

3.1.8 Hitzeepisoden in Deutschland im 20. und 21. Jahrhundert

BIRGER TINZ, EBERHARD FREYDANK & PETER HUPFER

Hitzeepisoden in Deutschland im 20. und 21. Jahrhundert: Hitzeepisoden (HE) sind mindestens fünf Tage lange Zeitabschnitte mit einer täglichen Höchsttemperatur von 30 °C oder mehr. Eine Tageshöchsttemperatur darf darunter liegen, muss aber 25 °C überschreiten. Es wurden die Stationen Hamburg, Berlin, Jena und Karlsruhe untersucht. Auf Grund der unterschiedlichen mittleren klimatischen Bedingungen sind deutliche Unterschiede zwischen den nördlichen und südlichen Teilen von Deutschlands erkennbar. Hitzeepisoden kommen von Mai bis September vor. Die dekadische Häufigkeit der Anzahl von Hitzeepisoden zeigt einen Zusammenhang mit Änderungen der atmosphärischen Zirkulation sowie einen ansteigenden Trend im 20. Jahrhundert. Simulationen mit dem regionalen Klimamodelle REMO zeigen entsprechend eines Treibhausgaszenarios des IPCC einen starken Anstieg der Häufigkeit von Hitzeepisoden besonders in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts. Diese Erhöhung wird voraussichtlich mit negativen Folgen für die Natur, die Wirtschaft und die menschliche Gesundheit verbunden sein.

Heat episodes in Germany during the 20th and 21st century: Heat episodes (HE) are time intervals of at least 5 days with a daily maximum of surface air temperature of 30° C or above in which no day exists with a maximum temperature below 25 °C. Analyzed are the stations Hamburg, Berlin, Jena and Karlsruhe. According to the mean climate conditions there are typical differences between the Northern and Southern part of Germany. HE happen from May to September. The decadal frequencies of the number of HE and their characteristics show in connection with corresponding variations of the atmospheric circulation a considerable variability as well as an increasing trend during the 20th century. By means of the regional climate model REMO (Max-Planck-Institute Hamburg) and appropriate greenhouse gas scenarios of IPCC, a strong increase of the frequency of HE has been estimated, especially for the second half of the 21st century. The strong increase of HE maybe connected with an unfavourable impact on nature, economy and man's health.

Das Auftreten von Hitzeepisoden (HE), auch als Hitzewellen oder Hitzeperioden bezeichnet, ist ein normales Merkmal des Klimas der mittleren Breiten und damit auch des Klimas in Deutschland. Derartige mehrtägige oder mehrwöchige Witterungsabschnitte sind mit verschiedenen Begleiterscheinungen in der Natur und den zivilisatorischen Systemen verbunden. Die klimatologisch normalen Hitzeepisoden erfuhren jedoch besondere öffentliche Aufmerksamkeit in Zusammenhang mit der fortschreitenden Urbanisierung und der Herausbildung von Megastädten sowie mit dem angelaufenen anthropogenen Klimawandel (KOVATS & JENDRITZKY 2006, SOLOMON et al. 2007). In dicht bebauten Großstädten, ohne genügenden Luftaustausch mit der Umgebung, kann es unter den gegebenen meteorologischen Bedingungen zu einer Überhitzung des Stadtklimas kommen, was schon zahlreiche Todesopfer gefordert hat. Der Hitzesommer 2003 fand in diesem Zusammenhang besondere Aufmerksamkeit (SCHÄR & JENDRITZKY 2004, KOSATSKY 2005, KUTTLER 2009). Auch in sommerwarmen Regionen wie dem Mittelmeergebiet spielt das vermehrte Auftreten von Hitzewellen eine große Rolle (DIFFENBAUGH et al. 2007).

Bereits vor ca. 30 Jahren wurde für verschiedene Gebiete Ostdeutschlands nachgewiesen, dass positive monatliche Temperaturabweichungen im Sommer mit erhöhten Mortalitätsraten bei verschiedenen Krankheitsgruppen verbunden sind (TUROWSKI & HAASE 1987). Diese und andere Befunde weisen darauf hin,

dass die Kenntnis der Häufigkeit von HE von großer praktischer Bedeutung ist. Aus den Ergebnissen der internationalen Klimaforschung (SOLOMON et al. 2007, IPCC 2014) geht hervor, dass das gehäufte Vorkommen von HE ein wichtiges Attribut von solchen Klimaänderungen ist, die mit einer allgemeinen Erwärmung verbunden sind.

In diesem Beitrag werden für vier Stationen in Deutschland seit dem Ende des 19. Jahrhunderts beobachtete HE und deren mögliche Entwicklung im 21. Jahrhundert auf der Grundlage von Klimamodelldaten untersucht.

Definition und Daten

In Anlehnung an KYSELY (zit. AUER et al. 2004) wird in dieser Arbeit unter einer Hitzeepisode eine Folge von mindestens fünf Tagen verstanden, deren Tagesmaxima der Lufttemperatur im Mittel mindestens 30 °C betragen. Innerhalb eines solchen Zeitabschnitts dürfen keine Tage sein, an denen das Lufttemperaturmaximum unter 25 °C liegt. Die bei AUER et al. (2004) verwendete Definition geht von mindestens drei aufeinander folgenden Tagen aus, an denen die Lufttemperatur 30 °C erreicht. An den folgenden Tagen unterschreitet die Temperatur 25 °C nicht, wobei der Mittelwert der Maximumtemperaturen in der gesamten Periode über 30 °C liegt. Die hier verwendete Definition ist zum einen schärfer (Mindestlänge 5 Tage), zum anderen werden aber auch Tage mit Maximumtemperaturen zwischen

25 und 30 °C im »Kern« der Hitzewelle zugelassen, was der realen Struktur diesbezüglicher Datenreihen besser entspricht.

Für die Untersuchung wurden die Daten der Stationen:

- Hamburg-Fuhlsbüttel (freie Lage auf dem Flughafengelände),
- Berlin-Dahlem (aufgelockert bebautes Gebiet, Villen),
- Jena (Sternwarte, Tallage, mäßig bis locker bebaut) und
- Karlsruhe (im Oberrheintal)

für den Zeitraum 1891 bis 2010 herangezogen.

