

# Gesundheit

*Jobst Augustin, Rolf Horstmann, Timo Homeier-Bachmann, Kai Jensen, Jörg Knieling, Anne Caroline Krefis, Andreas Krüger, Markus Quante, Henner Sandmann, Christina Strube*

- 8.1 Einleitung – 174**
- 8.2 Thermische Belastungen und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – 174**
- 8.3 UV-Strahlung und assoziierte Erkrankungen – 175**
- 8.4 Exkurs: Extremereignisse – Stürme und Überschwemmungen – 177**
- 8.5 Bedeutung klimatischer Veränderungen für das Auftreten allergologisch relevanter Pollen – 178**
- 8.6 Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Infektionskrankheiten – das Beispiel Stechmücken – 179**
- 8.7 Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Infektionskrankheiten – das Beispiel zeckenübertragener Krankheiten – 181**
- 8.8 Klimawandel, Luftschadstoffe und Auswirkungen auf die Gesundheit – 182**
- 8.9 Klimatische Veränderungen und ihre Bedeutung für die Veterinärmedizin – 183**
- 8.10 Anpassungsstrategien und -maßnahmen zur Reduzierung gesundheitlicher Folgen des Klimawandels – 185**
- 8.11 Fazit – 186**
- Literatur – 187**

Verantwortliche, vom Lenkungsausschuss berufene Leitautoren: Jobst Augustin, Rolf Horstmann  
Von den Leitautoren hinzugezogene Autoren: Timo Homeier-Bachmann, Kai Jensen, Jörg Knieling,  
Anne Caroline Krefis, Andreas Krüger, Markus Quante, Henner Sandmann, Christina Strube

## 8.1 Einleitung

Klimaveränderungen werden vermutlich signifikante Auswirkungen auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit des Menschen haben (Zacharias und Koppe 2015). Je nach Region sind die Auswirkungen in ihrer Art und Stärke allerdings unterschiedlich (Eis et al. 2010), was beispielsweise mit den vor Ort herrschenden klimatischen Bedingungen/Veränderungen, der Bevölkerungszusammensetzung und ihrer Anpassungskapazität oder auch der bestehenden Gesundheitsinfrastruktur zu begründen ist. Bei den Wirkungspfaden von Klimaänderungen auf die Gesundheit des Menschen kann zwischen direkten und indirekten Ursachen unterschieden werden. Zu den direkten Ursachen gehören thermische Extreme (Hitze/Kälte) sowie das Auftreten von Extremereignissen (z. B. Stürme). Vor allem thermische Extreme stehen seit den Hitzewellen der Jahre 2003 und 2006 zunehmend im Fokus des öffentlichen Interesses. Dem stehen die indirekten Ursachen gegenüber. Dazu gehören u. a. die veränderte Verbreitung von Vektoren (z. B. Mücken, Zecken), eine möglicherweise steigende UV-Strahlungsintensität mit Einfluss auf die Hautkrebshäufigkeit oder eine Zunahme im Auftreten von allergieauslösenden Pollen, welche die Symptome von Pollenallergikern verstärken können.

Im Folgenden werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit für die Metropolregion Hamburg (MRH) betrachtet. Die Ausführungen basieren auf aktuellen wissenschaftlichen Studien. Entweder betreffen die Studien direkt die MRH, eine klimatisch vergleichbare Region oder dienen der inhaltlichen Veranschaulichung eines Zusammenhangs. Dabei werden nur die für die Region Hamburg/Norddeutschland potenziell relevanten Aspekte thematisiert. Dazu gehören thermische Auswirkungen (Schwerpunkt Hitze), Extremereignisse (Exkurs) und UV-Strahlung sowie Vektoren, Pollenflug und Lufthygiene. Darauf aufbauend werden mögliche gesundheitliche Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels angesprochen, und es wird auf Wissensdefizite hingewiesen.

## 8.2 Thermische Belastungen und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit

Mittels Wärmeproduktion und Wärmeabgabe (Thermoregulation) versucht der menschliche Körper, die Körperkerntemperatur von 37 °C konstant zu halten. Wenn die Umgebungstemperatur von einem thermischen Komfortbereich abweicht, muss der Mensch Maßnahmen im Sinne einer Anpassung des Verhaltens und einer physiologischen Anpassung einleiten. Verhaltensanpassung beschreibt beispielsweise den Wechsel von Kleidung oder das Aufsuchen wärmerer bzw. kühlerer Räume. Eine physiologische Anpassung kann durch Schwitzen und Veränderung des Blutflusses erfolgen. Wenngleich aus Sicht des öffentlichen Gesundheitswesens auch die Kältebelastung von Bedeutung ist (Analitis et al. 2008; Gasparrini et al. 2015a), steht die Wärmebelastung in der Literatur vor dem Hintergrund klimatischer Veränderungen wie etwa der Zunahme von Hitzewellen besonders im Fokus.

Je nach Zustand des Organismus und Bedingungen der Hitzeexposition lassen sich nach Wichert (2014) mehrere Stadien der Hitzebelastung unterscheiden. Sie reichen vom einfachen Hitze-

stress bis hin zu Notfallsituationen wie einem Hitzschlag oder einer Hyperthermie (Überwärmung). Risikogruppen für thermisch bedingte Gesundheitsschäden sind einerseits alle, die vermehrt Hitze- oder Kältebelastung ausgesetzt sind, beispielsweise Obdachlose oder Menschen, die in städtischen Wärmeinseln leben (Scherber et al. 2013a). Andererseits sind Menschen mit verminderter Fähigkeit zur Anpassung (s. o.) besonders vulnerabel. Dazu zählen z. B. alte Menschen mit bereits bestehenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen wie Herz-Kreislauf-, Atemwegs- oder mentalen Erkrankungen (Eis et al. 2010). Neben diesen individuellen Merkmalen liegen weitere Einflussgrößen in der sozialen Isolation (Augustin et al. 2011) dieser Menschen, ihrer fehlenden Mobilität (Wichert 2008) sowie im sozioökonomischen Status und im fehlenden Zugang zu klimatisierten Räumen (Rey et al. 2009).

Im Kontext der Vulnerabilität kommt der individuellen Akklimatisation, d. h. der physiologischen Anpassung des Körpers an seine Umgebungstemperatur, eine besondere Bedeutung zu, denn akklimatisierte Menschen weisen gegenüber thermischen Belastungen eine höhere Toleranz auf. Grundsätzlich ist zwischen kurzfristiger und langfristiger Akklimatisation zu unterscheiden. Im Gegensatz zur kurzfristigen Akklimatisation bleiben bei der Langfristakklimatisation die erworbenen physiologischen Anpassungen an die thermische Umgebung über einen langen Zeitraum erhalten (Hori 1995). Die Geschwindigkeit und Stärke der Akklimatisation sind abhängig vom Individuum und variieren u. a. mit der physiologischen Verfassung (Pandolf 1998). Insofern fällt jüngeren, körperlich gesunden Menschen eine Akklimatisation leichter als älteren Menschen. Je nach Individuum und physiologischer Veränderung (Anpassung des Kreislaufs, Erhöhung der Schweißrate etc.) erfolgt die kurzfristige Akklimatisation an Hitze innerhalb von etwa 14 Tagen (Lambert et al. 2008). Die individuelle Akklimatisation unterliegt allerdings Grenzen. So gehen Sherwood und Huber (2010) davon aus, dass sich die Menschen bei einer globalen Erwärmung von mehr als 7 °C möglicherweise nicht mehr anpassen können. Selbst wenn diese Grenze nicht erreicht wird, weisen Harlan et al. (2014) zukünftig auf eine globale Zunahme von hitzebedingten Todesfällen hin. Allerdings ist dabei von Region zu Region zu unterscheiden. Studien zu den geographischen Unterschieden in der Mortalitätshäufigkeit nach Hitzewellen haben gezeigt, dass eine Abhängigkeit zwischen den Temperaturschwellenwerten für die Hitzesterblichkeit und der geographischen Breite besteht (Michelozzi et al. 2009). In Europa liegt ein Nord-Süd- und West-Ost-Gradient vor (Moshhammer et al. 2007), der die klimatischen Verhältnisse und letztlich auch die thermophysiologische Anpassungsfähigkeit reflektiert (Eis et al. 2010). Beispielsweise liegt dieser Temperaturschwellenwert (Mortalitätsminimum) in Oslo bei 10 °C (Nafstad et al. 2001), in Palermo hingegen bei 27 °C (Muggeo und Hajat 2009). Als Temperaturschwellenwert wird nach Eis et al. (2010) die untere und obere Grenze des Komfortbereichs verstanden. Jenseits der Schwellenwerte nimmt die Mortalität zu. Hinzuzufügen ist allerdings, dass weitere geographische (Grad von Kontinentalität/Marimität, Stadt/Land etc.) bzw. meteorologische Gegebenheiten (Luftfeuchtigkeit, Lufthygiene etc.) Einfluss haben. Studien konnten zeigen, dass die Bevölkerung wärmerer Regionen eine höhere Mortalität nach Kältestress aufweist als nach Hitzebelastung, während für die

