

Klimawandel und Gesundheit

*Jobst Augustin, Katrin Burkart, Wilfried Endlicher,
Alina Herrmann, Susanne Jochner-Oette, Christina Koppe,
Annette Menzel, Hans-Guido Mücke und Rainer Sauerborn*

Inhaltsverzeichnis

14.1 Überblick – 172

14.2 Direkte Auswirkungen – 172

14.2.1 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch thermische Belastung – 172

14.2.2 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch UV-Strahlung – 175

14.2.3 Extremwetterereignisse und Gesundheit – 176

14.3 Indirekte Auswirkungen – 176

14.3.1 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffe – 176

14.3.2 Pollenflug und Allergien – 179

14.3.3 Infektionserkrankungen – 180

14.4 Synergien von Klima- und Gesundheitsschutz – 182

14.5 Kurz gesagt – 184

Literatur – 184

Bereits im Jahr 2009 hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO 2009) den Klimawandel als bedeutende und weiterhin zunehmende Bedrohung für die Gesundheit eingestuft, obwohl multikausale Zusammenhänge konkrete Aussagen und Prognosen zu den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels erschweren. Der Weltklimarat weist im aktuellen Sechsten Sachstandsbericht (IPCC 2022) erneut darauf hin, dass klimatische Veränderungen in zunehmendem Maße zu einer wachsenden Zahl negativer Gesundheitsfolgen (einschließlich übertragbarer und nicht übertragbarer Krankheiten) führen. Der *Lancet Countdown 2020* (Watts et al. 2020), eine internationale Kooperation zum globalen Monitoring der Folgen des Klimawandels für die Gesundheit, weist in seinem aktuellen Report auch nochmals eindringlich auf die negativen Folgen klimatischer Veränderungen für die Gesundheit hin. Es wird zudem verdeutlicht, dass bisherige Veränderungen bereits zu erheblichen Verschiebungen der sozialen und ökologischen Determinanten von Gesundheit geführt haben und sich dieser Trend noch fortsetzen wird. In diesem Kapitel betrachten wir die direkten und indirekten gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland und die jeweils spezifischen Anpassungsmaßnahmen.

14.1 Überblick

Die multikausalen Zusammenhänge erschweren konkrete Aussagen und Prognosen zu den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels. Trotzdem kann ein Einfluss klimatischer Veränderungen auf die Gesundheit der Menschen in Deutschland als sehr wahrscheinlich angesehen werden. Gefährdet sind dabei insbesondere vulnerable Gruppen wie Kinder oder ältere Menschen. Um die Folgen klimatischer Veränderungen auf die Gesundheit zu minimieren, sind Maßnahmen zur Klimawandelanpassung und -vermeidung notwendig. Dabei gibt es spezifische Anpassungsmaßnahmen, z. B. im Bereich der Prävention von Hitzetoten oder UV-Schäden. Darüber hinaus führt die Stärkung von Gesundheitssystemen im Allgemeinen zu einer höheren Widerstandskraft von Gesellschaften gegenüber klimabedingten Gesundheitsrisiken. Bemerkenswert ist, dass Maßnahmen der Klima- und Gesundheitspolitik auch synergistisch wirken können, so etwa die Förderung von aktivem Transport (z. B. Fahrradfahren). Solche Maßnahmen können nur in einer intersektoralen Zusammenarbeit entwickelt und evaluiert werden.

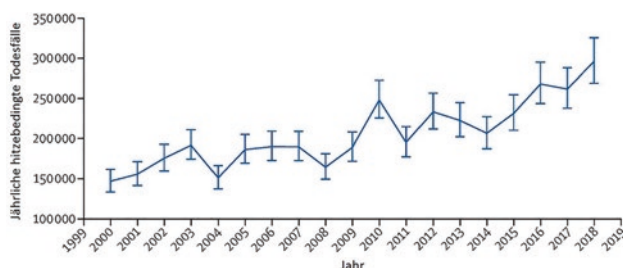
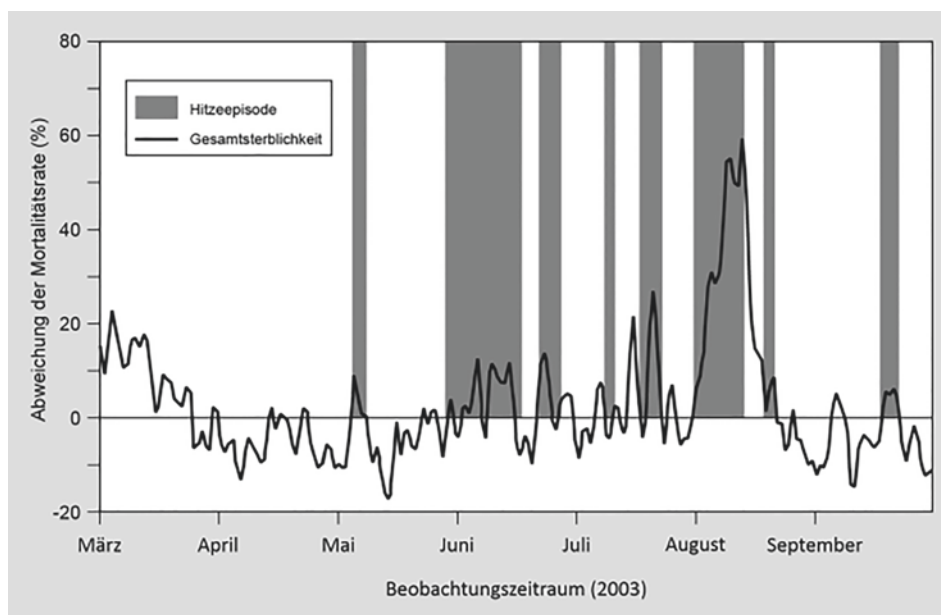
14.2 Direkte Auswirkungen

14.2.1 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch thermische Belastung

Die Häufigkeit von Hitzewellen, mehrtägigen Perioden mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung (► Kap. 6), hat in den vergangenen Jahren in Deutschland zugenommen, wie entsprechende Episoden in den Jahren 1994, 2003, 2006, 2010, 2015, 2018 und 2019 belegen (Coumou und Robinson 2013; Schär und Jendritzky 2004; Seneviratne et al. 2014). Auch künftig muss mit einer Zunahme an Hitzetagen und Hitzewellen gerechnet werden (IPCC 2012, 2013), möglicherweise mit einer Vervierfachung schon bis 2040 (Rahmstorf und Coumou 2011; Coumou und Robinson 2013). Bei Hitzewellen kommt es zu einer erhöhten Krankheitslast (Michelozzi et al. 2009; Scherber et al. 2013a, b) sowie zu gesteigerten Sterberaten (Koppe et al. 2004). Während der dreiwöchigen Hitzewelle im Sommer 1994 verstarben im überwiegend ländlich geprägten Brandenburg 10 bis 50 %, in einigen Bezirken Berlins sogar 50 bis 70 % mehr Menschen als in dieser Jahreszeit sonst üblich (Gabriel und Endlicher 2011). 2003 verstarben während der sommerlichen Hitzewellen in zwölf europäischen Ländern schätzungsweise 70.000 Menschen zusätzlich, was als eine der größten europäischen „Naturkatastrophen“ anzusehen wäre (Robine et al. 2008). Der Nachweis einer hitzebedingten Übersterblichkeit wurde während dieser Hitzewelle für Baden-Württemberg erbracht (■ Abb. 14.1). Wenn auch von 2005, sind die Aussagen dieser grundsätzlichen Arbeit weiterhin aktuell.

Erhöhte Sterblichkeitsraten während Wetterlagen mit extrem hohen Temperaturen können aber auch für ganz Deutschland nachgewiesen werden (Koppe 2005; Heudorf und Meyer 2005; Schneider et al. 2009). Nach dem Robert Koch-Institut dürften sich die hitzebedingten Todesfälle in Deutschland in den Sommern 2003 auf 7600, 2006 auf 6200 und 2015 auf 6100 Fälle belaufen haben (an der Heiden et al. 2020). Im Sommer 2018 starben allein in Berlin etwa 490 Menschen zusätzlich aufgrund der Hitzeeinwirkung, in Hessen wurden die hitzebedingten Todesfälle dieses Sommers auf ca. 740 geschätzt. In den besonders gefährdeten Altersgruppen der 75- bis 84-Jährigen betrug die hitzebedingte Mortalität etwa 60/100.000 und bei den über 84-Jährigen etwa 300/100.000 Einwohner (an der Heiden et al. 2020). In einer im Fachjournal „*The Lancet*“ veröffentlichten Modellierung schätzen die Autoren die Anzahl der Hitzetoten über 65 Jahren im Jahr 2018 allein in Deutschland auf rund 20.200 noch vor den USA mit knapp 19.000! Als Gründe werden sowohl die Zu-

■ **Abb. 14.1** Hitzewellen im Jahr 2003 in Baden-Württemberg (grau) und Abweichungen der täglichen Mortalitätsraten zwischen März und September vom Erwartungswert in %; die Vorverlegung des Sterbezeitpunkts – und der sich daran anschließende leichte Rückgang der Sterblichkeit – wird als *harvesting effect* bezeichnet. (Koppe und Jendritzky 2005)



■ **Abb. 14.2** Globale Zunahme der jährlichen hitzebedingten Mortalität in den letzten 20 Jahren bei Menschen über 65 Jahren (Watts et al. 2020, verändert); die senkrechten Balken beschreiben die Bandbreite der Hitzebelastungs-Reaktions-Beziehung.

nahme der Hitzetage infolge des Klimawandels als auch die alternde Bevölkerung genannt. Nur in den weltweit bevölkerungsreichsten Ländern China und Indien sollen die Zahlen noch höher gelegen haben. Zu erwähnen ist, dass die Zahlen methodisch auf einem globalen Modellierungsansatz basieren und auf die nationale Ebene heruntergebrochen wurden.

Die Zunahme der hitzebedingten Mortalität ist ein weltweites Phänomen. In den vergangenen 20 Jahren ist die mit Hitze verbundene Mortalität bei Menschen über 65 Jahren um 53,7 % gestiegen, wobei Europa besonders betroffen ist (■ Abb. 14.2). Diese Größenordnung hat auch Auswirkungen auf die Wirtschaftsleistung. In Europa entsprachen 2018 die mortalitätsbedingten monetären Kosten der hitzebedingten Sterblichkeit ca. 1,2 % des europäischen Bruttoinlandsprodukts (Watts et al. 2020).

Aber nicht nur die Sterblichkeit ist erhöht, auch die Aufnahme von Patienten mit Erkrankungen des Herz-Kreislauf- und Atmungssystems in Kliniken ist gesteigert, wie Scherber (2014) an Morbiditätsanalysen während Hitzewellen in den Jahren 1994 bis 2010 in Berlin nachweisen konnte. In Frankfurt am Main konnte eine Steigerung der Morbidität 2014 bis 2018 etwa durch die Zunahme der Rettungsdiensteinsätze wegen hitzeassoziierten Erkrankungen um +198 % festgestellt werden (Steul et al. 2019).

Die thermischen Umweltbedingungen werden allerdings nicht nur durch die Temperatur der Umgebungsluft, sondern auch durch Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Strahlungsverhältnisse gesteuert. Entsprechende Daten werden in thermischen Indizes berücksichtigt und in Modellen, z. B. vom Deutschen Wetterdienst (Gefühlte Temperatur; GT) oder international (Universal Thermal Climate Index; UTCI), verwendet (Jendritzky et al. 2009). Die thermische Belastung wird dabei nach Kältereiz und Wärmebelastung unterschieden (Deussen 2007; Menne und Matthies 2009).

Der Wärmehaushalt des Menschen ist im Körperinneren auf eine gleichbleibende Temperatur von etwa 37 °C ausgerichtet (entspricht dem Temperaturkomfortbereich). Mit zunehmender Wärme- oder Kältebelastung steigen die Anforderungen an das Herz-Kreislauf-System, den Bewegungsapparat und die Atmung, was in einer Zunahme der Erkrankungen und Sterberaten resultiert. Studien zeigen, dass bei Hitzestress besonders Säuglinge, Kleinkinder, ältere

und kranke Menschen gefährdet sind, bei denen das Thermoregulationssystem nur eingeschränkt funktionsfähig ist bzw. mangelndes Durstempfinden zu einer ungenügenden Flüssigkeitsaufnahme und damit zur Dehydratation führt (D'Ippoliti et al. 2010; Bouchama et al. 2007; Eis et al. 2010). Zudem sind Personen, die Arbeitsschutzkleidung tragen, eine geringe Fitness oder Übergewicht haben, regelmäßig Alkohol, Drogen oder bestimmte Medikamente einnehmen, verstärkt hitzegefährdet (Koppe et al. 2004). Insgesamt gesehen variiert der thermische Komfortbereich jedoch auch nach geografischer Lage, Jahreszeit und individueller Akklimatisation (physiologische Anpassungsfähigkeit des Körpers an die Umgebung) (Parsons 2003).