Die Lücken in den Datenreihen wurden mit Hilfe der Regressionsmethode (Ableitung und Nutzung monatlicher Ausgleichsgeraden zu anderen, möglichst nahe gelegenen Stationen) geschlossen. Im Einzelnen wurden verwendet: Potsdam für Berlin-Dahlem und Gera für Jena.

Zum Zweck der grafischen Darstellung eines längeren Zeitraums wurden für Stationen in Berlin (Datenreihe Berlin-Innenstadt, METEOROLOGISCHER DIENST 1971) auch für den Zeitraum 1831–1890 die HE berechnet.

Da das Auftreten von HE eine erhebliche Jahr-zu-Jahr-Variabilität aufweist, wurden die Untersuchungen vorrangig auf der Grundlage von Dezennien-Werten durchgeführt. Auf die verwendeten Klimamodell-Daten wird in 5. Abschnitt eingegangen.

Ursachen von Hitzeepisoden

Das Vorkommen von HE in Mitteleuropa und damit in Deutschland hängt primär vom Zustand der atmosphärischen Zirkulation ab. Dadurch werden die Wärmehaushaltsbedingungen so verändert, dass in Bodennähe Lufttemperaturen resultieren, die hinsichtlich ihrer Höhe und Andauer der oben genannten Definition für HE entsprechen.

Während im Fall anhaltender sommerlicher Hochdrucklagen über Mitteleuropa (HM, BM. s.u.) generell sowohl die lokalen Wärmehaushaltsbedingungen als auch die Advektion warmer Luft zu HE führen können, lassen sich extrem temperierte Hitzewellen vor allem auf die Advektion heißer Luftmassen aus dem Mittelmeergebiet und Nordafrika zurückführen. Die europäischen Großwetterlagen, unter denen HE vorkommen, bestätigen die dominierende Rolle der Zirkulation. Nach der Klassifikation von HESS & BREZOWSKY (1977)

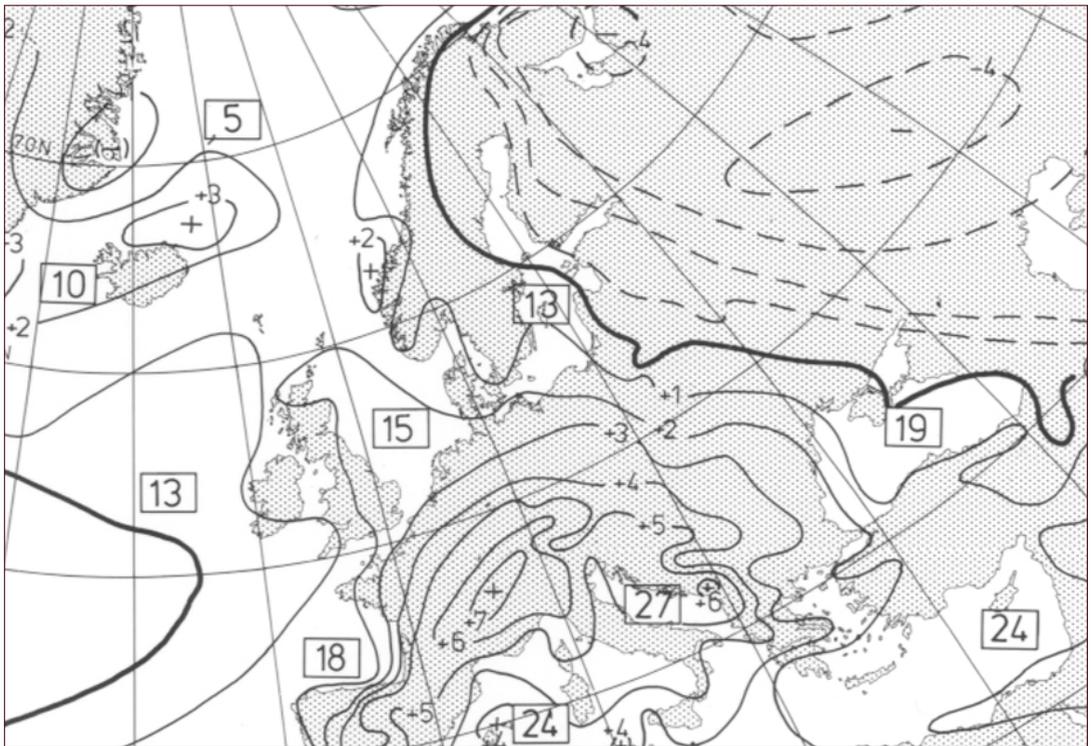


Abb. 3.1.8-1: Linien gleicher Abweichungen der Monatsmitteltemperatur im Juni 2003 gegenüber dem Mittelwert 1961-1990 in K (numerisch mit Abweichungen in °C identisch). Die Zahlen in den Kästen stehen für die mittlere Wassertemperatur in °C (Quelle: DWD 2003)

treten HE in fast 37% der Fälle bei den beiden Hochdruckwetterlagen HM (Hoch über Mitteleuropa, 20,7%) und BM (Hochdruckbrücke über Mitteleuropa, 16,2%) auf. Aber auch einige meridionale Zirkulationsformen wie HFa (Hoch über Fennoskandien, antizyklonal, 7,5%) und SWa (antizyklonale Südwestlage, 7,5%), die warme Luftmassen aus Südwesten heranzuführen, sind relativ häufig mit HE verbunden, wobei es bei diesen Wetterlagen zu regionalen Differenzierungen kommt. Markantes Beispiel hierfür ist die antizyklonale Westlage (Wa), die in Karlsruhe an immerhin 8,5% der HE beteiligt ist, während sie in Hamburg bisher zu keiner HE führte.