Bevölkerung kühlerer Regionen die umgekehrte Beobachtung gemacht wurde (Curriero et al. 2002; Analitis et al. 2008).

Die Wirkung von Hitzewellen auf die Gesundheit ist komplex. Erschwert wird dieser Umstand noch dadurch, dass es keine einheitliche Definition von „Hitzewelle“ gibt (Xun et al. 2010) und somit Studienergebnisse untereinander schwer zu vergleichen sind. Einigkeit herrscht allerdings darüber, dass die Wirkung einer Hitzewelle auf die Gesundheit von ihrer Intensität, Dauer und dem Zeitpunkt des Auftretens innerhalb eines Jahres abhängig ist (D'Ipolti et al. 2010). Je früher diese im Jahr auftritt, desto größer ist ihre Auswirkung auf die Gesundheit (Anderson und Bell 2011; Rocklöv et al. 2011), da im Frühjahr oftmals noch keine ausreichende Akklimatisation an hohe Temperaturen stattgefunden hat. Auch sind nicht zwangsläufig die Maximaltemperaturen entscheidend, sondern die Dauer einer erhöhten Temperatur sowie die Abkühlung während der Nacht. Letzterer Effekt ist insbesondere in Städten („Wärmeinsel“) von Bedeutung. Darüber hinaus wirken sich eine hohe Luftfeuchtigkeit sowie erhöhte Werte von Ozon und Feinstaub in Kombination mit einer hohen Temperatur als zusätzlich belastend aus (Breitner et al. 2014a; Burkart et al. 2013).

Das Klima Hamburgs wird von der Nähe zur Nord- und Ostsee geprägt und hat einen maritimen Charakter (Rosenhagen und Schatzmann 2011). Trotz der eher milden Sommer treten mit zunehmender Häufigkeit heiße Tage (Tage mit einem Temperaturmaximum  $\geq 30\text{ °C}$ ) sowie warme Nächte (Nächte mit einem Temperaturminimum  $\geq 15\text{ °C}$ ) auf (Riecke und Rosenhagen 2010), die für die hoch vulnerablen Bevölkerungsgruppen eine gesundheitliche Belastung darstellen können. An dieser Stelle soll auf das (Stadt-)Klima Hamburgs jedoch nicht ausführlicher eingegangen werden. Für detailliertere Informationen wird auf ► Kap. 2 und 3 verwiesen.

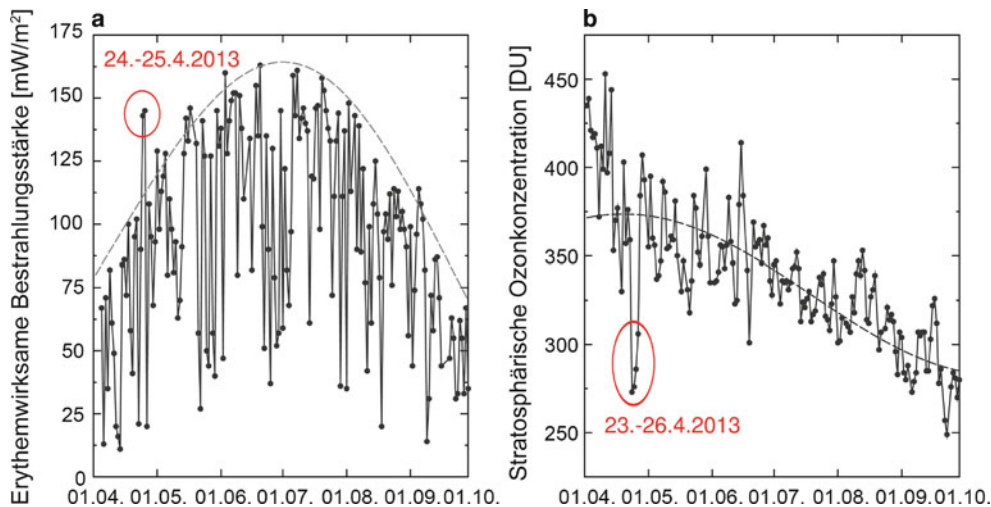
Die Mortalität durch Hitzewellen ist in Deutschland nur unzureichend erforscht (Bittner 2014). Für Hamburg gibt es praktisch keine Kenntnisse hinsichtlich des Auftretens sowie insbesondere der Auswirkung von Hitzewellen auf die Gesundheit. Vor diesem Hintergrund sind Studienergebnisse anderer, in etwa vergleichbarer Städte heranzuziehen. Bittner et al. (2013a) haben beispielsweise die hitzeassoziierte Mortalität zwischen 2003 und 2005 in Freiburg und Rostock miteinander verglichen. Während in Freiburg eine Mortalitätszunahme (21 Tote im Jahr 2003) zu verzeichnen war, wurde in Rostock keine Veränderung der Mortalität festgestellt. Nach Meinung der Autoren ist dies auf den bioklimatisch begünstigenden Einfluss der Ostsee zurückzuführen. Diese sorgt aufgrund der großen Wassermasse bzw. der hohen Wärmekapazität für eine Dämpfung der täglichen und jährlichen Temperaturschwankungen (Riecke und Rosenhagen 2010). Breitner et al. (2014b) haben die kurzfristigen Effekte der Lufttemperatur und der kardiovaskulär bedingten Mortalität zwischen 1990 und 2006 in München, Augsburg und Nürnberg untersucht. Dabei zeigte sich ein Zusammenhang zwischen einer sich verändernden Temperatur (vor allem Zunahme) und der Mortalität, insbesondere beim Herzversagen. Dieser Zusammenhang verstärkt sich nochmals mit zunehmendem Alter der Erkrankten. Åström et al. (2013) haben die Häufigkeit der hitzebedingten Mortalitätsfälle zwischen 1980 und 2009 in Stockholm analysiert. Hier ergab sich gegenüber dem Referenzzeitraum (1900–1929) eine deutliche Zunahme der Hitzeereignisse sowie eine signifikante Zunahme der hitzebedingten Mortalität, die

nach Aussage der Autoren möglicherweise auf den Klimawandel zurückzuführen ist.

Wenngleich die Ergebnisse der genannten Studien auf eine Zunahme thermischer Belastung hinweisen, können keine direkten Rückschlüsse auf die zukünftigen Auswirkungen auf die Gesundheit (z. B. zunehmende Mortalität/Morbidität) für Hamburg gezogen werden. Obwohl Hamburg aus bioklimatologischer Sicht aufgrund seiner geographischen Lage auch in Zukunft vermutlich nicht zu den hoch vulnerablen Regionen zählen wird, ist ein zunehmender Einfluss thermischer Extreme auf die Gesundheit dennoch denkbar. Nach Smith et al. (2014) ist bei einem erwarteten Anstieg der Temperatur auch eine Zunahme einer hitzebedingten Morbidität bzw. Mortalität sehr wahrscheinlich. Dies kann vor allem für Regionen der mittleren und nördlichen Breiten von besonderer Bedeutung sein, da die Bevölkerung möglicherweise besonders sensitiv (kurzfristige Akklimatisationskapazität) auf thermische Belastung reagiert. Dies ist allerdings noch mit Unsicherheiten behaftet und steht sogar im Widerspruch zu den Ergebnissen anderer Studien. So konnten Gasparrini et al. (2015b) in einem Vergleich von sieben Ländern einen teilweisen Rückgang der hitzebedingten Mortalität zwischen 1993 und 2006 belegen. Die Ursachen hierfür sind nach Aussagen der Autoren jedoch nicht eindeutig zuzuordnen und werden in einer physiologischen Anpassung, verändertem Bewusstsein in der Bevölkerung oder auch in einer verbesserten Gesundheitsinfrastruktur vermutet.

