

GeKo Aktuell

Marko Ellerbrake, Karl-Heinz Otto
und A. Martina Grudzielanek

Hitzewellen –

eine Herausforderung
auch für die Menschen
in Westfalen?!



Inhalt

1. Einführung	3
2. Klimaschutz und Klimaanpassung	3
3. Folgen des Klimawandels in Deutschland, Nordrhein-Westfalen und Westfalen	3
4. Hitzewellen und -stress in Deutschland und Westfalen	6
5. Auswirkungen von Hitzewellen und -stress auf die menschliche Gesundheit	10
5.1 Thermoregulation des Menschen	10
5.2 Hitzestress	11
5.3 Gefühlte Temperatur und gesundheitliche Auswirkungen von Hitze	11
5.4 Welche Menschen sind besonders vulnerabel gegenüber Hitzewellen und -stress?	14
6. Anpassungsmaßnahmen an Hitzewellen und -stress	17
6.1 Flächenbezogene Maßnahmen	17
6.2 Objektbezogene Maßnahmen	17
6.3 Verhaltensbezogene Maßnahmen	20
7. Fazit	22
Literatur	22

Fotos auf dem Titelbild: <http://www.istockphoto.com/Nikada>; <http://www.istockphoto.com/VladisChern>

LWL

Für die Menschen.
Für Westfalen-Lippe.

Herausgeber: Geographische Kommission für Westfalen
Landschaftsverband Westfalen-Lippe (LWL)
Dr. Rudolf Grothues, Prof. Dr. Karl-Heinz Otto
Layout: Dr. Rudolf Grothues
Druck: Druck & Verlag Kettler GmbH, Bönen

ISSN 1869-4861

Schutzgebühr: 2,50 Euro

Nachdruck, Funksendung, Entnahme von Abbildungen, Wiedergabe auf fotomechanischem Weg oder Speicherung in DV-Anlagen sind bei ausdrücklicher Quellenangabe erlaubt. Belegexemplar/Link erbeten: geko@lwl.org oder per Post.

GeKo Aktuell ist das offizielle Mitteilungsorgan der Geographischen Kommission für Westfalen. In lockerer Folge werden aktuelle, von der Kommission oder ihren Mitgliedern durchgeführte bzw. angeregte Forschungen und deren Ergebnisse sowie die neuesten Veröffentlichungen der Kommission in Kurzbeschreibungen vorgestellt.

GeKo Aktuell kann unter folgender Adresse kostenlos in gedruckter Form bestellt und abonniert werden:

Geographische Kommission für Westfalen
Heisenbergstraße 2, 48149 Münster
Tel.: 0251/8339-222, Fax: 0251/8339-221
E-Mail: geko@lwl.org

Unter www.geographische-kommission.lwl.org stehen PDF-Dateien aller bisherigen **GeKo Aktuell**-Ausgaben zum kostenfreien Download zur Verfügung.

Hitzewellen – eine Herausforderung auch für die Menschen in Westfalen?!

1. Einführung

Der anthropogen verursachte Klimawandel hat bereits heute vielfältige und komplexe Folgen mit sich gebracht, die in ihrer Ausprägung auf regionaler Ebene zu differenzieren sind (KASPAR & MÄCHEL 2017; SCHÖNWIESE 2019). Dazu gehören u. a. die globale Erwärmung, der Anstieg des Meeresspiegels, das Schrumpfen der Gletscher und Eisschilde sowie die höhere Wahrscheinlichkeit und Intensität bestimmter Extremwetterereignisse, wie beispielsweise Hitzewellen (IPCC 2018). Letztere sind vor allem für Europa als Schlüsselrisiko eingestuft. „Als Schlüsselrisiken werden potenziell schwerwiegende Folgen bezeichnet, die relevant bezüglich Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen sind, der sich auf eine ‚gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems‘ bezieht“ (IPCC 2013/2014).

Im vorliegenden **GeKo Aktuell** stehen Hitzewellen und deren Folgen für die Menschen in Deutschland und Westfalen im Fokus der Betrachtung sowie die strukturellen und individuellen Anpassungsmaßnahmen, mit denen diesem häufig unterschätzten Klimaphänomen entgegen gewirkt werden kann.

2. Klimaschutz und Klimaanpassung

Schon früh hat SCHELLNHUBER (2008) zwei Strategien beschrieben, wie dem anthropogenen Klimawandel begegnet werden kann: „Das Unbeherrschbare vermeiden und das Unvermeidbare beherrschen.“ Das bedeutet konkret, dass sowohl Klimaschutz (Mitigation) als auch Klimaanpassung (Adaption) notwendige Maßnahmen gegen den anthropogenen Klimawandel sind. Der Klimaschutz umfasst Handlungen, die dazu beitragen, die Veränderungen des Klimas aufzuhalten, zu verlangsamen oder zu mindern. Es handelt sich somit um Vermeidungsstrategien. Hauptansatzpunkt der Mitigation ist die Reduktion der Treibhausgasemissionen. Demgegenüber handelt es sich bei der Anpassung an den Klimawandel um einen Handlungsansatz, der versucht, mit den bereits eingetretenen oder noch zu erwartenden klimatischen Veränderungen adäquat umzugehen, d. h. die negativen Folgen zu bewältigen, Risiken zu mindern und Chancen zu nutzen. Anpassungsmaßnahmen können auf politischer, gesellschaftlicher, ökologischer oder wirtschaftlicher Ebene erfolgen.

3. Folgen des Klimawandels in Deutschland, Nordrhein-Westfalen und Westfalen

Der Erwärmungstrend in Deutschland ist insbesondere für die jüngere Vergangenheit nachgewiesen. Laut DEUTSCHEM WETTERDIENST (DWD) (2021) fallen neun von elf Jahren mit den höchsten gemessenen Jahresdurchschnittstemperaturen seit 1881 in die letzten 20 Jahre (vgl. Tab. 1). Mit einer Mitteltemperatur von 10,5 °C war das Jahr 2018 das bisher wärmste in Deutschland seit Beginn der regelmäßigen Aufzeichnungen im Jahr 1881. Im Zeitraum zwischen 1881 und 2019 hat im Durchschnitt eine Erwärmung um ca. 1,6 Kelvin (K) in allen Jahreszeiten stattgefunden (KASPAR & FRIEDRICH 2020). Somit liegt die Erwärmung in der Bundesrepublik um ca. 0,6 °C über der durchschnittlichen globalen Erhöhung der Mitteltemperatur (IPCC 2018).

Abbildung 1 zeigt, dass sich die Jahresdurchschnittstemperatur auch in Nordrhein-Westfalen seit 1881 stark erhöht hat. Obgleich die Durchschnittstemperatur im 19. und 20. Jh. häufig noch durch eine dunkelblaue Farbgebung gekennzeichnet ist (6,6 °C), werden im 21. Jh. Durchschnittstemperaturen von bis zu 10,3 °C (dunkelrot) erreicht.

Aufgrund der beobachteten Erwärmung hat sich in Deutschland auch die Anzahl der Sommertage (Tageshöchsttemperatur ≥ 25 °C) von durchschnittlich 20 im Jahr 1951 auf 52 im Jahr 2019 erhöht (KASPAR & FRIEDRICH 2020). Dieser Trend zeigt sich auch bei den gemessenen Temperaturmaxima. Ständig werden in den Medien neue Temperaturrekord gemeldet, wie der Temperaturrekord von 41,2 °C im Juli 2019 in Duisburg-Baerl und Tönisvorst (DWD 2020a).

Tab. 1: Platzierung der 11 wärmsten Jahre in Deutschland seit 1881

Platzierung	Jahr	Mittlere Jahrestemperatur in °C
1	2018	10,5
2	2020	10,4
3	2019, 2014	10,3
4	2015, 2007, 2000	9,9
5	1994	9,7
6	2017, 2011, 2002	9,6

(DWD 2021, S. 23)

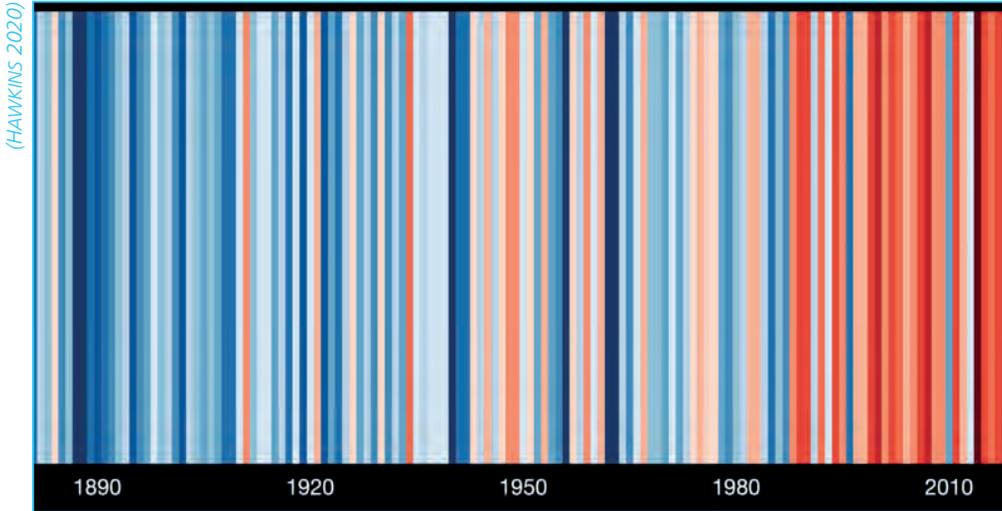


Abb. 1: Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperatur in Nordrhein-Westfalen von 1881–2019 als Strichcode (Dunkelblau = 6,6 °C; Dunkelrot = 10,3 °C)

Auch die Anzahl heißer Tage, auch Hitzetage genannt (Tageshöchsttemperatur $\geq 30\text{ °C}$), hat bis heute deutlich zugenommen. So sind im Jahr 1951 nur 2 bis 3 heiße Tage, im Jahr 2019 hingegen 17 Hitzetage erfasst worden (KASPAR & FRIEDRICH 2020). Bis Ende des 21. Jh.s (2071–2100) erwartet die HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT (2021a) pro Jahr im Vergleich zu heute (1961–1990) eine weitere Zunahme der heißen Tage. Die Spannbreite dieser Änderung kann zwischen 0 Tage und +48 Tage liegen. Innerhalb dieser Spannbreite sind alle Änderungen aus heutiger Sicht plausibel. Die mögliche mittlere Änderung in NRW beträgt +11 Tage (vgl. Abb. 2).

Die Dokumentation der Hitzetage für Westfalen in den Jahren 2003 und 2018 erfolgt an vier ausgewählten

Klimastationen, die im Wesentlichen den Gesamtraum Westfalens abdecken (vgl. Abb. 3). In Tabelle 2 ist jeweils die Gesamtzahl der in diesen Jahren erfassten Hitzetage aufgelistet (s. S. 6). Die Tabelle 2 belegt, dass das Phänomen der heißen Tage auch für Westfalen zutrifft.

Die Klimastation Bochum kann als stellvertretend für städtische Verdichtungsräume angesehen werden. Schaut man sich die Messwerte der Klimastation Bochum (Innenstadt) bezüglich der heißen Tage genauer an, dann ergibt sich

das in Abbildung 4 dargestellte Ergebnis. Danach sind neun der zehn erfassten Temperaturmaxima mit deutlich über 35 °C seit 1912 in Bochum seit dem Jahr 2002 aufgetreten.

In den letzten Jahren wurde zudem eine leichte Erhöhung der Anzahl der Tropennächte festgestellt. Eine Tropennacht bezeichnet eine Nacht, in der die gemessene Lufttemperatur zwischen 20 Uhr abends und 8 Uhr morgens einen Wert von 20 °C nicht unterschreitet (DEUTSCHLÄNDER & MÄCHTEL 2017). Im Bundesschnitt ist die Anzahl der Tropennächte bislang zwar eher überschaubar, kann aufgrund von regionalen und lokalen thermischen Besonderheiten jedoch sehr unterschiedlich ausfallen (KUTTLER 2018).

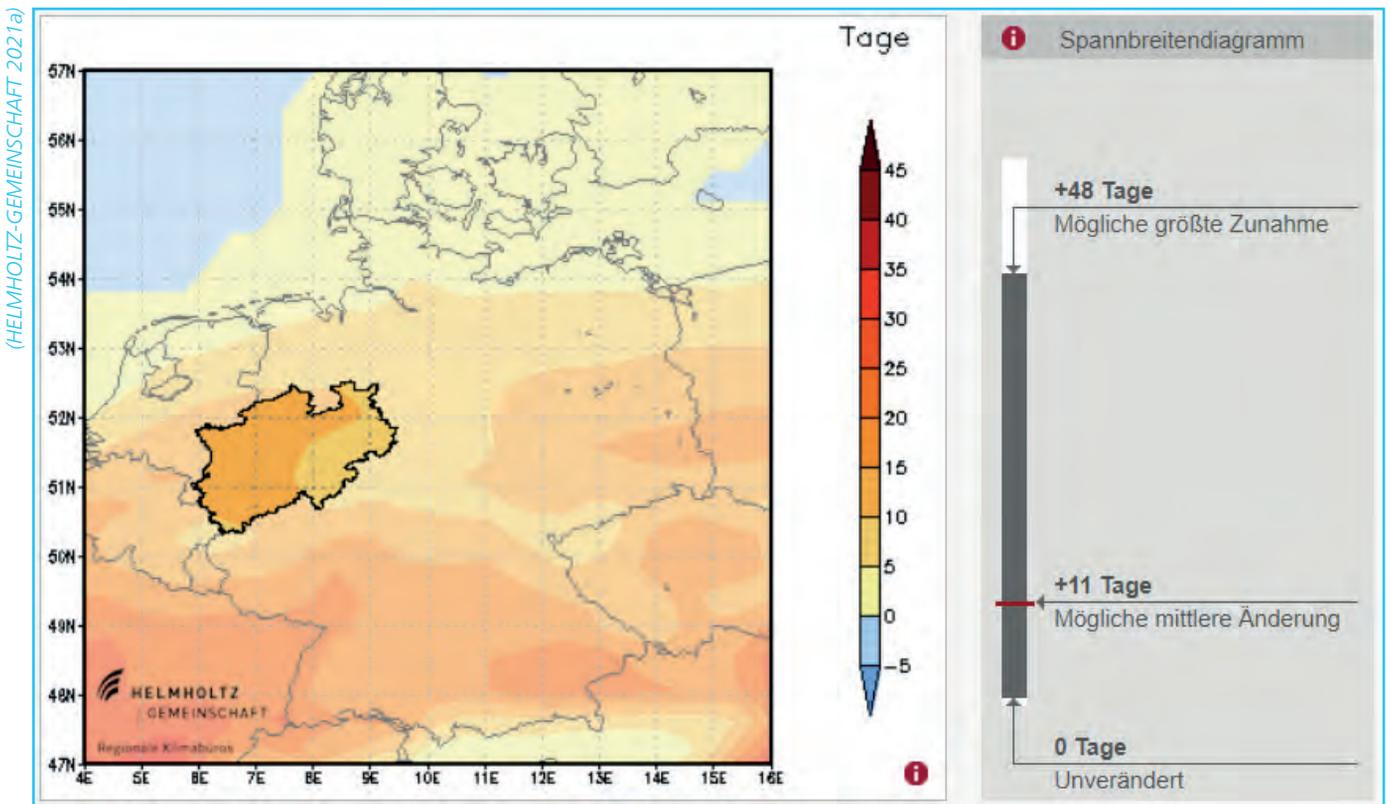


Abb. 2: Mögliche mittlere Änderung der heißen Tage im Jahr bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071–2100) im Vergleich zu heute (1961–1990) in Nordrhein-Westfalen

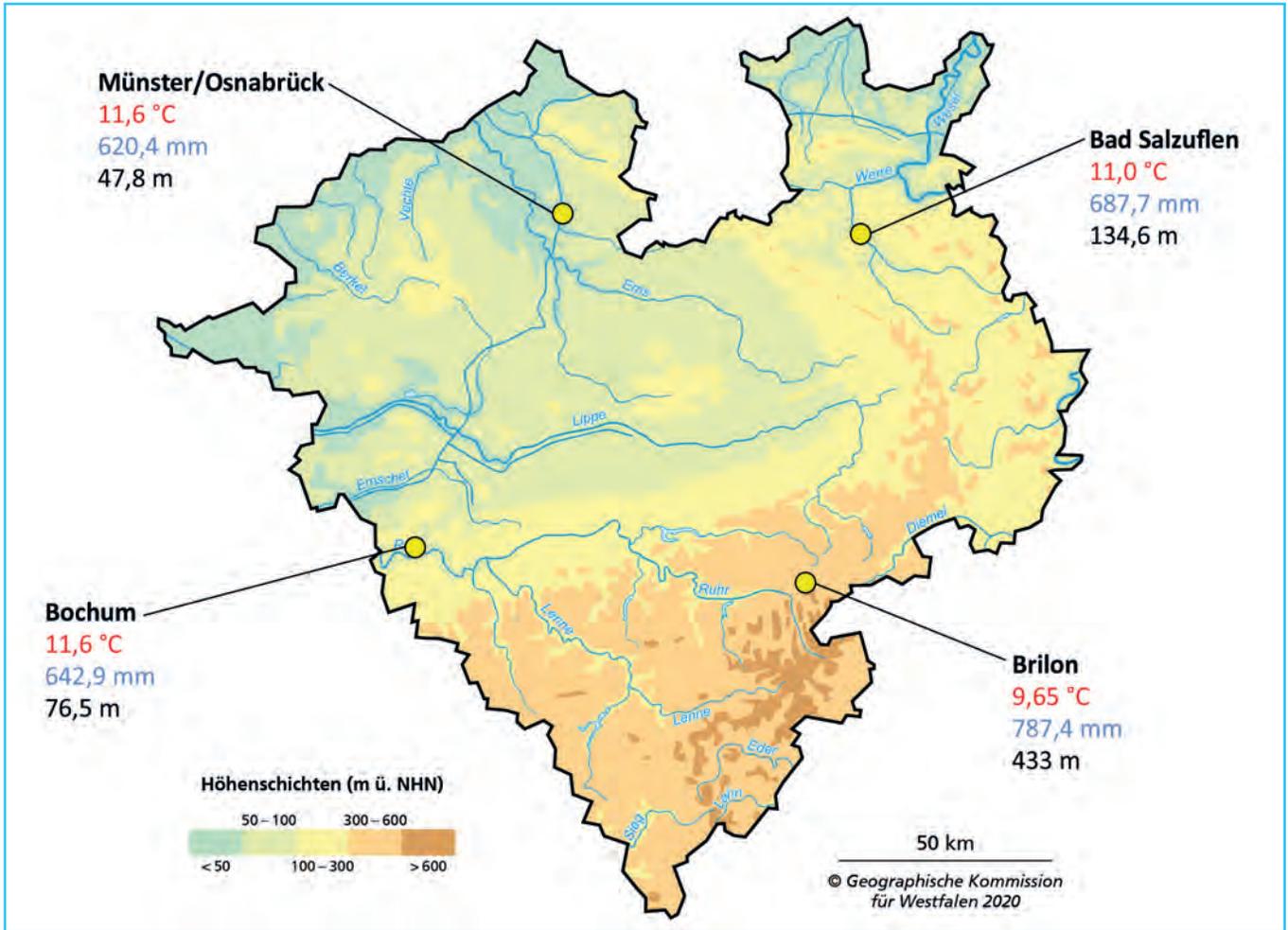


Abb. 3: Lage und Basisdaten der ausgewählten westfälischen Klimastationen (Jahresdurchschnittstemperatur, Mittlerer Jahresniederschlag, Höhe ü. NHN)