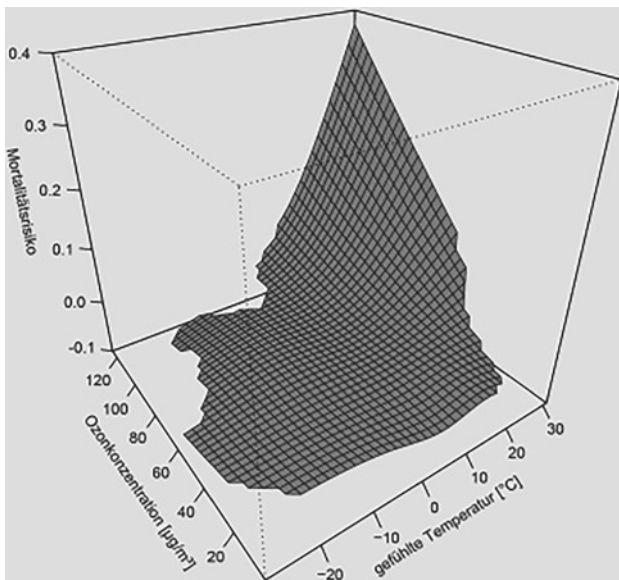
■ Wechselwirkungen

Die gesundheitlichen Risiken von thermischen Belastungen können durch eine verringerte Luftgüte bei erhöhten Konzentrationen von Stickoxiden, Ozon und Feinstaub verstärkt werden (■ Abb. 14.3 und ► Abschn. 14.3.1; Burkart et al. 2013; Ren et al. 2006, 2008; Roberts 2004). Dieser Zusammenhang ist insbesondere für die städtische Bevölkerung von Bedeutung. Menschen in Städten sind zudem eher gefährdet als Menschen auf dem Land, da Städte abends und nachts bis zu 10 °C wärmer als ihre Umgebung sein können (► Kap. 21). Warme, „tropische“ Nächte mit Temperaturen über 20 °C kommen in diesen „städtischen Wärmeinseln“ häufiger vor und erschweren die notwendige nächtliche Erholung. In der europaweiten EuroHEAT-Studie zu den Auswirkungen von Hitze-

wellen auf die Mortalität in Großstädten wurden während Hitzewellen Werte der Übersterblichkeit zwischen 7,6 und 33,6 %, in extremen Einzelfällen auch über 50 % gefunden (D'Ippoliti et al. 2010).

■ Anpassungsmaßnahmen

Aus den dargelegten Sachverhalten ergibt sich die dringliche Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen. So hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) mehrfach aktualisierte Gesundheitshinweise zur Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden für unterschiedliche Zielgruppen veröffentlicht (Matthies et al. 2008; Menne et al. 2008; Menne und Matthies 2009; WHO 2009). Inzwischen hat auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (heute: Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit publiziert (Umweltbundesamt 2008; Bundesministerium für Umwelt 2017). WHO und BMU unterscheiden dabei mehrere Kernelemente. Zu den Kernelementen der Vorsorge während einer akuten Hitzeperiode zählen dabei die Nutzung des Hitzewarnsystems des Deutschen Wetterdienstes, die besondere Beachtung der Risikogruppen und die Reduzierung von Hitze in Innenräumen. Die Risikogruppen umfassen ältere, isoliert lebende oder pflegebedürftige Menschen sowie Personen mit schweren gesundheitlichen Einschränkungen, etwa durch die bereits erwähnten Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen. Auch Patienten mit neurologischen, chronischen und psychiatrischen Erkrankungen, Menschen mit Demenz, Schwangere, Säuglinge und Kleinkinder sind betroffen. Weitere Risikofaktoren sind anstrengende körperliche Tätigkeit, geringe Fitness, Übergewicht, Alkohol- und Drogenmissbrauch und das Wohnen in überwärmten Räumen, beispielsweise schlecht isolierte Dachgeschosse. Das derzeitige Hitze-Gesundheits-Warnsystem ist allerdings noch sehr unvollkommen und bedarf insbesondere in seiner Auswirkung „auf der letzten Meile“ hin zum Hausarzt, den Pflegediensten oder dem betagten Mitbürger weiterer Verbesserungen. Ein Kernelement in einem mittleren Zeithorizont wäre beispielsweise die Vorbereitung der Gesundheits- und Sozialsysteme auf die zusätzlichen Belastungen in Hitzesommern. Im Langzeithorizont schließlich müssen unsere Städte so (um-)gebaut werden, dass in ihnen nicht nur die Emission von Treibhausgasen so rasch und so weit wie möglich eingeschränkt, sondern auch durch Stadtplanung und Bauwesen – etwa durch eingebrachte grüne und blaue Infrastruktur – eine Anpassung an die schon nicht mehr zu verhindernden Folgen des Klimawandels erreicht wird (Koppe et al. 2004; Endlicher 2012). Auch sind die Handlungsempfehlungen (Trinkpläne in Alten- und Pflegeheimen)



■ Abb. 14.3 Wirkung kombinierter Effekte von hohen gefühlten Temperaturen und Ozonkonzentrationen auf die Mortalität in Berlin, Zeitraum 1998–2010. Temperatur und Ozonkonzentration beziehen sich jeweils auf Zweitagesmittel. (Burkart et al. 2013)

und Instrumente (z. B. Hitzewarnsystem) zur Reduzierung der Folgen von Extremereignissen immer wieder hinsichtlich ihrer Effektivität zu evaluieren (Augustin et al. 2011). Das Bewusstsein über die gesundheitlichen Gefahren, die im Klimawandel zunehmen, ist immer noch zu gering ausgebildet und bedarf dringend einer weiteren Verbesserung.

14.2.2 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch UV-Strahlung

Die ultraviolette (UV-)Strahlung hat aufgrund ihrer strahlungsphysikalischen Eigenschaften einen bedeutenden Einfluss auf den menschlichen Körper. Beim Durchgang durch die Atmosphäre wird die Intensität der UV-Strahlung aufgrund von Streuung und Absorption geschwächt. Vor allem die stratosphärische Ozonschicht in einer Höhe von etwa 20 km (mittlere Breiten) sorgt dafür, dass wellenlängenabhängig Teile der UV-Strahlung herausgefiltert werden. Anzumerken ist, dass das stratosphärische Ozon vom bodennahen Ozon (► Abschn. 14.3.1) hinsichtlich Entstehung und Wirkung zu unterscheiden ist. Stark von der Ozonschichtdicke abhängig ist die biologisch besonders wirksame UVB-Strahlung, die aufgrund ihrer krebserregenden (karzinogenen) Wirkung als Hauptrisikofaktor für die Entstehung von Hautkrebskrankungen angesehen wird (Greinert et al. 2008). Neben der Ozonschicht wird die UV-Strahlung beim Durchgang durch die Atmosphäre von weiteren Faktoren beeinflusst, insbesondere von der Bewölkung. Sowohl die Bewölkung als auch das stratosphärische Ozon (Ozonchemie und -dynamik) unterliegen dem Einfluss klimatischer Gegebenheiten und sind damit auch sensitiv gegenüber klimatischen Veränderungen.

Der verstärkte Eintrag ozonzerstörender Substanzen in der Stratosphäre (Stichwort „Ozonloch“), vor allem von Fluorchlorkohlenwasserstoffen, hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass die natürliche, vor der UV-Strahlung schützende Ozonschicht in der Stratosphäre geschädigt wurde. Damit einhergehend zeigte sich eine merkliche Zunahme von Hautkrebskrankungen in der Bevölkerung (Breitbart et al. 2012), die nach Greinert et al. (2008) neben Verhaltensaspekten auch auf die sich erhöhende UV-Strahlung zurückzuführen ist. Hautkrebs ist inzwischen mit 275.595 Neuerkrankungen pro Jahr (2017) die häufigste Krebskrankung in Deutschland (Katalinic 2020).

Neben Hautkrebs ist der Graue Star (Katarakt) eine der wesentlichen Folgeerscheinungen einer erhöhten UV-Exposition des Menschen (Shoham et al. 2008). Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, dass die UVB-Strahlung die Vitamin-D-Produktion im Körper anregt und damit bei richtiger Dosierung auch einen

positiven Effekt auf die Gesundheit hat, da beispielsweise das Risiko reduziert wird, an Osteoporose zu erkranken oder einen Herzinfarkt zu bekommen (Norval et al. 2011).

Internationale Abkommen – u. a. das Montrealer Protokoll von 1994 – zur Reglementierung des Eintrags ozonzerstörender Substanzen zeigen mittlerweile Wirkung, sodass etwa bis Mitte des Jahrhunderts mit einer Regeneration der Ozonschicht gerechnet werden kann (Bekki und Bodeker 2010). Noch nicht vollends geklärt ist der Einfluss des Klimawandels auf den Ozonhaushalt sowie auf jene Faktoren (z. B. Bewölkung), welche die UV-Strahlung zusätzlich beeinflussen. Prognosen zur zukünftigen UV-Strahlung und zu den Folgeerscheinungen für die Gesundheit sind jedoch komplex, mit Unsicherheiten behaftet und zudem von Region zu Region unterschiedlich, da mit Hinblick auf die Ozonregeneration von unterschiedlichen regionalen Veränderungen ausgegangen werden kann. Bais et al. prognostizieren einen Rückgang der UV-Strahlung über der Arktis, also einer Erholung der Ozonschicht, von bis zu 40 % (Bais et al. 2015). In anderen Regionen, etwa in den mittleren oder nördlichen Breitengraden kann damit einhergehend von einer Reduzierung der UV-Strahlung von 5 bis 15 % ausgegangen werden (Bais et al. 2019). Allerdings erschwert insbesondere die Bewölkung aufgrund ihrer hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität eine Prognose der UV-Strahlung. So ist denkbar, dass die bisherigen Veränderungen der bodennahen UV-Strahlung in den mittleren Breiten vor allem auch durch die Veränderung der Bewölkung hervorgerufen werden (Bais et al. 2018) und weniger durch globale Veränderungen des Ozonhaushaltes. Mit Hinblick auf die Bewölkung ist indirekt auch die Sonnenscheindauer von Bedeutung. Diese hat sich in den letzten Jahrzehnten in Deutschland erhöht hat (Deutscher Wetterdienst 2019), was in der Regel mit einem Anstieg der Tagessummen der UV-Bestrahlungsstärke einhergeht. Untersuchungen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) konnten diese Korrelation an der Messstation Dortmund insbesondere für die Jahre 2003 und 2018 zeigen (Baldermann und Lorenz 2019).

Darüber hinaus werden vermutlich lokale, temporäre Extremereignisse wie die sogenannten Ozon-niedrigereignisse an Bedeutung gewinnen. Dabei handelt es sich um lokal begrenzte ozonarme Luftmassen, die aus den polaren Regionen bis nach Mitteleuropa vordringen können und mit teilweise sehr hohen UV-Strahlungswerten einhergehen (Schwarz et al. 2016). Sie treten insbesondere im Frühjahr auf, also zu einer Zeit, zu der die Haut besonders empfindlich gegenüber UV-Strahlung ist. Während der vergangenen Jahrzehnte wurde eine Häufigkeitszunahme dieser etwa drei bis fünf Tage dauernden Ereignisse ausgemacht (Rieder et al.

2010), die möglicherweise durch die globale Erwärmung begünstigt wird (v. Hobe et al. 2013).

■ Expositionsverhalten

Unabhängig von einer (klimatisch bedingten) Veränderung der UV-Strahlung zeigen Studien (Bharath und Turner 2009; Dobbinson et al. 2008; Ilyas 2007), dass klimatische Veränderungen das menschliche Expositionsverhalten gegenüber UV-Strahlung, wie z. B. durch einen vermehrten Aufenthalt im Freien, beeinflussen können. Sonnenreiche Tage mit Temperaturen im thermischen Komfortbereich führen zu einer deutlich erhöhten UV-Exposition, weil Menschen beispielsweise mehr im Garten arbeiten oder sich im Schwimmbad aufhalten (Knuschke et al. 2007). Eisinga et al. (2011) haben in einer Studie den täglichen Fernsehkonsum im Zeitraum von 1996 und 2005 in den Niederlanden ausgewertet. Es ergab sich bei einer Tagesmitteltemperatur von 20 °C ein, im Vergleich zu 10 °C, um bis zu 18 min geringerer Fernsehkonsum der Studienteilnehmer, d. h., auch hier zeigt sich der Zusammenhang zwischen der Temperatur bzw. dem Wetter und einem Aufenthalt im Freien. Hill und Boulter (1996) konnten zudem zeigen, dass sich die Wahrscheinlichkeit eines Sonnenbrandes verdoppelt, wenn die Umgebungstemperatur im Bereich von 19 °C bis 27 °C liegt, verglichen mit niedrigeren oder höheren Temperaturen. Versuche mit Mäusen haben darüber hinaus verdeutlicht, dass die Umgebungstemperatur die karzinogene Wirkung der UV-Strahlung beeinflusst (van der Leun und de Gruijl 2002) und erhöhen kann (van der Leun et al. 2008). Nach van der Leun und de Gruijl (2002) lassen sich die Ergebnisse annäherungsweise auch auf Menschen übertragen. Diese Erkenntnis um den Zusammenhang zwischen den äußeren (thermischen) Bedingungen und der UV-Expositionswahrscheinlichkeit ist im Kontext klimatischer Veränderungen von Bedeutung, wird in Studien aber oftmals vernachlässigt. Es muss jedoch erwähnt werden, dass der Zusammenhang zwischen einer erhöhten UV-Expositionswahrscheinlichkeit und Temperatur primär innerhalb des thermischen Komfortbereichs besteht. Nimmt die Temperatur ab oder steigt sie weiter an, stellt sich für die Menschen ein thermischer Diskomfort ein und es wird entweder der Schatten oder das Warme aufgesucht und damit eine UV-Exposition vermieden.

Hinsichtlich der Prognose zur Veränderung UV-assoziiierter Erkrankungen unter einem sich wandelnden Klima ist ein Defizit an quantitativen Studien festzustellen. Kelfkens et al. (2002) haben die veränderte Hautkrebshäufigkeit unter dem Klimawandel für Europa modelliert. Die Ergebnisse zeigen, dass die durch den Klimawandel zusätzlich auftretenden Hautkrebsfälle in Mitteleuropa noch mehrere Jahrzehnte zunehmen werden. Norval et al. (2011) prognostizieren für die Vereinigten Staaten von Amerika einen Anstieg des Grauen Stars bis zum Jahr 2050 um 1,3 bis 6,9 %.