### 8.3 UV-Strahlung und assoziierte Erkrankungen

Ultraviolette Strahlung wird in die Wellenlängenbereiche UVC (100–280 nm), UVB (280–315 nm) sowie UVA (315–400 nm) unterteilt, wobei diese Unterteilung zum einen die unterschiedliche Beeinflussung durch das stratosphärische Ozon und zum anderen ihre strahlenbiologischen Wirkungen auf den menschlichen Körper widerspiegelt. Tritt UV-Strahlung in die Atmosphäre ein, so wird sie aufgrund von Absorption, Reflexion und Streuung geschwächt. Die Ozonschicht in ca. 15–50 km Höhe hat daran den Hauptanteil. Sie sorgt dafür, dass in Abhängigkeit von der Wellenlänge ein Teil der UV-Strahlung herausgefiltert wird: Nahezu vollständig betrifft dies den UVC-Bereich. Ähnlich verhält es sich im UVB-Bereich; allerdings bewirken hier bereits geringe Änderungen in der Ozonschichtdicke einen merklich höheren Anteil an UVB-Strahlung auf der Erdoberfläche. Dabei ist aber gerade der UVB-Anteil von elementarer Bedeutung, da er biologisch besonders wirksam ist und sich somit auf die Gesundheit der Menschen auswirken kann. Während UVA-Strahlung lediglich eine vorzeitige Hautalterung verursacht, hat UVB-Strahlung neben akuten Wirkungen wie der Erzeugung von Sonnenbränden und der Immunsuppression insbesondere auch krebserregende (karzinogene) Wirkungen und kann damit als Hauptrisikofaktor für die Entstehung von Hautkrebserkrankungen angesehen werden (Greiner et al. 2008). Im Auge begünstigt eine zu hohe UVB-Exposition die Entstehung eines Grauen Stars (Katarakt) (Shoam et al. 2008). Der Vollständigkeit halber sollte erwähnt werden, dass UVB-Strahlung neben ihrer karzinogenen Wirkung bei richtiger Dosierung auch positive Effekte hat, da sie die Vitamin-D-Produktion im Körper anregt



■ **Abb. 8.1** Verlauf der Mittagswerte der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke (a) sowie Konzentration des stratosphärischen Gesamt ozons (b) an der Messstation Zingst zwischen April und September 2013

und damit das Risiko reduziert, beispielsweise an Osteoporose zu erkranken (Norval et al. 2011).

Aus epidemiologischer Sicht charakteristisch für Hautkrebs ist die deutliche Zunahme der Hautkrebshäufigkeit in der Bevölkerung innerhalb der letzten 30 Jahre (Breitbart et al. 2012). Mit 234.000 Neuerkrankungen im Jahr 2013 sind schwarzer und weißer Hautkrebs (malignes Melanom, Plattenepithelkarzinom und Basalzellkarzinom) zusammen inzwischen die häufigsten Krebserkrankungen in Deutschland (Katalinic 2013). Die starke Zunahme ist im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückzuführen: eine sich möglicherweise verändernde UV-Strahlung (Greiner et al. 2008) sowie ein sich veränderndes Expositionsverhalten der Menschen gegenüber der UV-Strahlung vor allem in ihrer Freizeit (Völter-Mahlknecht et al. 2004). Erstgenannter Punkt könnte unabhängig vom zu erwartenden Klimawandel auf den verstärkten Eintrag ozonzerstörender Substanzen (vor allem Fluorchlorkohlenwasserstoffe, FCKW) zurückzuführen sein. Dieser hat dazu geführt, dass die natürliche, vor der UV-Strahlung schützende Ozonschicht in der Stratosphäre geschädigt wurde und eine erhöhte UV-Strahlung am Erdboden die Folge war. Als Konsequenz aus der Entdeckung der ozonzerstörenden Wirkungen der FCKW (Molina und Rowland 1974; Farman et al. 1985) wurden internationale Abkommen – u. a. das Montrealer Protokoll von 1994 – zur Reglementierung des Eintrags ozonzerstörender Substanzen ratifiziert. Mittlerweile zeigen diese Abkommen Wirkung, sodass etwa bis Mitte des 21. Jahrhunderts mit einer vollständigen Regeneration der Ozonschicht gerechnet werden kann (Bekki und Bodeker 2010). Unsicherheiten bestehen allerdings beim Einfluss des Klimawandels auf die UV-Strahlung am Erdboden, die neben der Abhängigkeit vom Ozonhaushalt (Ozodynamik und Ozonchemie) vor allem auch von der Bewölkung abhängt. Dameris (2005) geht davon aus, dass klimatische Veränderungen zu einer verzögerten Regeneration der Ozonschicht führen. Darüber hinaus kann der Klimawandel über direkte und indirekte Effekte Rückwirkungen auf die stratosphärische Ozonkonzentration und damit auf die UV-Strahlung am Erdboden nehmen (Bais et al. 2015).

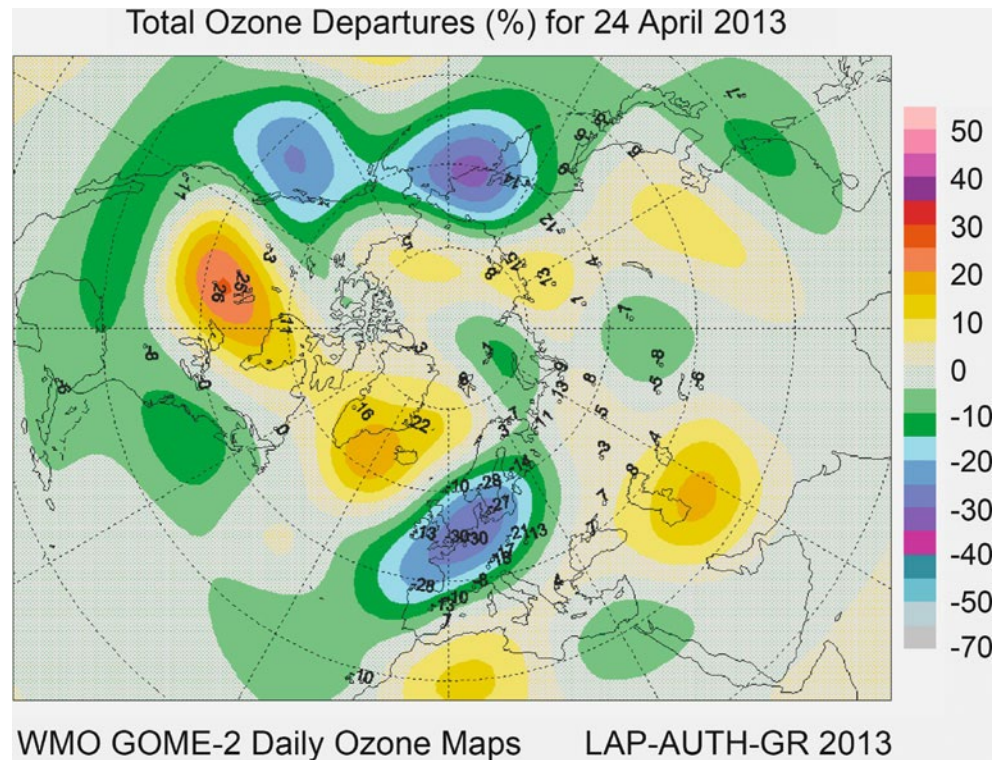
Generell hängt die Stärke der UV-Strahlung am Erdboden neben der Höhe ü. NN insbesondere von der Höhe der Sonne über

dem Horizont und damit von der Tages- und Jahreszeit sowie von der geographischen Breite ab. Daher ist in Deutschland ein Nord-Süd-Gradient in der UV-Bestrahlungsstärke und auch in der UV-Jahresdosis festzustellen, mit höheren mittleren Werten im Süden und geringeren Werten im Norden. Aufgrund regionaler topographischer Abweichungen z. B. in den Mittelgebirgen oder speziellen Bewölkungssituationen an der Küste (vor allem auf vorgelagerten Inseln in Nord- und Ostsee mit statistisch höheren Sonnenscheindauern) können sich allerdings lokale Abweichungen ergeben.