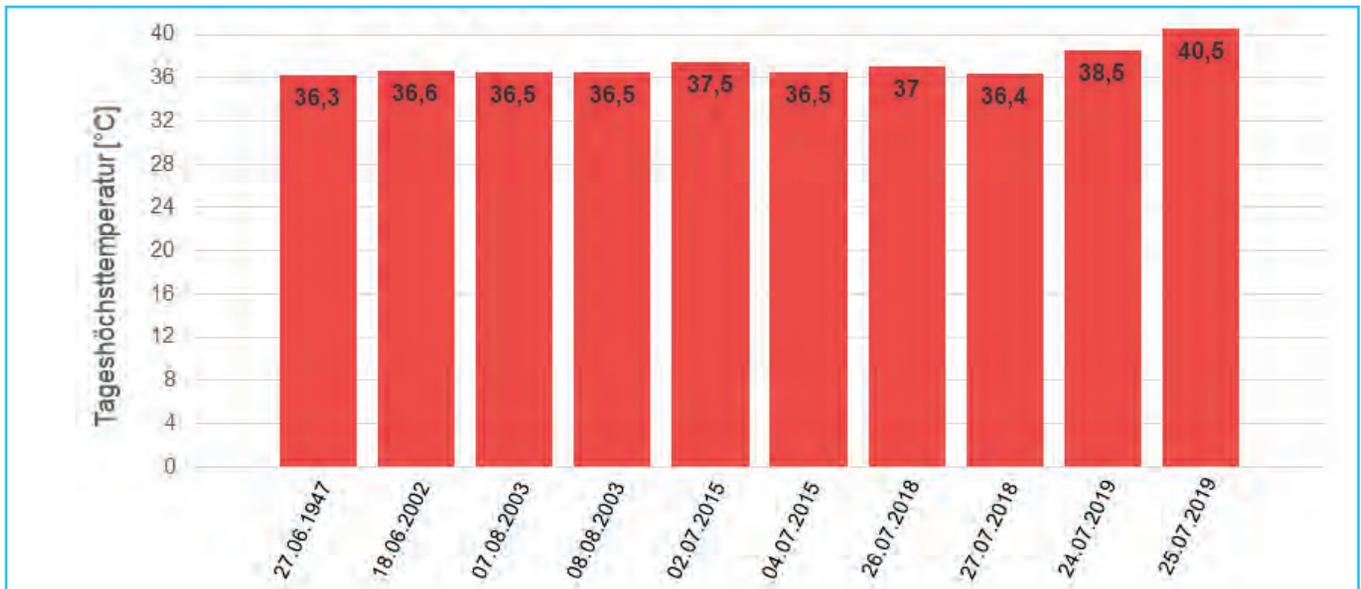


Abb. 4: Die 10 heißesten Tage in Bochum seit 1912

Im „Jahrhundertsommer“ 2003 kam es in Kehl am Rhein z. B. zu insgesamt 21 Tropennächten (SCHMID 2020).

Nach dem aktuellen Stand der Forschung ist die Änderung der tropischen Nächte bis Ende des 21. Jh.s (2071–2100) im Jahr im Vergleich zu heute (1961–1990) unklar. Laut der HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT (2021b) kann die Spannbreite der Änderung zwischen 0 Tage und +42

Tage liegen. Innerhalb dieser Spannbreite sind erneut alle Änderungen aus heutiger Sicht plausibel. Die mögliche mittlere Änderung beträgt +9 Tage (vgl. Abb. 5).

Mit der steigenden Wahrscheinlichkeit thermischer Extreme, wie Hitzetage und Tropennächte, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass es zukünftig auch häufiger zu sog. Hitzewellen kommt (LOZÁN et al. 2018).

Tab. 2: Anzahl der gemessenen Hitzetage ausgewählter westfälischer Klimastationen in den Jahren 2003 und 2018

Klimastation	Standort	2003	2018
Brilon	ländlich	11	13
Münster/ Osnabrück	ländlich	14	16
Bochum	städtisch	16	14
Bad Salzuflen	ländlich	13	11

nen das Lufttemperaturmaximum unter 25 °C liegt. Die hier verwendete Definition ist präziser als andere, weil sie eine Mindestlänge von 5 Tagen vorschlägt, zum anderen werden aber auch Tage mit Maximaltemperaturen zwischen 25 und 30 °C berücksichtigt, was der realen Struktur diesbezüglicher Datenreihen besser entspricht. Andere Studien mit abweichenden Definitionen sind ebenfalls in dieser Veröffentlichung berücksichtigt, um eine weitreichende Betrachtung zu gewährleisten.

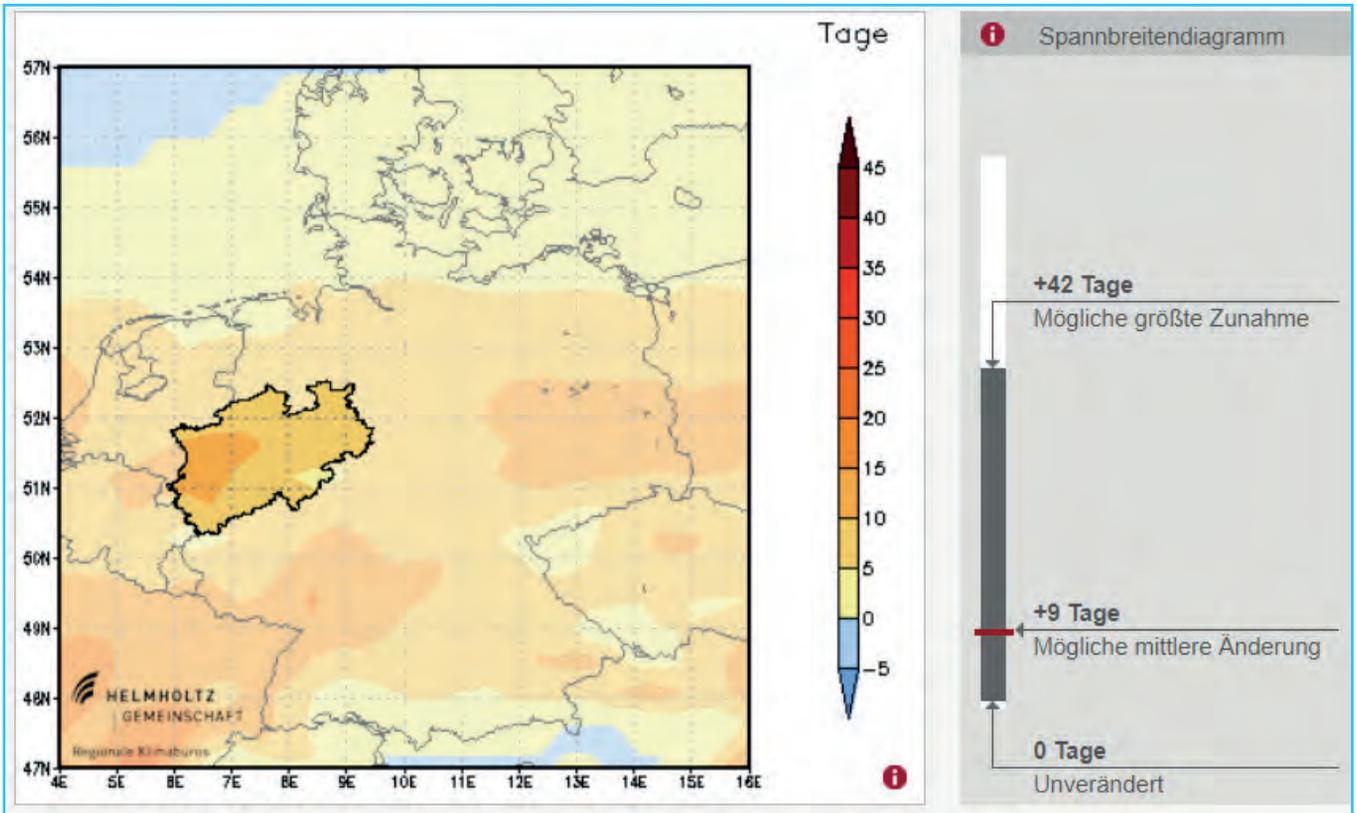


Abb. 5: Mögliche mittlere Änderung der tropischen Nächte im Jahr bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071–2100) im Vergleich zu heute (1961–1990) in Nordrhein-Westfalen

4. Hitzewellen in Deutschland und Westfalen

Hitzewellen sind aktuell immer wieder Thema der medialen Berichterstattung. Oftmals ist auch von Hitzeepisoden, Hitzeperioden und Wärmeperioden die Rede, die teilweise als Synonyme verwendet werden. Der DWD (o.J.d) liefert folgende Beschreibung: „Eine Hitzewelle ist eine mehrtägige Periode mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung. Eine Hitzewelle ist ein Extremereignis, welches die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Infrastruktur schädigen kann“. Eine einheitliche quantitative Definition von Hitzewellen existiert derzeit nicht. Aufgrund der vorliegenden Klimadaten erscheint es angebracht, in diesem **GeKo Aktuell** die nachfolgende Definition als Interpretationsgrundlage zu verwenden.

TINZ et al. (2014) verstehen unter einer Hitzewelle eine Zeitfolge von mindestens fünf Tagen, an denen die Tagesmaxima der Lufttemperaturen im Mittel mindestens 30 °C betragen. Innerhalb eines solchen Zeitabschnitts dürfen keine Tage vorkommen, an de-

Nach DEUTSCHLÄNDER & MÄCHTEL (2017) treten während der Sommermonate mittlerweile etwa drei Mal so viele Hitzewellen in Deutschland auf, wie im Jahr 1880. Neben der steigenden Anzahl sind ebenfalls Veränderungen der Dauer und Intensität der Hitzewellen zu beobachten. In einer Studie zur Entwicklung von Hitzewellen an mehreren Standorten im Bundesgebiet konnten höhere Temperaturmaxima nachgewiesen werden als in der Vergangenheit (TINZ et al. 2014). Der DWD (2017) hat seit 1990 eine steigende Anzahl extremer Hitzewellen (14 Tage mit einer mittleren Tagesmaximaltemperatur ≥ 30 °C) erfasst, die auch Standorte wie Hamburg betroffen haben, an denen zuvor keine derart intensiven Hitzewellen vorgekommen sind (vgl. Abb. 6).

Laut DWD (2020b) sind zwei Drittel der 15 stärksten Hitzewellen, die seit 1950 in Mitteleuropa erfasst worden sind, seit dem Jahr 2000 aufgetreten. Insbesondere die Hitzewelle des Jahres 2003 gilt als stärkste der letzten Jahrzehnte in Mitteleuropa. Während dieser Hitzewelle

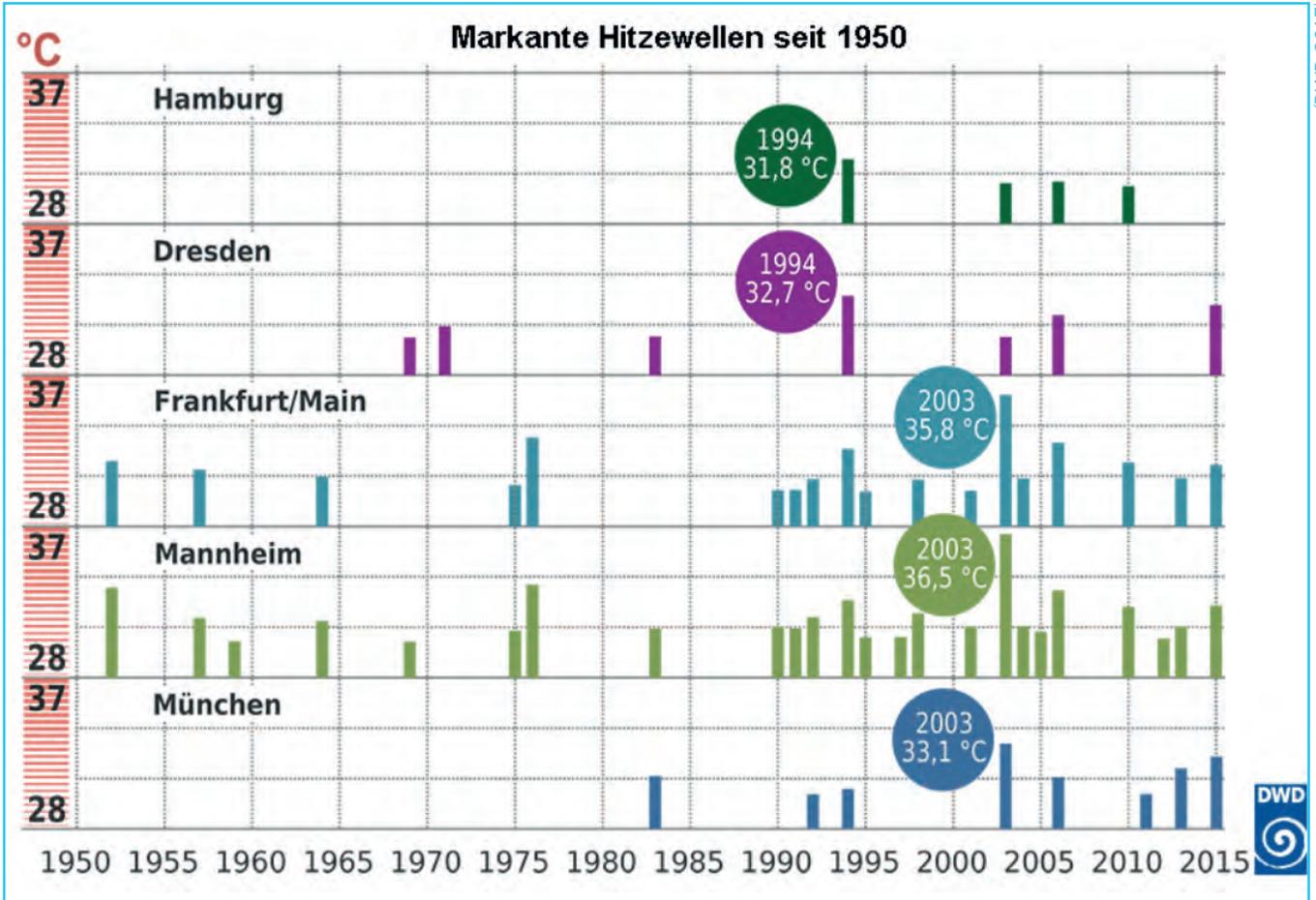


Abb. 6: Markante Hitzewellen seit 1950 in ausgewählten Städten Deutschlands

wurden in den Monaten Juni, Juli und August nie dagewesene Temperaturanomalien von +3,4 K gemessen (SCHÖNWIESE et al. 2003).

Auch an den ausgewählten westfälischen Klimastationen lassen sich u. a. im Jahr 2003 und 2018 Hitzewellen nach-

weisen (vgl. Abbn. 7 u. 8). Auffällig ist, dass die Tagesmaxima der Lufttemperatur bei allen Stationen relativ gleich verlaufen, d. h. nur relativ geringe Unterschiede aufweisen, obwohl die Messtationen in unterschiedlichen Regionen Westfalens verortet sind und auch unterschiedliche Höhenlagen aufweisen (vgl. Abb. 3).

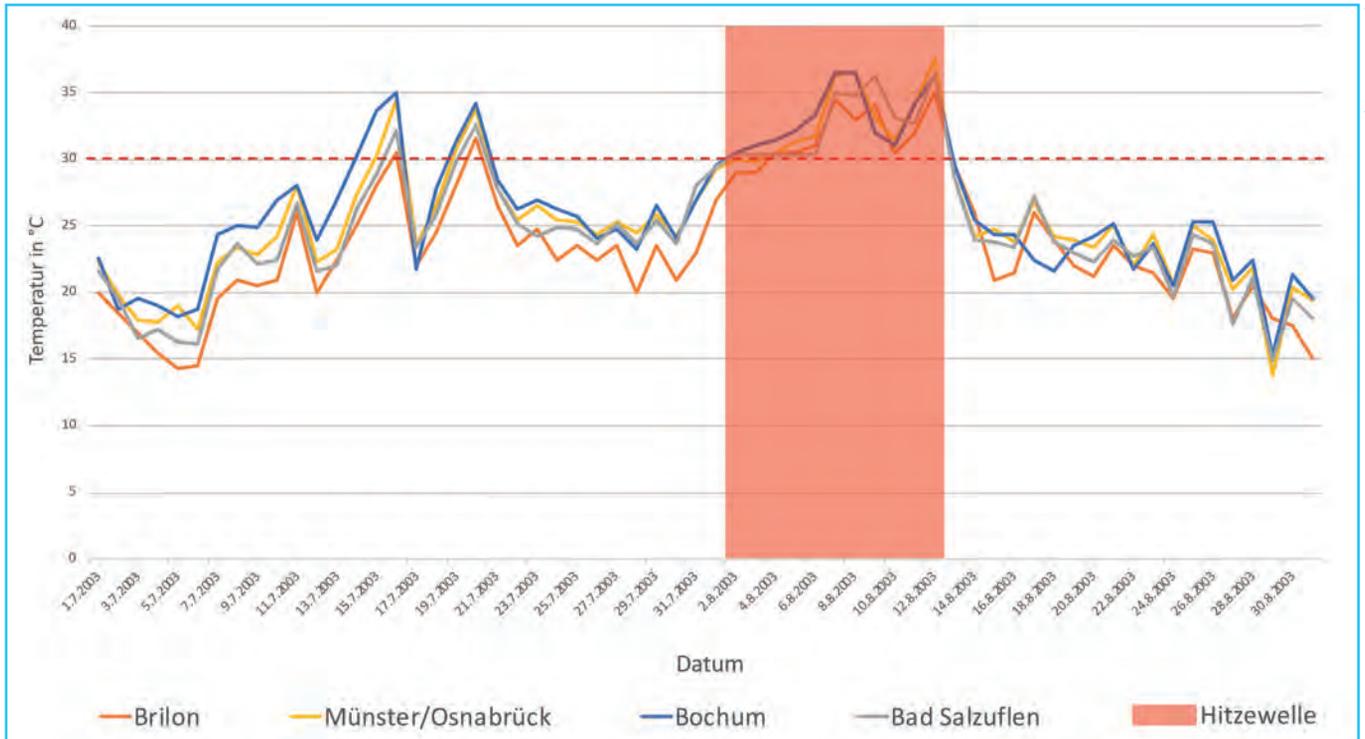


Abb. 7: Tagesmaxima der Lufttemperatur an vier westfälischen Klimastationen vom 01.07.2003 bis 30.08.2003

Die Tagestemperaturspitzen vom 15.–20.07.2003 zeigen an einzelnen Stationen Werte von $\geq 30\text{ °C}$. Diese Tage können also als heiße Tage eingestuft werden (vgl. Tab. 3). Da der Schwellenwert von 25 °C jedoch an allen Stationen an mindestens einem Tag unterschritten wird, ist der Zeitraum nicht als Hitzewelle zu klassifizieren. Im Gegensatz dazu kann der Zeitraum vom 02.08.–13.08.2003 aber als Hitzewelle identifiziert werden, weil hier die Definition nach TINZ et al. (2014) vollständig erfüllt ist (vgl. Tab. 4). Dies gilt ebenso für den Zeitraum vom 23.07.–04.08.2018 (vgl. Abbn. 8 u. Tab. 5). Beide Hitzewellen in 2003 und 2018 umfassten jeweils 12 Tage mit Spitzentemperaturen von über 36 °C .