■ Anpassungsmaßnahmen

Um den negativen Einfluss der UV-Strahlung auf die Gesundheit zu minimieren, wurden Instrumente wie der UV-Index (BfS 2018) entwickelt. Studien zur Evaluierung solcher Anpassungsmaßnahmen verdeutlichen jedoch, dass die Maßnahmen bzw. ihre Kommunikation bislang noch Defizite aufweisen. So zeigt sich, dass der UV-Index in der Bevölkerung noch relativ unbekannt ist und wenn bekannt, dann oftmals nicht richtig interpretiert werden kann (Capellaro 2015; Wiedemann et al. 2009). Daher sollte einer guten Kommunikation zielgruppenspezifischer Anpassungsmaßnahmen zukünftig verstärkt Beachtung geschenkt werden.

14.2.3 Extremwetterereignisse und Gesundheit

Der Sechste Sachstandsbericht des Weltklimarats sagt für Zentral- und Westeuropa eine Zunahme von Extremwetterereignissen, insbesondere von Hitzewellen, Überflutungen, Starkregen und Flusshochwasser sowie von Dürreperioden voraus (IPCC 2022). Extremereignisse dieser Art können Auswirkungen auf die Gesundheit haben, die mit einer Gefahr für Leib und Leben, etwa durch Unfälle und dadurch hervorgerufene Verletzungen oder Ertrinken, verbunden ist. Darüber hinaus kann die Verunreinigung von Trinkwasser das Auftreten von Infektionserkrankungen begünstigen und eine geschädigte Infrastruktur den Zugang zum Trinkwasser und zur medizinischen Versorgung erschweren (Curtis et al. 2017). Zudem kann Feuchtigkeit in Gebäuden längerfristig zu Schimmelbildung und als Folge davon, zu Atemwegserkrankungen führen. Besonders zu beachten sind auch die psychischen Folgen von Extremwetterereignissen. Die Ereignisse an sich oder auch der Verlust enger Bezugspersonen und von Hab und Gut können zu posttraumatischen Belastungsstörungen führen und weitere psychische Krankheitsbilder wie Depressionen oder Angststörungen begünstigen (Cianconi et al. 2020; Fontalba-Navas et al. 2017).

14.3 Indirekte Auswirkungen

14.3.1 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffe

Luftverunreinigungen beeinträchtigen die Gesundheit des Menschen. Sie gelten nach Einschätzung der Weltgesundheitsorganisation (WHO) als Auslöser für nichtübertragbare Krankheiten, wie zum Beispiel Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen. Anthropogenes Wirken and Handeln verursacht Luftverschmutzung. Die Emission von Treibhausgasen ist

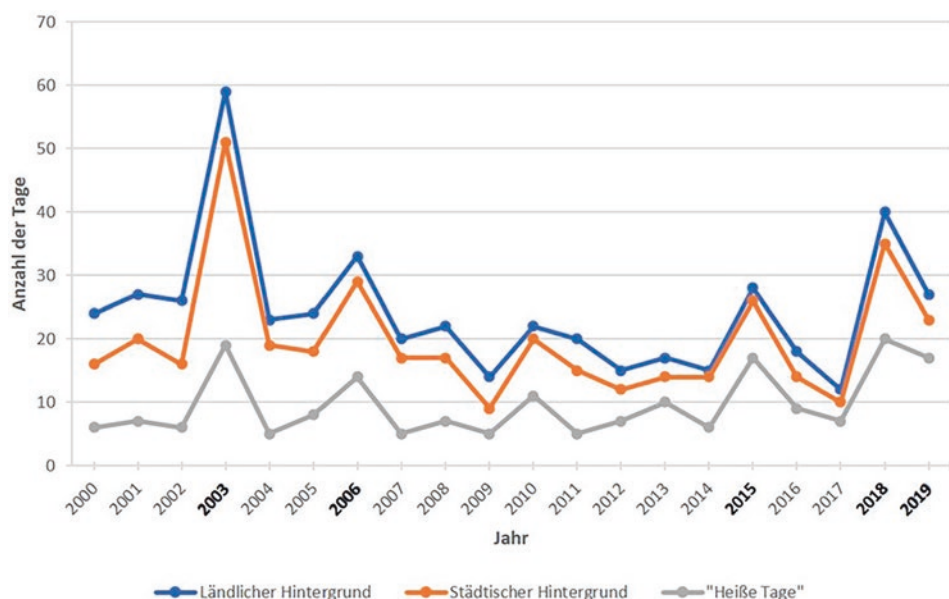
wesentliche Ursache der globalen Klimaerwärmung, die Umwelt und Gesundheit nachhaltig negativ beeinflusst (Li et al. 2017; Chen et al. 2018). Der Anstieg der mittleren Lufttemperatur verändert die atmosphärische Zirkulation, das kurzzeitige Wetter- und Witterungsgeschehen wie auch langfristig das Klima. Änderungen atmosphärischer Transport- und Durchmischungsprozesse nehmen Einfluss auf physikalisch-chemische Prozesse und auf den Zustand der Luftqualität. Über die letzten zwei Dekaden wurde festgestellt, dass lufthygienisch relevante Extremwetterereignisse vor allem während der Sommerhalbjahre in Europa, aber auch in Deutschland zugenommen und sich verstärkt haben. Hierzu zählen insbesondere Perioden extremer Hitze mit gleichzeitig erhöhten Luftschadstoffkonzentrationen, die gesundheitliche Effekte auslösen können (Vandentorren und Empereur-Bissonnet 2005; Analitis et al. 2014; Kap. 13). Trockenheiße Witterung mit intensiver Sonneneinstrahlung verstärkt die Bildung des bodennahen Luftschadstoffs Ozon (Mücke 2014, ■ Abb. 14.4). Zudem kann sich die Belastung durch Feinstaub (PM_{10}) erhöhen, dessen Emissionen sowohl aus anthropogenen und natürlichen Quellen stammen können. Der anthropogene Anteil wird durch Verbrennungsprozesse der Industrie und des Verkehrs emittiert. Natürliche Prozesse wie Vegetationsbrände (Kislitsin et al. 2005) und die Windverfrachtung staubtrockenen Bodens während langanhaltender sommerlicher Trockenheit, wie im Dürresommer 2018 (Umweltbundesamt 2019), können eine erhebliche Zusatzbelastung der Gesamtfinstaubemission sein. Darüber hinaus können die Einzelkomponenten eines Luftschadstoffgemisches die Allergenität und Wirkung von natürlichen, biologischen Luftbeimengungen, wie zum Beispiel Pollen,

verändern und eine Quelle für zusätzliche gesundheitliche Belastungen sein bzw. Symptome bei Allergikern verschlimmern (Carlsten und Melen 2012; D'Amato et al. 2018). Mittels Flusszytometrie konnte anhand von Feinstaubproben (PM_{10}) nachgewiesen werden, dass das klinisch relevante Allergen der Birke (Bet v1) an PM_{10} anhaftet und während der Birkenpollensaison die PM_{10} -Partikel einen signifikant höheren Bet v1-Anteil enthalten als in der Nachpollensaison (Süring et al. 2016). Die Interaktion zwischen Feinstaub und allergenen Pollen erzeugt allergenhaltige Aerosole, die tief in die Lunge eindringen und bei sensibilisierten Personen Asthma auslösen können (Behrendt und Becker 2001; Beck et al. 2013).

Ozon und Feinstaub ($PM_{10/2.5}$) sind besonders gesundheitsrelevante Luftschadstoffe während trocken-heißer sommerlicher Hochdruckwetterlagen. Ergebnisse gesundheitsbezogener Studien weisen auf die Evidenz des Einflusses von Luftschadstoffen bei gleichzeitig auftretender Hitze hin, dies betrifft vor allem Menschen in städtischen Ballungsräumen (Bell et al. 2004; Noyes et al. 2009; Stieb et al. 2009; ► Kap. 13). Die expositionsabhängige Ausprägung gesundheitlicher Wirkungen (parallele Einzelwirkung vs. synergistisch-additive Kombinationseffekte auf Morbidität und Mortalität) kann wegen der Effektmodifikation und des Zusammenwirkens der Einzelfaktoren untereinander derzeit noch nicht abschließend beurteilt werden und bedarf weiterer Studien (Noyes et al. 2009; Li et al. 2017 Infobox).

Im Nachgang des extremen Hitzesommers 2003 wurde u. a. im europaweiten Projekt *EuroHeat* belegt, dass der Effekt von Hitzetagen auf die Mortalität durch erhöhte Konzentrationen von Ozon und Feinstaub (PM_{10}) verstärkt wird (D'Ippoliti et al. 2010).

■ **Abb. 14.4** Gemittelte Anzahl der Tage pro Jahr in Deutschland zwischen 2000 und 2019, an denen die Acht-Stunden-Mittelwerte von Ozon den gesundheitsbezogenen Zielwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten (gerundeter Mittelwert über alle Stationen der ländlichen bzw. städtischen Kategorie) und gleichzeitig ein Lufttemperaturmaximum von 30°C oder mehr auftrat (Gebietsmittel sog. „heißer Tag“). Fett gedruckte Jahreszahlen: sehr heiße Sommer der Jahre 2003, 2006, 2015, 2018 und 2019. (Quellen: Umweltbundesamt 2020, Deutscher Wetterdienst 2020)



Dieser Kombinationseffekt trifft insbesondere für die Risikogruppe der älteren Menschen mit geschwächter Konstitution und eingeschränkter Thermoregulation, Kleinkinder sowie chronisch kranken Personen zu (WHO 2009). Dass die lokale Luftverschmutzung durch Ozon und PM_{10} in Verbindung mit heißer Witterung ein synergistisches Wirkungspotenzial hat, wodurch ggf. die Gesamtmortalität gesteigert wird, untersuchten Burkart et al. (2013) für Lissabon und Berlin. Eine Analyse von stationären Patientenaufnahmen (Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen) und Sterbefällen in Krankenhäusern in Berlin-Brandenburg im Zeitraum 1994 bis 2010 ergab eine statistisch signifikant positive Korrelation mittlerer Konzentrationen von Ozon und Feinstaub mit erhöhter Lufttemperatur sowie einen Anstieg des relativen Mortalitätsrisikos ausgelöst durch starke Wärmebelastung (Scherber 2014).

Studien zum Kombinationseffekt von Lufttemperatur und unterschiedlichen Konzentrationsniveaus von Luftschadstoffen zeigen, dass der Einfluss der Temperatur auf die Mortalität in Gebieten mit niedriger bis mittlerer Luftschadstoffbelastung stärker ist als der der Luftschadstoffe (Krstic 2011). Doch stellten Katsouyanni et al. (2001) auch fest, dass eine hohe Lufttemperatur den ungünstigen Einfluss von Schadstoffen auf die Gesundheit verstärkt: In einer warmen Klimaregion bewirkt ein Feinstaubanstieg von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eine Zunahme der Gesamtmortalität um 0,8 %, hingegen beträgt die Zunahme in kühlerem Klima nur 0,3 %.

Eine stärkere Luftschadstoffwirkung bei hoher Lufttemperatur wirkt sich zum einen besonders auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen und die dadurch bedingte Sterblichkeit aus, also z. B. Herzinfarkte (Choi et al. 2007; Lin und Liao 2009; Ren et al. 2009). Zum anderen werden Erkrankungen der Atemwege wie Asthma (Hanna et al. 2011; Lavigne et al. 2012), chronisch-obstruktive Atemwegserkrankungen (Yang und Chen 2007) und Lungenentzündungen (Chiu et al. 2009) begünstigt. Dies wird u. a. damit begründet, dass sich die Menschen in der warmen Jahreszeit mehr im Freien aufhalten und deshalb auch gegenüber Luftschadstoffen wie Ozon verstärkt exponiert sind (Barnett et al. 2005; Stieb et al. 2009).

Eine Trennung bzw. Zuordnung der Einflüsse verschiedener Umweltfaktoren auf die Gesundheit ist nach wie vor komplex und mit Unsicherheiten behaftet. Zwar wurde für einzelne Faktoren, wie Ozon und Feinstaub, nachgewiesen, dass Gesundheitseffekte evident sind, jedoch nicht für die Kombinationsbetrachtung. Das bedeutet, dass die zwischen den Einflussfaktoren Lufttemperatur (auch Hitze), Luftschadstoffen und Aeroallergenen bestehenden Wechselwirkungen mit Hinblick auf ihre Wirkung auf die Gesundheit bislang nur wenig verstanden, aber auch nicht auszuschließen sind.

■ Anpassungsmaßnahmen

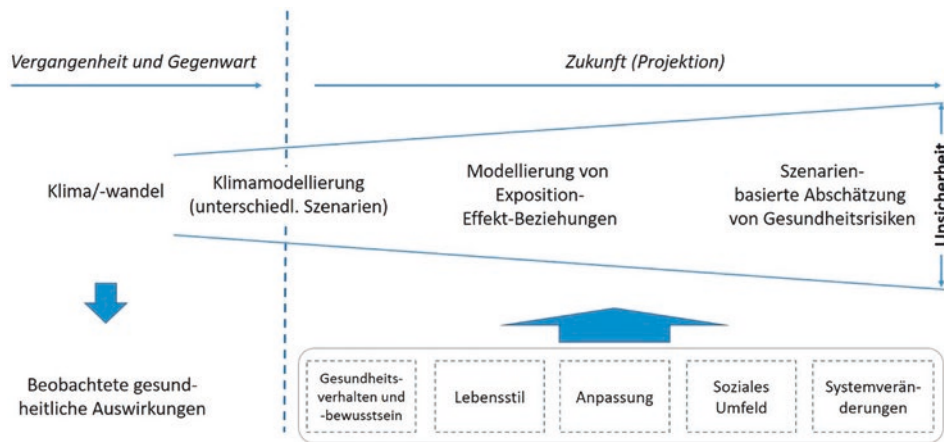
Um durch Luftschadstoffe hervorgerufene gesundheitliche Belastungen zu vermeiden, sollte die Bevölkerung auf längere körperliche Anstrengungen zu Zeiten hoher Konzentrationen verzichten, dies gilt insbesondere für gesundheitlich vorbelastete Risikopersonen zum Beispiel während der Mittags- und Nachmittagsstunden bei erhöhter Ozonkonzentrationen. Aus Sicht des vorbeugenden Gesundheitsschutzes sollten Umwelt-, Klima- und Luftreinhaltepolitik verstärkt für die Einhaltung der Obergrenzen der Luftschadstoffkonzentrationswerte dauerhaft Sorge tragen. Einem unkontrollierten Anstieg des Energieverbrauchs und damit einhergehender Emissionen – etwa von Ozonvorläufersubstanzen, wie sie im Sommer vermehrt in Klimalanlagen eingesetzt werden – ist vorzubeugen.