Seit den 1990er-Jahren wird im Rahmen eines UV-Messnetzes die solare UV-Strahlung in Deutschland gemessen und medizinisch bewertet (Sandmann 2015). Betreiber des Messnetzes sind das Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) und das Umweltbundesamt (UBA); weitere Institutionen sind dem Messnetz assoziiert. In Norddeutschland befinden sich insgesamt vier Stationen: in Westerland auf Sylt (Betreiber: Universität Kiel; Sandmann und Stick 2014), auf Norderney und nahe Rinteln (Niedersächsisches Gewerbeaufsichtsamt) sowie in Zingst (UBA). Die Messung der UV-Strahlung erfolgt das ganze Jahr über kontinuierlich von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang mit modernen Spektralradiometern. Auf diese Weise lassen sich z. B. Erhöhungen der bodennahen UV-Strahlung aufgrund von sog. Low Ozone Events (LOEs) unmittelbar registrieren.

Bei LOEs handelt es sich um lokal und zeitlich begrenzte, reversible Verringerungen der stratosphärischen Ozonkonzentration. Infolgedessen kann es für einige Tage zu einem signifikanten Anstieg der signifikanten erythemwirksamen, also der mit der Wirksamkeit, einen Sonnenbrand zu erzeugen, bewerteten UV-Strahlung (E<sub>Er</sub>) am Erdboden kommen. Vor allem in den Monaten April und Mai können dann in Norddeutschland UV-Bestrahlungsstärken auftreten, die sonst nur im Hochsommer bei unbewölkten Bedingungen zu erwarten sind (Stick et al. 2006). Die Gefahr besteht dabei, dass sich Menschen unbewusst hohen UV-Belastungen aussetzen und dadurch vermehrt Sonnenbrände auftreten. Ein Beispiel für ein LOE zeigt ■ **Abb. 8.1**: Dargestellt ist der Verlauf der E<sub>Er</sub>-Mittagswerte an der Messstation Zingst von April bis September 2013. Der Anstieg der E<sub>Er</sub>-Werte am 24./25. April um etwa 30 % gegenüber theoretischen Werten (grau gestrichelte Kurve, berechnet für mittlere Ozonwerte und wolkenfreie Bedingungen) korrespondiert mit gleichzeitig um etwa

■ **Abb. 8.2** Abweichung des Gesamtozons in % in der Nordhemisphäre am 24. April 2013. Referenz: Januarmittel der Jahre 1978–1988, Nordhemisphäre. (Environment Canada 2013)



30–35 % verringerten Werten des stratosphärischen Gesamtozons (NASA 2013). Der Grund für diese geringen Ozonwerte waren äquatorial gebildete, ozonarme Luftmassen, die vom 23.–26. April in der Stratosphäre über Mitteleuropa hinwegzogen.

■ **Abb. 8.2** zeigt die Ausmaße des LOEs am 24. April 2013, das sich vom Englischen Kanal bis nach Südschweden erstreckte. Das Zentrum lag über der Nordsee, sodass insbesondere Norddeutschland betroffen war. Solche dynamischen Prozesse können möglicherweise im Rahmen des zu erwartenden Klimawandels und des damit verbundenen globalen Temperaturanstiegs zukünftig häufiger auftreten (Rieder et al. 2010). Konkrete Aussagen über einen Trend der UV-Strahlung in Norddeutschland lassen sich aus den Daten des deutschlandweiten solaren UV-Messnetzes bisher nicht eindeutig ableiten. Dies liegt zum einen daran, dass der zurückliegende Messzeitraum noch deutlich kürzer ist als der bei Klimazeitreihen sonst übliche Beobachtungszeitraum von etwa 30 Jahren. Zum anderen liegt die Schwankungsbreite bei der Messung solarer UV-Strahlung selbst bei bestmöglicher Genauigkeit der Messungen und der Kalibration der Messgeräte immer noch im Bereich von etwa 6 % (Bernhard und Seckmeyer 1999), sodass ein möglicher Trend gegenwärtig noch innerhalb des Rauschens der Messwerte liegt.

Es gibt allerdings Anzeichen dafür, dass nach einer Zeit des Anstiegs der UV-Strahlung in der nördlichen Hemisphäre aufgrund abnehmender Luftverunreinigungen („brightening effect“) bis Mitte der 2000er-Jahre die UV-Strahlung am Erdboden mittlerweile ein konstantes Niveau erreicht hat bzw. nur geringfügig ansteigt (Zerefos et al. 2011). Die zukünftige Veränderung der UV-Strahlung am Erdboden ist, wie oben erläutert, mit großen Unsicherheiten behaftet. Unabhängig von den klimatischen Verhältnissen kann aber davon ausgegangen werden, dass das Expositionsverhalten der Menschen gegenüber UV-Strahlung von

ausschlaggebender Bedeutung ist. Dabei wird das menschliche Verhalten selbst auch von klimatischen Veränderungen beeinflusst (Bharath und Turner 2009; Ilyas 2007). Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass der Aufenthalt im Freien in deutlichem Zusammenhang mit den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen wie Temperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag oder Bedeckungsgrad steht (Knuschke et al. 2007; Eisinga et al. 2011). Den Zusammenhang zwischen der Umgebungstemperatur, einer damit verbundenen UV-Exposition und der Wahrscheinlichkeit, einen Sonnenbrand zu bekommen, konnte Diffey (2004) aufzeigen. Eine Zunahme niederschlagsfreier Tage mit Temperaturen im thermischen Komfortbereich könnte beispielsweise dazu führen, dass sich die Menschen häufiger im Freien aufhalten als bei schlechtem Wetter und sie somit eine höhere UV-Dosis empfangen. Temperaturen oberhalb des thermischen Komfortbereichs hingegen könnten die Menschen veranlassen, die direkte Sonne zu meiden und Schattenbereiche aufzusuchen oder sich innerhalb von Gebäuden aufzuhalten. Diese Zusammenhänge erscheinen naheliegend, dennoch sind sie im Kontext des Klimawandels und dessen Auswirkungen auf die Gesundheit wichtig, da zukünftige klimatische Veränderungen neben dem Einfluss auf die UV-Strahlung auch eine verhaltensbedingt erhöhte UV-Exposition der Bevölkerung zur Folge haben können (Ilyas 2007).

## 8.4 Exkurs: Extremereignisse – Stürme und Überschwemmungen

Als Folge des anthropogenen Treibhauseffektes wurde in den vergangenen Jahrzehnten weltweit ein Anstieg in der Anzahl und Stärke einiger Extremwetterereignisse wie Stürme, Starkregen-

fälle oder Küstenhochwässer beobachtet, der sich voraussichtlich fortsetzen wird (Pachauri und Meyer 2014). Menschen in wirtschaftlich schlechter entwickelten Ländern wie z. B. Pakistan haben besonders mit den schwerwiegenden direkten und indirekten gesundheitlichen Folgen (s. u.) zu kämpfen. Jedoch können auch in wirtschaftlich hoch entwickelten Ländern wie Deutschland Extremereignisse katastrophale Ausmaße annehmen (Grünewald et al. 2003). Beispielsweise forderte das Elbhochwasser im August 2002 allein in Sachsen 21 Todesopfer (Grünewald et al. 2003).