Hitzewellen haben in Deutschland 2003 schätzungsweise 7.600 Todesfälle (AN DER HEIDEN et al. 2019b) gefordert und im Jahr 2018 20.200 (WATTS et al. 2020).

In Mitteleuropa resultieren Hitzewellen oftmals aus einem stationären warmen Hochdrucksystem (blockierendes Hoch). Durch einen stark mäandrierenden Jetstream wird die Westwinddrift beeinträchtigt, sodass es nicht zu einem Austausch von kühlerer Luft aus den polaren Regionen und warmer Luft aus dem Gebiet des Äquators kommt. Warme Luftmassen aus den Subtropen werden dabei durch Tiefdruckgebiete eingekesselt. Dieses Phänomen wird auch als sog. Omega-Wetterlage bezeichnet (LOZÁN et al. 2018). In den Sommermonaten kann sich unter dem blockierenden Hoch dann eine Hitzewelle formieren. Es stauen sich warme und trockene Luftmassen an, und die Hochdruckgebiete erreichen eine vertikale Ausdehnung bis in höhere Schichten der Atmosphäre. Die warmen Luftmassen stammen vor allem aus Nordafrika und dem Mittelmeerraum.

Tab. 3: Tagesmaxima der Lufttemperatur in 2 m Höhe in $^{\circ}\text{C}$ in vier westfälischen Städten vom 15.07.2003 bis 20.07.2003

Datum	Brilon	Münster/Osnabrück	Bochum	Bad Salz- uflen
15.07.2003	28,0	30,2	33,6	28,9
16.07.2003	30,5	34,5	35,0	32,1
17.07.2003	22,0	23,5	21,7	23,4
18.07.2003	24,5	26,6	27,8	25,9
19.07.2003	28,0	30,8	31,3	29,8
20.07.2003	31,6	33,8	34,2	32,6

(DWD o. J. a.)

Einige Studien weisen zudem auf eine zentrale Rolle der Bodenfeuchte bei der Entstehung von Hitzewellen hin (u. a. PERKINS 2015). Bei einer starken Erwärmung der Erdoberfläche führen trockene Böden mit geringen Bodenwassergehalten zu einem positiven Rückkopplungseffekt, da weniger latente, aber ein größerer Anteil fühlbarer Wärme emittiert wird. Dies trägt zur Erwärmung der unteren Atmosphäre bei. Die fehlende Verdunstung schränkt zudem die Wolkenbildung ein, sodass die Strahlung der Sonne ungehindert auf die Erdoberfläche trifft und die Erwärmung abermals verstärkt wird. Aus diesem Grund ist ein Auftreten einer besonders intensiven Hitzewelle nach einem trockenen Winter und Frühling umso wahrscheinlicher (PERKINS 2015).

Hinsichtlich der Verteilung von Hitzewellen herrschen in Deutschland regionale Unterschiede. Im Norden fällt die Intensität in der Regel geringer aus, und es kommt seltener zu Hitzewellen als im Süden Deutschlands (DWD 2017).



(DWD o. J. a.)

Abb. 8: Tagesmaxima der Lufttemperatur an vier westfälischen Klimastationen vom 01.07.2018 bis 30.08.2018

Tab. 4: Tagesmaxima der Lufttemperatur in 2 m Höhe in °C in vier westfälischen Städten vom 02.08.2003 bis 13.08.2003

Datum	Brilon	Münster/ Osnabrück	Bochum	Bad Salz- uflen
02.08.2003	29,0	30,0	30,5	30,4
03.08.2003	29,0	29,8	31,0	30,4
04.08.2003	30,5	30,5	31,4	30,4
05.08.2003	30,5	31,3	32,1	30,4
06.08.2003	31,0	31,7	33,4	30,3
07.08.2003	34,5	36,4	36,5	35,0
08.08.2003	33,0	36,5	36,5	34,7
09.08.2003	34,0	33,1	32,0	36,3
10.08.2003	30,5	31,5	31,0	33,1
11.08.2003	32,0	34,2	34,2	32,7
12.08.2003	35,0	37,5	36,3	36,4
13.08.2003	29,5	28,6	29,5	28,6

Dies ist u. a. auf heiße Südwinde zurückzuführen. Im Westen und an der Küste treten Hitzewellen aufgrund der Maritimität des Klimas seltener auf als im Osten des Landes, der durch ein kontinentaleres Klima geprägt ist (DEUTSCHLÄNDER & MÄCHEL 2017).

Neben diesen makroklimatischen Determinanten sind jedoch auch mikroklimatische Gegebenheiten bei der Ausprägung und Verteilung von Hitzewellen von großer Bedeutung. In urbanen Räumen herrscht ein spezifisches Stadtklima, das oftmals durch den städtischen Wärmeineffekt zur Häufung und Intensivierung von Hitzewellen beisteuert (TINZ et al. 2014). Der Wärmeineffekt bezeichnet die Erhöhung der Lufttemperaturen im urbanen Raum im Vergleich zum Umland (vgl. Abb. 9). In der Regel liegt eine Temperaturdifferenz von ca. 1–2 K vor, die jedoch kurzzeitig während der Nacht auch bis zu 15 K betragen kann (KUTTLER 2013).

Tab. 5: Tagesmaxima der Lufttemperatur in 2 m Höhe in °C in vier westfälischen Städten vom 24.07.2018 bis 04.08.2018

Datum	Brilon	Münster/ Osnabrück	Bochum	Bad Salz- uflen
24.07.2018	31,3	34,1	33,0	33,3
25.07.2018	32,4	35,9	34,5	34,4
26.07.2018	32,9	36,0	37,0	33,2
27.07.2018	32,0	35,2	36,4	33,2
28.07.2018	28,3	28,7	28,4	30,5
29.07.2018	27,2	28,6	29,6	29,0
30.07.2018	31,8	34,0	32,6	33,0
31.07.2018	32,8	33,1	31,3	33,3
01.08.2018	28,8	29,2	28,8	30,3
02.08.2018	31,2	33,7	33,9	31,7
03.08.2018	32,2	35,1	35,3	33,9
04.08.2018	30,2	31,7	33,7	31,6

Die Ausprägung einer Wärmeinsel wird z. B. durch Determinanten, wie die Lage der Stadt, Wetterbedingungen, Baumaterialien, Bebauung, Flächennutzung, Gebäudehöhen sowie das Verkehrsaufkommen, den industriellen Wärmeausstoß und den menschlichen Stoffwechsel (Metabolismus) bestimmt (HENNINGER & WEBER 2020). Die größte Differenz der Lufttemperatur zum Umland herrscht in mitteleuropäischen Städten typischerweise bei fehlender Wolkenbedeckung, geringen Windgeschwindigkeiten sowie in den Monaten April bis September und während der frühen Morgenstunden (KUTTLER 2013).

Die Ursache für die Häufung von Hitzewellen in der jüngsten Vergangenheit wird derzeit unter Klimatologen diskutiert. Nach LOZÁN et al. (2018) bedingt der Klimawandel das Auftreten von Hitzewellen in Europa möglicherweise dahingehend, dass die Temperaturdiffe-

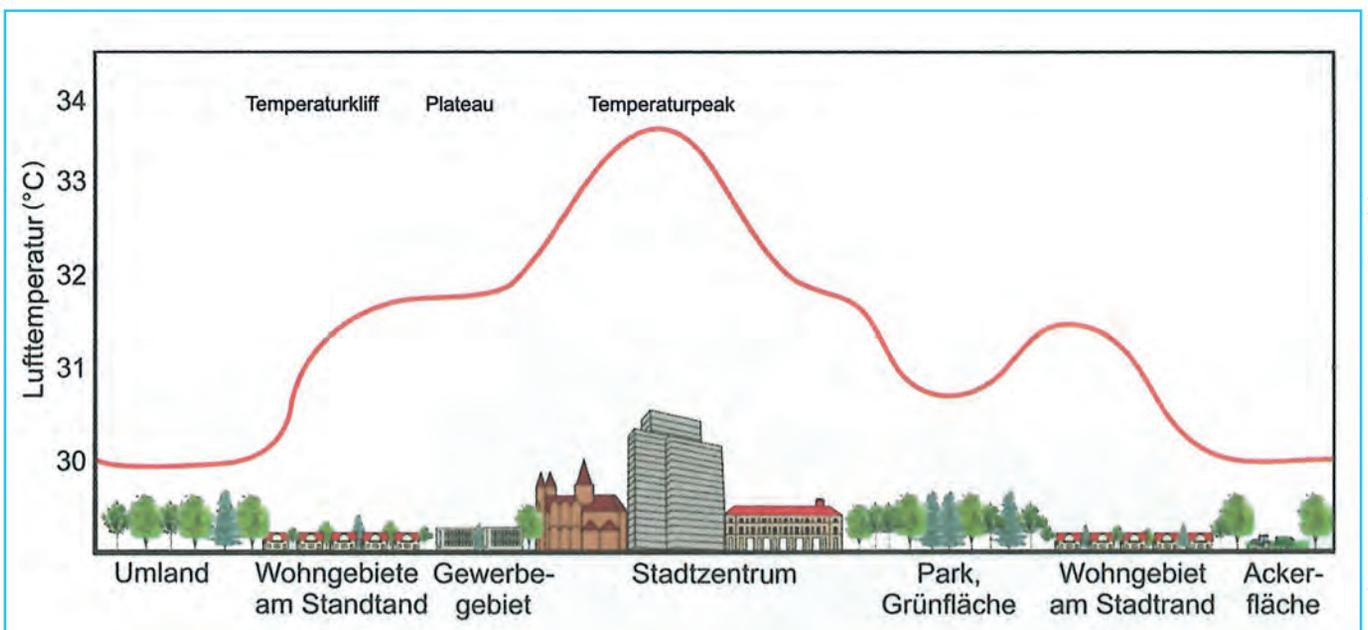


Abb. 9: Differenz der Lufttemperatur zwischen Innenstadt und Umland

renzen zwischen der Arktis und den Mittelbreiten mit der Erwärmung der arktischen Regionen abnehmen und es daraufhin zu einer Abschwächung des Jetstreams kommt. Die Abschwächung hat wiederum großen Einfluss auf die Lage der Rossby-Wellen. Diese großräumigen Wellenbewegungen werden mit der Entstehung von Extremwetterereignissen wie Hitzewellen in Verbindung gebracht werden. Durch den abgeschwächten Jetstream kommt es zu höheren Amplituden bei den Rossby-Wellen, sodass Warmluft aus der Äquatorregion weiter nach Norden vordringen kann (HAUCK et al. 2019). Daraus könnte möglicherweise eine höhere Anzahl blockierender Wetterlagen durch Hochdruckgebiete aus dem Süden resultieren, die wiederum die Wahrscheinlichkeit von Hitzewellen erhöhen (LOZÁN et al. 2018).

Nach TINZ et al. (2014) ist auch in Zukunft mit einem weiteren Anstieg der Temperaturmaxima sowie dem Auftreten längerer Hitzewellen zu rechnen. Die durchschnittliche Dauer von 7,5 Tagen (1961–1990) wird bis zum Jahr 2100 voraussichtlich auf zehn Tage ansteigen (KUTTLER 2018). Während eine Hitzewelle, wie die Hitzewelle aus dem Jahr 2003, einer Trendanalyse von SCHÖNWIESE et al. (2003) zufolge, zuvor äußerst selten war (alle 10.000 Jahre), wird das Wiederkehrintervall durch den Klimawandel enorm verkürzt (alle 455 Jahre). Schweizer Klimatologen zufolge könnten Ereignisse dieser Stärke bis zum Ende des Jahrhunderts sogar in einem Intervall von zwei Jahren auftreten (SCHÖNWIESE 2019). Nach einer Studie von ZACHARIAS et al. (2015) haben Modell-Simulationen ergeben, dass sich die Anzahl an Hitzewellen in Deutschland bis zum Ende des 21. Jh.s sogar verdreifachen und die jährliche Gesamtdauer der Hitzewellen um ca. 23 Tage erhöhen könnte. Gleichzeitig könnte es zu einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur von Hitzewellen um 1 °C kommen.

Vor allem aufgrund des Wärmeinseleffekts werden zukünftig besonders die innerstädtischen bzw. stark verdichteten Siedlungsbereiche von länger anhaltenden und zunehmend extremeren Hitzewellen betroffen sein (vgl. Abb. 4 u. 6). Für die Menschen, die in diesen Räumen leben, sind Hitzewellen somit besonders relevant, insbesondere vor dem Hintergrund der Auswirkungen von Hitzewellen auf die menschliche Gesundheit.

5. Auswirkungen von Hitzewellen und Hitzestress auf die menschliche Gesundheit

Um gesundheitliche Folgen der thermischen Belastung während einer Hitzewelle nachvollziehen zu können, ist ein grundlegendes Verständnis des menschlichen Thermoregulationssystems notwendig. Darauf wird im Folgenden zunächst näher eingegangen.

5.1 Thermoregulation des Menschen

Der Wärmehaushalt des menschlichen Körpers ist in seiner Funktionsweise darauf ausgelegt, die Körpertempera-

tur unabhängig von den stetig variierenden thermischen Bedingungen der Umwelt auf einem relativ einheitlichen Niveau zu halten, da es sich beim Menschen um ein gleichwarmes Lebewesen handelt (KOCH 2016). Die Thermoregulation ist als ein ständiger Ausgleichsprozess zwischen Wärmeabgabe und Wärmeproduktion zu verstehen und ermöglicht einem gesunden Menschen eine Anpassung an extreme thermische Belastungen, die von der Umwelt ausgehen (KOPPE et al. 2003). Außer von der Lufttemperatur werden die thermischen Gegebenheiten der Umgebung ebenso von der Windgeschwindigkeit, Sonnenstrahlung, Luftfeuchtigkeit und atmosphärischen Wärmestrahlung beeinflusst (UBA & DWD 2008).

Die Körpertemperatur ist nicht gleich verteilt, sondern variiert in einzelnen Bereichen. Im Kern des Körpers, in dem lebenswichtige Organe wie Gehirn, Herz, Leber, Niere und Lunge liegen, herrscht eine konstante Körperkerntemperatur vor. Diese beträgt im normalen Zustand ca. 37 °C, kann jedoch je nach Tageszeit um bis zu 0,5 °C davon abweichen (KOCH 2016). Wesentlich größere Temperaturschwankungen herrschen in der Peripherie des Körpers, etwa der Haut, die kühler ist als der Körperkern. Sobald die Temperatur der Umgebung jedoch besonders hoch ist, nimmt der Temperaturgradient zwischen Haut und Körperkern ab (vgl. Abb. 10).

Der Blutdruck sinkt und es kommt zu einer Weitung der Blutgefäße (Vasodilatation), sodass sich der Blutfluss in peripheren Körperteilen erhöht und die Temperatur des Körpers angeglichen wird. Hierfür erhöht sich ebenfalls das Herzminutenvolumen und das erwärmte Blut wird aus dem Kern des Körpers in die Haut transportiert (BOUCHAMA & KNOCHEL 2002). Zu den Mechanismen der Thermoregulation zählen Konvektion, Strahlung, Konduktion, Evaporation und der respiratorische Wärmetransfer (KOCH 2016). Diese Mechanismen werden in unterschiedlichem Maße genutzt, um die eigens produzierte Wärme (durch Metabolismus und körperliche Anstrengung) an die Umwelt abzugeben und den Wärmeeinfluss der Umgebung zu kompensieren, damit die Körperkerntemperatur stabil bleibt. Da Konduktion und Konvektion ihre Funktion bei der Wärmeabgabe nur ausüben können, wenn die Temperatur der Umgebung nicht die Körpertemperatur übersteigt, ist vor allem die Evaporation der entscheidende Mechanismus der Wärmeabgabe bei großer Hitze (VON KALCKREUTH & MÖCKEL 2020). Die menschliche Haut ist so beschaffen, dass Wasserdampf ungehindert austreten kann und auf diese Weise eine Verdunstungskühlung erreicht wird. Sobald sich die Körperkerntemperatur um ca. 1 °C erhöht, beginnt bei den meisten Menschen zudem die Schweißproduktion (Transpiration), um die Kühlung zu intensivieren. Auf diese Weise können pro Tag im Durchschnitt drei Liter an Schweiß produziert werden (KOCH 2016). Der abgesonderte Schweiß enthält ein hohes Maß an Elektrolyten. Tropft der Schweiß von der Hautoberfläche, anstatt zu verdunsten, trägt dieser Anteil nicht zur Verdunstungskühlung bei. Die Verdunstungskühlung ist ein wesentlicher Grund dafür, dass der menschliche Körper große körperliche Anstrengungen und Temperaturen von bis zu 100 °C (z. B. in der Sauna) tolerieren kann. Die

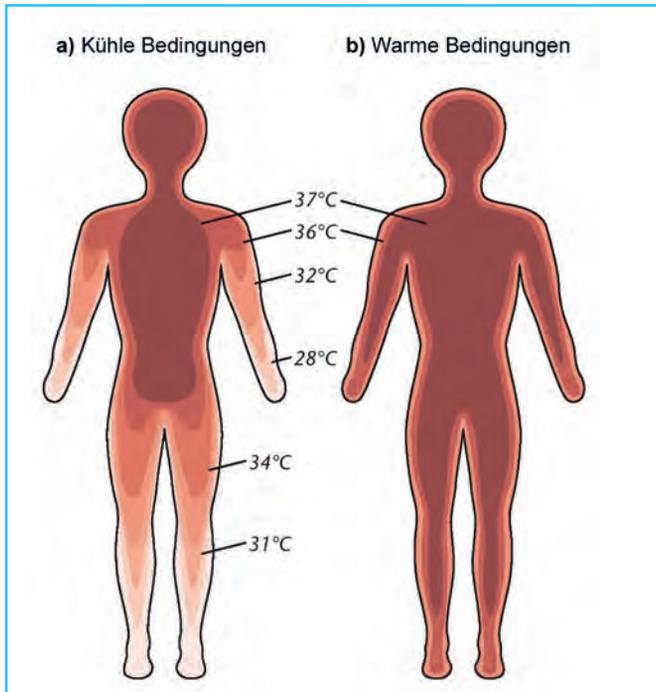


Abb. 10: Körpereigene Temperaturverteilung bei kühler (a) und warmer (b) Umgebungstemperatur

Verdunstungskühlung wird jedoch in einer Umgebung mit hohen Temperaturen und einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 70 % massiv eingeschränkt, da die umliegende Luft bereits größtenteils mit Wasserdampf gesättigt ist. Nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ist eine Wärmeabgabe aus eigener Kraft nur in einer Umgebung möglich, die über eine niedrigere Kühlgrenztemperatur verfügt, als die des Körpers. Sobald die Kühlgrenztemperatur folglich über eine längere Zeit einen Wert von 35 °C überschreitet, ist eine Überwärmung des Körpers unausweichlich. Auch eine dauerhaft ungeschützte Sonnenexposition stört die Thermoregulation, da der Temperaturgradient zwischen Haut und Körperkern bei einer Erwärmung der Haut reduziert wird (TOMASITS & HABER 2011).