Aus Anpassungsperspektive ist es wichtig, dass effektive Warnsysteme installiert sind, um die lokale Bevölkerung rechtzeitig zu informieren und vor materiellen und immateriellen Schäden zu bewahren. Zudem muss die kritische Infrastruktur, vor allem die des Gesundheitswesens, geschützt werden. Präventive Maßnahmen, wie beispielsweise die weitere Versiegelung von Flächen zu verhindern, können dazu beitragen (► Kap. 10).

Herausforderungen bei der Projektion zukünftiger klimabedingter Gesundheitsrisiken

Bisher gibt es noch einen Mangel an quantitativen und prognostischen Studien zu den Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Gesundheit. Eine Ursache hierfür ist vor allem die Berücksichtigung des Menschen als Individuum in seiner Komplexität. Die Gesundheit des Menschen ist schon auf individueller Ebene von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, beispielsweise Alter, Geschlecht, genetische Prädisposition, Ernährung, Lebensstil, Gesundheitsverhalten und Gesundheitsbewusstsein. Die Bedeutung dieser Faktoren für die Gesundheit konnten Yusuf et al. (2004) aufzeigen. Zusätzlich wird die Gesundheit auch von gesellschaftlichen Faktoren beeinflusst (z. B. soziales Umfeld, Veränderungen von Bildungs-, Gesundheits- und Ernährungssystemen und Mobilitätsinfrastruktur). Bei der Abschätzung zukünftiger klimawandelbedingter Auswirkungen auf die Gesundheit sind darüber hinaus noch mögliche Anpassungsmechanismen auf individueller (z. B. physische Anpassung, Verhalten) und gesellschaftlicher Ebene (z. B. Hitzeaktionspläne) zu berücksichtigen.

All diese Faktoren unterliegen einer räumlichen, zeitlichen sowie oftmals verhaltensbedingten Veränderung und sind bei der Prognose des Einflusses klimatischer Veränderungen auf die Gesundheit eine bedeutende Quelle der Unsicherheit (■ Abb. 14.5). So ist mit Hin-



■ **Abb. 14.5** Die Unsicherheiten bei der Projektion zukünftiger klimabedingter Gesundheitsrisiken nehmen von links nach rechts zu. (Quelle: Augustin und Andrees 2020, verändert nach Eis et al. 2010)

blick auf die Modellierung der Expositions-Effekt-Beziehungen beispielsweise die Wirkung von Hitze auf den Menschen stark abhängig von seinem Alter (und damit physiologischem Zustand), seinem Gesundheitsbewusstsein (gegenüber thermischen Belastungen) und damit Verhalten (Durchführung von Anpassungsmaßnahmen) oder auch seinem sozialen Umfeld (z. B. Familie, Nachbarschaft) und Aufenthaltsort. Erschwerend kommt hinzu, dass die die Gesundheit beeinflussenden Faktoren meistens nicht alleine, sondern in Kombination (z. B. Hitze und Luftschadstoffe) wirken und sich ihr negativer Einfluss auf die Gesundheit damit nochmals verstärken kann.

Diesen komplexen Herausforderungen und den damit verbundenen Unsicherheiten (■ Abb. 14.1) sollte vor allem mit einer weiter verstärkten interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen den Natur-, Sozial- und Gesundheitswissenschaften (inklusive Medizin) begegnet werden. Darüber hinaus sollte der Zugang zu gesundheitsspezifischen Langzeitdaten vereinfacht werden, um eine verbesserte Datengrundlage zur Abschätzung langfristiger Veränderungen zu erhalten.

14.3.2 Pollenflug und Allergien

Weltweit leiden 10 bis 40 % der Bevölkerung an Allergien (Pawankar et al. 2013). In Deutschland sind laut einer Studie des Robert Koch-Instituts 30 % der Bevölkerung von Allergien betroffen, wobei 14,8 % der erwachsenen Bevölkerung unter Heuschnupfen leiden (Langen et al. 2013). Der Klimawandel hat u. a. Auswirkungen auf allergene Pflanzen und kann zu einer Veränderung der Pollensaison, Erhöhung der Pollenmenge sowie Pollenallergenität führen und die Verbreitung von invasiven Arten begünstigen. All diese Faktoren beeinflussen die Allergieentstehung und

können massivere allergische Erkrankungen hervorrufen (D'Amato et al. 2020). Der Beginn der Pollensaison wird maßgeblich von der Pflanzenphänologie bestimmt. Da phänologische Frühjahrsphasen überwiegend temperaturgesteuert sind, hat der Klimawandel in den vergangenen drei Jahrzehnten zu deutlichen Veränderungen in Deutschland geführt (Menzel und Estrella 2001; Chmielewski 2007). Wie europaweite Studien zeigen, haben sich Frühjahrsphasen durchschnittlich um etwa zwei Wochen verfrüht (Menzel et al. 2006, 2020a, b; ► Kap. 16). Aufgrund der mildereren Witterung im Frühjahr startet die Pollensaison heute bereits merklich früher (Werchan et al. 2018), kann aber, wie bei den Birken, auch früher enden (Bergmann et al. 2020). Daraus resultiert eine längere Dauer der Pollensaison (Ziska et al. 2019), vor allem für Gräser (Fernandez Rodriguez et al. 2012) und andere krautige Pflanzen, welche durch einen höheren CO_2 -Gehalt der Atmosphäre besonders profitieren (Wayne et al. 2002).

■ Pollenmenge und -allergenität

Faktoren, die sehr wahrscheinlich auch zu häufigeren, schwereren allergischen Erkrankungen und neuen Sensibilisierungen führen, sind die gestiegene Pollenproduktion sowie die Pollenkonzentration in der Luft in den vergangenen Jahrzehnten. Als Ursachen werden die Temperaturzunahme sowie die erhöhte atmosphärische CO_2 -Konzentration genannt (Beggs 2004). Ziello et al. (2012) dokumentieren eine generelle Zunahme der gesamten Pollenkonzentration auch in Deutschland: Von 584 Zeitreihen waren 21 % statistisch signifikanten Veränderungen unterworfen, 65 % davon zeigten wiederum einen Anstieg der Pollenkonzentrationen. Experimente in Klimakammern (Ziska und Caulfield 2000) oder entlang eines Stadt-Land-Gradienten (Ziska et al. 2003) bestätigten, dass höhere CO_2 -Werte zu einer verstärkten Pollenproduktion der Ambrosia führen. Für einige Arten könnten sich hohe Temperaturen und

Schadstoffe in Städten jedoch auch negativ auswirken (Jochner et al. 2013): So war etwa die Pollenproduktion der Birke (*Betula pendula* Roth) in München gegenüber dem ländlichen Umland verringert.

Aber auch die lokalen meteorologischen Gegebenheiten sind von Bedeutung: So war etwa während der Dürreperiode im Jahr 2003 eine deutlich geringere atmosphärische Pollenkonzentration von Beifuß, Ampfer und Brennnessel in der Südschweiz zu beobachten (Gehrig 2006). Andererseits sind beispielsweise Gewitter mit einer abrupten Allergenfreisetzung verbunden, die zur Ausprägung des sogenannten Gewitterasthmas beitragen kann (D'Amato et al. 2020). Damialis et al. (2020) zeigen einen synchronen Verlauf von hohen Pollen- und Sporenkonzentration und Gewitterereignissen sowie einen Zusammenhang zwischen diesen Ereignissen und Asthmafällen in Bayern.

Neuere Studien auch für Deutschland zeigen, dass Pollentransport vor oder nach der Hauptpollensaison lokale Konzentrationen und die Länge der Pollensaison maßgeblich beeinflussen kann (Ghasemifard et al. 2020; Menzel et al. 2021). Grünlandnutzung und Bewirtschaftung (z. B. Schnittzeitpunkte) haben einen starken Einfluss auf die Gräserpollenkonzentrationen (Menzel 2019).

Pollenallergene sind spezifische Proteine, die bei bestimmten Menschen zu einer immunologischen Überreaktion führen (Huynen et al. 2003). Ob die jüngst zu beobachtende Temperaturerhöhung eine Veränderung der Allergenität mit sich bringt, ist noch nicht abschließend geklärt. Europäische Studien belegen, dass das Hauptallergen der Birke (Bet v 1) verstärkt bei höheren Temperaturen gebildet wird (Hjelmroos et al. 1995; Ahlholm et al. 1998). Im Gegensatz dazu waren der Allergehalt von Ambrosia (Ziska et al. 2003) sowie des Weißen Gänsefußes (*Chenopodium alba*, Guedes et al. 2009) in Städten – also unter wärmeren Bedingungen – reduziert.

In Gebieten mit starker Luftverschmutzung reagieren Pollen mit Luftschadstoffen wie Ozon und Feinstaub, was die Allergenität der Pollen erhöht (Beck et al. 2013; D'Amato et al. 2010). So erzeugt z. B. die Interaktion zwischen Feinstaub und Pollen allergenhaltige Aerosole, die aufgrund ihrer Größe tief in die Lunge eindringen und bei sensibilisierten Personen Asthma auslösen können (Behrendt und Becker 2001). Zusätzlich begünstigen Dieselrußpartikel die Entstehung von Allergien (Fujieda et al. 1998).

■ Invasive Arten

Freigesetzte Pollen von invasiven Arten, wie vor allem der *Ambrosia artemisiifolia* L. (Ambrosia, Beifußblättriges Traubenkraut), verlängern die Zeit mit Pollenflug bis in den Herbst hinein, womit fast ganzjährig allergene Pollen in der Luft zu finden sind.

Die ursprünglich in Nordamerika beheimatete Ambrosia wächst seit den 1980er-Jahren in größeren Beständen in Teilen Südeuropas (Zink et al. 2012). Sie gedeiht in Deutschland unter anderem im Rheintal, Südhessen und Berlin (Otto et al. 2008) und weist im Jahr 2020 die größten Bestände in Brandenburg (> 2000 Standorte, Freie Universität Berlin 2020) und Bayern (> 500 Standorte, Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege 2020) auf. Aufgrund ihrer ausgeprägten Wärmebedürftigkeit wird sich die Art mit steigenden Temperaturen sehr wahrscheinlich weiter ausbreiten. Städte als Wärmeinseln (► Kap. 21) können dabei das Vorkommen dieser invasiven Art ebenfalls begünstigen. Ambrosiapollen werden als hochallergen eingestuft (Eis et al. 2010). Eine höhere Exposition gegenüber Ambrosiapollen wird zwangsläufig auch zu einer höheren Sensibilisierung in der Bevölkerung führen (Buters et al. 2015). Dies trifft nicht nur auf Ambrosia zu, sondern auch auf andere invasive/exotische allergieauslösenden Pflanzenarten, etwa der Olive (Höflich et al. 2016), sodass deren Neuanpflanzungen auch unter dem Gesichtspunkt der Gesundheit entschieden werden sollten.

■ Anpassungsmaßnahmen

Ein wichtiges und gleichzeitig einfaches Instrumentarium zur Reduktion allergener Pollen ist die Stadtplanung (Bergmann et al. 2012). Durch die Auswahl von geeigneten Baumarten für die Begrünung von Straßenzügen, öffentlichen Plätzen und Parkanlagen kann die Pollenkonzentration allergologisch relevanter Arten maßgeblich gesteuert werden (Jochner-Oette et al. 2018).

Die Kontrolle von kontaminierten Gütern wie z. B. Vogelfutter trägt zur Reduktion der weiteren Ausbreitung von Ambrosia bei. Ferner verringert eine Bekämpfung mit entsprechender Kontrolle der invasiven Pflanze durch Ausreißen und Mahd die Pollenkonzentration. In Deutschland existiert keine Meldepflicht für Ambrosiavorkommen, jedoch kann das Vorkommen, vor allem von größeren Beständen mit mehr als 100 Einzelpflanzen regionalen Meldestellen übermittelt werden. Eine verpflichtende Meldung nach dem Vorbild der Schweiz könnte das Vorkommen drastisch dezimieren.

14.3.3 Infektionserkrankungen

Das Auftreten vieler Infektionserkrankungen ist u. a. von klimatischen Bedingungen abhängig, denn veränderte Temperaturen, Niederschlagsmuster und häufigere Extremwetterereignisse können sich auf die Vermehrung und Verbreitung von Krankheitserregern und deren Überträger (Vektoren) auswirken. Eine deutschlandspezifische Perspektive ist hierbei nicht

ausreichend, da Tourismus, Migration und Warentransport dazu führen, dass sich Krankheitserreger leicht über Ländergrenzen hinweg ausbreiten. Hier werden nur Erkrankungen angesprochen, bei denen es deutliche Hinweise gibt, dass sie durch den Klimawandel in Deutschland und/oder Europa vermehrt auftreten werden.