Die gesundheitlichen Auswirkungen von Extremwetterereignissen wie Überschwemmungen oder Sturmfluten spielen im internationalen Vergleich in Hamburg eine eher geringe Rolle. Zwar besteht entlang der Nordseeküste ein hohes Risiko an Sturmfluten, jedoch wurde der Küstenschutz an der Nordsee – wie auch an der Ostsee – auf einem sehr hohen Niveau ausgebaut. In Hamburg wurde dies u. a. durch den Bau von Deichen, Hochwasserschutzwänden, Sturmflutsperrwerken, angepasste Bebauung oder ein etabliertes Frühwarnsystem umgesetzt (Hofstede 2014; Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer Hamburg 2012). Potenzielle direkte gesundheitliche Folgen durch Extremereignisse wie Hochwasser, Überschwemmungen und Stürme, auch in Ländern mit hohem Einkommen, sind neben Ertrinken Verletzungen wie Frakturen, Verstauchungen oder Schnittwunden (Ahern und Kovats 2006). Weitere direkte gesundheitsbeeinträchtigende Folgen können Durchfallerkrankungen, vektor- und/oder nagetierübertragbare Erkrankungen (Ahern und Kovats 2006), chemische Kontaminationen, Haut-/Augenerkrankungen (Solomon et al. 2006) und psychische Störungen wie Depressionen und posttraumatische Belastungsstörungen sein (Ginexi et al. 2000; Ahern et al. 2005; Ahern und Kovats 2006). Indirekte gesundheitliche Folgen solcher Extremereignisse sind Beeinträchtigungen der Infrastruktur des Gesundheitswesens, der Wasseraufbereitung und der Trinkwasserversorgung, Ernteausfall und Verknappung von Lebensmitteln, Verlust der Behausung, Zerstörung der Existenzgrundlage, Verlust des Einkommens sowie Umsiedlung der Bevölkerung (Ahern und Kovats 2006; Eis et al. 2010). Zur Anpassung an die erwartungsgemäß zunehmenden Extremereignisse in Hamburg wie auch in Deutschland ist es wichtig, bestehende Warnsysteme sowie Maßnahmen zum Katastrophenschutz und zur Schulung der Bevölkerung beizubehalten und weiterzuentwickeln.

### 8.5 Bedeutung klimatischer Veränderungen für das Auftreten allergologisch relevanter Pollen

Die World Allergy Organization (WAO) hat in einem kürzlich veröffentlichten Positionspapier auf den Einfluss globaler Umweltveränderungen (inkl. Klimawandel) auf die Häufigkeit von Allergien wie Heuschnupfen (allergische Rhinitis) oder allergischen Asthmas (Asthma bronchiale) hingewiesen (D'Amato et al. 2015). Unter einer Allergie versteht man eine spezifische Änderung der Immunitätslage im Sinne einer krankmachenden Überempfindlichkeit (Ring 2004). Allergien werden durch Allergene (z. B. Pollen) ausgelöst. Derzeit sind in Deutschland 49 % der Erwachsenen gegenüber mindestens einem von 50 getesteten

Allergenen sensibilisiert. Bei 34 % sind IgE-Antikörper gegen sog. Inhalationsallergene (über die Atmung aufgenommene Allergene), die Auslöser von Heuschnupfen und Asthma bronchiale, nachweisbar (Langen et al. 2013). Dazu gehören insbesondere Pollen von Gehölzen wie Haselnuss (*Corylus*), Erle (*Alnus*), Birke (*Betula*) und Eiche (*Quercus*), von Süßgräsern (*Poaceae*) und auch von windblütigen Korbblütlern (z. B. Beifuß, *Artemisia*; Traubenkraut, *Ambrosia*). Weitere Umweltfaktoren, wie eine zunehmende Luftverschmutzung oder auch überhöhte Hygienestandards, werden als verstärkende Faktoren für eine Zunahme von Allergien diskutiert. Vor allem in Städten ist der Einfluss von Luftschadstoffen wie NO<sub>2</sub>, Ozon und Feinstaub (vor allem Dieselruß) von Bedeutung, da sie die Allergenfreisetzung und auch die Entstehung allergenhaltiger Aerosole verstärken können (Bergmann et al. 2012). Zunehmend in der Diskussion ist der Einfluss klimatischer Veränderungen als Kofaktor für das Auftreten von allergischen Erkrankungen (Höflich 2014; D'Amato et al. 2015). Klimatische Veränderungen können sich nach Ziska und Beggs (2012) auf die Pollensaison (Beginn, Dauer), die Pollenmenge (erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration), die Pollenallergenität, den Pollentransport sowie auch auf die Verbreitung invasiver Arten (Auftreten neuer allergologisch relevanter Arten wie z. B. *Ambrosia artemisiifolia*) auswirken. Auch in der MRH wird sich der prognostizierte Klimawandel auf die entwickelten Ökosysteme auswirken (vgl. Zusammenfassung in Jensen et al. 2011). Allerdings spielen neben den klimatischen und edaphischen (Bodenbeschaffenheit) Bedingungen auch die Landnutzungsform und -intensität eine prägende Rolle für die ökologische Ausstattung der Landschaft. Da in der Zukunft auch weiterhin mit gravierenden Landnutzungsänderungen zu rechnen sein wird, ist eine Prognose zukünftiger Ökosystemzustände (und damit der Zusammensetzung des Pollenspektrums) allein auf der Basis der zu erwartenden Klimaänderungen schwierig. Im Folgenden soll kurz der Stand des Wissens über mögliche klimatisch bedingte Veränderungen von Ökosystemzuständen dargestellt werden, die relevant für die Pollensaison, die Pollenverbreitung und ggf. für die Pollenmenge sein könnten.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Phänologie von Pflanzenarten sind mittlerweile gut dokumentiert. In Deutschland haben die mittlere Jahrestemperatur (Anstieg um 0,36 °C pro Jahrzehnt) und die für den Beginn der Vegetationsentwicklung bedeutsame Temperatur zwischen Februar und April (Anstieg um 0,41 °C pro Jahrzehnt; 1961–2000) zugenommen. Seit 1960 hat der Beginn der Vegetationsperiode um 2,3 Tage pro Jahrzehnt früher eingesetzt (Chmielewski et al. 2004). In Hamburg hat sich die Forsythienblüte seit 1945 um etwa 4 Wochen verfrüht (Jensen et al. 2011). Dieses allgemein frühere Einsetzen von Blühphasen ist auch für Haselnuss, Erle, Birke im Frühjahr sowie für Süßgräser im Sommer zu erwarten und teilweise dokumentiert: Für Europa wurde ein früherer Blühbeginn von Eichen- (Garcia-Mozo et al. 2006) und Birkenarten (Emberlin et al. 2002) beobachtet und teilweise auch eine höhere Pollenmenge nachgewiesen (Frei und Gassner 2008; Rasmussen 2002). Für die Haselnuss zeigten Crepinsek et al. (2012), dass die Temperaturbedingungen des vorherigen Monats eng mit der phänologischen Entwicklung korreliert sind. Allerdings ist die Blühinduktion der windblütigen Gehölze komplex, und sie wird auch durch die Temperaturbedin-

gungen im Winter sowie die zur Verfügung stehenden Nährstoffe (Jochner et al. 2013) beeinflusst. Wärmere Winter könnten in der Folge veränderter Vernalisierungsbedingungen sogar zu einem späteren Einsetzen des Blühbeginns bei einigen Arten führen (vgl. z. B. Ziska und Beggs 2012). Zusätzlich weisen Zohner und Renner (2014) darauf hin, dass durch klimatisch bedingte Veränderungen der Verbreitungsgebiete von Gehölzen auch spät blühende Arten aus südlichen Gebieten in der Zukunft in nördlichen Regionen auftreten werden. Hierdurch könnte sich die Blühphase relevanter allergener Gehölze in der MRH insgesamt verlängern.