In der *Abb. 3.1.8-1* sind die Anomalien der Monatsmitteltemperatur für den Monat Juni 2003 im atlantisch-europäischen Raum dargestellt. Im Bereich Deutschlands betragen die Anomalien 2 K im Norden und bis 7 K im Südwesten. In diesem Monat traten bis auf Hamburg an allen Stationen HE von 5 (Berlin) bis 26 Tagen (Karlsruhe) Dauer auf, da dem klimatologischen Gefälle von Süd nach Nord die eben beschriebene Anomalieverteilung überlagert ist.

Bei hemisphärischer Betrachtung wird deutlich, dass sich im Breitenbereich von etwa 30 bis 60° N in zonaler Richtung positive und negative Abweichungen ablösen (bspw. -4 K in Südrussland). Die Ursache dafür liegt in der entsprechenden Wellenstruktur der atmosphärischen Zirkulation. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass HE bei großräumiger Betrachtung im Allgemeinen regionale, oft sogar eng begrenzte Erscheinungen sind.

Tab. 3.1.8-1: (a) Anzahl der Hitzeepisoden, (b) Zahl der in diesen enthaltenen Tage, (c) Anzahl der Hitzeepisoden mit einer Länge von 10 Tagen und mehr, (d) Anzahl der Jahre ohne Hitzeepisoden sowie (e) Anzahl der Jahre mit mehreren Hitzeepisoden für vier deutsche Stationen.

Station		1891-1900	1901-1910	1911-1920	1921-1930	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	Σ
Hamburg	a	0	0	3	3	1	5	1	1	2	4	4	5	29
	b	0	0	18	26	6	45	5	10	22	23	36	51	252
	c	0	0	0	2	0	2	0	1	2	0	1	2	10
	d	10	10	8	7	9	5	9	9	8	8	6	6	95
	e	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1
Berlin-Dahlem	a	9	6	4	8	5	14	5	4	9	5	12	13	94
	b	60	42	34	53	29	111	36	34	64	30	97	112	702
	c	1	1	1	1	0	5	1	1	3	0	2	3	19
	d	2	5	7	3	6	1	6	6	3	5	4	3	51
	e	1	1	1	1	1	4	1	0	2	4	4	5	21
Jena	a	13	12	7	8	11	18	7	11	7	15	15	16	140
	b	99	97	82	67	66	161	57	82	86	127	122	177	1243
	c	3	1	3	3	2	6	3	2	3	6	4	4	40
	d	2	2	5	3	3	1	5	4	3	3	2	0	33
	e	4	3	1	1	3	6	2	4	0	5	5	4	38
Karlsruhe	a	7	2	2	9	10	20	12	12	10	16	26	24	150
	b	63	20	36	108	99	205	114	95	112	182	279	361	1674
	c	3	1	1	5	4	10	5	2	2	8	9	13	63
	d	4	8	8	3	3	1	3	2	4	1	0	0	37
	e	1	0	0	2	2	6	4	4	3	6	7	8	43

Regional spiegelt sich das durch die Allgemeine Zirkulation bedingte unterschiedliche Wärmeangebot – wie es aus den einschlägigen Klimadaten ersichtlich ist – auch in der Verteilung der HE wider. Dazu kommen lokale klimabildende Prozesse, die sowohl das Vorkommen überhaupt als auch die Dauer von Hitzeperioden entscheidend beeinflussen. Überall, wo die Durchlüftung durch Relief, Bewuchs oder Bebauung eingeschränkt ist (z.B. in einer Stadt, in einer weiten Tallage oder in einer Waldlichtung) kommt es bei gleichem, relativ hohem Strahlungsangebot und zum Teil auch verstärktem Wärmeumsatz am Tage zu höheren Maximalwerten der Lufttemperatur als im benachbarten Umland. So ist die weiter unten gezeigte hohe Belastung von Karlsruhe und Jena durch HE in erheblichem Maße auch der Lage im Rhein- bzw. Saaletal zuzuschreiben. Der Wärmeinseleffekt in Großstädten führt ebenfalls zu einer größeren Häufigkeit von Wärmewellen (HUPFER et al. 2013, KUTTLER 2006). Andererseits wirkt gute Durchlüftung der Überhitzung weitgehend entgegen. So sind Bergkuppen selten oder nie von HE betroffen.

Hitzeepisoden im 20. Jahrhundert

Gemäß den Angaben in *Tab. 3.1.8-1* war die Zahl der HE zwischen 1891 und 2010 in Karlsruhe um 121 Fälle höher als in Hamburg. Dieser Nord-Süd-Unterschied ist klimatologisch auf Grund der Temperaturverteilung zu erwarten und drückt sich auch in den anderen berechneten Parametern aus.

Eine Besonderheit im zeitlichen Gang der Dezennienzahlen der HE, die für alle Stationen zu erkennen ist, besteht darin, dass bis auf Karlsruhe die höchste Anzahl der Fälle sowie die maximale Zahl der in die HE einbezogenen Tage auf die Jahrzehnte 1941/50 und 2001/10 fallen. In Karlsruhe wurden im letzten Jahrzehnt deutlich mehr Hitzeepisoden registriert. Die erhöhte Anzahl der HE sowie die Anzahl der in diese einbezogenen Tage in den 1940er Jahren spiegeln den Einfluss der im zwanzigsten Jahrhundert in diesen Jahren global erstmalig auffallenden, allerdings auch auf natürliche Ursachen zurückgehenden Erwärmung wider. Diese war besonders im Nordpolbereich deutlich ausgeprägt und wirkte sich mit abnehmender Intensität südwärts in der gesamten Nordhemisphäre aus (HUPFER & TINZ 2014). Gleichfalls reagieren die Hitzeperioden-Parameter auf die dieser vorübergehenden Erwärmung folgenden globalen Abkühlung. Die weiteren in Tab. 3.1.8-1 enthaltenen Größen entsprechen grundsätzlich dem geschilderten Befund. Auffällig ist die in den letzten Jahrzehnten erfolgte Zunahme der HE im südwestdeutschen Raum.