■ Durch Nahrungsmittel oder Wasser übertragene Erkrankungen

Durch Nahrungsmittel verursachte Magen-Darm-Infektionen werden in Deutschland vor allem durch die Erreger *Campylobacter* und *Salmonella Typhi* ausgelöst und treten gehäuft im Frühjahr und im Sommer auf. Obwohl diese Infektionen temperaturabhängig sind, ist eine deutliche Steigerung der Fallzahlen durch den Klimawandel aufgrund von guten Hygienestandards in europäischen Ländern wie Deutschland eher nicht zu erwarten (Kovats et al. 2004; Lake 2017). Krankheitserreger können auch durch Trinkwasser und Badegewässer oder bei Überschwemmungen auf den Menschen übertragen werden (Bezirtzoglou et al. 2011). In Europa beobachtete Verunreinigung von Trinkwasser mit *E.coli* oder *Cryptosporidien* durch Starkregenereignisse o. ä. (Boudou et al. 2020) wurden in Deutschland bisher nicht dokumentiert. In den vergangenen Jahren wurden jedoch vermehrt Vibrioneninfektionen in der Ostsee registriert, die zu Wundinfektionen, Durchfallerkrankungen und in Einzelfällen bei Patienten mit geschwächtem Immunsystem auch zu Todesfällen geführt haben (Gyrate et al. 2019; Metelmann et al. 2020). Auch die bei steigenden Wassertemperaturen oft sprunghafte Vermehrung von Cyanobakterien (= Blaualgen, daher Algenblüte) in Binnenseen oder Küstengewässern birgt Gesundheitsrisiken, da teilweise Toxine freigesetzt werden, die z. B. zu Hautreizungen führen können (Stark et al. 2009). Insgesamt ist der Klimawandel ein wichtiger Treiber für umweltbedingte Infektionserkrankungen in Europa (Semenza et al. 2016a, b).

■ Durch Vektoren übertragene Erkrankungen

„Vektoren“ sind in unserem Zusammenhang Überträger von Krankheitserregern, die Infektionskrankheiten auslösen. Tropische Infektionserkrankungen treten in Deutschland bisher fast ausschließlich auf, wenn infizierte Personen aus dem Ausland nach Deutschland einreisen (Jansen et al. 2008). Die Gefahr von autochthonen Infektionen – also einer Ansteckung innerhalb Deutschlands – setzt voraus, dass der Krankheitserreger und der passende Vektor hierzulande vorkommen und dass es ausreichend warm für die Erregerentwicklung im Vektor ist. Diese beiden Bedingungen werden durch steigende Durchschnittstemperaturen begünstigt (Hemmer et al. 2007).

In Deutschland sind die Lyme-Borreliose und die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) die be-

deutendsten Vektorerkrankungen, denn sie werden durch die in Deutschland etablierten Zecken wie den gemeinen Holzbock (*Ixodes ricinus*) übertragen. Zecken, die den Borreliose-Erreger *Borrelia burgdorferi* übertragen, kommen im ganzen Bundesgebiet vor, FSME-Virus übertragende Zecken eher im Süden (Robert Koch-Institut 2013). Grundsätzlich begünstigt der zu erwartende Temperaturanstieg die Populationsdichte der Zecken sowie deren Ausbreitung nach Norden und in die Höhenzüge hinein. Zudem werden eine frühere Zeckenaktivität und damit eine verlängerte Zeckensaison erwartet (Süss et al. 2008). Des Weiteren wurden in Deutschland zuletzt vereinzelt tropische Zeckenarten wie *Hyalomma* registriert, welche neben den in den *Ixodes*-Arten üblichen Krankheitserregern tropische Erkrankungen wie das Krim-Kongo-Hämorrhagische-Fieber übertragen können (Chitimia-Dobler et al. 2019). Diese potenziell tödliche Erkrankung kommt bereits gehäuft in der Türkei und vereinzelt in Spanien vor (GERICS 2020). Bisher zeigen sich in Deutschland jedoch keine eindeutigen Trends in den Fallzahlen meldepflichtiger Erkrankungen wie FSME. Doch auch wenn der Klimawandel das Zeckenvorkommen in der beschriebenen Weise begünstigt, sind Infektionsraten in der Bevölkerung von vielen weiteren Faktoren abhängig, z. B. vom Anteil geimpfter Personen (bei FSME), von der Landnutzung und vom Freizeitverhalten der Menschen. In diesen Bereichen liegt auch das Potenzial für Anpassungsmaßnahmen (Lindgren und Jaenson 2006).

Für invasive Mückenarten, die tropische Erkrankungen übertragen, verbessern sich durch die klimatischen Veränderungen die Bedingungen. So sind bereits einzelne Populationen der Tigermücke, *Aedes albopictus*, insbesondere im Südwesten Deutschlands vorzufinden und eine Etablierung wird erwartet (Thomas et al. 2018a, b). Durch solche Populationen kam es in den vergangenen Jahren bereits zu örtlich begrenzten autochthonen Ausbrüchen von Dengue-Fieber in Europa (Tomasello und Schlagenhauf 2013). Für Deutschland wird aufgrund des zu erwartenden Verbreitungsgebiets der Tigermücke und soziogeografischen Gegebenheiten damit gerechnet, dass die Verbreitung von Dengue-, Zika- und Chikungunya-Viren insbesondere in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen und Südhessen relevant wird (Thomas et al. 2018a, b). Auch das West-Nil-Fieber wurde in den vergangenen Jahren in zunehmenden Einzelfällen in Europa und auch in Deutschland übertragen, wobei hier auch die Übertragung durch infizierte Vögel eine Rolle spielt (ECDC 2020). Was Malaria angeht, bleibt festzuhalten, dass diese bis Mitte des 20. Jahrhunderts in Europa verbreitet war, sie jedoch durch die Trockenlegung von Brutgebieten, Mückenbekämpfung und verbesserte Gesundheitsversorgung ausgerottet wurde

(Dalitz 2005). Unter Fortführung dieser Maßnahmen ist eine Wiederausbreitung der Malaria bis 2050 in Deutschland daher unwahrscheinlich (Holy et al. 2011).

Die Leishmaniose (Erreger: *Leishmania infantum*) ist eine in mediterranen Ländern etablierte Erkrankung, die Geschwüre der Haut und Organschäden hervorruft. Der eigentliche Vektor der Leishmanien ist die Sandfliege (*Phlebotomus spp.*). Autochthone, d. h. in Deutschland originär entstandene Fälle der Leishmaniose traten bisher so gut wie nicht auf, da die Temperaturen für die Etablierung von Sandfliegen und Leishmanien bisher zu niedrig sind. Unter Zuhilfenahme von Klimaprojektionen konnte jedoch gezeigt werden, dass im Zuge des Klimawandels die autochthone Übertragung von Leishmaniose bis Ende des Jahrhunderts in einigen Regionen Deutschlands wahrscheinlicher wird, so zum Beispiel in der Kölner Bucht oder dem Rheingraben (Fischer et al. 2010). ■ Tab. 14.1 gibt eine vereinfachte Übersicht über wesentliche klimasensible Infektionskrankheiten für Deutschland, häufige Erreger oder Vektoren und eine Einschätzung zum Gesundheitsrisiko je nach Zeitrahmen und Klimaprojektion.

■ Anpassungsmaßnahmen

Zum Schutz vor Infektionskrankheiten könnte das bisher passive Meldesystem durch ein aktives Warnsystem ergänzt werden, in dem Daten aus Epidemiologie, Veterinärmedizin und Ökologie integriert werden. Auch sind Maßnahmen der Vektorkontrolle, insbesondere bei invasiven Mückenarten sowie die Aufklärung der Menschen bezüglich gesundheitsrelevanter Verhaltensweisen wichtig, z. B. in Bezug auf Schutz vor Zeckenbissen. Durch die Schulung von medizinischem Personal sollte das Bewusstsein für bisher in Deutschland nicht oder kaum auftretende Infektionskrankheiten erhöht und deren rasche Diagnose und Behandlung gewährleistet werden (Panic und Ford 2013). In einer globalisierten Welt ist das Infektionsgeschehen in anderen Ländern auch für Deutschland relevant. Deswegen sollte Deutschland sich im eigenen Land und anderswo für eine Stärkung der gesundheitlichen Basisversorgung einsetzen (Menne et al. 2008).

14.4 Synergien von Klima- und Gesundheitsschutz

Auch wenn dieses Kapitel vornehmlich den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit und spezifischen Anpassungsmaßnahmen gewidmet ist, so soll hier noch auf wichtige Zusammenhänge

von Gesundheit und Klima, in diesem Fall besonders Klimaschutz, eingegangen werden.

Klima- und Gesundheitspolitik sowie Gesundheitsverhalten können synergistisch wirken und sogenannte *Win-win*-Situationen oder *health co-benefits* von Klimaschutzmaßnahmen erzeugen. Nur eine kurze Liste von Beispielen für solche Effekte in Deutschland sei hier wiedergegeben:

Mobilität: Fahrradfahren und andere Formen des aktiven Transports vermeiden nicht nur CO₂-Emissionen, sondern reduzieren auch das Herz-Kreislauf-Risiko (Woodcock et al. 2009).

Energie: Verminderte Treibhausgasemissionen durch verminderten Kfz-Verkehr, Energieeinsparungen und saubere Energiegewinnung verringern insbesondere in Städten die gesundheitlichen Risiken durch Luftverschmutzung (Markandya et al. 2009).

Gebäude: Eine Steigerung der Energieeffizienz durch gute Gebäudeisolierung kann die Anzahl von Krankheits- und Sterbefällen durch Hitze und Kälte reduzieren (Wilkinson et al. 2009).

Städtebau: Städtebauliche Maßnahmen wie der Ausbau städtischer Grünflächen bewirken eine CO₂-Reduktion in der Luft und verringern durch kühlere Luft und Schatten (► Kap. 21) das Risiko hitzebedingter Gesundheitsschäden (UN-HABITAT und EcoPlan International 2011).

Ernährung: Etwa 66 % der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen in Deutschland – insbesondere Methan – werden durch Viehzucht verursacht (Umweltbundesamt 2022). Eine Ernährung mit einem hohen Anteil gesättigter Fettsäuren aus tierischen Produkten bringt ein höheres Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit sich als eine Ernährung mit ungesättigten Fettsäuren aus pflanzlichen Produkten (Siri-Tarino et al. 2015). Zudem erhöht ein starker Konsum von verarbeiteten Fleisch- und Wurstwaren sowie der Konsum von rotem Fleisch das Risiko für die Entwicklung von Darmkrebs (Behrens et al. 2018; Boada et al. 2016). Eine Verringerung des Konsums tierischer Produkte und eine damit einhergehende Verringerung des Viehbestands kann somit dem Klima- und Gesundheitsschutz zuträglich sein (Friel et al. 2009).

Eine Förderung dieser und ähnlicher Maßnahmen würde dem Klima- und dem Gesundheitsschutz gleichermaßen gerecht.

■ Klimaresiliente und nachhaltige Gesundheitssysteme

Der deutsche Gesundheitssektor ist für etwa 6 bis 7 % der deutschen Treibhausgasemissionen verantwortlich (Pichler et al. 2019). Diese entstehen zu etwa einem Drittel durch Emissionen aus Heizung und Energieverbrauch von Gesundheitseinrichtungen und zu etwa zwei Dritteln durch vor- und nachgelagerte Prozesse (HCWH 2019).

Tab. 14.1 Übersicht über wesentliche klimasensible Infektionskrankheiten, ihre Erreger, den Übertragungsweg (ggf. Vektor) und eine Einschätzung der Zunahme des Risikos je nach Zeitrahmen und Ausmaß der globalen Erwärmung (+2 °C bis +4 °C)

Krankheitsbilder	Übertragung durch:			Studienbeispiel	Gefährdungspotenzial (Szenarien, wenn abweichend von RCP)				Quelle
	Nahrungsmittel	Vektoren	Wasser		Aktuell	Bis 2050	Bis 2100 +2 °C*1	Bis 2100 +4 °C*2	
Magen-Darm-Infektionen	x			Campylobakter Infektionen in Nordeuropa	++	++	K.A	++	Kuhn et al. 2020
Weichteilinfektionen, Sepsis			x	Eignung der Bedingungen für Vibrien in der Ostsee	+	++	k.A	k.A	Semenza et al. 2017
Borreliose, FSME*3, andere		Zecken		Eignung der Bedingungen für vier Zeckenspezies in Europa	++	++	++	+++	Williams et al. 2015
Leishmaniose		Sandfliegen		Übertragungsrisiko für den Erreger <i>Leishmania infantum complex</i> in Deutschland	0	+	++ (A1b)	+++ (A2)	Fischer et al.2010
Malaria		Anopheles-Mücken		Globale Modellierung von Malaria-Erkrankungen	0	0	+	+	Cólon-González et al. 2021
Dengue-Fieber		Aedes-Mücken		Projektionen zur Dengue-Virus-Übertragung in Europa	0	+	++	++	Liu-Helmerson et al. 2016
Chikungunya-Fieber		Aedes-Mücken		Chikungunya Ansteckungsgefahr global	0	+	+	++	Tjaden et al. 2017
West-Nil-Fieber		Culex-Mücken		Projektion für WNV-Infektionen in Europa	+	++	No Data	No Data	Semenzaet al. 2016b

* 1 RCP2.6 oder RCP4.5 Szenario; * 2 RCP8.5 Szenario; * 3 Frühsommer-Meningo-Enzephalitis;

0 = praktisch keine Gefährdung; + = Krankheit kommt vereinzelt vor; ++ = Krankheit häufiger, gut beherrschbar; +++ = Krankheit häufiger, Herausforderung für Anpassung

Diese Prozesse beinhalten beispielsweise die Produktion von Pharmazeutika und Medizinprodukten, die Mobilität von Patienten und Mitarbeitern oder die Entsorgung von Abfall. Nach dem ärztlichen Prinzip, vor allem nicht zu schaden („primum non nocere“), ist auch der Gesundheitssektor dazu aufgerufen, bei gleichbleibender Versorgungsqualität seine Treibhausgasemissionen zu minimieren. Der britische nationale Gesundheitsdienst (*National Health Service*, NHS) hat sich bereits das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2040 gesetzt (NHS 2020).