Wenn die Mechanismen des Thermoregulationssystems in ihrer Funktion gestört sind, sammelt sich die überflüssige Wärme im Körper und die Körperkerntemperatur steigt an. Dann wird immer mehr Blut in die Haut gepumpt, um die Temperatur zu regulieren, und das Herz-Kreislaufsystem ist einer zunehmenden Belastung ausgesetzt. Die Schweißproduktion wird ins Extreme gesteigert und der Körper verliert zunehmend Flüssigkeit (BUDD 2008). Infolgedessen wird der Wasser- und Elektrolythaushalt des Körpers gestört. Obwohl ein kurzfristiges Überschreiten der Körperkerntemperatur in der Regel keine schwerwiegenden Folgen hat, führt ein langfristiges Überschreiten zu einer Überhitzung des Körpers (Hyperthermie). Der Beginn einer Hyperthermie zeichnet sich mitunter dadurch aus, dass die Muskulatur geschwächt wird, die Herzfrequenz steigt und das Herzschlagvolumen abnimmt (KOCH 2016). Wenn die Kernkörpertemperatur einen Wert von 41 °C erreicht, gerät der Körper in einen Schockzustand und die Zellen werden geschädigt, sodass u. a. die Funktionen der menschlichen Organe nach und nach aussetzen (VON WICHERT 2014). Eine Körperkerntemperatur von

42–43 °C und eine Hauttemperatur von 37–38 °C haben tödliche Folgen (SHERWOOD & HUBER 2010).

Der menschliche Körper kann sich bei einem Aufenthalt in einer heißen Umgebung nach frühestens einer Woche an die Gegebenheiten anpassen. Man spricht dann von einer Akklimatisierung (VON KALCKREUTH & MÖCKEL 2020). Diese führt dazu, dass die Mechanismen des Thermoregulationssystems optimal arbeiten. Kennzeichen einer Akklimatisierung sind u. a. eine verstärkte Durchblutung der Haut und eine Verringerung der Herzfrequenz (VON KALCKREUTH & MÖCKEL 2020). Die Schweißproduktion wird gesteigert und ist effizienter, sodass die Kühlung verbessert wird, ohne einen größeren Anteil an Elektrolyten abzugeben (TANEN 2017). Menschen in Ländern mit höheren sommerlichen Durchschnittstemperaturen sind in der Regel deutlich besser akklimatisiert.

Allerdings sind nicht alle Menschen in gleicher Weise in der Lage sich zu akklimatisieren. Um die beschriebenen Stoffwechselprozesse durch Thermoregulationsmechanismen umzusetzen, muss der Körper in jedem Fall enorme Anstrengungen aufbringen und wird verschiedenen Stressfaktoren ausgesetzt.

5.2 Hitzestress

Aufgrund der extremen Temperaturen, die an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen herrschen und einer großen Trockenheit, die sich angesichts des zumeist ausbleibenden Niederschlags einstellt, kommt es durch Hitzewellen zu sog. Hitzestress. Laut UMWELTBUNDESAMT (UBA) (o. J.) bezeichnet Hitzestress eine „durch Hitze bedingte Belastung des menschlichen, tierischen oder pflanzlichen Organismus mit negativem Einfluss auf den Stoffwechsel, insbesondere auf den Wasserhaushalt (Gefahr der Austrocknung)“. Aus der geringen Wolkenbedeckung während Hitzewellen resultiert wiederum eine Erhöhung der solaren Strahlungsstromdichte und somit eine Erhöhung der UV-Strahlung (KUTTLER 2018). Hitzewellen haben Einfluss auf unterschiedlichste Wirtschaftsweisen und Lebenswelten, die äußerst komplex und vielschichtig sind und das gesamte Mensch-Umwelt-System betreffen. Nachfolgend sollen aber ausschließlich die gesundheitlichen Risiken für den Menschen thematisiert werden, die von Hitzewellen ausgehen. Um den Hitzestress für den menschlichen Körper zu bestimmen, können Hitzeindizes herangezogen werden.

5.3 Gefühlte Temperatur und gesundheitliche Auswirkungen von Hitze

Zur Bestimmung von Hitzestress und für die Erstellung von Hitzewarnungen benutzt der DWD den Hitze-Index der Gefühlten Temperatur (GT) (SILLMANN & RUSSO 2018). Durch die GT wird das thermische Empfinden eines durchschnittlichen Menschen im Erwachsenenalter im Außenbereich modelliert (UBA & DWD 2008). Die Berechnung umfasst alle thermisch relevanten Variablen

einer Referenzumgebung. Dazu gehören Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Wasserdampfdruck und die mittlere Strahlungstemperatur. Darüber hinaus werden der menschliche Metabolismus sowie die potenzielle Bekleidung einbezogen. Das verwendete Modell trägt den Namen „Klima-Michel“. Die Berechnungen sind repräsentativ für einen „durchschnittlichen Menschen“, der 35 Jahre alt, 75 kg schwer, 1,75 m groß und männlich ist. Auch das Verhalten des Klima-Michel gehört zu den erfassten Variablen (vgl. Abb. 11; KOPPE et al. 2003).

Anhand der GT in einer Referenzumgebung erfolgt schließlich eine Berechnung der thermischen Belastung durch das Modell (vgl. Tab. 6). Die GT kann in Deutschland bis zu 15 °C über der Lufttemperatur liegen (UBA & DWD 2008).

Im Rahmen von Hitzestress können verschiedene gesundheitliche Beeinträchtigungen auftreten, die sich zu hitzebedingten Erkrankungen entwickeln können. Zudem können sich bestehende Krankheitsbilder durch die thermische Belastung verschlimmern. MORA et al. (2017) ordnen Hitzewellen als große Bedrohung für die menschliche Gesundheit ein, der momentan rund ein Drittel der Weltbevölkerung für mindestens 20 Tage im Jahr ausgesetzt sind. Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte dieser Anteil bereits bis zu 74 % ausmachen. Die gesundheitlichen Folgen führen nach BORCHERS et al. (2020) zu einer steigenden Anzahl an Krankenhauseinweisungen. Während der Hitzewelle im Jahr 2015 kam es in Frankfurt am Main zudem zu einer Verdopplung hitzebedingter Erkrankungen, die im folgenden thematisiert werden sollen.

Es kann zwischen indirekten und direkten Auswirkungen von Hitze unterschieden werden. Indirekte Auswirkungen sind äußerst komplex und weitreichend und können

beispielsweise aus einer erhöhten Salmonellengefahr, einer Verstärkung der Blaualgenblüte oder der Vermehrung von Bakterien resultieren (BUNZ & MÜCKE 2017). Hitzewellen haben ebenfalls einen Einfluss auf die Luftqualität, da erhöhte Ozonkonzentrationen in Bodennähe auftreten und gesundheitliche Belastungen, wie Atemwegserkrankungen, begünstigt werden (FALKE & OTTO 2020). Die direkten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit können von geringfügigen Beschwerden durch Hitzestress, wie Schwindel, bis hin zu lebensgefährlichen Folgen, wie einem Hitzschlag, reichen (vgl. Tab. 7). Symptome, denen fast jeder Mensch während einer Hitzewelle ausgesetzt ist, sind die Nebenerscheinungen von Hitzestress. Die Stoffwechselprozesse der Thermoregulation, die Blutdruck und Atmung verändern, belasten das Herz-Kreislauf-System. Daher kommt es vermehrt zu einem Schwächegefühl oder Konzentrationsstörungen (KUNZ-PLAPP 2018). Um die körpereigene Wärmeproduktion einzuschränken, nimmt die Muskelaktivität ab, sodass es bei Hitze oftmals zu Müdigkeit und Einschränkung des Leistungsvermögens kommt (TOMASITS & HABER 2011).

Die Schweißproduktion kann ebenfalls Hautirritationen (Hitzeausschlag) nach sich ziehen. Auch nachts arbeitet das Thermoregulationssystem weiter und es kommt oftmals zu Schlafstörungen, die die nächtliche Erholung hemmen. Bei übermäßigem und ungeschütztem Aufenthalt in der Sonne kann es aufgrund der großen UV-Belastung zu Sonnenbränden und Sonnenstichen kommen. Obgleich die Folgen zumeist nur von kurzer Dauer sind, steigern wiederholte Sonnenbrände das Hautkrebsrisiko (ROBERT-KOCH-INSTITUT RKI 2010). Sonnenstiche stellen besonders bei einem Bewusstseinschwund eine wesentliche Gefahr dar, haben jedoch i. d. R. keine bedrohlichen gesundheitlichen Folgen. Darüber hinaus kann eine starke UV-Einstrahlung Erkrankungen der Augen, wie eine Bin-

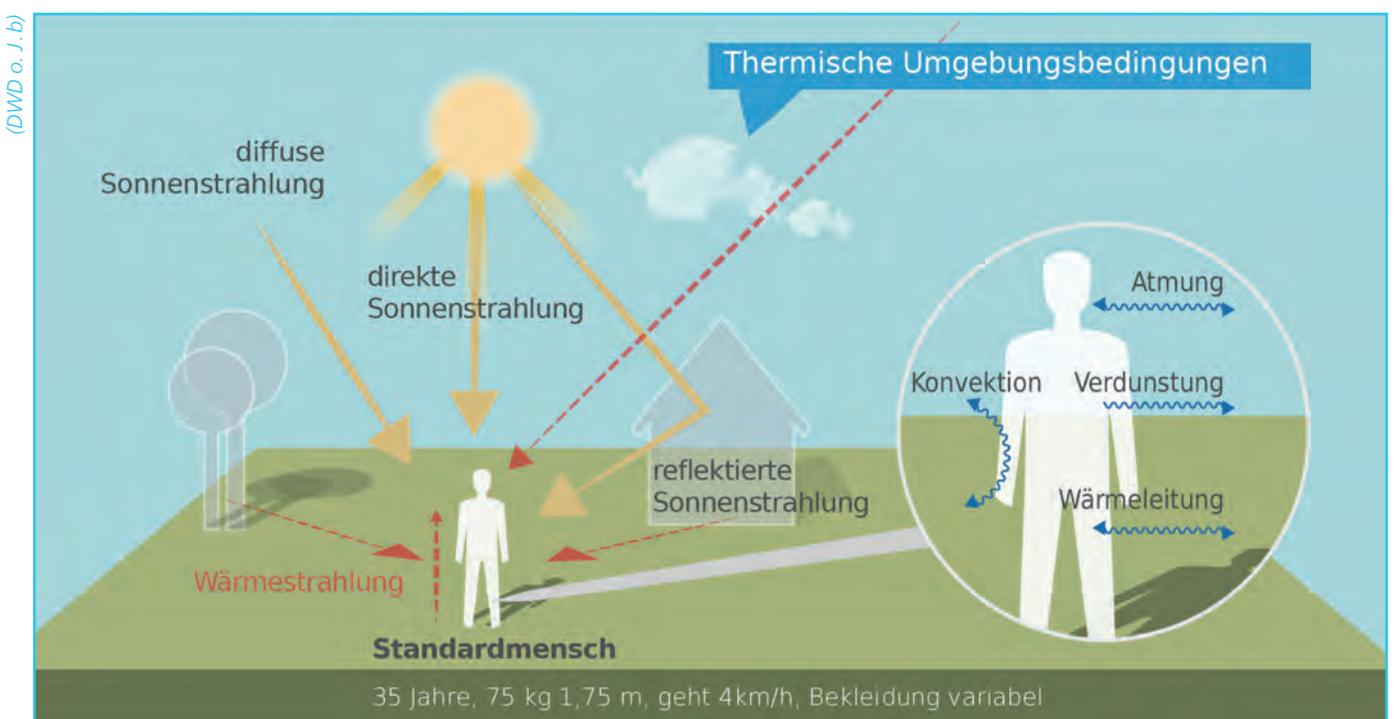


Abb. 11: Variablen des Klima-Michel-Modells des DWD

Tab. 6: Klassifikation der Gefühlten Temperatur (GT) nach thermischem Empfinden und Belastungsstufe

GT (°C)	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe
≥ 38	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung
32 bis < 38	Heiß	Starke Wärmebelastung
26 bis < 32	Warm	Mäßige Wärmebelastung
20 bis < 26	Leicht warm	Leichte Wärmebelastung
> 0 bis < 20	Behaglich	kein thermischer Stress
> -13 bis 0	Leicht kühl	Leichter Kältestress
> -26 bis -13	Kühl	Mäßiger Kältestress
> -39 bis -26	Kalt	Starker Kältestress
≤ -39	Sehr kalt	Extremer Kältestress

dehautentzündung oder langfristig sogar Grauen Star, hervorrufen (UBA 2009).

Hitzekrämpfe sind auf eine Dehydrierung des Körpers infolge einer starken Transpiration zurückzuführen. Mit dem Schweiß wird nicht nur ein großer Teil von Flüssigkeit, sondern werden auch wichtige Nährstoffe wie Natrium, Calcium und Kalium abgesondert und es kommt zu einer Elektrolytstörung, die die Muskelentspannung verhindert (VON KALCKREUTH & MÖCKEL 2020). Bei einer Dehydrierung wird ebenfalls die Urinausscheidung beeinträchtigt und die Funktionen der Nieren, der Harnblase und der Verdauung können gehemmt werden (LINDEMANN et al.

2019). Da sich zudem die Viskosität des Blutes erhöht, steigt das Thromboserisiko und die Gefahr von Herz-Kreislauf-Erkrankungen nimmt zu (AN DER HEIDEN et al. 2019b).

Eine Hitzeerschöpfung entwickelt sich gewöhnlich in Folge einer mehrtägigen thermischen Belastung, die bereits zu einer Dehydrierung geführt hat. Es kann zu vorübergehenden Bewusstseinsstörungen kommen, wie z. B. einer Hitzeohnmacht. Durch die erhöhte Durchblutung der Haut herrscht ein niedriger Blutdruck im Gehirn, der bei plötzlichen Bewegungen zu einem Kollaps des Kreislaufs und einer Bewusstlosigkeit führen kann (UBA & DWD 2008; LINDEMANN et al. 2019). Bei fehlender Behandlung kann sich daraus ein Hitzschlag entwickeln.

Ein Hitzschlag ist das Ergebnis einer Überlastung des Thermoregulationssystems (VON KALCKREUTH & MÖCKEL 2020). Die Ausbildung dauert zwischen 1–6 Stunden und zeichnet sich durch einen schnellen Anstieg der Körpertemperatur aus, die innerhalb von 24 Stunden zum Tod führen kann (UBA & DWD 2008). Nach VON WICHERT (2014) sind die Folgen oftmals systemischer Natur. Schwere Folgen, wie ein multiples Organversagen, erfordern eine sofortige Behandlung auf einer Intensivstation und gegebenenfalls eine Reanimation des Opfers, um irreversible Schäden zu verhindern und eine tödliche Folge abzuwenden (VON KALCKREUTH & MÖCKEL 2020).

Die angeführten gesundheitlichen Beschwerden lassen sich nach dem Grad der gesundheitlichen Gefährdung und der Häufigkeit klassifizieren (vgl. Abb. 12). Sie kön-

Tab. 7: Ausgewählte gesundheitliche Gefahren von Hitzewellen

Erkrankung	Mögliche Symptome	Ursache
Hitzestress	Schwitzen, Konzentrationsstörungen, Müdigkeit, Schwäche, Schlafstörungen	Mechanismen der Thermoregulation
Sonnenbrand	Rötung der Haut, Schmerz, erhöhte Temperatur der Haut, Blasenbildung, Fieber	Ungeschützte Sonnenexposition der Haut
Sonnenstich	Kopfschmerzen, Übelkeit, Nackensteife, Lichtempfindlichkeit, Bewusstseinsstörungen	Reizung, Entzündung oder Anschwellen der Hirnhäute bei ungeschützter Sonnenexposition des Kopfes
Hitzausschlag	Hautausschlag mit Pickeln und Blasen	Starkes Schwitzen bei heißfeuchtem Wetter
Hitzeödeme	Ödeme (Schwellungen) an Unterschenkeln oder Knöcheln	Periphere Gefäßerweiterung und Ansammlung von Salz und Wasser
Hitzeohnmacht	Kurzer Bewusstseinsverlust (Synkope)	Periphere Gefäßerweiterung, Dehydrierung und verringerter venöser Rückfluss
Hitzekrämpfe	Schmerzhafte Muskelkrämpfe	Dehydrierung, Elektrolytverluste, Muskelermüdung
Hitzeerschöpfung	Schwäche, Unwohlsein, Schwindel, Krämpfe, Kopfschmerzen, Übelkeit, hoher Puls, schwache Atmung, niedriger Blutdruck, Kerntemperatur normal bis < 40 °C, keine gravierenden neurologischen Zeichen	Anhaltender Hitzestress, beginnende Hyperthermie
Hitzschlag	Kerntemperatur > 40 °C, Bewusstseinsstörungen/Koma, evtl. zerebrale Krämpfe, Erbrechen, Kopfschmerzen, Durchfall, Organversagen, niedriger Blutdruck, Austrocknung und Rötung der Haut, neurologische Beschwerden	Fortgeschrittene Hyperthermie, Versagen der Thermoregulation

(Eigene Darstellung nach WHO 2019, S. 16; UBA & DWD 2008, S. 6–8; von KALCKREUTH & MÖCKEL 2020, S. 4146–4148; LINDEMANN et al. 2019, S. 7f.; DEGAM 2020, S. 5)

nen jedoch ebenfalls in Kombination auftreten und folgen keiner eindeutigen Abfolge. Folgen mit milden Symptomen treten demnach bei einem großen Teil der Bevölkerung auf, während lebensbedrohliche Folgen, die eine sofortige medizinische Behandlung erfordern, deutlich seltener sind.