In Abb. 3.1.8-2 ist der zeitliche Verlauf des Auftretens von HE für Berlin seit 1831 dargestellt. Zu erkennen sind die erhebliche zeitliche Variabilität der Dezennienwerte, die hervorgehobene Bedeutung des Jahrzehnts 1941/50 und auch die Tendenz zur Zunahme der Anzahl der Hitzewellen im Bereich des Übergangs vom 20. zum 21. Jahrhundert. Der korrespondierende Verlauf der Tage in HE bestätigt die oben getroffenen Aussagen (Abb. 3.1.8-3).

Schlussfolgernd kann festgestellt werden, dass der zeitliche Verlauf des Auftretens von HE über die Zirkulation den großräumigen Entwicklungen von Klimaprozessen folgt. Betrachtet man die zeitliche Verteilung von HE in Laufe des Jahres, so ist für alle Stationen festzustellen, dass in Deutschland Hitzeepisoden zwischen Mai und September vorkommen. Erwartungsgemäß treten im Juli die meisten Fälle auf, gefolgt von August und Juni. Der September ist deutlich weniger am Hitzegeschehen beteiligt als der Monat Mai. Im Vergleich der ersten und zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zeigt sich aber zwischen 1951 und 2010 auch für diesen Monat eine Zunahme der Fälle.

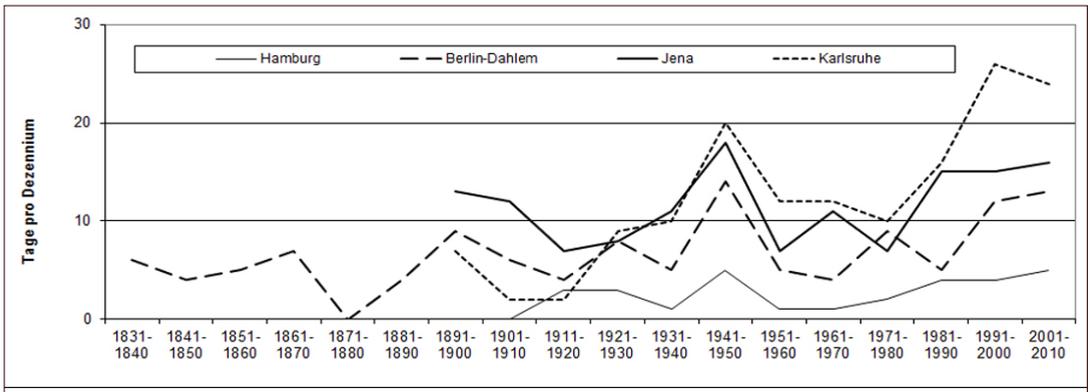


Abb. 3.1.8-2: Anzahl der Hitzeepisoden pro Dezennium für Berlin (Innenstadt/Dahlem) von 1831/40 bis 2001/10 sowie anderer Stationen von 1891/1900 bis 2001/10.

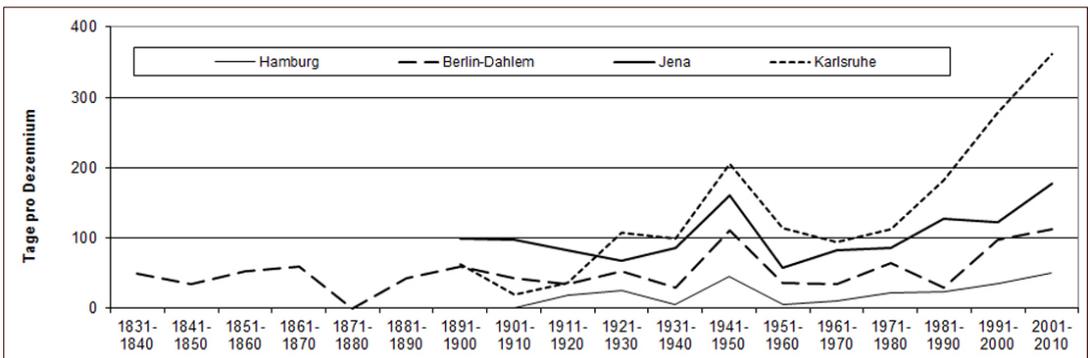


Abb. 3.1.8-3: Anzahl der in Hitzeepisoden enthaltenen Tage pro Dezennium für Berlin (Innenstadt/Dahlem) von 1831/40 bis 2001/10 und anderer Stationen von 1891/1900 bis 2001/10.

In der Andauer von Hitzeperioden ist wiederum eine deutliche Zunahme von Nord nach Süd festzustellen (Tab. 3.1.8-2 enthält die relativen Zahlen für Berlin und Karlsruhe). Die kurzen HE stellen den größten Anteil. In der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraumes erreichte die maximale Länge von Hitzewellen in Karlsruhe bereits zweimal 56 Tage.

Im Hinblick auf die in Hitzeperioden erreichten Maximaltemperaturen ist die Zunahme dieser Temperaturen in der zweiten Hälfte des untersuchten Zeitraumes auffällig. Das gilt insbesondere für Karlsruhe, wo mehrere Fälle mit $\geq 40^\circ\text{C}$ aufgetreten sind.

Ergebnisse von Modellrechnungen für das 21. Jahrhundert

Verwendete Modelle und Szenarien

Da die tatsächliche künftige Entwicklung der anthropogen verursachten Emission von Treibhausgasen nicht sicher prognostiziert werden kann, bedient man sich für die Klimamodellierung der Szenariotechnik. Durch das IPCC (SOLOMON et al. 2007, s.a. <http://www.ipcc.ch>) wurden verschiedene Szenarien aufgestellt, die auf unterschiedlichen Annahmen über wichtige Parameter basieren, unter anderem auf der Bevölkerungsentwicklung, auf den wirtschaftlichen Aktivitäten einschließlich des Welthandels, aber auch auf zu erwartenden Ergebnissen der Energie- und Klimapolitik. So steigen im Szenario A2 die durch die Menschheit verursachte Kohlendioxidemission von 7 Gigatonnen im Jahr 2000 auf 17 Gigatonnen im Jahr 2050 und 30 Gigatonnen im Jahr 2100 an. Dies entspricht einer Trendfortschreibung oder einem »weiter wie bisher« (*business as usual*) bei der Entwicklung der Emissionen. Im Szenario B1 folgt nach einem Anstieg auf 9 Gigatonnen im Jahr 2050 ein Rückgang auf 6 Gigatonnen im Jahr 2100. Zwischen diesen beiden Annahmen liegt das Szenario A1B, das einen gleichmäßig über alle Alternativen der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs verteilten tech-

nischen Fortschritt annimmt. In diesem Szenario stellt sich nach einer Emissionsmenge von 16 Gigatonnen im Jahr 2050 eine leichte Abnahme auf 13 Gigatonnen im Jahr 2100 ein.