In der Literatur ist auch ein früheres Einsetzen der Blüte von Gräsern dokumentiert (z. B. Emberlin et al. 1999; Burr 1999; Bock et al. 2013 [Wiesenfuchsschwanz]; Siebert und Ewert 2012 [Hafer]). Für das beifußblättrige Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia*) liegen ebenfalls Arbeiten vor, die ein früheres Einsetzen des Blühbeginns bei höheren Temperaturen nachweisen. Dies zeigen sowohl Gewächshausexperimente mit erhöhter Temperatur als auch Untersuchungen zum Blühbeginn entlang eines urban-ruralen Gradienten in Baltimore, USA (Ziska et al. 2003; Rogers et al. 2006).

Für die Produktivität und Pollenproduktion ist atmosphärisches CO<sub>2</sub> von besonderer Bedeutung, da das Gas die wichtigste Kohlenstoffquelle für die Photosynthese der Pflanzen und damit für die Primärproduktion in terrestrischen Ökosystemen ist. CO<sub>2</sub>-Anreicherungen in geschlossenen oder halb-offenen Systemen führen in der Regel zu einer Steigerung der Primärproduktion (Jablonski et al. 2002). Auch in natürlichen Ökosystemen ist durch die Erhöhung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration mit einer Erhöhung der Produktivität zu rechnen, wenn nicht andere für die Primärproduktion relevante Ressourcen limitierend sind (Wasser, Nährstoffe). *Ambrosia* zeigt bei erhöhter Temperatur und auch bei ansteigender CO<sub>2</sub>-Konzentration in Experimenten eine zunehmende Pollenproduktion (Wan et al. 2002; Wayne et al. 2002). Die Zunahme der Pollengehalte in Europa, insbesondere in Städten, könnte nach Ergebnissen von Ziello et al. (2012) durch eine erhöhte atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration verursacht sein. Damit kommt klimatischen Veränderungen eine besondere Bedeutung für die Produktivität und Pollenproduktion zu, da sowohl die Temperatur- als auch die CO<sub>2</sub>-Zunahme begünstigend wirken können. Inwieweit es zu einer Veränderung der Allergenität der Pollen unter sich ändernden klimatischen Bedingungen kommt, ist bislang nicht umfassend untersucht. Studien zu *Ambrosia* zeigen, dass sich die Konzentration zumindest eines Hauptallergens (Amb a 1) durch eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration erhöht (Singer et al. 2005). Für die Birke wurde unter erhöhter Temperatur eine Zunahme des Pollenallergens Bet v 1.54 nachgewiesen (Ahlholm et al. 1998).

Hinsichtlich der Verbreitung kann davon ausgegangen werden, dass Tier- und Pflanzenarten nur unter spezifischen Klima- und Standortbedingungen („bioclimatic envelope“) vorkommen können und dass sich bei einer Änderung des Klimas auch das Verbreitungsgebiet der Arten ändert (vgl. z. B. Pompe et al. 2008 für Pflanzenarten in Deutschland). Ob die jeweiligen Arten den Lebensraum innerhalb ihres „bioclimatic envelope“ tatsächlich besiedeln können, hängt vor allem von der Ausbreitungsfähigkeit der einzelnen Arten sowie von der Barriere- bzw. Verbundwirkung

der jeweiligen Landschaft ab (z. B. Higgins und Richardson 1999). In den letzten Jahrzehnten wurde beispielsweise für Gehölze eine Verschiebung der Verbreitungsgebiete in nördlichere Regionen (z. B. Desprez et al. 2014 für den Tulpenbaum, *Nyssa sylvatica*, in den USA) nachgewiesen. Auch die zunehmende Verbreitung von *Ambrosia artemisiifolia* in Europa wird mit der Erwärmung des Klimas in Verbindung gebracht. Allerdings sind gegenwärtig für den norddeutschen Raum wohl nach wie vor Verunreinigungen von Vogelfutter mit Ambrosiasamen die Hauptursache für Populationsentwicklungen dieser Art mit hochallergenen Pollen (vgl. Poppendieck 2007; Kannabei und Dümmler 2014). Richter et al. (2013) konnten für Bayern und Österreich nachweisen, dass ein Management zum Zurückdrängen von *Ambrosia* die weitere Ausbreitung der Art erfolgreich einschränken kann. Die Autoren berechneten, dass die Kosten für das Management nur etwa 10 % der im Gesundheitsbereich durch verminderte Allergiekosten erzielten Einsparungen entsprechen.

## 8.6 Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Infektionskrankheiten – das Beispiel Stechmücken

Die drohende Einwanderung der asiatischen Tigermücke (*Aedes [Ae.] albopictus*) nach Süddeutschland und unlängst die Zika-Epidemie in Brasilien haben hierzulande erhebliches öffentliches Interesse an Stechmücken als Überträger von z. T. gefährlichen Infektionskrankheiten erregt (Rathke 2014). Grund ist vermutlich, dass Stechmücken und andere Arthropoden durch die Hygienemaßnahmen unseres aufwendigen Gesundheitssystems nicht erfasst werden. Generell werden zwei Faktoren für die zunehmende Bedrohung durch Stechmücken in unseren Breiten verantwortlich gemacht: die Steigerung des globalen Personen- und Warenverkehrs und der Klimawandel. Da Hamburg durch seinen Hafen intensiv in den globalen Warenverkehr eingebunden ist, stellt sich die Frage, ob diese exponierte Lage zusammen mit Klimaveränderungen bereits zu einer Ansiedlung bedrohlicher Populationen von Stechmücken geführt hat.

Nachdem 1950 der letzte Fall einer in Deutschland erworbenen Malaria registriert wurde und 1973 ganz Europa offiziell für malariefrei erklärt wurde, sank das Interesse an Stechmücken hierzulande drastisch (Weyer 1956; Zahar 1990). So datieren die letzten Studien zur Überwachung von Mückenpopulationen in Deutschland auf die 1960er-Jahre (Mohrig 1969). Eine Ausnahme bildete die Region am Oberrhein, wo Bewohner in erheblichem Ausmaß von Stechmücken – im lokalen Sprachgebrauch „Schnaken“ genannt – belästigt wurden, die in toten Rheinarman und anderen Überschwemmungsgebieten brüten. Dort wird seit 1976 von den Kommunen eine „Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage“ (KABS) finanziert, die Stechmückenpopulationen durch biologische Brutplatzbekämpfung wirksam reduziert. Im Rahmen dieser Arbeit führt die KABS inzwischen kontinuierliche Erhebungen zu Vorkommen und Verbreitung von Stechmückenarten in weiten Teilen Südwestdeutschlands durch (Becker und Ludwig 1981; Becker und Kaiser 1995).

Aus medizinischen Gründen erstarkte das Interesse an Stechmücken in den vergangenen Jahren wieder. Einerseits dro-

hen neue Krankheitsüberträger wie die asiatische Tigermücke (*Ae. albopictus*) nach Deutschland einzuwandern (Becker et al. 2013) bzw. sind, wie im Fall der asiatischen Buschmücke (*Ochlerotatus [Oc.] japonicus*), in einigen Bundesländern bereits heimisch geworden (Medlock et al. 2012; Huber et al. 2014; Zielke et al. 2015). Andererseits traten in Südeuropa die ersten autochthonen exotischen Infektionen wie das Chikungunya- und das Dengue-Fieber auf, die von Mücken übertragen werden (Rezza et al. 2007; Gould et al. 2010). Und auch in Deutschland wurden wieder durch Mücken übertragene Erreger wie Batai-, Sindbis und Usutu-Viren entdeckt (Jöst et al. 2010, 2011a, 2011b). Deshalb wurde entschieden, bundesweite Untersuchungen zu Vorkommen und Verbreitung von Mücken wieder aufzunehmen, um die alten Daten über das Vorkommen einheimischer Mückenarten zu aktualisieren und das Auftreten neuer invasiver Mückenarten zu erfassen. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf Hamburg und seine nähere Umgebung.