Obwohl diese Klassifikation suggeriert, dass hitzebedingte Todesfälle eher selten sind, konnte im Rahmen zahlreicher Studien eine hohe Übersterblichkeit während Hitzewellen festgestellt werden (u. a. AN DER HEIDEN et al. 2019b). Bei der Identifizierung hitzebedingter Todesfälle ist zudem mit einer erheblichen Dunkelziffer zu rechnen, da Hitze meist nicht die primäre Todesursache darstellt, sondern bereits bestehende Vorerkrankungen als Todesursache festgemacht werden

(RKI 2010). Ein fehlendes bundesweites Monitoringsystem (AN DER HEIDEN et al. 2019a) und die bereits erwähnten Unstimmigkeiten bezüglich einer einheitlichen Definition einer Hitzewelle erschweren die Erfassung hitzebedingter Todesfälle ebenso. Nach einer Studie von ARMSTRONG et al. (2017) hat die extreme Hitze in den meisten Fällen dazu geführt, dass der Todesfall mindestens ein Jahr zu früh eingetreten ist. Die Übersterblichkeit wird meist nicht durch nachfolgende Tage mit geringerer Mortalität ausgeglichen (RKI 2010). Ein Großteil der frühzeitig verstorbenen Menschen hätte ohne den Einfluss einer Hitzewelle folglich noch deutlich länger gelebt, sodass es sich nicht um einen sog. „harvesting effect“ handelt (KOPPE & JENDRITZKY 2014). Aus diesem Grund besteht eine hohe Signifikanz für die öffentliche Gesundheit (AN DER HEIDEN et al. 2019b). Die ersten Anzeichen der Übersterblichkeit treten nach dem RKI (2010) spätestens nach drei Tagen auf. Gemäß einer Bestimmung der Exzessmortalität in Deutschland während der Hitzewellen zwischen 2001 und 2015 sind ca. 38.600 Menschen hitzebedingt verstorben (AN DER HEIDEN et al. 2019b). Bis zum Jahr 2100 ist gemäß einer Studie von ZACHARIAS et al. (2015) durchschnittlich mit 1.800 hitzebedingten Todesfällen pro Jahr zu rechnen. Weitere Schätzungen für den gleichen Zeitraum prognostizieren mindestens 5.000 Todesfälle pro Jahr, die durch Hitzewellen hervorgerufen werden könnten (RKI 2010). Neuesten Kalkulationen zufolge könnte die hitzebedingte Übersterblichkeit jedoch bereits heutzutage wesentlich höher sein. Nach Modellrechnungen von WATTS et al. (2020) sind 20.200 hitzebedingte Todesfälle in Deutschland allein im Jahr 2018 zu beklagen. Nach dieser Darstellung liegt in Deutschland die höchste hitze-

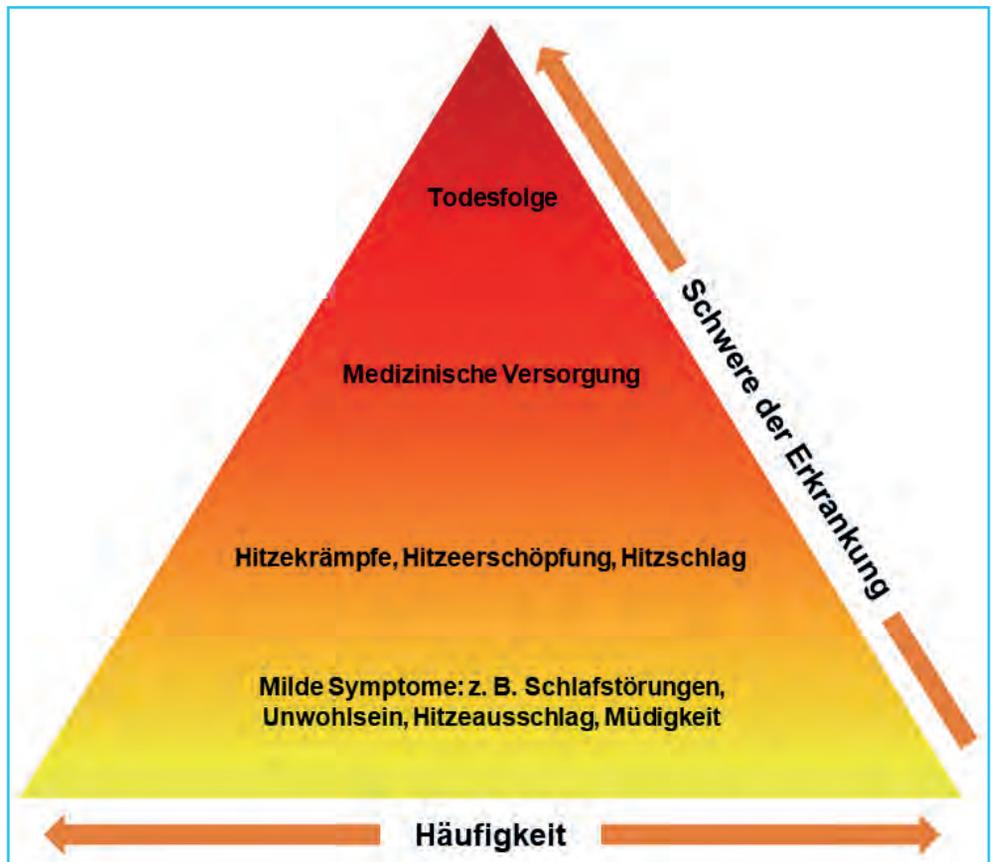


Abb. 12: Klassifikation hitzebedingter Erkrankungen

(verändert nach BASSIL et al. 2007, S. 9)

bedingte Übersterblichkeit aller europäischen Länder vor, die auch im globalen Vergleich nur von China und Indien übertroffen wird.

5.4 Welche Menschen sind besonders vulnerabel gegenüber Hitzewellen und -stress?

Städte sind die „Hotspots des Klimawandels“ (KRELLLENBERG 2017). Dies gilt ebenso für Hitzewellen. Durch die Verstärkung von Hitzewellen durch den städtischen Wärmeineffekt ist die ansässige Stadtbevölkerung einer besonders hohen thermischen Belastung ausgesetzt (MATZARAKIS et al. 2020). Stadtbewohner und -bewohnerinnen sind daher deutlich anfälliger für hitzebedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen als Menschen, die in ländlichen Räumen leben. Dies betrifft einen Großteil der deutschen Bevölkerung, denn 77,4 % aller Deutschen lebten im Jahr 2019 an einem städtischen Wohnort (WELTBANK 2020). Da Städte als Räume der Zukunft gelten, wird dieser Anteil aller Voraussicht nach weiterhin zunehmen (KUTTLER 2013).

Vor allem die nächtliche Situation ist von großer Bedeutung. KRUG & MÜCKE (2018) konnten am Beispiel des Berliner Stadtklimas aufzeigen, dass der Wärmeineffekt in Stadtgebieten mit dichter Bebauung drei Mal häufiger zu Tropennächten führt als in der Nähe von Freiflächen.

Eine Raumtemperatur von 16–18 °C wird in Deutschland zumeist als optimale thermische Bedingung für eine erholsame Nachtruhe angesehen. In einer Tropennacht fällt

die Lufttemperatur jedoch nicht unter 20 °C. Die Folge ist, dass Menschen in urbanen Räumen bei tropischen Nächten anfälliger für Schlafstörungen sind, eine nächtliche Entlastung des körpereigenen Thermoregulationssystems gestört wird und keine ausreichende Erholung stattfinden kann (KRUG & MÜCKE 2018). Laut BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU) (2017) verursachen Tropennächte deshalb eine größere Anzahl an hitzebedingten Todesfällen. In einer Studie von GABRIEL & ENDLICHER (2011) zur Mortalität während einer Hitzewelle im Jahr 1994 wurde die Mortalitätsrate in ländlicheren Gebieten Brandenburgs und Stadtteilen Berlins untersucht und verglichen. Die höchste Mortalitätsrate herrschte im Zentrum Berlins (67,2 %).

Neben dem Wohnort sind auch die Wohnbedingungen eine wichtige Determinante für die Vulnerabilität gegenüber Hitzewellen. Laut RKI (2010) sind bei einer Wohnung im Stadtzentrum, z. B. einer Dachgeschosswohnung, die über eine schlechte Isolierung und keine Klimatisierung verfügt, sehr hohe thermische Belastungen bei einer Hitzewelle zu erwarten. Es gibt ebenfalls Hinweise dafür, dass auch sozioökonomische Faktoren, wie das Einkommen oder die soziale Stellung in der Gesellschaft, einen Einfluss auf die Vulnerabilität gegenüber Hitzewellen haben. Darauf soll an dieser Stelle aber nicht weiter eingegangen werden.

Neben den genannten Bedingungen kann ebenfalls eine verhaltens- oder tätigkeitsbezogene Hitze- oder Sonnenexposition zum erhöhten Risiko beitragen. Bei Hitzewellen herrschen oftmals intensive UV-Strahlung, wenig Wolkenbedeckung und geringe Kühlung durch Wind vor (KUTTLER 2018). Ein Aufenthalt im Freien und ein intensives Sonnenbad, können z. B. eine Überhitzung oder einen Sonnenstich auslösen. Aufgrund der isolierenden Wirkung kann auch Kleidung einen großen Einfluss auf das Risiko bei einer Hitzewelle haben (TOMASITS & HABER 2011). Dies trifft insbesondere dann zu, wenn gleichzeitig eine körperliche Beanspruchung infolge von sportlichen oder beruflichen Tätigkeiten stattfindet.

Körperliche Anstrengungen können die metabolische Wärmeproduktion um das 20-fache erhöhen und stellen deshalb eine große Aufgabe für das Thermoregulationssystem dar. Durch die Transpiration können sich Natriumverluste von bis zu 20 g pro Tag ergeben, die eine Dehydrierung und einen Elektrolytmangel nach sich ziehen (TANEN 2017). Gerade bei fehlender Kondition ist die Vulnerabilität überaus groß (VON KALCKREUTH & MÖCKEL 2020). Trotzdem sind auch Sportler gegenüber Hitzeerkrankungen vulnerabel. Die enorme Wärmeproduktion während sportlicher Aktivitäten kann selbst bei durchtrainierten Menschen unter normalen thermischen Gegebenheiten zu einem Hitzschlag führen. Belastungshitzeschläge sind für etwa 2 % der plötzlichen Todesfälle bei jungen Sportlern verantwortlich (DEGAM 2020). Sobald sportliche Aktivitäten bei großer Hitze durchgeführt werden, kann die Kombination aus Wärmeaufnahme und Wärmeproduktion das Risiko einer Überhitzung erheblich erhöhen.

Auch die beruflichen Verpflichtungen bestimmen die Vulnerabilität eines Menschen gegenüber einer Hitzewelle. Bei einigen Berufen liegt eine spezielle thermische Belastung vor, die aus der fortwährenden Sonnen- und Hitzeexposition im Außenbereich, den thermischen Bedingungen im Innenbereich des Betriebs, körperlicher Anstrengung oder einer Kombination der einzelnen Faktoren resultiert. Im Außenbereich sind besonders Beschäftigte im Hoch- und Tiefbau, in Land- und Forstwirtschaft, in Gärtnereibetrieben sowie im Bergbau gefährdet. Dies trifft auch für Dachdecker und Dachdeckerinnen zu. Im Innenbereich sind Beschäftigte bei der Eisen- und Stahlproduktion, der Herstellung von Glas und Keramik, im Metallgewerbe sowie in Wäschereien sehr vulnerabel gegenüber Hitzewellen und Hitzestress (DGAUM 2012). Durch das Tragen von Arbeitsschutzkleidung kann sich die Vulnerabilität aufgrund der gehemmten Wärmeabgabe abermals erhöhen.

Körperliche und geistige Einschränkungen bzw. Vorerkrankungen ziehen ebenso eine höhere Vulnerabilität gegenüber Hitzewellen und Hitzestress nach sich (vgl. Abb. 13).

Die Vulnerabilität gegenüber Hitzewellen variiert ebenfalls mit dem Alter. Während für einen Menschen im Erwachsenenalter, der über keine der angeführten Prädispositionen verfügt, normalerweise kein großes Risiko vorliegt (UBA & DWD 2008), sind Säuglinge, Kleinkinder und vor allem ältere Menschen deutlich anfälliger gegenüber Hitze (AUGUSTIN et al. 2017). Im frühen Kindesalter ist die Ausbildung des Thermoregulationssystems laut WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (2019) noch nicht vollendet, sodass die Schweißproduktion langsamer abläuft. Außerdem haben Kinder im Verhältnis zu ihrem Gewicht eine sehr große Körperoberfläche, sodass bei einer Hitzewelle eine erhöhte Wärmeaufnahme und damit eine höhere Anfälligkeit für hitzebedingte Erkrankungen gegeben ist (TANEN 2017). Hinzu kommt, dass sehr junge Kinder von anderen Menschen abhängig sind, da sie z. B. ein schwächeres Durstgefühl haben und nicht selbstständig für die Hydrierung ihres Körpers sorgen können. Bei starken Flüssigkeitsverlusten (z. B. bei Durchfallerkrankungen) erhöht sich dadurch ihre Vulnerabilität (WHO 2019). Säuglinge und Kleinkinder können zudem nicht selbstständig einer Sonnen- oder Hitzeexposition entgehen, da ihre Mobilität aufgrund ihrer körperlichen Entwicklung beschränkt ist. Junge Kinder akklimatisieren sich des Weiteren schlechter an die thermische Umgebung (TANEN 2017). Trotz dieser Faktoren liegen bislang keine eindeutigen Erkenntnisse zur Mortalität von Kindern bei Hitzewellen vor. Es ist allerdings davon auszugehen, dass das Verhalten und Handeln der Erziehungsberechtigten eine große Bedeutung für deren Vulnerabilität hat.

Auch im fortgeschrittenen Alter unterliegt das Thermoregulationssystem einigen Änderungen in Bezug auf die Funktionsweise. So verfügen alte Menschen u. a. über schlechtere Fähigkeiten, um das Niveau ihrer Körperkerntemperatur zu halten. Weiterhin nehmen im höheren



Abb. 13: Ausgewählte Prädipositionen gegenüber extremer Hitze

Alter die Anzahl und Funktionsfähigkeit der Schweißdrüsen und der körpereigene Wassergehalt ab. Vielfach liegt zudem eine schwächere Durchblutung der Haut vor (YU et al. 2012). Im Alter sind zudem weniger Hitzeschockproteine vorhanden, sodass die Körperzellen wesentlich weniger Toleranz gegenüber Hitze aufweisen und es schneller zur Schädigung der Zellen und damit zu hitzebedingten Erkrankungen wie einem Hitzschlag kommen kann (BOUCHAMA & KNOCHEL 2002).

Da das Durstgefühl bei älteren Menschen geringer ausgeprägt ist, besteht die Gefahr, zu wenig Flüssigkeit aufzunehmen, sodass sich im Fall einer Hitzewelle eine Dehydrierung einstellen kann (VON KALCKREUTH & MÖCKEL 2020; LINDEMANN et al. 2019).

Die altersbedingten Einschränkungen werden häufig durch weitere Prädipositionen ergänzt. Menschen über 65 Jahre verfügen z. B. deutlich häufiger über Herz-Kreislauf-Erkrankungen und bestimmte Atemwegserkrankungen, die ihre Fähigkeit zur Thermoregulation einschränken und eine hohe Vulnerabilität gegenüber einer hohen thermischen Belastung verursachen (ZACHARIAS 2012). Ferner haben laut STATISTISCHEM BUNDESAMT (StBA) (2019b) über die Hälfte aller Menschen über 75 Jahre in Deutschland Übergewicht, sodass zusätzlich eine Einschränkung von Thermoregulation und Mobilität besteht und ohnehin ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie

Diabetes vorliegt. Darüber hinaus leiden ca. zwei Drittel der Menschen in Deutschland ab einem Alter von 65 Jahren über Bluthochdruck, der kardiovaskuläre Erkrankungen begünstigt (NEUHAUSER et al. 2017). Aus diesem Grund ist bei älteren Menschen eine erhöhte Morbidität für Erkrankungen (etwa Schlaganfälle) bei großer Hitze gegeben (ZACHARIAS 2012).

Die körperlichen Einschränkungen älterer Menschen bedürfen oft einer medikamentösen Behandlung, mit der die bereits aufgeführten Nebenwirkungen einhergehen können (VON KALCKREUTH & MÖCKEL 2020). Insbesondere die Einnahme blutdrucksenkender Medikamente steigert das hitzebedingte Risiko, da der Blutdruck infolge der Thermoregulation natürlicherweise sinkt. LINDEMANN et al. (2019) zufolge ist die generelle Belastungsfähigkeit älterer Menschen im Fall einer Hitzewelle bei niedrigem Blutdruck und

einem potenziellen Flüssigkeitsmangel deshalb oftmals gering und bedingt eine Abnahme der Balance. Deshalb werden Bewegungsabläufe, wie z. B. das Treppensteigen, erschwert und es kann eine erhöhte Sturzgefahr vorliegen. Diese Bewegungseinschränkungen sowie die grundsätzliche altersbedingte oder krankheitsbedingte Gebrechlichkeit schränken die Mobilität älterer Menschen bei großer Hitze ein. Oftmals liegt bei älteren Menschen demnach eine Anhäufung von mehreren Risikofaktoren vor.

Studien (u. a. UBA 2012) belegen, dass die Auswirkungen und Risiken von extremer Hitze vielfach nicht durch die Bevölkerung wahrgenommen werden. In einer Interviewstudie konnten WOLF et al. (2010) feststellen, dass gerade ältere Menschen sich nicht als Risikogruppe sehen und nur selten ein Bewusstsein für die Gefahren von Hitzewellen besteht. Ältere Menschen ordnen sich zudem überwiegend nicht als „alt“ ein, sodass zumeist kein Zusammenhang zwischen den eigenen gesundheitlichen Prädipositionen und einer erhöhten Vulnerabilität hergestellt wird. Einige Probanden gaben sogar an, das warme Wetter zu genießen und die Hitze nicht als besonders anstrengend zu empfinden (ABRAHAMSON et al. 2008).

Bei einer Analyse der Übersterblichkeit im Rahmen der Hitzewelle 2018 für Berlin und Hessen hat sich gezeigt, dass für Menschen zwischen 75–84 Jahren eine etwa fünffach höhere Sterblichkeit gegeben ist. Für Menschen

ab einem Alter von 85 Jahren beträgt die Mortalitätsrate sogar fast das 25-fache der normalen Mortalitätsrate (AN DER HEIDEN et al. 2019a). Hitzewellen stellen folglich ein enormes Gesundheitsrisiko für ältere Menschen dar. Angesichts des demographischen Wandels und der steigenden Intensität von Hitzewellen wird das Gesundheitsrisiko für ältere Menschen in Zukunft mit großer Wahrscheinlichkeit noch weiter zunehmen (AN DER HEIDEN et al. 2019a). Bereits heutzutage leben mehr als 23 Mio. über 60-jährige Menschen in Deutschland, davon über 5,5 Mio. Menschen über 80 (StBA 2019a). Die Anzahl der über 80-Jährigen könnte bis zum Jahr 2050 auf 9–11 Mio. ansteigen und auch die Anzahl der über 100-Jährigen wird beträchtlich wachsen (BLÜHER & KUHLMEY 2016).

6. Anpassungsmaßnahmen an Hitzewellen und Hitzestress

Eine Anpassung an Hitzewellen und Hitzestress kann durch eine Vielzahl von Maßnahmen erreicht werden. Diese können z. B. technisch, institutionell und individuell erfolgen. Bei erfolgreicher Umsetzung können Anpassungsmaßnahmen entscheidend dazu beitragen, das Risiko gegenüber Hitzewellen und Hitzestress zu verringern (IPCC 2018). Ohne Klimaanpassungsmaßnahmen ist hingegen mit großer Wahrscheinlichkeit mit einer Erhöhung hitzebedingter Erkrankungen und steigenden Hitzeopfern zu rechnen (MORA et al. 2017). Kurzum: Durch Anpassungsmaßnahmen wird die Vulnerabilität gegenüber extremer Hitze reduziert und dabei gleichzeitig die gesellschaftliche Resilienz gesteigert.

Grundsätzlich kann zwischen strukturellen und verhaltensbezogenen Maßnahmen unterschieden werden. Die strukturellen Maßnahmen werden wiederum in flächenbezogene und objektbezogene gegliedert (KUTTLER 2018).

Da bei den Anpassungsmaßnahmen an Hitzewellen und Hitzestress vor allem die objekt- und verhaltensbezogenen Umsetzungsmöglichkeiten im Vordergrund der Betrachtung stehen sollen, wird auf die flächenbezogenen Maßnahmen in diesem Heft lediglich kurz eingegangen (vgl. Tab. 8).