Den oben genannten jährlichen Emissionsraten entsprechend ergeben sich unterschiedlich schnell ansteigende Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre. Die Treibhausgasdaten dienen als äußerer Antrieb für globale und regionale Klimamodelle. Für diese Untersuchung werden Ergebnisse verwendet, die durch das Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg mit dem hoch aufgelösten regionalen Klimamodell REMO (JACOB et al. 2006) erzielt worden sind. Das Modell hat in der vorliegenden Version einen Gitterpunktabstand von $0,08^\circ$, was etwa einer Entfernung von 10 km entspricht. Angetrieben wird das Modell durch das globale Klimamodell ECHAM5, in das es eingebettet ist. Die Anwendung von REMO auf die erwähnten Szenarien erfolgte im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau. Die Daten können nach Anmeldung dort (<http://www.uba.de>) beim Deutschen Klimarechenzentrum in Hamburg (<http://cera-www.dkrz.de/>) abgerufen werden. Das Experiment C20, das mit den von 1950 bis 2000 gemessenen Konzentrationswerten von atmosphärischen Treibhausgasen rechnet, kann als Vergleichssimulation für das beobachtete Klima betrachtet werden. Von den drei Treibhausgasszenarien A2, A1B und B1 liegen die entsprechenden Daten für den Zeitraum von 2001 bis 2100 vor.

Diese Untersuchung wurde unter dem Eindruck des in großen Teilen Europas heißen Sommers 2003 durchgeführt. In der Zeit bis zur Gegenwart ist die Entwicklung Regionaler Klimamodelle weiter fortgeschritten, die auch schärfere Aussagen zu den HE der Zukunft zulassen, wenngleich die generellen Unsicherheiten bleiben. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die hier diskutierten Ergebnisse prinzipiell die Richtung der Entwicklung zeigen, die dem heutigen Stand der Klimaforschung entsprechen.

Tab. 3.1.8-2: Relative Häufigkeit (%) der Länge von Hitzeepisoden zwischen 1891 und 2010.

Station	Zeitraum	Andauer von Hitzeepisoden / Tage							
		Kurz		Mittel		Lang			
		5-7	8-10	11-15	16-20	21-30	31-40	41-50	51-60
Berlin-Dahlem	1891-1950	72	13	15	0	0	0	0	0
	1951-2010	66	24	4	4	2	0	0	0
	Δ	-6	+9	-11	+4	+2	0	0	0
Karlsruhe	1891-1950	28	32	30	4	4	2	0	0
	1951-2010	41	21	19	10	6	0	1	2
	Δ	+13	-11	-11	+6	+2	-2	+1	+2

In Tab. 3.1.8-3 sind die Ergebnisse der Berechnungen auf der Grundlage der drei verwendeten Szenarien zusammenfassend und im Vergleich zu den Ergebnissen für das 20. Jahrhundert dargestellt. Der Tab. 3.1.8-3 kann man nicht nur die starke Zunahme der Häufigkeit im 21. Jahrhundert (einschließlich der Veränderungen der anderen erfassten Parameter) entnehmen, sondern auch feststellen, dass die Szenarien entsprechend der ihnen zugeordneten Eigenschaften im Hinblick auf die Treibhausgas-Emissionen und der zugehörigen zeitlichen Verläufe unterschiedliche Ergebnisse liefern. Für die nachfolgende Auswertung wurden die auf der Grundlage des Szenarios A2 berechneten Ergebnisse zugrunde gelegt. Die 50 Jahre umfassenden C20-Werte harmonisieren im Allgemeinen mit den Beobachtungen, wobei jedoch Jena eine Ausnahme bildet, da die beobachteten Werte dort viel höher liegen.

Zeitliche Entwicklung der Zahl von Hitzeepisoden und ihrer Parameter

Vergleichbar mit Tab. 3.1.8-1 gibt die Tab. 3.1.8-4 für die Modellgitter, die etwa der Lage der oben herangezogenen Stationen entsprechen, die Dezennienwerte

der Zahl der HE und der die einzelnen HE kennzeichnenden Größen an. Nach diesen Werten wird die Zahl der Hitzewellen in Deutschland stark ansteigen. Die Zunahme der Häufigkeit der Ereignisse ist besonders in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts zu erkennen (Abb. 3.1.8-4 und -5).

Sowohl aus der Tab. 3.1.8-4 als auch aus den Abb. 3.1.8-4 und -5 geht die weiterhin vorhandene starke Differenzierung des Auftretens von Hitzeperioden von Nord nach Süd hervor. Einen starken Zuwachs erfährt die Anzahl der in den HE enthaltenen Tage. Das gilt unter Berücksichtigung der Nord-Süd-Unterschiede für alle Stationen (Abb. 3.1.8-5). Auch die Zahl der längeren Hitzewellen und die Zahl der Jahre mit mehreren Ereignissen nehmen zu, während die Zahl der Jahre ohne Hitzeperioden deutlich zurückgeht.