Zudem veröffentlichte die Weltgesundheitsorganisation bereits 2015 ein Rahmenwerk für klimaresiliente Gesundheitssysteme, welches 2020 um den Aspekt der Nachhaltigkeit ergänzt wurde (WHO 2020). Klimaresiliente Gesundheitssysteme sollen trotz sich verändernder und steigender klimabedingter Belastungen weiter ihrer Grundfunktion nachkommen und ihre Leistung sogar verbessern können (WHO 2015). Dazu ist vorgesehen, dass Gesundheitssysteme einerseits ihre Kapazitäten im Katastrophenfall ausbauen und klimawandel- und nachhaltigkeitspezifische Aspekte berücksichtigen. Die WHO fasst dazu zehn Punkte zusammen, zu denen beispielsweise die politische Verpflichtung und effektive Steuerung zum Aufbau von Klimaresilienz, die Integration des Klimawandels in die Aus- und Weiterbildung von Gesundheitspersonal, die multidisziplinäre Forschung zum Thema Gesundheit und Klimawandel und die Entwicklung und Nutzung klimaresilienter und nachhaltiger Produkte, Technologien und Infrastruktur zählt.

Die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels wurden in diesem Kapitel ausführlich dargestellt und werden Länder im globalen Süden noch stärker betreffen als Deutschland (Patz et al. 2007). Um diesen Auswirkungen zu begegnen, gilt es also, Klimaschutzmaßnahmen zu ergreifen, die auch gesundheitliche *co-benefits* mit sich bringen, und Gesundheitssysteme klimaresilient und nachhaltig zu gestalten.

14.5 Kurz gesagt

Die WHO hat 2009 den Klimawandel als bedeutende und weiterhin zunehmende Bedrohung für die Gesundheit eingestuft. Auf die potenziellen Gefahren, die klimatische Veränderungen für die Gesundheit bedeuten können, wurde zuletzt durch den *Lancet Countdown 2020* (Watts et al. 2020) hingewiesen. Dies gilt auch für Deutschland. Direkte Auswirkungen, die wir in Deutschland beobachten, sind beispielsweise eine steigende Anzahl von warmen Tagen und Hitzewellen, die vor allem chronisch Kranke und alte Menschen belasten. Zudem wirken sich Wetterphänomene auf Erreger und Überträger von Infektionskrankheiten, Pollenflug sowie Luftschadstoffe aus und beeinflussen dadurch indirekt die Gesundheit. Beispiele hierfür sind eine verlängerte Pollensaison mit verstärkter Belastung von Allergikern und die steigende Wahrscheinlichkeit,

dass bestimmte Infektionserkrankungen auftreten. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass klimatische Veränderungen verstärkt auch zur psychischen Belastung führen können (z. B. durch Extremereignisse) und das (Freizeit-)Verhalten der Menschen beeinflussen, die sich z. B. mehr im Freien aufhalten werden. Dadurch bedingt kann es zu einer erhöhten Exposition gegenüber UV-Strahlung, Vektoren wie Zecken oder auch Luftschadstoffen kommen, was die Gesundheit nochmals beeinträchtigen würde.

Klima- und Gesundheitspolitik weisen erhebliche Synergien auf. Diese müssen genutzt werden, um sowohl klimatische Veränderungen insgesamt als auch deren Folgen für die Gesundheit zu minimieren. Solche Maßnahmen zur Vermeidung sowie Anpassung an den Klimawandel sollten in intersektoraler Zusammenarbeit entwickelt und evaluiert werden.

Literatur

- Ahlholm JU, Helander ML, Savolainen J (1998) Genetic and environmental factors affecting the allergenicity of birch (*Betula pubescens* ssp *czerepanovii* [Orl] Hamet-ähti) pollen. *Clin Exp Allergy* 28:1384–1388
- an der Heiden M, Muthers S, Niemann H, Buchholz U, Grabenhenrich L, Matzarakis A (2020) Hitzebedingte Mortalität. Eine Analyse der Auswirkungen von Hitzewellen in Deutschland zwischen 1992 und 2017. *Dtsch Arztebl Int* 117:603–609. ► <https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0603>
- Analitis A, Michelozzi P, D'Ippoliti D et al (2014) Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants. *Epidemiology* 25(1):15–22
- Augustin J, Andrees V (2020) Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit. *GGW* 20(1):15–22
- Augustin J, Paesel KH, Mücke H-G, Grams H (2011) Anpassung an die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels. Untersuchung eines Hitzewarnsystems am Fallbeispiel Niedersachsen. *Präv Gesundheitsf* 6:179–184
- Bais AF, Lucas RM, Bornman JF et al (2018) Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017. Photochemical & photobiological sciences. Official J Eur Photochem Assoc Eur Soc Photobiol 17(2):127–179. ► <https://doi.org/10.1039/c7pp90043k>
- Bais AF, McKenzie RL, Bernhard G, Aucamp PJ, Ilyas M, Madronich S, Tourpali K (2015) Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. Photochemical & photobiological sciences. Official J Eur Photochem Assoc Eur Soc Photobiol 14(1):19–52. ► <https://doi.org/10.1039/c4pp90032d>
- Bais AF, Bernhard G, McKenzie RL et al (2019) Ozone-climate interactions and effects on solar ultraviolet radiation. Photochemical & photobiological sciences. Official J Eur Photochem Assoc Eur Soc Photobiol 18(3):602–640. ► <https://doi.org/10.1039/c8pp90059k>
- Baldermann C, Lorenz S (2019) UV-Strahlung in Deutschland: einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels sowie Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. *Bundesgesundheitsblatt* 62:639–645
- Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege (2020) Aktionsprogramm Ambrosia Bekämpfung in Bayern. ► <https://www.stmgp.bayern.de/vorsorge/umwelteinwirkungen/ambrosiabekaempfung/>. Zugriffen: 30. Nov. 2020

- Beck I, Jochner S, Gilles S, McIntyre M, Buters JTM, Schmidt-Weber C, Behrendt H, Ring J, Menzel A, Traidl-Hoffmann C (2013) High environmental ozone levels lead to enhanced allergenicity of birch pollen. *PLoS ONE*. ► <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080147>
- Becker N, Geier M, Balczun C, Bradersen U, Huber K, Kiel E, Tannich E (2013) Repeated introduction of *Aedes albopictus* into Germany, July to October 2012. [Research Support, Non-US Gov't. *Parasitol Res* 112(4):1787–1790. ► <https://doi.org/10.1007/s00436-012-3230-1>
- Beggs PJ (2004) Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clin Exp Allergy* 34:1507–1513
- Behrendt H, Becker WM (2001) Localization, release and bioavailability of pollen allergens: the influence of environmental factors. *Curr Opin Immunol* 13:709–715
- Behrens G, Gredner T, Stock C, Leitzmann MF, Brenner H et al (2018) Krebs durch Übergewicht, geringe körperliche Aktivität und ungesunde Ernährung. *Deutsches Ärzteblatt International* 115(35–36):578–585
- Bekki S, Bodeker GE (2010) Future ozone and its impact on surface UV. Ozone assessment report 2010. World Meteorological Organization, Global ozone research and monitoring project, Report no 52
- Bell ML, McDermott A, Zeger SL, Samet JM, Dominici F (2004) Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities 1987–2000. *JAMA* 292:2372–2378
- Bergmann KC, Buters J, Karatzas K, Tasioulis T, Werchan B, Werchan M, Pfaar O (2020) The development of birch pollen seasons over 30 years in Munich, Germany-An EAACI Task Force report. *Allergy*. 2020 Dec 75(12):3024–3026. ► <https://doi.org/10.1111/all.14470>. Epub 2020 Aug 31. PMID: 32575167
- Bergmann K-C, Zuberbier T, Augustin J, Mücke H-G, Straff W (2012) Klimawandel und Pollenallergie: städte und Kommunen sollten bei der Bepflanzung des öffentlichen Raums Rücksicht auf Pollenallergiker nehmen. *Allergo J* 21(2):103–108
- Bezirtzoglou C, Dekas K, Charvalos E (2011) Climate changes, environment and infection: facts, scenarios and growing awareness from the public health community within Europe. *Anaerobe* 17(6):337–340. ► <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2011.05.016>
- Bharath AK, Turner RJ (2009) Impact of climate change on skin cancer. *J R Soc Med* 102:215–218
- Boada LD, Henriquez-Hernández LA, Luzardo OP (2016) The impact of red and processed meat consumption on cancer and other health outcomes: epidemiological evidences. *Food Chem Toxicol* 92:236–244. ► <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.04.008>
- Bouchama A, Dehbi M, Mohamed G, Matthies F, Shoukri M, Menne B (2007) Prognostic factors in heat related deaths: a meta-analysis. *Arch Intern Med* 12 167(20):2170–2176
- Boudou M, Cleary E, Hynds P, O'Dwyer J, Garvey P, ÓhAiseadha B, McKeown P (2020) Climate change, flood risk prediction and acute gastrointestinal infection in the Republic of Ireland, 2008–2017. 22nd EGU General Assembly, held online 4–8 May, 2020, id.10162. ► <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020EGU-GA..2210162B/abstract>. Zugegriffen: 10. Dez. 2020
- Breitbart EW, Waldmann A, Nolte S, Capellaro M, Greinert R, Volkmer B, Katalinic A (2012) Systematic skin cancer screening in Northern Germany. *J Am Acad Dermatol* 66(2):201–211
- Bundesamt für Strahlenschutz (2018) Was ist der UV-Index? ► https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/einfuehrung/einfuehrung_node.html. Zugegriffen: 23. Juli 2021
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit - BMU (2017) Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 662–672
- Burkart K, Canário P, Scherber K, Breitner S, Schneider A, Alcoforado MJ, Endlicher W (2013) Interactive short-term effects of equivalent temperature and air pollution on human mortality in Berlin and Lisbon. *Environ Pollut* 183:54–63
- Buters JTM, Alberternst B, Nawrath S, Wimmer M, Traidl-Hoffmann C, Starfinger U, Behrendt H, Schmidt-Weber C, Bergmann K-C (2015) *Ambrosia artemisiifolia* (ragweed) in Germany. Current presence, allergologic relevance and containment procedure. *Allergo Journal International* 24:108–120
- Capellaro M (2015) Evaluation von Informationssystemen zu Klimawandel und Gesundheit. *Umwelt & Gesundheit* 03/2015, Band 1. Umweltbundesamt, Dessau
- Carlsten C, Melen E (2012) Air pollution, genetics, and allergy: an update. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 12:455–461
- Chen K, Wolf K, Breitner S et al (2018) Two way effect modifications of air pollution and air temperature on total natural and cardiovascular mortality in eight European urban areas. *Environ Int* 116:186–196
- Chitimia-Dobler L, Schaper S, Rieß R, Bitterwolf K, Frangoulidis D, Bestehorn M, Springer A, Oehme R, Drehmann M, Lindau A, Mackenstedt U, Strube C, Dobler G (2019) Imported *Hyalomma* ticks in Germany in 2018. *Parasit Vectors* 12(1):134. ► <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3380-4>
- Chiu HF, Cheng MH, Yang CY (2009) Air pollution and hospital admissions for pneumonia in a subtropical city: Taipei. *Taiwan Inhal Toxicol* 21(1):32–37. ► <https://doi.org/10.1080/08958370802441198>
- Chmielewski F-M (2007) Phänologie – ein Indikator der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biosphäre. *Promet* 33(1/2):28–35
- Choi JH, Xu QS, Park SY, Kim JH, Hwang SS, Lee KH, Lee HJ, Hong YC (2007) Seasonal variation of effect of air pollution on blood pressure. *J Epidemiol Community Health* 61:314–318
- Cianconi P, Betrò S, Janini L (2020) The impact of climate change on mental health: a systematic descriptive review. *Frontiers in psychiatry*, 11
- Colón-González FJ, Sewe MO, Tompkins AM, Sjödin H, Casallas A, Rocklöv J, Caminade C, Lowe R (2021) Projecting the risk of mosquito-borne diseases in a warmer and more populated world: a multi-model, multi-scenario intercomparison modelling study. *The Lancet Planetary Health* 5(7):e404–e414
- Coumou D, Robinson A (2013) Historic and future increase in the frequency of monthly heat extremes. *Environ Res Lett* 8:034018. ► <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034018>
- Curtis S, Fair A, Wistow J, Val DV, Oven K (2017) Impact of extreme weather events and climate change for health and social care systems. *Environ Health* 16(1):128. ► <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0324-3>
- D'Amato G, Cecchi L, D'Amato M et al (2010) Urban air pollution and climate change as environmental risk factors of respiratory allergy: an update. *J Investig Allergol Clin Immunol* 20(2):95–102
- D'Amato G, Chong-Neto H, Monge Ortega OP et al (2020) The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens. *Allergy* 75:2219–2228
- D'Amato M, Cecchi L, Annesi-Maesano I, D'Amato GD (2018) News on climate change, air pollution, and allergic triggers of Asthma. *J Investig Allergol Clin Immunol* 28(2):91–97
- D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C et al (2010) The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health* 9:37
- Dalitz MK (2005) Autochthone Malaria in Mitteldeutschland. Dissertation, Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg
- Damialis A, Bayr D, Leier-Wirtz V et al (2020) Thunderstorm asthma: in search for relationships with airborne pollen and fungal spores from 23 sites in Bavaria, Germany. A rare incident or a common threat? *J Allergy Clin Immunol* 145(2):AB336
- Deussen A (2007) Hyperthermia and hypothermia – effects on the cardiovascular system. *Anaesthesist* 56(9):907–911
- Deutscher Wetterdienst - DWD (2019) Klimastatusbericht Deutschland 2018. Offenbach
- Deutscher Wetterdienst - DWD (2020) Klimastatusbericht Deutschland 2019. Offenbach