Wie andernorts in Deutschland hat sich in den vergangenen Jahrzehnten die Umwelt in Hamburg deutlich verändert. Zum einen folgten nach Zerstörungen im Zweiten Weltkrieg ein massiver Wiederaufbau und eine deutliche Urbanisierung mit einem möglichen Verlust von Mückenbiotopen. Zum anderen wurden in den vergangenen Jahren Überschwemmungsgebiete und zahlreiche Naturschutzgebiete geschaffen, die insbesondere Moore und Marschlande umfassen. Zudem befindet sich in Hamburg Europas zweitgrößter Seehafen, der als Eintrittspforte für invasive Mückenarten dienen könnte. Stechmücken sind aber nicht nur wichtige Krankheitsüberträger und lästige Plagegeister, sie spiegeln auch Veränderungen der Umwelt wie Klima, Landnutzung und Verschmutzung wider. Aus diesem Grund wurden unlängst erhobene Daten zur Verbreitung von Stechmücken im Großraum Hamburg unter dem Aspekt des Klimawandels und anderer Umweltveränderungen gesichtet (Krüger et al. 2014).

An 105 Orten im Großraum Hamburg wurden Mücken gefangen oder deren Gelege gesammelt. Mehr als 10.000 Adulte und Larven wurden untersucht. Die Mehrzahl von über 7000 Individuen wurde mit Mückenfallen gefangen, etwa 2800 Larven wurden durch 168 Schöpfproben gewonnen und die übrigen Exemplare beim Anflug auf Menschen mithilfe von Aspiratoren gesammelt. Alle gesammelten Larven und adulten Mücken wurden nach Mohrig (1969) und Becker et al. (2010) morphologisch klassifiziert. In zahlreichen Fällen wurde die Bestimmung durch DNA-Analysen nach Folmer et al. (1994) bzw. Proft et al. (1999) ergänzt. Etwa 60 % der Proben wurden eindeutig identifiziert und 33 verschiedenen Spezies zugeordnet. Die übrigen 40 % gehörten dem *An.-maculipennis*-Komplex oder den jeweils eng verwandten Spezies von *Ae. cinereus/geminus*, *Culex (Cx.) pipiens/torrentium* oder *Oc. annulipes/cantans* an. Ihre morphologischen Charakteristika sind identisch oder zu ähnlich, um eine eindeutige Zuordnung zu ermöglichen, und DNA-Analysen wurden nicht in allen Fällen durchgeführt. Im Fall der *Ae. cinereus/geminus*, *Cx. pipiens/torrentium* und *Oc. annulipes/cantans* konnte das Vorkommen aller sechs Spezies durch Untersuchung von Männchen eindeutig nachgewiesen werden. Demgegenüber kann nicht ausgeschlossen werden, dass die gefundenen Proben, die dem *An.-maculipennis*-Komplex zu-

geordnet wurden, auch Spezies umfassen, die nicht den beiden in Hamburg nachgewiesenen Arten *An. maculipennis s. str.* oder *An. messeae* angehören. Dies würde die Zahl der gefundenen Mückenarten auf über 33 erhöhen. Wie erwartet, wurden die Gemeine Hausmücke *Cx. pipiens* und die Art *Cx. torrentium* mit Abstand am häufigsten gefunden, sowohl bzgl. ihrer Dichte als auch ihrer Verbreitung. Die größte Vielfalt, nämlich 70 % der Mückenarten, fand sich in Waldgebieten, obwohl nur ca. 20 % der Sammelstellen in Wäldern lagen.

In den letzten 100 Jahren wurden 36 verschiedene Stechmückenarten in der MRH nachgewiesen. Von diesen wurden fünf, nämlich *Anopheles (An.) algeriensis*, *Cx. modestus*, *Oc. caspius*, *Oc. nigrinus* und *Oc. sticticus*, erstmals in den vergangenen fünf Jahren identifiziert, während *An. atroparvus*, *Culiseta alascaensis* und *Oc. excrucians*, über die noch in den 1960er-Jahren berichtet worden war, nun nicht mehr gefunden wurden. Bemerkenswert ist, dass erstmals *Cx. modestus* nachgewiesen wurde, da es sich um den bisher nördlichsten Fundort dieser ursprünglich mediterranen Mückenart handelt (Mohrig 1964; Harksen et al. 1976; Golding et al. 2012; Reusken et al. 2010; Lundström et al. 2013). Möglicherweise ist die nördliche Ansiedlung von *Cx. modestus* ein sensibler Indikator für einen Klimawandel. Da die Art bereits am Oberrhein nachgewiesen wurde (Weitzel et al. 2009), könnte sie sich kontinuierlich in Deutschland ausgebreitet haben und ist vermutlich nicht über den Hafen importiert worden. Zu beachten ist, dass *Cx. modestus* als einer der wichtigsten Überträger des West-Nil-Virus in Europa identifiziert wurde (Engler et al. 2013). Das West-Nil-Virus hat sich – aus Afrika kommend – 2000 bis 2003 rasant über ganz Nordamerika ausgebreitet. Es verursacht eine grippeähnliche Erkrankung, die in der Regel harmlos verläuft. Wie *Cx. modestus* ist auch *An. algeriensis* mediterranen Ursprungs, der über ein halbes Jahrhundert nicht mehr in Deutschland nachgewiesen worden war und nun erstmals in Norddeutschland gefunden wurde (Krüger und Tannich 2013). Beide, *Cx. modestus* und *An. algeriensis*, sind halophil, d. h., sie bevorzugen brackige Brutplätze. Dasselbe gilt für *Oc. caspius*, dessen Vorkommen in Hamburg ebenfalls zuvor nicht dokumentiert worden war. Umso interessanter ist das Verschwinden von *An. atroparvus*, der ebenfalls als halophil gilt. Vor dem Krieg war er besonders in den norddeutschen Küstenregionen weit verbreitet und wichtigster Überträger der Malaria (Weyer 1956). Bereits in den 1960er-Jahren war er in Hamburg seltener gefunden worden (Zielke 1970). Nun fehlte er vollständig. Ähnliches wurde in den Niederlanden beobachtet und einerseits auf eine solidere Bauweise zurückgeführt, die weniger Möglichkeiten der Überwinterung bietet (Takken et al. 2002), andererseits auf eine zunehmende Verschmutzung der Oberflächengewässer, auf die *An. atroparvus* sensibler reagieren könnte als die anderen gefundenen halophilen Mückenarten (van Seventer 1970). Auch *Oc. excrucians* fehlte, der bis 1968 in Hamburg relativ weit verbreitet war (Peus 1935; Zielke 1970). Da diese Mückenart offene Landschaften wie Wiesen und Weiden bevorzugt, könnte ihr Rückgang durch eine Intensivierung des Ackerbaus im Großraum Hamburg verursacht sein. Die beiden erstmals nachgewiesenen Arten *Oc. nigrinus* und *Oc. sticticus* brüten in Überschwemmungsgebieten. Zudem wurde *Ae. vexans*, die wichtigste „Überschwemmungsmücke“, deutlich häufiger gefunden als vor 1970 (Peus 1935; Zielke 1970).



Der Nachweis bzw. die Zunahme dieser Mückenarten ist offenbar Folge der systematischen Entwicklung von Überschwemmungsgebieten in Hamburg. Bemerkenswert ist die Zunahme von *Cx. torrentium*, der immerhin 4 % aller gefundenen Stechmücken ausmachte. Vor 1960 war er gar nicht in Norddeutschland gefunden worden (Mohrig 1969) und bis 1970 nur als ein einzelnes Exemplar (Zielke 1970). Eine ähnliche Zunahme wurde in Süddeutschland beobachtet (Struppe 1989). Aus bisher unbekanntem Gründen hat sich diese Art in den letzten 60 Jahren in einem erheblichen Ausmaß in Deutschland ausgebreitet.

Bleibt noch zu berichten, dass bei einer gleichzeitig durchgeführten Erhebung im Hamburger Hafen und am Flughafen Fuhlsbüttel keine Hinweise gefunden wurden, dass die medizinisch bedeutsamen invasiven Arten *Ae. albopictus* (asiatische Tigermücke) und *Oc. japonicus* (asiatische Buschmücke) auf dem See- oder Luftweg nach Hamburg eingeschleppt worden sind.

