (2016): The importance of temperature and thermoregulation for optimal human sleep. *Energy and Buildings* 131: 153–157. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.09.020.
- Koppe C, Jendritzky G (2014): Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität. In Lozán JL, Grassl H, Karbe L et al. (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage. Elektronische Veröffentlichung, Kap. 3.1.9 http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2014/03/koppe_jendritzky.pdf (Zugriff am: 11.07.2018).
- Kuttler, W (2009): *Klimatologie*. 2. Auflage. Grundriss Allgemeine Geographie. Schöningh UTB.
- Mücke HG, Matzarakis A (2017): Klimawandel und Gesundheit. In: Wichmann, Schlipkötter, Füllgraff (Hrsg.): *Handbuch der Umweltmedizin*. Kapitel VIII 1.10: 1–38.
- Oke TR (1973): City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7 (8): 769–779.
- Rubel F, Kottek M (2010): Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift* 19 (2): 135–141. DOI: 10.1127/0941-2948/2010/0430.
- Scherber K, Langner M, Endlicher W (2014): Spatial analysis of hospital admissions for respiratory diseases during summer months in Berlin taking bioclimatic and socio-economic aspects into account. *Die Erde* 144 (3–4): 217–237. DOI: 10.12854/erde-144-16.
- Schönwiese CD, Janoschitz R (2008): *Klima-Trendatlas Europa 1901–2000*. Berichte des Instituts für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main Nr. 4. 2. aktualisierte Auflage.
- Schönwiese CD, Staeger T, Trömel S (2004): The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. *Meteorologische Zeitschrift* 13 (4): 323–327. DOI: 10.1127/0941-2948/2004/0013-0323.
- Stadt Frankfurt am Main (2016): *Statistisches Jahrbuch der Stadt Frankfurt am Main 2016*. Kapitel 2, Bevölkerung. Stadt Frankfurt am Main - Der Magistrat - Bürgeramt, Statistik und Wahlen (Hrsg.): ISSN: 0071–9218.
- Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2016): *Bevölkerung in Hamburg am 31.12.2015*. Statistische Berichte, Kennziffer: A I/S I – j 15 HH. Bevölkerung in Hamburg. Auszählung aus dem Melderegister.
- Steul KS, Latasch L, Jung HG et al. (2018): Health Impact of the Heatwave of 2015: Hospital Admissions in Frankfurt/Main, Germany. *Gesundheitswesen* (80): 353–359. DOI: 10.1055/a-0586-8255.
- Straff W, Mücke HG (2017): Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 60: 662–672. DOI: 10.1007/s00103-017-2554-5.
- UBA – Umweltbundesamt (2018): Internetseite Gesundheitsrisiken durch Hitze, Grafik „Anzahl der Tage mit einem Lufttemperatur-Maximum über 30 Grad Celsius (Gebietsmittel)“. Quelle DWD 05/2018. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/5_abb_anzahl-tage-lufttemp-max-30-grad_2018-05-09.pdf (Zugriff am: 11.07.2018).
- UBA – Umweltbundesamt (2017): Internetseite Gesundheitsrisiken durch Hitze, Karten „Heiße Tage 2015“ und „Tropennächte 2015“. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-hitze> (Zugriff am: 11.07.2018).
- UBA – Umweltbundesamt (2016): *Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2015> (Zugriff am: 11.07.2018).
- WHO – World Health Organization (2013): *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*, Technical Report. The World Health Organization Regional Office for Europe.
- Zacharias S, Koppe C (2015): Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters und die Gesundheit bzw. die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland. UBA-Schriftenreihe, Umwelt & Gesundheit Heft 6. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/einfluss-des-klimawandels-auf-die-biotropie-des> (Zugriff am: 11.07.2018).

KONTAKT

Alexander Krug
Umweltbundesamt
Fachgebiet II 1.5 "Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung"
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: alexander.krug[at]uba.de

[UBA]