6.1 Flächenbezogene Maßnahmen

Die Planung und Umsetzung flächenbezogener Maßnahmen ist Aufgabe der Städte und Gemeinden und verfolgt das Ziel, die thermischen Bedingungen in einer Kommune zu optimieren. Die rechtliche Grundlage für die Integration struktureller Maßnahmen zur Anpassung an Hitzewellen auf allen Planungsebenen bildet das Baugesetzbuch (BauGB). Neben neuen planerischen Vorhaben können auch bei der Stadtsanierung und dem Stadtumbau strukturelle Maßnahmen vorgenommen werden. Vor allem Bebauungspläne bilden ein verbindliches Planungsinstrument, das auch private Grundstücke einschließt (BAUMÜLLER 2019). Zudem befindet sich aktuell das bundesweit erste Gesetz zur intensiveren Beachtung und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen auf dem Weg: Das Klimaanpassungsgesetz Nordrhein-Westfalen (KlAnG) wurde Anfang März 2021 von der Landesregierung verabschiedet und liegt aktuell dem Landtag NRW im Beratungsvorgang vor (Stand 07.04.2021) (Land NRW 2021).

Um geeignete flächenbezogene Maßnahmen auszuwählen, wird im Vorfeld vielfach eine Klimaanalyse durchgeführt. Deren Ergebnisse werden häufig in Form einer Klimafunktionskarte, Klimatopkarte oder Klimaanalysekarte visualisiert, die in ein „klimaökologisches Gutachten“ einfließen, das dann als Planungsgrundlage dient (LANUV 2019). Die mikroklimatischen Gegebenheiten während des Tages und der Nacht werden bei einer Klimatopkarte etwa anhand von Klimatopen abgebildet, die z. B. zwischen einem „Freilandklima“ und einem „Innenstadtklima“ differenzieren (KUTTLER 2013; LANUV 2019). Auf diese Weise können einerseits Gebiete mit hoher Hitzebelastung und andererseits Kühlungspotenziale bei Hitzewellen identifiziert und bei der Umsetzung von strukturellen Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt werden (KUTTLER 2018). In Tabelle 8 sind wichtige flächenbezogene Maßnahmen aufgeführt.

6.2 Objektbezogene Maßnahmen

Da sich viele Menschen für einen großen Teil des Tages innerhalb von Gebäuden aufhalten, ist die Optimierung

Tab. 8: Flächenbezogene Maßnahmen zur Anpassung an Hitzewellen und Hitzestress

- Erhalt oder Schaffung schattenspendender Grünanlagen (Rasenflächen mit großkronigen Bäumen, angelegt als „Streuobstwiesen- bzw. Savannentyp“) mit integrierten Wasserflächen
- Einrichtung großzügiger Schattenplätze (Pavillons, Markisen, feststehende Sonnenschirme, Sonnensegel)
- Freihalten oder Schaffung von Luftleitbahnen als Verbindung zwischen Umland-Kaltluftentstehungsgebieten und Stadt
- Orientierung von Straßenschluchten und Haushöhen-/Straßenbreitenverhältnissen zur Schattenoptimierung
- Einrichtung von Befeuchtungsanlagen in Außenanlagen
- Reduzierung des Versiegelungsgrades; Nutzung der Kühlleistung von Böden
- Unterirdische Wasserspeicherung (»Schwammstadt«)
- Förderung von Baum- und Buschpflanzungen sowie Dachbegrünungen mit allergiearmen, hitzeresistenten und emissionsarmen (in Bezug auf BVOC) Pflanzen (auch zur CO₂-Aufnahme und O₂-Abgabe)

(KUTTLER 2018, S. 80)

der Temperatur in den Innenräumen bei Hitzewellen essenziell. Hierfür eignen sich unterschiedliche objektbezogene Maßnahmen: z. B. Dämmung, Verschattung, Kühlung sowie Begrünung von Dächern und Fassaden (KUNZ-PLAPP 2018). Die Maßnahmen gelten sowohl für private als auch für gewerbliche und öffentliche Gebäude. Im Gegensatz zu flächenbezogenen Maßnahmen, liegt die Verantwortung für die Umsetzung objektbezogener Maßnahmen der Klimaanpassung zumeist bei dem jeweiligen Eigentümer oder der Eigentümerin. Deshalb sind Förderprogramme oder andere Unterstützungen für eine Implementierung notwendig (DST 2019).

Bei großer Hitze erwärmen sich die Innenräume durch die Strahlung, die durch die Fenster ins Gebäude gelangt, und den fühlbaren und latenten Wärmefluss, der durch die Wände und das Dach anhand von Konduktion und Konvektion im Fall von Öffnungen eindringt. Darum gilt es zum einen, die Wärmeaufnahme der Wände und des Dachs durch eine Erhöhung der Albedo (Reflexionsvermögen einer Oberfläche) zu reduzieren und zum anderen, anhand einer effektiven Dämmung den Wärmeaustausch durch Konduktion und Konvektion zu minimieren. Wie auch im öffentlichen Raum, kann die Erhöhung der Albedo auch bei Außenwänden und Dächern dafür sorgen, dass sich die Gebäudehülle und die umliegenden Luftmassen geringer erwärmen (OKE et al. 2017). Hierzu sollte möglichst Material verwendet werden, das sich durch eine geringe Wärmespeicherkapazität auszeichnet. Während Glas und Stahl nachts eine große Wärmeabgabe aufweisen und tagsüber einen großen Teil der Wärme speichern, haben Ziegel, Kalkstein, Holz und Stroh bessere thermische Eigenschaften (MULNV NRW 2010).

Für eine effiziente Dämmung sollten ebenfalls Wand- und Dachisolierungen verbessert und ein Einbau von Fenstern mit geringer Wärmedurchlässigkeit vorgenommen werden (AN DER HEIDEN et al. 2019a). Nach HENNINGER & WEBER (2020) eignet sich hierfür z. B. Sonnenschutzglas. Das Dämmmaterial sollte wiederum eine möglichst geringe Wärmeleitfähigkeit haben. Eine geeignete Wärmedämmung hat auch einen positiven Einfluss auf die subjektive Hitzebelastung und die Energieeffizienz (GROSSMANN et al. 2017).

Außerdem kann die Temperatur der Oberfläche und die Wärmeabgabe anhand eines Anstrichs mit heller Farbe oder einer Oberflächenbeschichtung anhand sog. „cool colors“ gemindert werden (vgl. Abb. 14). „Cool colors“ reflektieren im Vergleich zu unbeschichteten Oberflächen während des Tages bis zu 60 % mehr langwellige Strahlung, weisen Oberflächentemperaturen mit einer Differenz von bis zu 6 K auf und emittieren deutlich weniger Wärme (KUTTLER 2011). Auch ein Anstrich mit thermochromen Farben kann eine flexible Lösung für Hauswände darstellen, da das Absorption- und Reflexionsvermögen der Farben je nach thermischen Gegebenheiten variiert (KUTTLER 2018).

Ferner lassen sich mikroklimatische Abkühlungseffekte für Innenräume und eine Abschwächung des Wärmein-

seleffekts mittels einer Dach- und Fassadenbegrünung erreichen (AN DER HEIDEN et al. 2019a). Diese können aufgrund des geringen Flächenbedarfs selbst in stark verdichteten Räumen eingesetzt werden. Durch die Begrünung kommt es zu einer Senkung der Oberflächentemperatur des Gebäudes (vgl. Abb. 15). Die positive Wirkung der Begrünung ist u. a. auf die Verdunstungskühlung, den geringeren Strahlungsfluss und die geringere thermische Konvektion zurückzuführen (ALEXANDRI & JONES 2008). Zur Optimierung der thermischen Einflüsse bedarf die Gebäudebegrünung allerdings einer ausreichenden Pflege.

Bei einer Dachbegrünung wird zumeist zwischen einer extensiven und intensiven Begrünung unterschieden. Eine extensive Dachbegrünung zeichnet sich durch eine geringe Substrattiefe und eine Bepflanzung durch Moose, Kräuter oder Gras aus. Eine intensive Begrünung kann Stauden oder sogar Bäume beinhalten und ist daher pflegeintensiver (DIFU 2017). Dachbegrünungen sind nicht nur auf Flachdächern möglich, sondern bei extensiver Begrünung bis zu einer Neigung von mindestens 45° und im Fall von intensiven Dachbegrünungen bis 10° (OKE et al. 2017). Eine extensive Begrünung ist daher auch bei den meisten bestehenden Gebäuden möglich.

Für die Umsetzung einer Fassadenbegrünung werden entweder Kletterkonstruktionen verwendet oder es findet eine normale Bepflanzung am Fuß des Gebäudes statt. Es kommen vorrangig Selbstklimmer (z. B. Efeu),

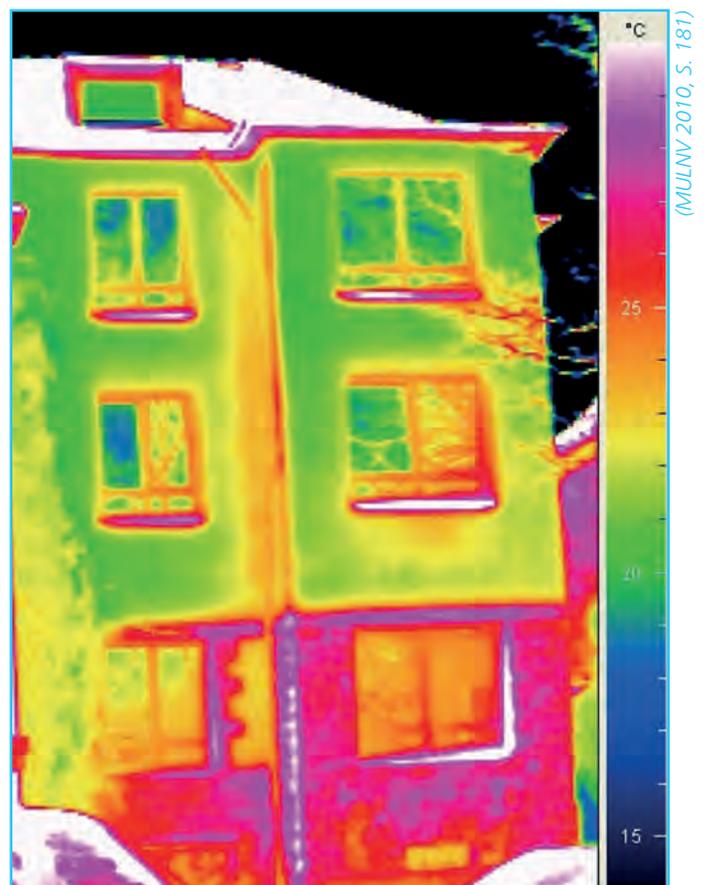


Abb. 14: Einfluss einer hellen Oberflächenfarbgebung auf die Oberflächentemperatur eines Gebäudes



Abb. 15: Einfluss einer Fassadenbegrünung auf die Oberflächentemperatur eines Gebäudes

windende Arten (z. B. Hopfen) oder rankende Arten (z. B. Brombeere) zum Einsatz. Durch die Begrünung wird die Gebäudewand außerdem verschattet und bildet eine Art „Luftpolster“, das zur Dämmung des Gebäudes beiträgt (MINISTERIUM FÜR VERKEHR UND INFRASTRUKTUR BADEN-WÜRTTEMBERG 2015). Die genaue thermische Wirkung einer Gebäudebegrünung variiert. Für einen mikroklimatischen Einfluss der Begrünung müssen laut LOZÁN et al. (2019) mindestens 10 % des Gebäudes begrünt sein. Eine größtmögliche Wirkung wird durch eine Begrünung von Dach und Gebäudefassade erreicht. Obwohl die Wirkung zumeist lokal ist, können bei einer großräumigen Umsetzung auf Quartiersebene auch Effekte mit einer größeren Reichweite erzielt werden (MULNV NRW 2010). Eine Fassadenbegrünung sorgt für eine Kühlung des ganzen Gebäudes während sich die Wirkung einer Dachbegrünung vorrangig auf das obere Geschoss beschränkt (KIRSCHBAUM et al. 2019). Zwischen speziellen Gründächern und schwarzer Dachpappe kann der Temperaturunterschied an der Oberfläche zum Sonnenhöchststand bis zu 70 K aufweisen (KUTTLER 2011).

Die Hitzeexposition kann durch unterschiedliche Verschattungsmöglichkeiten, wie Rollläden, Außenjalousien, Fensterläden, Markisen und Sonnensegel reduziert werden (AN DER HEIDEN et al. 2019a). Automatische Rollläden ermöglichen eine flexible Verschattung je nach Sonnenstand. Das Anbringen von Verschattungsmöglichkeiten sollte im Außenbereich des Gebäudes geschehen, da auf diese Weise auch der Strahlungsumsatz in den Außenbereich verlagert wird und eine effektivere Kühlung gewährleistet wird (KUTTLER 2018). Auch Photovoltaikanlagen dienen nicht nur der Energiegewinnung, sondern sorgen gleichzeitig für eine Beschattung und Kühlung des Dachgeschosses (DIFU 2017). Ferner profitieren neben dem öffentlichen Raum auch einzelne Ge-

bäude von einer Beschattung durch Bäume.

Bei einem Neubau können neben den bereits aufgeführten objektbezogenen Maßnahmen bereits im Verlauf des Planungsprozesses weitere bauliche Anpassungen integriert werden. So sollte etwa eine Ausrichtung an örtliche Kaltluftbahnen und eine gegenseitige Beschattung verschiedener Gebäude angestrebt werden. Hierfür können durch die architektonische Gestaltung die Breite und Größe der Gebäude angepasst werden und Innenhöfe geschaffen werden (STRAFF & MÜCKE 2017). Schmale Wege zwischen den Gebäuden sowie Arkaden oder überstehende

Dächer verringern die Horzonterhöhung und verbessern oftmals den thermischen Komfort im Gebäude und außerhalb des Gebäudes (OKE et al. 2017). Auf der Südseite des Gebäudes sollten Fensterflächen reduziert werden, damit weniger Strahlung eindringen kann. Bei der Planung des Grundrisses sollte insbesondere eine Sonnenexposition der Schlafzimmer vermieden und bestenfalls eine Ausrichtung zur grünen Infrastruktur berücksichtigt werden, um Raumtemperaturen zu reduzieren und eine nächtliche Erholung zu begünstigen. Eine ruhige und sichere Lage des Schlafzimmers ermöglicht das nächtliche Lüften, wohingegen Lärmbelastigung und Einbruchsfahrer Störfaktoren darstellen (MULNV NRW 2010).

Die bislang aufgezeigten objektbezogenen Maßnahmen lassen sich allesamt der passiven Kühlung zuordnen. Die passive Kühlung eines Gebäudes kann schätzungsweise zu einer Senkung der Innenraumtemperatur von mindestens 2–5 °C beitragen (WHO 2008). Neben einer passiven Kühlung kann jedoch ebenfalls eine aktive Kühlung durch eine Klimatisierung zur Steigerung des thermischen Komforts in Innenräumen führen. Nach KUTTLER (2018) können beispielsweise die Installation von Belüftungstechniken, Wärmetauschern und Raumventilatoren oder ein Einbau von Klimaanlage die Hitzebelastigung mindern. Da eine aktive Kühlung jedoch einen hohen Energieverbrauch aufweist und CO₂-Emissionen hervorruft und somit dem Klimaschutz entgegensteht, sind eine hohe Technischeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energieträger oder z. B. einer Kraft-Wärme-Kopplung sinnvoll (KUTTLER 2018). Aufgrund des hohen Anteils an vulnerablen Personen gegenüber Hitze bietet sich eine aktive Kühlung durch Klimaanlage vorrangig in Krankenhäusern sowie in Alten- und Pflegeheimen an (AN DER HEIDEN et al. 2019a).

6.3 Verhaltensbezogene Maßnahmen

Auch auf individueller Ebene können unterschiedliche Klimaanpassungsmaßnahmen bei einer Hitzewelle ergriffen werden. Verhaltensbezogene Maßnahmen beziehen sich zumeist auf einen kurzen Zeithorizont. Einige Maßnahmen sind Teil einer natürlichen und automatischen Klimaanpassung, die durch Hitzestress hervorgerufen wird. Allerdings werden nicht alle Maßnahmen selbstverständlich ergriffen. Ein geringer Umfang persönlicher Anpassungsmaßnahmen steht häufig mit einer fehlenden Wahrnehmung von hitzebedingten Gesundheitsrisiken im Zusammenhang und trägt dadurch zur gesellschaftlichen Vulnerabilität bei. Eine rechtzeitige und effektive Umsetzung von verhaltensbezogenen Anpassungsmaßnahmen setzt die Kenntnis der thermischen Belastungssituation voraus. Deshalb gehört die Beschaffung von diesbezüglichen Informationen zu den ersten Maßnahmen überhaupt.

In Deutschland wird seit 2005 ein Hitzewarnsystem durch den DWD betrieben (MATZARAKIS et al. 2020). Die Warnungen des DWD erfolgen im Zeitraum von Mai bis Ende August für den jeweiligen und nachfolgenden Tag, wenn die Schwellenwerte der Gefühlten Temperatur (GT) zur Zeit des Sonnenhöchststandes erreicht werden. Zudem fließen auch die nächtliche Belastung und eine mögliche Akklimatisierung in die Berechnung ein (MATZARAKIS 2016) (vgl. Abb. 16).

Hitzewarnungen werden bei einer starken Belastungsstufe (GT am frühen Nachmittag $> 32\text{ °C}$ für zwei Tage in Folge inkl. fehlender nächtlicher Abkühlung) und einer extremen Belastungsstufe (GT am frühen Nachmittag $> 38\text{ °C}$) veröffentlicht (DWD o. J. c).

Liegt eine Hitzewarnung vor, werden die Informationen u. a. per Website, App und Newsletter an Behörden und Ministerien, Pflegeeinrichtungen und die Öffentlichkeit weitergeleitet. Zusätzlich zu den Hitzewarnungen werden Hitzevorinformationen für einen Zeitraum von zwei bis sieben Tagen vom DWD veröffentlicht (MATZARAKIS 2016). Nach Möglichkeit sollte jede Person deshalb sicherstellen, dass sie die Hitze- und UV-Warnungen des DWD erhält. Hitzewarnsysteme und Hitzepläne ermöglichen ein schnelles und koordiniertes Vorgehen bei einer Hitzewelle und sind laut MORA et al. (2017) für die Reduktion hitzebedingter Todesfälle von großer Bedeutung.