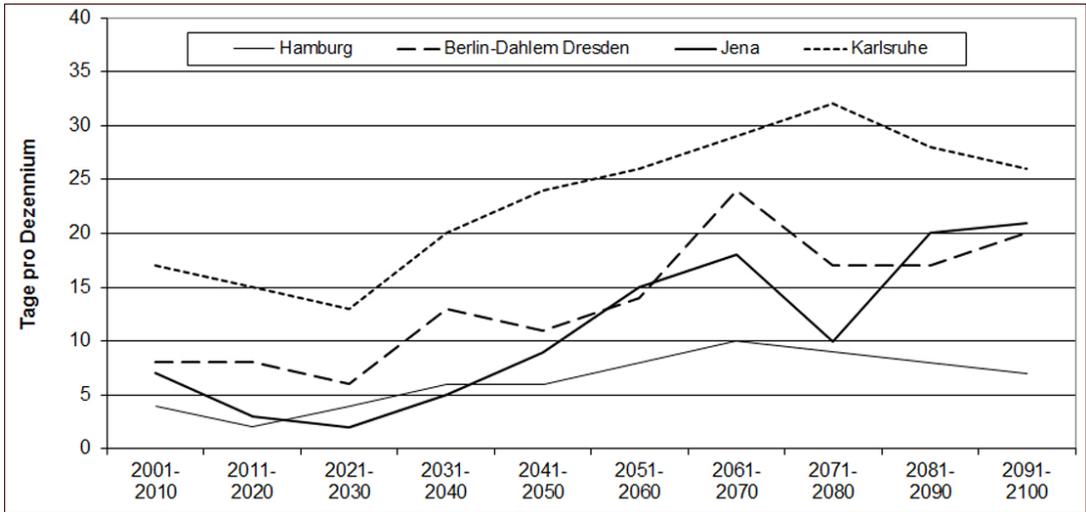
Zur Verteilung der HE auf die Monate der warmen Jahreszeit ist zu bemerken, dass sich im laufenden Jahrhundert eine Tendenz herausbildet, dass auch im Spätsommer und Herbst häufiger Hitzewellen vorkommen. In Karlsruhe wird nunmehr auch der Monat Oktober mit erfasst.

Bezüglich der Andauer von HE (Tab. 3.1.8-5) neh-

Tab. 3.1.8-3: Charakteristika von Hitzeepisoden im 20. Jahrhundert nach Beobachtungen und nach drei Szenarios A1B, A2, B1 mit dem Klimamodell REMO für das 21. Jahrhundert modellierte Fälle. Zum Vergleich sind die Daten des Kontrolllaufes (C20) für 1951-2000 angegeben.

Station bzw. Gitterpunkt	Zeitraum Jahre/Modelljahre	Szenario	Anzahl der Episoden	Anzahl der Tage	Max. Länge /Tage	Max. Temperatur /°C
Hamburg	1901-2000	Beobachtung	24	191	18	35,0
	1951-2000	C20	13	92	13	36,0
	2001-2100	A1B	76	584	39	40,8
		A2	63	543	28	38,6
Berlin-Dahlem	1901-2000	Beobachtung	81	590	22	37,7
	1951-2000	C20	37	295	19	39,8
	2001-2100	A1B	165	1689	97	43,5
		A2	138	1408	52	46,9
Jena	1901-2000	Beobachtung	124	1066	35	38,5
	1951-2000	C20	19	155	19	38,5
	2001-2100	A1B	155	1449	52	41,4
		A2	110	1060	56	42,9
Karlsruhe	1901-2000	Beobachtung	126	1313	44	38,8
	1951-2000	C20	72	702	26	40,0
	2001-2100	A1B	263	3965	132	45,3
		A2	230	3239	121	46,8
		B1	237	2669	86	42,6

Abb. 3.1.8-4: Dezennienhäufigkeiten von Hitzeepisoden im 21. Jahrhundert für die Gitterpunkte Hamburg, Berlin, Jena und Karlsruhe im 21. Jahrhundert nach Modell REMO, Szenario A2.



Tab. 3.1.8-4: Hitzeepisoden im 21. Jahrhundert gemäß Szenario A2, berechnet mit dem Klimamodell REMO, (a) Anzahl der Hitzeepisoden, (b) Zahl der in diesen enthaltenen Tage, (c) Anzahl der Hitzeepisoden, deren Länge 10 Tage und mehr betrug, (d) Anzahl der Jahre ohne Hitzeepisoden sowie € Anzahl der Jahre mit mehreren Hitzeepisoden für vier deutsche Stationen. Vgl. Tab. 3.1.8-1.

Gitter		Modelljahre										Summ e
		2001 - 2010	2011 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2051 - 2060	2061 - 2070	2071 - 2080	2081 - 2090	2091 - 2100	
„Hamburg“	a	4	2	4	6	6	8	10	9	8	7	63
	b	43	10	37	44	45	65	79	61	91	68	543
	c	2	0	1	2	1	2	3	3	4	4	22
	d	6	8	6	6	6	5	2	5	4	5	53
	e	0	0	0	1	2	3	1	5	4	3	19
„Berlin“	a	8	8	6	13	11	14	24	17	17	20	138
	b	89	74	57	102	105	140	218	150	244	229	1408
	c	3	4	1	4	3	6	8	6	12	10	57
	d	4	5	5	2	4	8	1	1	1	3	28
	e	2	3	1	3	4	4	8	5	6	6	42
„Jena“	a	7	3	2	5	9	15	18	10	20	21	110
	b	62	28	30	40	61	125	149	88	225	242	1060
	c	3	2	1	2	1	3	6	4	11	10	43
	d	6	8	8	8	5	2	1	4	0	1	42
	e	3	1	0	2	4	4	6	3	5	6	34
„Karlsruhe“	a	17	15	13	20	24	26	29	32	28	26	230
	b	174	122	140	196	228	386	450	343	533	653	3239
	c	6	3	6	10	9	11	19	12	18	16	110
	d	2	2	3	1	1	1	0	0	0	0	10
	e	5	4	4	8	7	8	9	10	8	9	72

men die kurzen Ereignisse insgesamt gesehen ab, was der Erwartung entspricht. Dafür nehmen mittellange und lange Episoden zu, wobei eine deutliche Tendenz zum Auftreten ultralanger Hitzeperioden zu erkennen ist. Letztere sind insbesondere für Südwest-deutschland zu erwarten, wo Fälle mit einer Andauer von über 100 Tagen berechnet werden.