- Dobbinson S, Wakefield M, Hill D, Girgis A, Aitken JF, Beckmann K, Reeder AI, Herd N, Fairthorne A, Bowles K-A (2008) Prevalence and determinants of Australians adolescents and adults weekend sun protection and sunburn, summer 2003–2004. *J Am Acad Dermatol* 59(4):602–614
- ECDC – European Centre for Disease Prevention and Control (2020) West Nile virus in Europe in 2020 – human cases compared to previous seasons, updated 26 November 2020. ► <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/west-nile-virus-europe-2020-human-cases-compared-previous-seasons-updated-26>
- Eis D, Helm D, Laußmann D, Stark K (2010) Klimawandel und Gesundheit – ein Sachstandsbericht. Robert-Koch-Institut, Berlin
- Eisinga R, Franses PH, Vergeer M (2011) Weather conditions and daily television use in the Netherlands, 1996–2005. *Int J Biometeorol* 55(4):555–564. ► <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0366-5>
- Endlicher W (2012) Einführung in die Stadtökologie. Ulmer, Stuttgart
- European Center for Disease Prevention and Control (2013) Annual epidemiological report 2012. Reporting on 2010 surveillance data and 2011 epidemic intelligence data. Stockholm
- Fernandez Rodriguez S, Adams-Groom B, Tormo Molina R, Palacios S, Brandao RM, Caeiro E, Gonzalo Garijo A, Smith M (2012) Temporal and spatial distribution of Poaceae pollen in areas of southern United Kingdom, Spain and Portugal. The 5th European Symposium on Aerobiology. 3–7 September 2012, Krakow, Poland. *Alergologia Immunologia* 9(2–3):153
- Fischer D, Thomas SM, Beierkuhnlein C (2010) Temperature-derived potential for the establishment of phlebotomine sandflies and visceral leishmaniasis in Germany. *Geospat Health* 5(1):59–69
- Fontalba-Navas A, ME Lucas-Borja V, Gil-Aguilar JP, Arrebola JM, Pena-Andreu, Perez J (2017) Incidence and risk factors for post-traumatic stress disorder in a population affected by a severe flood. *Public Health* 144:96–102
- Freie Universität Berlin (2020) Berliner Aktionsprogramm gegen Ambrosia. ► <https://ambrosia.met.fu-berlin.de/ambrosia>. Zugriffen: 30. Nov. 2020
- Friel S, Dangour AD, Garnett T, Lock K, Chalabi Z, Roberts I, Haines A (2009) Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. *Lancet* 374(9706):2016–2025. ► [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61753-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61753-0)
- Fujieda S, Diaz-Sanchez D, Saxon A (1998) Combined nasal challenge with diesel exhaust particles and allergen induces in vivo IgE isotype switching. *Am J Respir Cell Mol Biol* 19(3):507–512
- Gabriel K, Endlicher W (2011) Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg. *Germany Environ Pollut* 159:2044–2055
- Gehrig R (2006) The influence of the hot and dry summer 2003 on the pollen season in Switzerland. *Aerobiologia* 22:27–34
- GERICS, Climate Service Center Germany (2020) Gesundheit und Klimawandel. 2. Aufl. Hamburg
- Ghasemifard H, Ghada W, Estrella N, Lüpke M, Oteros J, Traidl-Hoffmann C, Damialis A, Buters J, Menzel A (2020) High post-season *Alnus* pollen loads successfully identified as long-range transport of an alpine species. *Atmos Environ* 231:117453. ► <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117453>
- Greiner R, Breitbart EW, Volkmer B (2008) UV-induzierte DNA-Schäden und Hautkrebs. In: Kappas M (Hrsg) Klimawandel und Hautkrebs. Ibidem, Stuttgart, S 145–173
- Guedes A, Ribeiro N, Ribeiro H, Oliveira M, Noronha F, Abreu I (2009) Comparison between urban and rural pollen of *Chenopodium alba* and characterization of adhered pollutant aerosol particles. *Aerosol Science* 40:81–86
- Gyrate G, Katarzyte M, Schernewski G (2019) First findings of potentially human pathogenic bacteria *Vibrio* in the south-eastern Baltic Sea coastal and transitional bathing waters. *Mar Pollut Bull* 149:110546. ► <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110546>
- Hanna AF, Yeatts KB, Xiu A, Zhu Z, Smith RL, Davis NN, Talgo KD, Arora G, Robinson PJ, Meng Q, Pinto JP (2011) Associations between ozone and morbidity using the spatial synoptic classification system. *Environ Health* 10:49
- Health Care Without Harm (HCWH) (2019) Health Care's Climate Footprint. ► <https://noharm-uscanada.org/ClimateFootprintReport>. Zugriffen: 4. Dez. 2020
- Hemmer CJ, Frimmel S, Kinzelbach R, Gurtler L, Reisinger EC (2007) Globale Erwärmung: wegbereiter für tropische Infektionskrankheiten in Deutschland? *Dtsch Med Wochenschr* 132(48):2583–2589. ► <https://doi.org/10.1055/s-2007-993101>
- Heudorf U, Meyer C (2005) Gesundheitliche Auswirkungen extremer Hitze am Beispiel der Hitzewelle und der Mortalität in Frankfurt a. M. im August 2003. *Gesundheitswesen* 67:369–374
- Hill D, Boulter J (1996) Sun protection behaviour: determinants and Trends. *Cancer Forum*, 20:204–210.
- Hjelmroos M, Schumacher MJ, van Hage-Hamsten M (1995) Heterogeneity of pollen proteins within individual *Betula pendula* trees. *Int Arch Allergy Appl Immunol* 108:368–376
- Höflich C, Balakirski G, Hajdu Z et al (2016) Potential health risk of allergenic pollen with climate change associated spreading capacity: ragweed and olive sensitization in two German federal states. *Int J Hyg Environ Health* 219(3):252–260
- Holy M, Schmidt G, Schröder W (2011) Potential malaria outbreak in Germany due to climate warming: risk modelling based on temperature measurements and regional climate models. *Environ Sci Pollut Res* 18(3):428–435. ► <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0388-x>
- Huynen M, Menne B et al. (2003) Phenology and human health: allergic disorders. Report on a WHO meeting, Rome, Italy, 16–17 January 2003
- Ilyas M (2007) Climate augmentation of erythematous UV-B radiation dose damage in the tropics and global change. *Curr Sci* 93(11):1604–1608
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2012) Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013) Summary for policymakers. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K et al. (Hrsg) Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014) Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ et al (Hrsg) Climate Change 2014: impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2022) Health, wellbeing and the changing structure of communities. In: Pörtner H-O, Roberts DC, Tignor M, Poloczanska ES, Mintenbeck K, Alegría A, Craig M, Langsdorf S, Lösschke S, Möller V, Okem A, Rama B (Hrsg) Climate Change 2022: impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York
- Jansen A, Frank C, Koch J, Stark K (2008) Surveillance of vector-borne diseases in Germany: trends and challenges in the view of disease emergence and climate change. *Parasitol Res* 103(1):11–17. ► <https://doi.org/10.1007/s00436-008-1049-6>
- Jendritzky G, Bröde P, Fiala D, Havenith G, Weihs P, Batchelova E, De Dear R (2009) Der Thermische Klimaindex UTCI. In: Wetterdienst D (Hrsg) Klimastatusbericht 2009. Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Selbstverlag), Offenbach a. M., S 96–101

- Jochner S, Höfler J, Beck I, Göttlein A, Ankerst DP, Traidl-Hoffmann C, Menzel A (2013) Nutrient status: a missing factor in phenological and pollen research? *J Exp Bot* 64(7):2081–2092
- Jochner-Oette S, Stitz T, Jetschni J, Cariñanos P (2018) The influence of individual-specific plant parameters and species composition on the allergenic potential of urban green spaces. *Forests* 9:6–14
- Katalinic A (2020) Update – Zahlen zu Hautkrebs in Deutschland. Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland. ► https://www.krebsregister-sh.de/wp-content/uploads/2020/05/Zahlen_Hautkrebs_2020.pdf. Zugegriffen: 25. Nov. 2020
- Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E et al (2001) Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology* 12:521–531
- Kelfkens G, Verlders GJM, Slaper H (2002) Integrated risk assessment. In: Kelfkens G, Bregmann A, de Gruijl FR, van der Leun JC, Piquet A, van Oijen T, Gieskes WWC, van Loveren H, Verlders GJM, Martens P, Slaper H (Hrsg) *Ozone layer – climate change interactions. Influence on UV levels and UV related effects. Summary report of OCCUR (Ozone and Climate Change interaction effects for Ultraviolet radiation and Risks)*
- Kislitsin V, Novikov S, Skvortsova N (2005) Moscow smog of summer 2002. Evaluation of adverse health effects 255–265. In: Kirch W, Menne B, Bertollini R (Hrsg) *Extreme weather events and public health responses. WHO Regional Office for Europe. Springer, Berlin-Heidelberg-New York*
- Knuschke P, Unverricht I, Ott G, Janssen M (2007) Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. Abschlussbericht zum Projekt „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ – Projekt F 1777. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
- Koppe C (2005) Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse. Dissertation, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i Brsg
- Koppe C, Kovats S, Jendritzky G, Menne B (2004) Heat-waves: risks and responses. World Health Organisation (WHO) Europe, Copenhagen
- Kovats RS, Edwards SJ, Hajat S, Armstrong BG, Ebi KL, Menne B (2004) The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiol Infect* 132(3):443–453. ► <https://doi.org/10.1017/s0950268804001992>
- Krstic G (2011) Apparent temperature and air pollution vs. elderly population mortality in Metro Vancouver. *PLoS ONE* 6:e25101
- Kuhn KG, Nygård KM, Guzman-Herrador B, Sunde LS, Rimhanen-Finne R, Trönnberg L, Jepsen MR, Ruuhela R, Wong WK, Ethelberg S (2020) *Campylobacter* infections expected to increase due to climate change in Northern Europe. *Sci Rep* 10(1):13874
- Lake IR (2017) Food-borne disease and climate change in the United Kingdom. *Environ Health* 16(1):117. ► <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0327-0>
- Langen U, Schmitz R, Steppuhn H (2013) Häufigkeit allergischer Erkrankungen in Deutschland. Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsbl* 56:698–706
- Lavigne E, Villeneuve PJ, Cakmak S (2012) Air pollution and emergency department visits for asthma in Windsor, Canada. *Can J Public Health* 103:4–8
- Li J, Woodward A, Hou XY, Zhu T, Zhang J, Brown H, Yang J, Qin R, Gao J, Gu S, Li J, Xu L, Liu X, Liu Q (2017) Modification of the effects of air pollutants on mortality by temperature: a systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ* 575:1556–1570
- Lin CM, Liao CM (2009) Temperature-dependent association between mortality rate and carbon monoxide level in a subtropical city: Kaohsiung, Taiwan. *Int J Environ Health Res* 19:163–174
- Lindgren E, Jaenson T (2006) Lyme Borreliosis in Europe: influences of climate and climate change, epidemiology, ecology and adaptation measures. World Health Organisation (WHO). ► http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/96819/E89522.pdf. Zugegriffen: 12. März 2014
- Liu-Helmersson J, Quam M, Wilder-Smith A, Stenlund H, Ebi K, Massad E, Rocklöv J (2016) Climate change and aedes vectors: 21st century projections for dengue transmission in Europe. *EBioMedicine* 7:267–277
- Markandya A, Armstrong BG, Hales S, Chiabai A, Criqui P, Mima S, Tonne C, Wilkinson P (2009) Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: low-carbon electricity generation. *Lancet* 374(9706):2006–2015. ► [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61715-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61715-3)
- Matthies F, Bickler G, Cardeñosa Marín N, Hales S (2008) Heat-health action plans. World Health Organisation Europe, Copenhagen
- Menne B, Apfel F, Kovats S, Racioppi F (2008) Protecting health in Europe from climate change. World Health Organisation (WHO) Europe, Copenhagen
- Menne B, Matthies F (Hrsg) (2009) Improving public health responses to extreme weather/heat-waves – EuroHEAT. World Health Organisation/Europe, Copenhagen
- Menzel A, Sparks T, Estrella N et al (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob Chang Biol* 12:1969–1976
- Menzel A, Estrella N (2001) Plant phenological changes. In: Walther G-R, Burga CA, Edwards PJ (Hrsg) „Fingerprints“ of climate change: adapted behaviour and shifting species ranges. Kluwer Academic/Plenum, New York, S 123–137
- Menzel A, Ghasemifard H, Yuan Y, Estrella N (2021) A first pre-season pollen transport climatology to Bavaria, Germany. *Frontiers in Allergy* Feb 25;2:627863. doi: ► <https://doi.org/10.3389/falgy.2021.627863>. PMID: 35386987; PMCID: PMC8974717.
- Menzel A (2019) The allergen riddle. *Nature Ecology and Evolution* 3:716–717
- Menzel A, Yuan Y, Matiu M, Sparks TH, Scheifinger H et al (2020b) Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Glob Chang Biol* 26:2599–2612
- Metelmann C, Metelmann B, Gründling M et al (2020) *Vibrio vulnificus*, eine zunehmende Sepsisgefahr in Deutschland? *Anaesthesist* 69(9):672–678. ► <https://doi.org/10.1007/s00101-020-00811-9>
- Michelozzi P, Accetta G, De Sario M et al (2009) High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. *Am J Respir Crit Care Med* 179:383–389
- Mücke H-G (2014) Gesundheitliche Auswirkungen von klimabeeinflussten Luftverunreinigungen. In: Lozán JL et al (Hrsg) *Warnsignal Klima: gesundheitsrisiken; Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen, GEO Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg. Kapitel 3.1.3, 1–7. 3. Aktuelle und potenzielle Gefahren für die Gesundheit*
- National Health Service (NHS) (2020) NHS becomes the world's first national health system to commit to become 'carbon net zero', backed by clear deliverable and milestones. ► <https://www.england.nhs.uk/2020/10/nhs-becomes-the-worlds-national-health-system-to-commit-to-become-carbon-net-zero-backed-by-clear-deliverables-and-milestones/>. Zugegriffen: 4. Dez. 2020
- Norval M, Lucas RM, Cullen AP, de Gruijl FR, Longstreth J, Takizawa Y, van der Leun JC (2011) The human health effects of ozone depletion and interactions with climate change. *Photochem Photobiol Sci* 10:199–255
- Noyes PD, McElwee ME, Miller HD, Clark BW, Van Tiem LA, Walcott KC, Erwin Levin KNED (2009) The toxicology of climate change: environmental contaminants in a warming world. *Environ Int* 35(6):971–986. ► <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.02.006>. Epub 2009 Apr 16
- Otto C, Alberternst B, Klingenstein F, Nawrath S (2008) Verbreitung der Beifußblättrigen Ambrosie in Deutschland. *BfN-Skripten*,