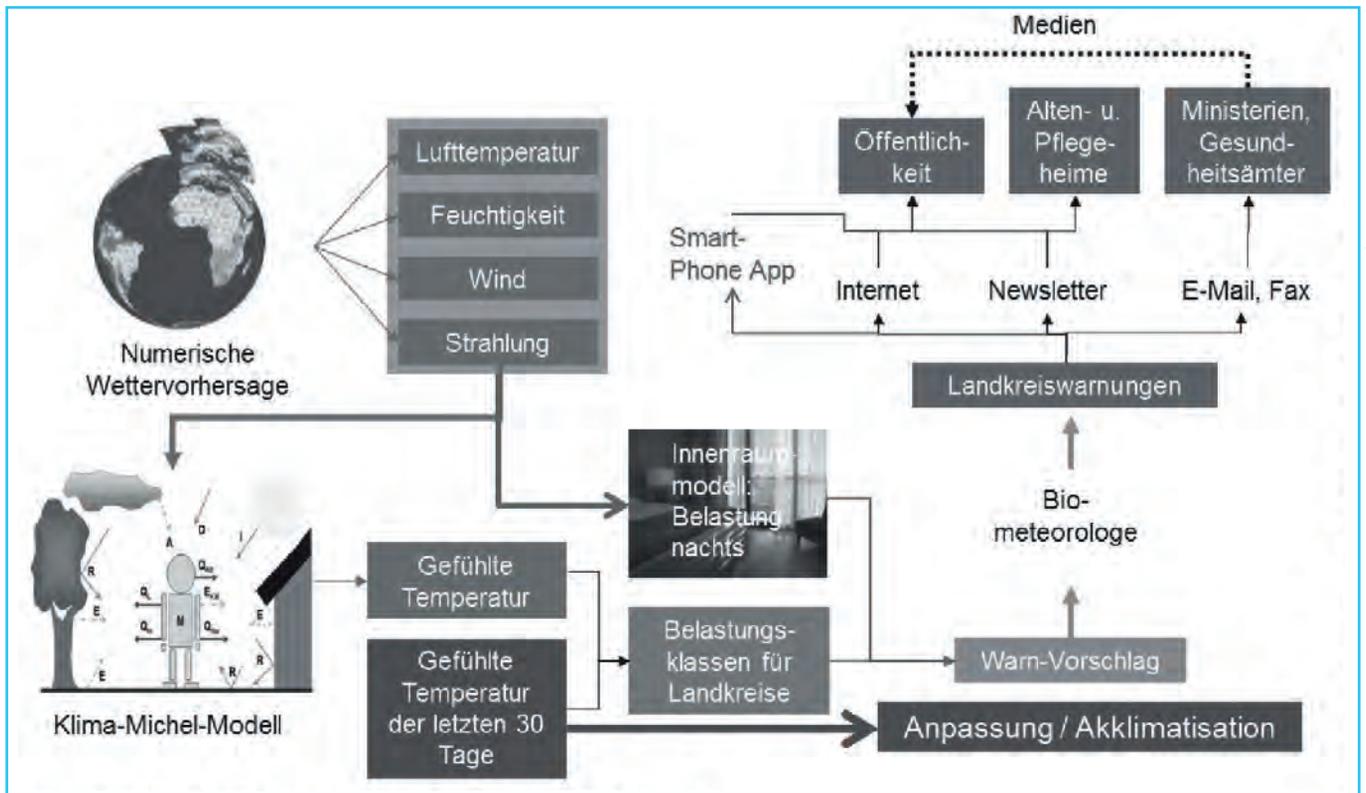
Hitzewarnungen erreichen aber oftmals besonders vulnerable Personen nicht. Deshalb ist auch bei der Informationsverbreitung eine angemessene Vorgehensweise gefragt, die sich an bestimmte Zielgruppen richtet (HENNINGER & WEBER 2020). Dies kann z. B. durch die Erstellung von Broschüren mit Informationen zu einem adäquaten Verhalten bei einer Hitzewelle erfolgen oder durch die Informationsweitergabe über Zeitschriften in Apotheken, idealerweise in mehreren Sprachen. Eine Informationsweitergabe kann darüber hinaus über Ärzte, Krankenhäuser oder Schulen sichergestellt werden (STRAFF & MÜCKE 2017). Insbesondere Hausärzte haben eine

informierende und beratende Funktion, indem sie z. B. Aufklärung über hitzebedingte Risiken betreiben (BECKER et al. 2019). Eine Hotline kann gleichermaßen zur Weitergabe von Informationen und zur Beratung vulnerabler Personen dienen. Sie ermöglicht eine schnelle Vermittlung von Hilfeleistungen bei Notfällen (WHO 2008). Ein Beispiel hierfür ist die ehrenamtliche Initiative „Hitzetelefon Sonnenschirm“ der Stadt Kassel (GREWE et al. 2013).

Bei Hitzewellen sollten bei einem Aufenthalt im Freien thermische Komfortzonen aufgesucht (Schatten, Grünflächen, urbane Wälder, Wasserflächen) und eine ungeschützte Sonnenexposition sowie stark erhitze Flächen gemieden werden (LINDEMANN et al. 2019). Der Aufenthalt in parkenden Autos ist unbedingt zeitlich zu beschränken. Insbesondere Kleinkinder und Kinder sind bei großer Hitze niemals für längere Zeit allein in einem Auto zurückzulassen (WHO 2019). Idealerweise kann eine Anpassung des Tagesablaufs angestrebt werden, damit die kühlest Zeit des Tages für körperliche Betätigung, Büroarbeiten oder Aufenthalte im Freien genutzt werden kann und die heißeste Zeit als Ruhephase (LINDEMANN et al. 2019). Vor allem Rentner und Teilzeitbeschäftigte verfügen über die nötige Flexibilität für eine solche Anpassung (KUNZ-PLAPP 2018). Wenn eine körperliche Anstrengung im Außenbereich nicht verhindert werden kann, sind regelmäßige Pausen oder Ruhephasen in einem kühleren Bereich einzulegen (DGAUM 2012).

Zur Verbesserung des thermischen Komforts in den heimischen Räumlichkeiten sollte eine Abdunkelung der Räume gegen eine direkte Sonneneinstrahlung (z. B. durch Vorhänge, Jalousien, Markisen, Sonnenschirme, Fenster- oder Rollläden) vorgenommen werden. Fenster und Türen sind während des Tages geschlossen zu halten, um einen konvektiven Wärmefluss ins Innere zu verhindern (WHO 2019). Während kühlerer Tageszeiten sollte nach Möglichkeit quergelüftet werden. Falls vorhanden, kann auch ein Aufenthalt in kühleren Zimmern des Hauses oder der Wohnung (z. B. in Kellerräumen und sonnenabgewandten Zimmern) die Hitzebelastung reduzieren. Zur Kontrolle der thermischen Situation sollte die Raumtemperatur regelmäßig an einem Thermometer abgelesen werden (LINDEMANN et al. 2019). Die Innenraumtemperatur sollte tagsüber unter 32 °C und während der Nacht unter 24 °C liegen. Wenn kein Zugang zu einem kühleren Ort besteht, kann ein Aufenthalt in einem öffentlichen klimatisierten Gebäude eine Entlastung verschaffen (WHO 2019).

Die Raumtemperatur kann außerdem durch feuchte Tücher oder einen Verdunstungskühler reduziert werden. Um den Körper unmittelbar zu kühlen und eine Überhitzung zu verhindern, bieten sich eine Abkühlung durch ein Bad, eine Dusche oder nasse Tücher auf der Haut an. Die Haut sollte daraufhin nicht abgetrocknet werden, damit eine Verdunstungskühlung ermöglicht wird (LINDEMANN et al. 2019). Vor dem Baden in einem Gewässer muss unbedingt eine Abkühlung des ggf. stark erwärmten Körpers vorgenommen werden, um eine Gefährdung durch einen Temperaturschock auszuschließen. Ein Fächer fördert hin-



(MATZARAKIS 2016, S. 458)

Abb. 16: Das Hitzewarnsystem des DWD

gegen die Regulierung der Körpertemperatur, da bereits ein leichter Luftstrom die Wärmeabgabe erleichtert. Wenn andere Maßnahmen nicht ausreichen, kann auch eine aktive Kühlung, etwa durch Ventilatoren, Abhilfe schaffen. Geräte emittieren jedoch Wärme, sodass sie zur Erwärmung eines Raumes beitragen und folgerichtig während des Tages möglichst selten betrieben werden sollten (OKE et al. 2017).

Zur persönlichen Gesundheitsvorsorge ist des Weiteren die Kühlung von Medikamenten sicherzustellen (meist unter 25 °C) und/oder die Dosierung oder Einnahme bestimmter Medikamente gemeinsam mit dem jeweiligen Arzt abzuklären (AN DER HEIDEN et al. 2019a; MSGIV 2020). Um hitzebedingte Erkrankungen frühzeitig zu identifizieren, ist die Überprüfung der Körpertemperatur bei Beschwerden sinnvoll (UBA & DWD 2008).

Angesichts des Flüssigkeitsverlustes durch die erhöhte Transpirationsrate bei Hitzewellen, gilt es, einer Dehydrierung entgegenzuwirken. Daher muss unabhängig vom Durstgefühl, das oftmals verspätet eintritt, mindestens eine Flüssigkeitsmenge von zwei Litern pro Tag aufgenommen werden (LINDEMANN et al. 2019). Bei körperlicher Arbeit ist eine Menge von ca. zwei bis vier Gläsern pro Stunde angemessen (UBA & DWD 2008). Lauwarme Getränke und Getränke mit einer Kohlenhydratkonzentration von 6–7 % können am besten vom Körper absorbiert werden (LINDEMANN et al. 2019). Stark gekühlte Getränke erfordern wiederum einen erhöhten Energieaufwand, um sie im Körper zu erwärmen und rufen teilweise Magenbeschwerden hervor (MSGIV 2020). Als Getränke bei großer Hitze bieten sich vor allem Mineralwasser, Wasser mit einer Kochsalzlösung, Kräuter- oder Früchtetee und Säfte

an. Getränke, wie Kaffee, die dem Körper Flüssigkeit entziehen oder Getränke mit viel Zucker oder Alkohol eignen sich hingegen nicht, um den Mineralverlust des Körpers und eine Dehydrierung zu kompensieren (WHO 2019). Durch die kostenlose Trinkwasserbrunnen-App „Trinkwasser unterwegs“ lassen sich Trinkgelegenheiten im öffentlichen Raum lokalisieren. Ein Trink-Protokoll kann bei der Überwachung der Flüssigkeitszufuhr helfen.

Auch die Nahrungsaufnahme sollte bei einer Hitzewelle angepasst werden: Während großer Hitze wird zu häufigeren Mahlzeiten mit kleineren Portionen und leichter, aber gut gesalzener Kost geraten (LINDEMANN et al. 2019). Früchte, Salat und Gemüse verfügen über einen hohen Wassergehalt und sind im Vergleich zu Speisen mit einem hohen Eiweißgehalt, wie Fleisch, die zur Erhöhung der Körperwärme beitragen, zu bevorzugen (UBA 2015).

Um die Thermoregulation und den Wärmefluss zwischen dem eigenen Körper und der Umwelt zu optimieren, sollte auch die Kleidungswahl angepasst werden. Helle Kleidungsstücke erhöhen die Albedo und verringern daher die Wärmeaufnahme. Weites Gewebe sowie ein lockerer Schnitt ermöglichen die Luftzirkulation auf der Haut und wirken einem Wärmestau entgegen (OKE et al. 2017). Einige Kleidungsstücke tragen zudem zum UV-Schutz bei. Für den thermischen Komfort während der Nachtruhe sollte leichte Bettwäsche verwendet werden. Im Fall einer Sonnenexposition ist zusätzlich eine Kopfbedeckung von Bedeutung, da der Kopf der größten Einstrahlung ausgesetzt ist und das Gehirn besonders vulnerabel gegenüber einer Überhitzung ist (OKE et al. 2017). Für einen adäquaten UV-Schutz unbedeckter Körperstellen sollte mindestens 20 Minuten vor einem Aufenthalt in der Sonne ein

Sonnenschutzmittel mit einem Lichtschutzfaktor von mindestens 15 aufgetragen werden (MSGIV 2020). Für den Schutz der Augen vor einer UV-Belastung empfiehlt das UBA (2009) außerdem das Tragen einer Sonnenbrille.

Da die angeführten verhaltensbezogenen Anpassungsmaßnahmen von Menschen mit bestimmten Prädispositionen nicht selbstverständlich umgesetzt werden können und oftmals Kenntnisse zu geeigneten verhaltensbezogenen Maßnahmen fehlen, umfasst eine Klimaanpassung an Hitzewellen auch die Unterstützung anderer Menschen. So können Besuche und die Aufklärung von vulnerablen Personen einer sozialen Isolation entgegenwirken sowie Risikofaktoren und Maßnahmen transparent machen (WHO 2019). Ein informelles Netzwerk zur Unterstützung älterer Menschen mit regelmäßigen persönlichen oder telefonischen Kontakten durch Nachbarn, Familienmitglieder, Bekannte oder Freunde kann beispielsweise eine große Unterstützung bei der Erledigung täglicher Aufgaben darstellen und eine Kontrollfunktion einnehmen (LINDEMANN et al. 2019). Sog. „Trinkpatenschaften“ sind z. B. eine Option, um älteren Menschen im Rahmen einer Nachbarschaftshilfe bei der regelmäßigen Aufnahme von Flüssigkeit zu helfen und für die Gefahr von Hitze zu sensibilisieren (KUNZ-PLAPP 2018). Durch eine Betreuung von älteren Menschen und Kindern kann eine übermäßige Sonnenexposition verhindert werden. Grundkenntnisse zu Erste-Hilfe-Maßnahmen können bei Symptomen hitzebedingter Erkrankungen zu einer schnellen und gezielten Behandlung beitragen. Insbesondere bei Notfällen, etwa einem Hitzschlag, variiert die Mortalität in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Identifizierung des Hitzschlags und dem Zeitpunkt erster Hilfeleistungen zwischen 10 und 80 %, sodass rasches und angemessenes Handeln von Mitmenschen eine große Hilfe sein kann (DEGAM 2020).

7. Fazit

Laut den in diesem **GeKo Aktuell** beschriebenen, von Klimatologen und Meteorologen berechneten und modellierten Prognosen, werden die Anzahl, Dauer und Intensität der Hitzetage und Hitzewellen in den kommenden Jahren in Deutschland und auch in Westfalen stetig weiter zunehmen. Damit werden die Menschen, aber auch die Tiere und Pflanzen, immer häufiger diesen oftmals unterschätzten extremen Wetterereignissen ausgesetzt sein. Daher sind besonders im städtischen Umfeld strukturelle Maßnahmen zu ergreifen. Um sich in derartigen Situationen angemessen zu verhalten und zu handeln, d. h. die Vulnerabilität gegenüber diesen Extremwetterereignissen zu erniedrigen, sind Aufklärung, Informationen und frühzeitige Warnungen unverzichtbar. Aber auch gegenseitige bürger-/nachbarschaftliche Hilfe und Unterstützung können wesentlich dazu beitragen, insbesondere gefährdete Menschen vor gesundheitlichen Risiken und Gefahren bei Hitzetagen und Hitzewellen zu bewahren. Eine Anpassung an die zunehmenden Hitzetage und Hitzewellen ist eine Aufgabe, die insbesondere in den Sommermonaten ein fester Bestandteil des täglichen Handelns werden muss.

Literatur

- ABRAHAMSON, V.; WOLF, J.; LORENZONI, I.; BRIDGET, F.; KOVATS, S.; WILKINSON, P.; ADGER, N.; RAINE, R. (2008): Perceptions of heatwave risks to health: interview-based study of older people in London and Norwich, UK. In: *Journal of Public Health* 31 (1): 119–126.
- ALEXANDRI, E.; JONES, P. (2008): Temperature Decreases in an Urban Canyon Due to Green Walls and Greenroofs in Diverse Climates. In: *Building and Environment* 43 (4): 480–493.
- AN DER HEIDEN, M.; BUCHHOLZ, U.; UPHOFF, H. (2019a): Schätzung der Zahl hitzebedingter Sterbefälle und Betrachtung der Exzess-Mortalität; Berlin und Hessen, Sommer 2018. In: ROBERT KOCH-INSTITUT (Hg.): *Epidemiologisches Bulletin* 23: 193–202.
- AN DER HEIDEN, M.; MUTERS, S.; NIEMANN, H.; BUCHHOLZ, U.; GRABENHENRICH, L.; MATZARAKIS, A. (2019b): Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. In: *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 62 (5): 571–579.
- ARMSTRONG, B.; BELL, M. B.; DE SOUSA ZANOTTI STAGLIORIO COELHO, M.; GUO, Y.-L. L.; GUO, Y.; GOODMAN, P.; HASHIZUME, M.; HONDA, Y.; KIM, H.; LAVIGNE, E.; MICHELOZZI, P.; SALDIVA, P. H. N.; SCHWARTZ, J.; SCORTICHINI, M.; SERA, F.; TOBIAS, A.; TONG, S.; WU, C.; ZANOBETTI, A.; ZEKA, A.; GASPARRINI, A. (2017): Longer-Term Impact of High and Low Temperature on Mortality: An International Study to Clarify Length of Mortality Displacement. In: *Environmental Health Perspectives* 508 (10): 1–8.
- AUGUSTIN, J.; SAUERBORN, R.; BURKART, K.; ENDLICHER, W.; JOCHNER, S.; KOPPE, C.; MENZEL, A.; MÜCKE, H.G.; HERMANN, A. (2017): Gesundheit. In: BRASSEUR, G.; JACOB, D.; SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hg.): *Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Heidelberg: 137–150.
- BASSIL, K.; COLE, D. C.; SMOYER-TOMIC, K.; CALLAGHAN, M. (2007): What is the Evidence on Applicability and Effectiveness of Public Health Interventions in Reducing Morbidity and Mortality during Heat Episodes? A Review for the National Collaborating Centre for Environmental Health. o. O. https://www.nccch.ca/sites/default/files/Heat_Interventions_Apr_2007_0.pdf [06.01.21].
- BAUMÜLLER, N. (2019): Planungsrechtliche Instrumente zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen. In: LOZÁN, J. L.; BRECKLE, S.-W.; GRASSL, H.; KUTTLER, W.; MATZARAKIS, A. (Hg.): *Warnsignal Klima: Die Städte*. Hamburg: 196–202.
- BECKER, C.; HERRMANN, A.; HAEFELI, W. E.; RAPP, K.; LINDEMANN, U. (2019): Neue Wege zur Prävention gesundheitlicher Risiken und der Übersterblichkeit von älteren Menschen bei extremer Hitze. In: *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 62 (5): 565–570.
- BLÜHER, S.; KUHLMHEY, A. (2016): Demographischer Wandel, Altern und Gesundheit. In: RICHTER, M.; HURRELMANN, K. (Hg.): *Soziologie von Gesundheit und Krankheit*. Wiesbaden: 313–324.
- BORCHERS, P.; LOOKS, P.; REINFRIED, F.; OERTEL, H.; KUGLER, J. (2020): Subjektive Hitzebelastung in einzelnen Fokusgebieten Dresdens. Eine Untersuchung klimatischer, stadtstruktureller und sozialer Merkmale zur Ermittlung von Risikogebieten und Risikogruppen. In: *Prävention und Gesundheitsförderung* 15 (3): 303–309.
- BOUCHAMA A.; KNOCHEL, J. P. (2002): Heat stroke. In: *New England Journal of Medicine*. 346 (25): 1978–1988.
- BUDD, G. M. (2008): Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) – Its History and Its Limitations. In: *Journal of Science and Medicine in Sport* 11: 20–32.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU) (Hg.) (2017): *Klimabedingte Risiken und Chancen. Eine schweizerische Synthese*. Bern.
- BUNZ, M.; MÜCKE, H.-G. (2017): Klimawandel – physische und psychische Folgen. In: *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 60 (6): 632–639.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ALLGEMEINMEDIZIN UND FAMILIENMEDIZIN (DEGAM) (Hg.) (2020): *Hitzebedingte Gesundheitsstörungen in der hausärztlichen Praxis*. DEGAM S1- Handlungsempfehlung. https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/053-052L_S1_Hitzebedingte-Gesundheitsstoerungen-Hausarztpraxis_2020-09.pdf [22.10.20].
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ARBEITSMEDIZIN UND UMWELTMEDIZIN (DGAUM) (Hg.) (2012): *Arbeit unter klimatischer Belastung: Hitze*. https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-039L_S1-Arbeit_unter_klimatischer_Belastung_Hitze_2012-07-abgelaufen.pdf [26.10.20].
- DEUTSCHER STÄDTETAG (DST) (HG.) (2019): *Anpassung an den Klimawandel in den Städten. Forderungen, Hinweise und Anregungen*. Berlin & Köln.

- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2017): Markante Hitzewellen seit 1950. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/170619/markante_hitzewellen.html [26.03.2021].
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (o. J. a): Climate Data Center. <https://cdc.dwd.de/portal/202102121428/mapview> [26.03.2021].
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (o. J. b): Erläuterungen zur Gefühlten Temperatur. <https://www.dwd.de/DE/leistungen/gefahrenindizes/thermisch/gefuehltetemp.html> [26.03.2021].
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (o. J. c): Hitzewarnung. <https://www.dwd.de/DE/leistungen/hitzewarnung/hitzewarnung.html> [26.03.2021].
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (o. J. d): Hitzewelle. Wetterlexikon. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101094&lv3=624852> [26.03.2021].
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2020a): DWD-Stationen Duisburg-Baerl und Tönisvorst jetzt Spitzenreiter mit 41,2 Grad Celsius. https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2020/20201217_annulierung_lingen_news.html [26.03.2021].
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2020b): Hitze- und Kältewellen – Lange Zeitreihen. https://www.dwd.de/DE/leistungen/rcccm/int/rcccm_int_hwkltr.html [26.03.2021].
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2021): Klimastatusbericht Deutschland Jahr 2020. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt. www.dwd.de/DE/derdwd/bibliothek/fachpublikationen/selbstverlag/selbstverlag_node.html, <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/klimastatusbericht.htm> [26.03.2021].
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR URBANISTIK (DIFU) (Hg.) (2017): Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen. Mehr Sicherheit und Wohnqualität bei Neubau und Sanierung. Köln.
- DEUTSCHLÄNDER, T.; MÄCHTEL, H. (2017): Temperatur inklusive Hitzewellen. In: BRASSEUR, G.; JACOB, D.; SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Heidelberg: 47–56.
- FALKE, M.; OTTO, K.-H. (2020): Luftbelastung in Westfalen. Feinstaub, Stickoxide und Ozon. In: GeKo Aktuell 1: 3–19.
- GABRIEL, K. M. A.; ENDLICHER, W. R. (2011): Urban and Rural Mortality Rates During Heat Waves in Berlin and Brandenburg, Germany. In: Environmental Pollution 159: 2044–2050.
- GEOGRAPHISCHE KOMMISSION FÜR WESTFALEN (Geko) 2020: Höhengschichtenkarte Westfalen. https://www.geographische-kommission.lwl.org/media/filer_public/da/98/da984897-a101-4405-8054-3027725f1f1d/07hoehengschichten.png
- GEOGRAPHISCHES INSTITUT DER RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM (Hg.) (2019): Rekordmonate Juni und Juli 2019. Auch in Bochum mehr Sonne und Wärme als je zuvor. <https://www.geographie.ruhr-uni-bochum.de/news/details/article/rekordmonate-juni-und-juli-2019/> [11.05.2021].
- GREWE, H. A.; HECKENHAHN, M.; BLÄTTNER, B. (2013): Hitzewellen und kommunaler Gesundheitsschutz. In: ROSSNAGEL, A. (Hg.): Regionale Klimaanpassung. Herausforderungen – Lösungen – Hemmnisse – Umsetzungen am Beispiel Nordhessens. Kassel: 297–322.
- GROSSMANN, K.; FRANCK, U.; HEYDE, M.; SCHLINK, U.; SCHWARZ, N.; STARK, K. (2017): Sozialräumliche Aspekte der Anpassung an Hitze in Städten. In: MARX, A. (Hg.): Klimaanpassung in Forschung und Politik. Wiesbaden: 200–215.
- HAUCK, M.; LEUSCHNER, C.; HOMEIER, J. (2019): Klimawandel und Vegetation – Eine globale Übersicht. Berlin.
- HAWKINS, E. (2020): Warming Stripes for All of Germany from 1881–2019. <https://showyourstripes.info/> [26.03.2021].
- HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT REGIONALER KLIMAATLAS DEUTSCHLAND (2021a): Regionaler Klimaatlas Deutschland. Heiße Tage. Nordrhein-Westfalen. <https://regionaler-klimaatlas.de/klimaatlas/2071-2100/jahr/heisse-tage/nrw/mittlereanderung.html> [26.03.2021].
- HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT REGIONALER KLIMAATLAS DEUTSCHLAND (2021b): Regionaler Klimaatlas Deutschland. Tropische Nächte. Nordrhein-Westfalen. <https://regionaler-klimaatlas.de/klimaatlas/2071-2100/jahr/tropische-nachte/nrw/mittlereanderung.html> [26.03.2021].
- HENNINGER, S.; WEBER, S. (2020): Stadtklima. Paderborn.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (Hg.) (2013/2014): Klimaänderung 2013/2014. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Beiträge der Arbeitsgruppen I, II und III zum fünften Sachstandsbericht des zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Bonn, Wien & Bern.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (Hg.) (2018): 1,5 °C globale Erwärmung. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Ein IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die da-
- mit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut. Genf. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/07/SR1.5-SPM_de_barrierefrei.pdf [26.03.2021].
- KASPAR, F.; FRIEDRICH, K. (2020): Rückblick auf die Temperatur in Deutschland im Jahr 2019 und die langfristige Entwicklung. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20200102_bericht_jahr2019.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [26.03.2021].
- KASPAR, F.; MÄCHEL, H. (2017): Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. In: BRASSEUR, G.; JACOB, D.; SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Heidelberg: 17–26.
- KIRSCHBAUM, B.; SIEKER, H.; STEYER, R.; BÜTER, B.; LESSMANN, D.; VON TILS, R.; BECKER, C.; HÜBNER, S. (2019): Maßnahmen zur Hitzestress-Reduzierung anhand Verdunstungsabkühlung. In: LOZÁN, J. L.; BRECKLE, S.-W.; GRASSL, H.; KUTTLER, W.; MATZARAKIS, A. (Hg.): Warnsignal Klima: Die Städte. Hamburg: 227–232.
- KOCH, J. (2016): Thermoregulation des Menschen. In: LEONHARDT, S.; WALTER, M. (Hg.): Medizintechnische Systeme. Physiologische Grundlagen, Gerätetechnik und automatisierte Therapieführung. Heidelberg: 283–318.
- KOPPE, C.; JENDRITZKY, G. (2014): Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität. In: LOZÁN, J. L.; GRASSL, H.; JENDRITZKY, G.; KARBE, L.; REISE, K. (Hg.): Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken – Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Aufl., Hamburg: 1–7.
- KOPPE, C.; JENDRITZKY, G.; PFAFF, G. (2003): Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. In: DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (Hg.): Klimastatusbericht 2003. Offenbach: 152–162.
- KRELLBERG, K. (2017): Urbane Herausforderungen der Anpassung an den Klimawandel. In: MARX, A. (Hg.): Klimaanpassung in Forschung und Politik. Wiesbaden: 190–198.
- KRUG, A.; MÜCKE, H.-G. (2018): Auswertung Hitzebezogener Indikatoren als Orientierung der gesundheitlichen Belastung. In: Umwelt und Mensch – Informationsdienst 2: 67–79.
- KUNZ-PLAPP, T. (2018): Hitzewellen – Bewältigung und Anpassung an ein unterschätztes Risiko. In: Geographische Rundschau 70 (7/8): 20–24.
- KUTTLER, W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. In: Environmental Sciences Europe 23 (21): 1–15.
- KUTTLER, W. (2013): Klimatologie. 2., aktualisierte und ergänzte Aufl., Paderborn.
- KUTTLER, W. (2018): Hitzewellen in großen Städten: Folgen für die Gesundheit und Gegenmaßnahmen. In: LOZÁN, J. L.; BRECKLE, S.-W.; KASANG, D.; WEISSE, R. (Hg.): Warnsignal Klima: Extremereignisse. Wissenschaftliche Auswertungen. Hamburg: 76–82.
- LAND NORDRHEIN-WESTFALEN – STAATSKANZLEI DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (HG.) (2021): Klimaschutzgesetz und Klimaanpassungsgesetz im Kabinett verabschiedet. <https://www.land.nrw/de/pressemitteilung/klimaschutzgesetz-und-klimaanpassungsgesetz-im-kabinett-verabschiedet> [07.04.2021].
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV) (Hg.) (2019): Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen. Hitzebelastung der Bevölkerung. 3. aktualisierte Aufl., Recklinghausen (= LANUV-Info 41).
- LINDEMANN, U.; BECKER, C.; ROIGK, P. (2019): Alter und Hitze. Tipps für ältere Menschen. Broschüre. Stuttgart.
- LOZÁN, J. L.; BRECKLE, S.-W.; GRASSL, H.; KASANG, D. (2018): Klimawandel und Wetterextreme: Ein Überblick. In: LOZÁN, J. L.; BRECKLE, S.-W.; KASANG, D.; WEISSE, R. (Hg.): Warnsignal Klima: Extremereignisse. Wissenschaftliche Auswertungen. Hamburg: 11–20.
- MATZARAKIS, A. (2016): Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und seine Relevanz für die menschliche Gesundheit. In: Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft 76 (11/12): 457–460.
- MATZARAKIS, A.; MÜLLERS, S.; GRAW, K. (2020): Thermische Belastung von Bewohnern in Städten bei Hitzewellen am Beispiel von Freiburg (Breisgau). In: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 63 (8): 1004–1012.
- MINISTERIUM FÜR SOZIALES, GESUNDHEIT, INTEGRATION UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES BRANDENBURG (MSGIV) (2020): Informationen zu Hitze, Sonne und UV-Strahlung. <https://msgiv.brandenburg.de/msgiv/de/themen/gesundheit/umweltbezogenesgesundheitsschutz/hitze%2C-sonne-und-uv-strahlung/> [26.03.2021].
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (HG.) (2010): Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Langfassung. Düsseldorf.

- MINISTERIUM FÜR VERKEHR UND INFRASTRUKTUR BADEN-WÜRTTEMBERG (Hg.) (2015): Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung. 2., aktualisierte Aufl., Stuttgart.
- MORA, C.; DOUSSET, B.; CALDWELL, I. R.; POWELL, F. E.; GERONIMO, R. C.; BIELECKI, C. R.; COUNSELL, C. W. W.; DIETRICH, B. S.; JOHNSON, E. T.; LOUIS, L. V.; LUCAS, M. P.; MCKENZIE, M. M.; SHEA, A. G.; TSENG, H.; GIAMBELLUCA, T. W.; LEON, L. R.; HAWKINS, E.; TRAUERNICHT, C. (2017): Global Risk Of Deadly Heat. In: *Nature Climate Change* 7: 501–506.
- NEUHAUSER, H.; KUHNERT, R.; BORN, S. (2017): 12-Monats-Prävalenz von Bluthochdruck in Deutschland. In: *Journal of Health Monitoring* 2 (1): 57–63.
- OKE, T. R. (1987): *Boundary Layer Climates*. 2. Aufl., London.
- OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. (2017): *Urban Climate*. New York.
- PERKINS, S. (2015): A Review on the Scientific Understanding of Heat-waves – Their Measurement, Driving Mechanisms, and Changes at the Global Scale. In: *Atmospheric Research* 164–165: 242–267.
- ROBERT KOCH INSTITUT (RKI) (Hg.) (2010): *Klimawandel und Gesundheit. Ein Sachstandsbericht*. Berlin.
- SCHMID, M. (2020): Tropennacht in Deutschland. https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2020/7/28.html [26.03.2021].
- SHERWOOD, S. C.; HUBER, M. (2010): An Adaptability Limit to Climate Change Due to Heat Stress. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (21): 9552–9555.
- SILLMANN, J.; RUSSO, S. (2018): Erwärmung und Hitzewellen. In: LOZÁN, J. L.; GRASSL, H.; HUPFER, P.; KARBE, L.; SCHÖNWIESE, C.-D. (Hg.): *WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle?* 3. Aufl., Hamburg: 69–75.
- SHELLNHUBER, H.-J. (2008): „Wir brauchen eine Dritte Industrielle Revolution“. <https://germanwatch.org/de/1146> [03.05.2021].
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2019): Klimawandel kompakt. Ein globales Problem wissenschaftlich erklärt. Stuttgart.
- SCHÖNWIESE, C.-D.; STAEGER, T.; TRÖMEL, S.; JONAS, M. (2003): Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland. In: *DEUTSCHER WETTERDIENST* (Hg.): *Klimastatusbericht 2003*. Offenbach: 123–132.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (StBA) (Hg.) (2019a): Bevölkerung nach Altersgruppen (ab 1950). <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/listealtersgruppen.html> [26.03.2021].
- STATISTISCHES BUNDESAMT (StBa) (Hg.) (2019b): *Statistisches Jahrbuch 2019. Deutschland und Internationales*. Zwickau.
- STRAFF, W.; MÜCKE, H.-G. (2017): Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. In: *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 60 (6): 662–672.
- TANEN, D. (2017): Hitzekrankheit im Überblick. MSD Manual. Ausgabe für medizinische Fachkreise. <https://www.msmanuals.com/de-de/profi/verletzungen,-vergiftungen/hitzekrankheit/hitzekrankheitim-%3BCberblick> [26.03.2021].
- TINZ, B.; FREYDANK, E.; HUPFER, P. (2014): Hitzeepisoden in Deutschland im 20. und 21. Jahrhundert. In: LOZÁN, J. L.; GRASSL, H.; JENDRITZKY, G.; KARBE, L.; REISE, K. (Hg.): *Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken - Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Aufl., Hamburg: 1–10.
- TOMASITS, J.; HABER, P. (2011): *Leistungsphysiologie. Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und Masseure*. 4., neu bearbeitete Aufl., Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hg.) (2009): *Gesundheitliche Anpassung an den Klimawandel*. Dessau-Roßlau.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hg.) (2012): *Hitze in der Stadt. Eine kommunale Gemeinschaftsaufgabe*. Dessau-Roßlau.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hg.) (2015): *Der Hitzeknigge. Über das richtige Verhalten bei Hitze*. Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/364/dokumente/schattenspende_der_hitzeknigge.pdf [16.10.20].
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hg.) (O. J.): *Glossar*. <https://www.umweltbundesamt.de/service/glossar> [26.03.2021].
- UMWELTBUNDESAMT (UBA); DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (Hg.) (2008): *Klimawandel und Gesundheit. Informationen zu gesundheitlichen Auswirkungen sommerlicher Hitze und Hitzewellen und Tipps zum vorbeugenden Gesundheitsschutz*. Dessau-Roßlau & Offenbach am Main.
- VON KALCKREUTH, V.; MÖCKEL, M. (2020): Hitzebedingte Erkrankungen. In: SUTTORP, N.; MÖCKEL, M.; SIEGMUND, B.; DIETEL, M. (Hg.): *Harrisons Innere Medizin*. 20. Aufl., Berlin: 4145–4149.
- VON WICHERT, P. (2014): Hitzewellen und thermophysiologische Effekte bei geschwächten bzw. vorgeschädigten Personen. In: LOZÁN, J. L.; GRASSL, H.; JENDRITZKY, G.; KARBE, L.; REISE, K. (Hg.): *WARNSIGNAL KLIMA. Gesundheitsrisiken. Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Aufl., Hamburg: 1–6.
- WATTS, N.; AMANN, M.; ARNELL, N.; AYEB-KARLSSON, S.; BEAGLEY, J.; BELESOVA, K.; BOYKOFF, M.; BYASS, P.; CAI, W.; CAMPBELL-LENDRUM, D.; CAPSTICK, S.; CHAMBERS, J.; COLEMAN, S.; DALIN, C.; DALY, M.; DASANDI, N.; DASGUPTA, S.; DAVIES, M.; DI NAPOLI, C.; DOMINGUEZ-SALAS, P.; DRUMMOND, P.; DUBROW, R.; EBI, K. L.; ECKELMAN, M.; EKINS, P.; ESCOBAR, L. E.; GEORGESON, L.; GOLDER, S.; GRACE, D.; GRAHAM, H.; HAGGAR, P.; HAMILTON, I.; HARTINGER, S.; HESS, J.; HSU, S.-C.; HUGHES, N.; MIKHAYLOV, S. J.; JIMENEZ, M. P.; KELMAN, I.; KENNARD, H.; KIESEWETTER, G.; KINNEY, P. L.; KJELLSTROM, T.; KNIVETON, D.; LAMPARD, P.; LEMKE, B.; LIU, Y.; LIU, Z.; LOTT, M.; LOWE, R.; MARTINEZ-URTAZA, J.; MASLIN, M.; MCALLISTER, L.; MCGUSHIN, A.; MCMICHAEL, C.; MILNER, J.; MORADILAKEH, M.; MORRISSEY, M.; MUNZERT, S.; MURRAY, K. A.; NEVILLE, T.; NILSSON, M.; SEWE, M. O.; ORESZCZYN, T.; OTTO, M.; OWFI, F.; PEARMAN, O.; PENCHEON, D.; QUINN, R.; RABBANIHA, M.; ROBINSON, E.; ROCKLÖV, J.; ROMANELLO, M.; SEMENZA, J. C.; SHERMAN, J.; SHI, L.; SPRINGMANN, M.; TABATABAEI, M.; TAYLOR, J.; TRIÑANES, J.; SHUMAKE-GUILLEMOT, J.; VU, B.; WILKINSON, P.; WINNING, M.; GONG, P.; MONTGOMERY, H.; COSTELLO, A. (2020): The 2020 Report of The Lancet Countdown on Health and Climate Change: Responding to Converging Crises. <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2820%2932290-X> [26.03.2021].
- WELTBANK (HG.) (2020): *World Development Indicators*. <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators> [26.03.2021].
- WOLF, J.; ADGER, W. N.; LORENZONI, I.; ABRAHAMSON, V.; RAINE, R. (2010): Social Capital, Individual Responses to Heat Waves and Climate Change Adaptation: An Empirical Study of Two UK Cities. In: *Global Environmental Change* 20: 44–52.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (Hg.) (2008): *Heat-Health Action Plans*. Kopenhagen.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (Hg.) (2019): *Gesundheitshinweise zur Prävention hitze-bedingter Gesundheitsschäden. Neue und aktualisierte Aufl.*, Kopenhagen.
- YU, W.; MENGERSEN, K.; WANG, X.; YE, X.; GUO, X.; P, X.; TONG, S. (2012): Daily Average Temperature and Mortality Among the Elderly: A Meta-Analysis and Systematic Review of Epidemiological Evidence. In: *International Journal of Biometeorology* 56: 569–581.
- ZACHARIAS, S. (2012): *Literaturstudie zum Einfluss des Wetters auf die menschliche Gesundheit*. Freiburg.
- ZACHARIAS, S.; KOPPE, C.; MÜCKE, H.-G. (2015): Climate Change Effects on Heat Waves and Future Heat Wave-Associated IHD Mortality in Germany. In: *Climate* 3: 100–117.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen der Geographischen Kommission für Westfalen stehen die Region Westfalen und ihre Teilregionen mit ihren typischen oder auch individuellen Eigenschaften, ihrer natur- und kulturräumlichen Vielfalt. Forschungsschwerpunkte sind Landesnatur, Ökologie und Umweltschutz, regenerative Energien, Siedlung, Kultur, Wirtschaft, Verkehr und Tourismus.

www.geographische-kommission.lwl.org
www.facebook.com/geographische.kommission
www.westfalen-regional.de
www.webgis-westfalen.de
www.instagram.com/lebeninwestfalen

GeKo Aktuell

Herausgeber: Geographische Kommission für Westfalen
 Landschaftsverband Westfalen-Lippe (LWL)
 ISSN 1869-4861