Entsprechend der erwarteten allgemeinen Erwärmung im 21. Jahrhundert treten innerhalb der HE zunehmende höhere Maximaltemperaturen auf, wobei in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts insbesondere Maximaltemperaturen über 36 °C häufiger vorkommen.

Wiederum zeigt der südwest-deutsche Raum ein extremes Verhalten: hier werden nach 2051 in Hitzewellen Temperaturen über 41 °C erwartet, wobei zu hoffen ist, dass die mit Werten über 45 °C berechneten Temperaturen nicht Realität werden.

Schlussfolgernd kann festgestellt werden, dass bei Eintreffen der unter dem Szenario A2 (ebenso bei anderen Szenarios) angenommenen Bedingungen hinsichtlich des Vorkommens von Hitzewellen signifikante Veränderungen bevorstehen. Das wird in allen Teilen des Landes mit spürbaren und im Allgemeinen belastenden Konsequenzen verbunden sein.

Tab. 3.1.8-5: Relative Häufigkeit (%) der Andauer von Hitzeepisoden gemäß Szenario A2.

Gitter	Modellzeitraum	Andauer von Hitzeepisoden / Tage									
		Kurz		Mittel		Lang					
		5-7	8-10	11-15	16-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-100	> 100
„Hamburg“	2001-2050	68,2	13,6	9,1	9,1	0	0	0	0	0	0
	2051-2100	46,3	29,3	17,1	4,9	2,4	0	0	0	0	0
	Δ	-21,9	+15,7	+8,0	-4,2	+2,4	0	0	0	0	0
„Berlin“	2001-2050	50,0	21,8	15,2	6,5	6,5	0	0	0	0	0
	2051-2100	43,8	19,4	22,7	6,5	5,4	0	1,1	1,1	0	0
	Δ	-6,2	-2,4	+7,5	0	-1,1	0	+1,1	+1,1	0	0
„Jena“	2001-2050	53,9	23,2	11,4	7,7	3,8	0	0	0	0	0
	2051-2100	50,0	21,4	21,4	2,4	2,4	0	0	2,4	0	0
	Δ	-3,9	-1,8	+10,0	-5,3	-1,4	0	0	+2,4	0	0
„Karlsruhe“	2001-2050	52,8	16,9	16,9	5,6	6,7	1,1	0	0	0	0
	2051-2100	34,0	17,1	18,5	10,0	9,9	3,5	2,1	1,4	1,4	2,1
	Δ	-18,8	+0,2	+1,6	+4,4	+3,2	+2,4	+2,1	+1,4	+1,4	+2,1

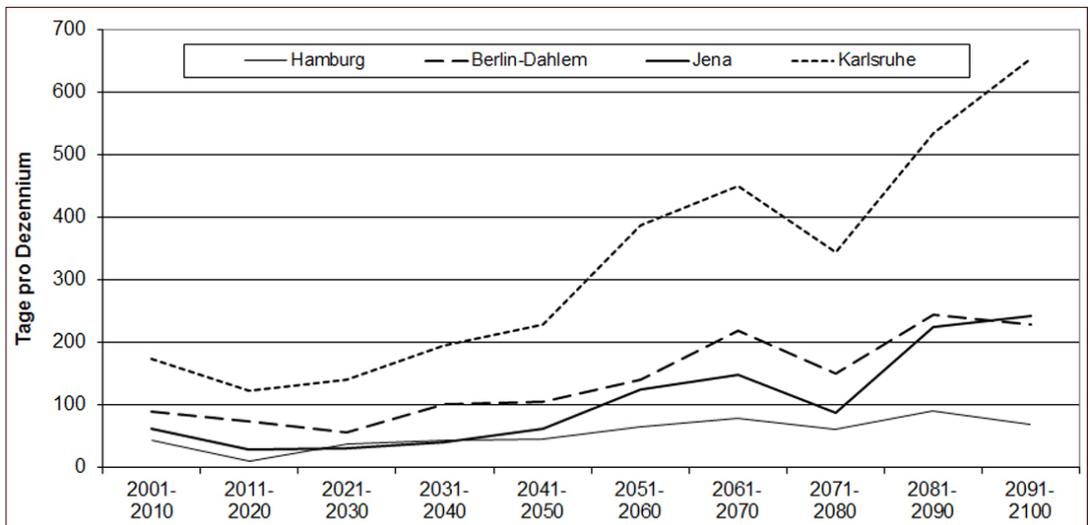


Abb. 3.1.8-5: Anzahl pro Dezennium der in Hitzeepisoden enthaltenen Tage im 21. Jahrhundert für die Gitterpunkte Hamburg, Berlin, Jena und Karlsruhe im 21. Jahrhundert nach Modell REMO, Szenario A2

Schlussbemerkung

Die Untersuchung bestätigt sowohl durch die Analyse von Beobachtungsdaten als auch auf der Basis von Modelldaten die These, dass der weltweite anthropogene Klimawandel mit einem beträchtlichen Anstieg der Zahl der HE verbunden sein wird. Es hat den Anschein, dass klimatische Erwärmungsphasen stets mit einem Anstieg solcher Ereignisse in der warmen Jahreszeit verbunden sind.

Die Hitzeperioden treten im Herbst stärker in Erscheinung als im Frühjahr. Erwartungsgemäß sind Hitzewellen im Süden häufiger und stärker ausgeprägt als im Norden des Landes. Durch solche Ereignisse wird ein erheblicher Anteil des in den betroffenen Monaten erwarteten mittleren Anstiegs der Lufttemperatur realisiert.