- Bd. 235. Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn, Bad Godesberg
- Panic M, Ford JD (2013) A review of national-level adaptation planning with regards to the risks posed by climate change on infectious diseases in 14 OECD nations. *Int J Environ Res Public Health* 10(12):7083–7109. ► <https://doi.org/10.3390/ijerph1012708>
- Parsons KC (2003) Human thermal environments: the effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance, 2. Aufl. Taylor & Francis, London
- Patz JA, Gibbs HK, Foley JA, Rogers JV, Smith KR (2007) Climate change and global health: quantifying a growing ethical crisis. *EcoHealth* 4(4):397–405. ► <https://doi.org/10.1007/s10393-007-0141-1>
- Pawankar R, Canonica GW, Holgate ST, Lockey RF, Blaiss MS (2013) World Allergy Organization (WAO) white book on allergy: update 2013. World Allergy Organization, Milwaukee 248
- Pichler PP, Jaccard IS, Weisz U, Weisz H (2019) International comparison of health care carbon footprints. *Environmental Research Letters*, 14(6). ► <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab19e1>
- Rahmstorf S, Coumou D (2011) Increase of extreme events in a warming world. *Proc Natl Acad Sci USA* 108(44):17905–17909
- Ren C, Williams GM, Mengersen K, Morawska L, Tong S (2009) Temperature enhanced effects of ozone on cardiovascular mortality in 95 large US communities, 1987–2000: assessment using the NMMAPS data. *Arch Environ Occup Health* 64:177–184
- Ren C, Williams GM, Morawska L, Mengersen K, Tong S (2008) Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the NMMAPS data. *Occup Environ Med* 65:255–260
- Ren C, Williams GM, Tong S (2006) Does particulate matter modify the association between temperature and cardiorespiratory diseases? *Environ Health Perspect* 114:1690–1696
- Rieder HE, Staehelin J, Maeder JA, Peter T, Ribatet M, Davison AC, Stübi R, Weihs R, Holawe F (2010) Extreme events in total ozone over Arosa – part 1: application of extreme value theory. *Atmos Chem Phys* 10:10021–10031
- Robert Koch-Institut (2013) FSME: Risikogebiete in Deutschland (Stand: Mai 2013). *Epidemiologisches Bulletin* 18:
- Roberts S (2004) Interactions between particulate air pollution and temperature in air pollution mortality time series studies. *Environ Res* 96:328–337
- Robine JM, Cheung SLK, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, Herrmann FR (2008) Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol* 331(2):171–178
- Schär C, Jendritzky G (2004) Climate change: hot news from summer 2003. *Nature* 432(7017):559–560
- Scherber K (2014) Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während Sommermonaten in Berlin und Brandenburg. Diss. Math.-Nat. Fak. II, Humboldt-Universität zu Berlin, S 210 ► <http://edoc.hu-berlin.de/18452/17671>
- Scherber K, Endlicher W, Langner M (2013a) Spatial analysis of hospital admissions for respiratory diseases during summer months in Berlin taking bioclimatic and socio-economic aspects into account. *Erde* 144(3–4):217–237
- Scherber K, Endlicher W, Langner M (2013b) Klimawandel und Gesundheit in Berlin-Brandenburg. In: Jahn H, Krämer A, Wörmann T (Hrsg) Klimawandel und Gesundheit. Internationale, nationale und regionale Herausforderungen. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, S 25–38
- Schneider A, Breitner S, Wolf K, Hampel R, Peters A, Wichmann H-E (2009) Ursachenspezifische Mortalität, Herzinfarkt und das Auftreten von Beschwerden bei Herzinfarktüberlebenden in Abhängigkeit von der Lufttemperatur in Bayern (MOHIT). Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, Institut für Epidemiologie (Hrsg), München. ► http://www.helmholtzmuemchen.de/fileadmin/EPI_II/PDF/Schlussbericht_Endfassung_MOHIT_Dec2009.pdf. Zugriffen: 13. Dez. 2013
- Schwarz M, Baumgartner DJ, Pietsch H, Blumthaler M, Weihs P (2018) Rieder HE (2016) Influence of low ozone episodes on erythral UV-B radiation in Austria. *Theor Appl Climatol* 133:319–329. ► <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2170-1>
- Semenza JC, Lindgren E, Balkanyi L, Espinosa L, Almqvist S, Penttinen P, Rocklöv J (2016a) Determinants and drivers of infectious disease threat events in Europe. *Emerg Infect Dis* 22(4):581–589. ► <https://doi.org/10.3201/eid2204>
- Semenza JC, Tran A, Espinosa L, Sudre B, Domanovic D, Paz S (2016b) Climate change projections of West Nile virus infections in Europe: implications for blood safety practices. *Environ Health* 15(1):125–136
- Semenza JC, Trinanes J, Lohr W, Sudre B, Löfdahl M, Martinez-Urtaza J, Nichols GL, Rocklöv J (2017) Environmental suitability of *Vibrio* infections in a warming climate: an early warning system. *Environ Health Perspect* 125(10):107004
- Seneviratne SI, Donat M, Mueller B, Alexander LV (2014) No pause in the increase of hot temperature extremes. *Nat Clim Chang* 4:161–163
- Shoham A, Hadziahmetovic M, Dunaief JL, Mydlarski MB, Shipper HM (2008) Oxidative stress in diseases of the human cornea. *Free Radic Biol Med* 45:1047–1055
- Siri-Tarino PW, Chiu S, Bergeron N, Krauss RM (2015) Saturated fats versus polyunsaturated fats versus carbohydrates for cardiovascular disease prevention and treatment. *Annu Rev Nutr* 35:517–543
- Stark K, Niedrig M, Biederbick W, Merkert H, Hacker J (2009) Die Auswirkungen des Klimawandels. Welche neuen Infektionskrankheiten und gesundheitlichen Probleme sind zu erwarten? *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 52(7):699–714. ► <https://doi.org/10.1007/s00103-009-0874-9>
- Steul K, Jung HG, Heudorf H (2019) Hitzeassoziierte Morbidität: surveillance in Echtzeit mittels rettungsdienstlicher Daten aus dem Interdisziplinären Versorgungsnachweis (IVENA). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 62(5):589–598
- Stieb DM, Szyszkowicz M, Rowe BH, Leech JA (2009) Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. *Environ Health* 8:25
- Süring K, Bach S, Bossmann K, Wolter E, Neumann A, Straff W, Höflich C (2016) PM10 contains particle-bound allergens: Dust analysis by Flow Cytometry. *Env Technology Innovation* 5:60–66
- Süss J, Klaus C, Gerstengarbe FW, Werner PC (2008) What makes ticks tick? Climate change, ticks, and tick-borne diseases. *J Travel Med* 15(1):39–45. ► <https://doi.org/10.1111/j.1708-8305.2007.00176.x>
- Thomas SM, Tjaden NB, Frank C, Jaeschke A (2018a) Zipfel L (2018) Areas with high hazard potential for autochthonous transmission of aedes albopictus-Associated arboviruses in Germany. *Int J Environ Res Public Health* 15:1270
- Thomas SM, Tjaden NB, Frank C, Jaeschke A, Zipfel L, Wagner-Wiening C, Faber M, Beierkuhnlein C, Stark K (2018b) Areas with high hazard potential for autochthonous transmission of aedes albopictus-Associated arboviruses in Germany. *Int J Environ Res Public Health* 15(6):1270. ► <https://doi.org/10.3390/ijerph15061270>
- Tjaden NB, Suk JE, Fischer D, Thomas SM, Beierkuhnlein C, Semenza JC (2017) Modelling the effects of global climate change on Chikungunya transmission in the 21st century. *Sci Rep* 7(1):3813
- Tomasello D, Schlagenhauf P (2013) Chikungunya and dengue autochthonous cases in Europe. *Travel Med Infect Dis*:2007–2012. ► <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2013.07.006>

- Umweltbundesamt - UBA (2008) Ratgeber: Klimawandel und Gesundheit. Informationen zu gesundheitlichen Auswirkungen sommerlicher Hitze, Hitzewellen und Tipps zum vorbeugenden Gesundheitsschutz. Dessau-Roßlau. ► <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ratgeber-klimawandel-gesundheit>. Zugegriffen: 13. Dez. 2013
- Umweltbundesamt - UBA (2019) Luftqualität 2018. Vorläufige Auswertung. Dessau-Roßlau. ► https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/190211_uba_hg_luftqualitaet_dt_bf.pdf
- Umweltbundesamt - UBA (2020) Luftqualität 2019. Vorläufige Auswertung. Dessau-Roßlau. ► https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/hgp_luftqualitaet2019_bf.pdf
- Umweltbundesamt - UBA (2022) Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. ► <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft>. Zugegriffen: 16. Juni 2022
- UN-HABITAT, EcoPlan International Inc (2011) Planning for climate change – a strategic, value-based approach for urban planners. ► www.unhabitat.org/downloads/docs/pfcc-14-03-11.pdf. Zugegriffen: 3. Jan. 2014
- v. Hobe M, Bekki S, Brönnimann S et al (2013) Reconciliation of essential process parameters for an enhanced predictability of Arctic stratosphere ozone loss and its climate interactions (RECONCILE): Activities and results. *Atmos Chem Phys* 13:9233–9268
- Van der Leun JC, de Gruilj FR (2002) Climate change and skin cancer. *Photochem Photobiol Sci* 1:324–326
- Van der Leun JC, Piacentini RD, de Gruilj FR (2008) Climate change and human skin cancer. *Photochem Photobiol Sci* 7:730–733
- Vandendorpen S, Empereur-Bissonnet P (2005) Health impact of the 2003 heat wave in France. In: Kirch W, Menne B, Bertollini R (Hrsg) *Extreme weather events and public health responses*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. Springer, Berlin, S 81–87
- Watts N, Amann M, Arnell N et al (2020) The 2020 report of the Lancet Countdown on health and climate change: responding to converging crises. ► [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32290-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32290-X)
- Wayne P, Forster S, Connolly J, Bazzaz F, Epstein P (2002) Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in increased CO₂ enriched atmosphere. *Ann Asthma & Immunol* 88(3):279–282
- Werchan M, Werchan B, Bergmann K-C (2018) German pollen calendar 4.0 – update based on 2011–2016 pollen data. *Allergo J Int* 27(3):69–71
- Wiedemann PM, Schütz H, Börner F, Walter G, Claus F, Sucker K (2009) Ansatzpunkte zur Verbesserung der Risikokommunikation im Bereich UV. Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz. Urn:nbn:de:0221-2009011236. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter
- Wilkinson P, Smith KR, Davies M, Adair H, Armstrong BG, Barrett M, Chalabi Z (2009) Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: household energy. *Lancet* 374(9705):1917–1929. ► [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61713-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61713-X)
- Williams HW, Cross DE, Crump HL, Drost CJ, Thomas CJ (2015) Climate suitability for European ticks: assessing species distribution models against null models and projection under AR5 climate. *Parasit Vectors* 8(1):1–15
- Woodcock J, Edwards P, Tonne C et al (2009) Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet* 374(9705):1930–1943. ► [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61714-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61714-1)
- WHO – World Health Organisation (2009) Improving public health responses to extreme weather/heat waves – EuroHEAT. Technical summary; 60 p. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen
- WHO Weltgesundheitsorganisation-Regionalbüro für Europa (2011, 2019) Gesundheitshinweise zur Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden. Neue und aktualisierte Hinweise für unterschiedliche Zielgruppen. ► <https://www.euro.who.int/de/health-topics/environment-and-health/Climate-change/publications/2011/public-health-advice-on-preventing-health-effects-of-heat.-new-and-updated-information-for-different-audiences>. Zugegriffen: 1. Okt. 2020
- WHO – World Health Organisation (2015) Operational framework for building climate resilient health systems (ISBN 978 92 4 156507 3). Geneva, Switzerland. ► <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/849464/retrieve>
- WHO – World Health Organisation (2020) WHO Guidance for Climate-Resilient and Environmentally Sustainable Health Care Facilities. ► <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/335909/9789240012226-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Yang CY, Chen CJ (2007) Air pollution and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in a subtropical city: Taipei. *Taiwan. J Toxicol Env Heal A* 70:1214–1219
- Yusuf S, Hawken PS, Öunpuu S et al (2004) Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study. *Lancet* 364(9438):937–952
- Ziello C, Sparks TH, Estrella N et al (2012) Changes to airborne pollen counts across Europe. *PLoS ONE* 7(4):e34076
- Zink K, Vogel H, Vogel B, Magyar D, Kottmeier C (2012) Modeling the dispersion of *Ambrosia artemisiifolia* L. pollen with the model system COSMO-ART. *Int J Biometeorol* 26:669–680
- Ziska LH, Caulfield FA (2000) Rising atmospheric carbon dioxide and ragweed pollen production: implications for public health. *Aust J Plant Physiol* 27:893–898
- Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka JG (2003) Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health. *J Allergy Clin Immunol* 111:290–295
- Ziska LH, Makra L, Harry SK et al (2019) Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. *Lancet Planet. Health* 3(3):124–131

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (► <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