HE haben beträchtliche, nicht zu unterschätzende Auswirkungen in der Natur, sowohl auf die Wirtschaft (vgl. Kap. 4.14 - HÜBLER - in diesem Buch) als auch auf den Menschen selbst. Auf den menschlichen Organismus wirken sich Hitzewellen besonders im Fall von Vorbelastungen durch bestimmte Erkrankungen nachteilig und häufig fatal aus (TUROWSKI 2007), siehe auch KOPPE (2005). Verbunden mit Dürre ist verstärkt mit Waldbränden, Wassermangel, Verschlechterung der Wasserqualität von Gewässern, Bodenaustrocknung u.a. zu rechnen (vgl. AUER et al. 2004). Dazu kommen vielfältige Folgen für die Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Lebensmittelwirtschaft und vor allem infolge des höheren Energieverbrauchs für Kühlzwecke auch die Energiewirtschaft. Aber auch Tourismus und Sport werden erheblich betroffen sein (Kap. 4.1 - MATZARAKIS & TINZ - in diesem Band). Vorteile durch häufigere HE sind dagegen kaum zu erkennen.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse dieser Untersuchung und der möglichen Folgen des häufigeren Auftretens von Hitzewellen ist jedoch zu berücksichtigen, dass die auf Modelldaten beruhende Projektion in ihrer Eintreffwahrscheinlichkeit davon abhängt, wie genau das verwendete Modell die komplexen Klimaprozesse erfasst und vor allem wie realistisch das verwendete Treibhausgasszenario ist. Die hier dargestellten Ergebnisse stellen eine Näherung dar, die es weiter zu verbessern gilt.

Wir danken den Herren Prof. Dr. P.C. Werner (Potsdam) und Prof. Dr. Th. Foken (Bayreuth) für gegebene Hinweise.

Literatur

AUER, I., E. KORUS, R. BÖHM & W. SCHÖNER (2004): Analyse von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich. Österr. Klimaforschungs-

gsprogramm StartClim 2004A, 16 S., www.austroclim.at/startclim/.

DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) (2003): Der Wetterlotse 55, Nr. 677/678, Offenbach/M.

DIFFENBAUGH, N. S., J. S. PAL, F. GIORGI & X. GAO (2007): Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophys. Res. Lett.* 34, L11706.

HESS, P. & H. BREZOWSKY (1977): Katalog der Großwetterlagen 1881-1976. 3. Auflage. Berichte Dt. Wetterdienstes. Nr. 113, DWD Offenbach/M., 54 S.

HUPFER, P. & F.-M. CHMIELEWSKI (Hrsg.) (1990): Das Klima von Berlin. Akademie-Verlag, 288 S.

HUPFER, P., P. BECKER & M. BÖRNGEN (2013): 20.000 Jahre Berliner Luft. Klimaschwankungen im Berliner Raum. Edition am Gutenbergplatz Leipzig, Leipzig, 183 S.

HUPFER, P. & B. TINZ (2014): Verhalttes Warnsignal: Die Erwärmung des Nordpolargebietes während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. In: LOZÁN, J. L., GRASSL, H., PIEPENBURG, D. & D. NOTZ (Hrsg.): Warnsignal Klima - Die Polarregionen. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 236-242.

IPCC (2014): Summary for Policymakers. In: FIELD, C. B., V. R. BARROS, D. J. DOKKEN, K. J. MACH, M. D. MASTRANDREA, T. E. BILIR, M. CHATTERJEE, K. L. EBI, Y. O. ESTRADA, R. C. GENOVA, B. GIRMA, E. S. KISSEL, A. N. LEVY, S. MACCRACKEN, P. R. MASTRANDREA & L. L. WHITE (eds.) - Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 32 S.

JACOB, D., GÖTTEL, H. & P. LORENZ (2006): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Abschlussbericht, Umweltbundesamt Dessau, (UBA FKZ 204 41 138, Teil 2).

JENDRITZKY, G. (2007): Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. In: ENDLICHER, W. & F.-W. GERSTENGARBE (Hrsg.): Der Klimawandel. Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, 108-118.

KOPPE, C. (2005): Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse. Ber. Dt. Wetterdienst Nr. 226, DWD Offenbach/Main, 168 S.

KOSATSKY, T. (2005): The 2003 European Heat Waves. *Euro Surveill* 10(7), 148f.

KOVATS, S. R. & G. JENDRITZKY (2006): Heat-waves and Human Health. In: MERNE, B. & K. L. EBI (eds.): Climatic Change and Adaptation Strategies for Human Health. Steinkopff, Darmstadt, 63-97.

KUTTLER, W. (2006): Stadtklima. In: HUPFER, P. & W. KUTTLER (Hrsg.): Witterung und Klima. 12. Aufl., Teubner, Wiesbaden, 371-432.

- KUTTLER, W. (2009): Zum Klima im urbanen Raum. In Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2008, 6-12, Offenbach am Main.
- METEOROLOGISCHER DIENST (1971): Das Klima von Berlin (II). Temperaturverhältnisse.- Tab. n. Abh. Meteor. Dienst DDR Nr. 103. 187 S.
- RAPP, J. (2004): Der Hitzesommer 2003. Berliner Geograph. Arbeiten Nr. 97, 57-63.
- SCHÖNWIESE, C.- D., T. STAEGER, S. TRÖMEL & M. JONAS (2004): Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003. In: Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2003. Offenbach/M. 123-132.
- SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K. B. AVERYT, M. TIGNOR & H. L. MILLER, (eds.) (2007): Summary for Policymakers. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. 18 S.
- SCHÄR, C. & G. JENDRITZKY (2004): Hot news from summer 2003. nature 432. 559-560.
- TUROWSKI, E. & CHR. HAASE (1987): Untersuchungen zur Klima- und Wetterabhängigkeit der Sterblichkeit in verschiedenen Landschaftsklimaten. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät.
- TUROWSKI, E. (2007): Bioklimatologie. In: Hupfer, P. et al.: Klimaforschung in der DDR. Ein Rückblick. Geschichte der Meteorologie in Deutschland Nr. 8. Deutscher Wetterdienst, Offenbach/M. 251 S.

Kontakt:

Dr. Birger Tinz
Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Hamburg
birger.tinz@dwd.de

Dr. habil. Eberhard Freydank
Dresden

Prof. Dr. Peter Hupfer
c/o Humboldt-Universität zu Berlin
Institut für Physik

Tinz, B., E. Freydank & P. Hupfer (2014): Hitzeepisoden in Deutschland im 20. und 21. Jahrhundert. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffent. (Kap. 3.1.8) - www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.