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Erhebung, dass das Auftreten der ursprünglich mediterranen Stechmücken *Cx. modestus* und *An. algeriensis* in der MRH möglicherweise als sensibler Indikator für Klimaveränderungen gewertet werden kann. *Cx. modestus* ist von medizinischer Bedeutung, da er in Teilen Südeuropas als Überträger des West-Nil-Virus identifiziert wurde, das in der Regel harmlose grippeähnliche Erkrankungen verursacht.

## 8.7 Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Infektionskrankheiten – das Beispiel zeckenübertragener Krankheiten

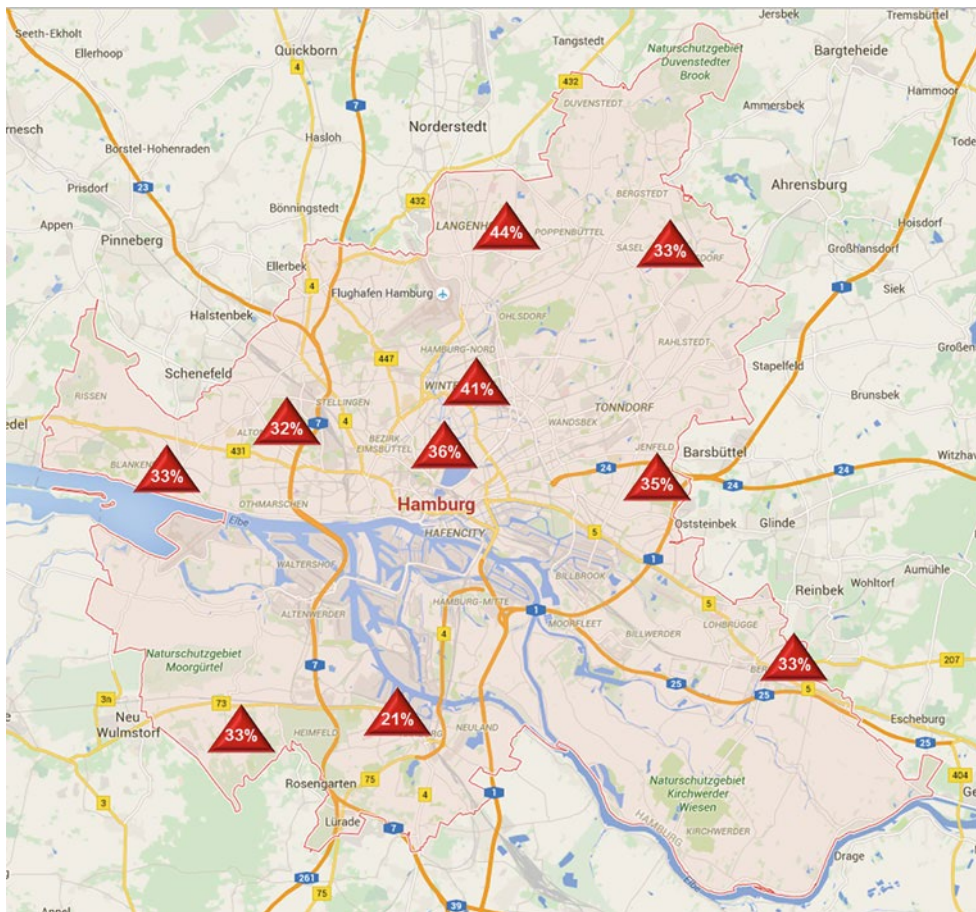
Zecken spielen neben Mücken eine wichtige Rolle als Überträger von Krankheitserregern. Der Gemeine Holzbock *Ixodes ricinus*, die weitaus häufigste Zecke in Deutschland, kann verschiedenste Mikroorganismen übertragen. Zu den bakteriellen Erregern zählen u. a. *Anaplasma phagocytophilum*, der Erreger der humanen granulozytären Anaplasmosis, und Rickettsien der Fleckfiebergruppe, die ein grippeähnliches Krankheitsbild hervorrufen können, das mitunter als „Sommergrippe“ diagnostiziert wird. Die bedeutendsten übertragenen Pathogene sind jedoch Bakterien der *Borrelia-burgdorferi*-Gruppe (Stanek 2009), die beim Menschen die sog. Lyme-Borreliose auslösen können. Die Borrelien-Infektionsrate der Zecken in Deutschland variiert; es sind Prävalenzen von 3,1 % an der Ostseeküste bis 36,3 % in Bayern beschrieben (Fingerle et al. 1999; Franke et al. 2011). Neben den Bakterien der *Borrelia-burgdorferi*-Gruppe tritt in Deutschland seit einigen Jahren auch *Borrelia miyamotoi* auf, die zu den Rückfallfieber-Borrelien zählt und wie die Rickettsien grippeähnliche Symptome hervorrufen kann. Die Zahl der Berichte über zeckenübertragene Erkrankungsfälle ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Hierfür wird neben Faktoren wie der zunehmenden Erholungssuche in der freien Natur oder einer verstärkten Aufmerksamkeit gegenüber zeckenübertragenen Erkrankungen auch der Klimawandel diskutiert, da klimatische Parameter die Aktivität und das Überleben der Zecken beeinflussen. So benötigen Zecken eine relative Luftfeuchtigkeit von > 75 %, um nicht auszutrocknen. Das Aktivitätsmaximum erreicht *Ixodes ricinus*

bei 17–20 °C, ist aber bereits ab einer Temperatur von ca. 7 °C aktiv. Im Zuge des Klimawandels ist damit zu rechnen, dass diese Mindesttemperatur an mehr (Winter-)Tagen erreicht sein wird, als es bisher der Fall ist. Dies könnte die Zeckenpopulation durch kürzere Generationszeiten und möglicherweise auch die Infektionsraten mit pathogenen Mikroorganismen maßgeblich beeinflussen. Ferner könnten im Zuge des Klimawandels auch Zeckenarten aus wärmeren Regionen Europas, die als unbemerkte Passagiere von Menschen oder Tieren nach Deutschland „importiert“ werden, hier heimisch werden.

Daten zur Prävalenz von Borrelien, Anaplasmen und Rickettsien in Zecken aus dem nordwestlichen Teil Deutschlands waren bisher nur für das Stadtgebiet Hannover verfügbar (Schicht et al. 2012, 2011; Tappe et al. 2014; Tappe und Strube 2013). Um die Infektion von Zecken mit den genannten Krankheitserregern in Grünanlagen im Stadtgebiet Hamburg abschätzen zu können, wurden im Jahr 2011 monatlich von April bis Oktober in 10 verschiedenen Grünanlagen insgesamt 1400 Zecken gesammelt, die sich aus je 20 Zecken pro Ort und Monat zusammensetzten. Alle gesammelten Zecken wurden morphologisch als *Ixodes ricinus* identifiziert. Die Untersuchung auf Borrelien, Anaplasmen und Rickettsien erfolgte anhand einer quantitativen Echtzeit-(Real-Time-)PCR<sup>1</sup> (Tappe et al. 2014; Tappe und Strube 2013; May und Strube 2014; May et al. 2015). Insgesamt waren 34,1 % der Hamburger Zecken mit Borrelien infiziert (May et al. 2015). Die Infektionsrate der Zecken variierte signifikant zwischen 21,4 % am Standort „Schwarzenberg“ und 41,4 % im Stadtpark Winterhude bzw. 43,6 % im Raakmoor (■ Abb. 8.3). Im Frühjahr war der Prozentsatz der Borrelien-positiven Zecken (April: 13,5 %; Mai: 25,0 %) signifikant niedriger als im August und Oktober (42,5 bzw. 48,0 %). Auch für Hannover wurden solche lokalen und saisonalen Unterschiede beschrieben (Tappe et al. 2014), die aus verschiedenen abiotischen und biotischen Bedingungen wie mikroklimatischen Faktoren, Verfügbarkeit geeigneter Reservoirwirte, Zeckendichte, Habitattypen und Vegetation resultieren könnten (Christova et al. 2003). Als weitere zeckenübertragene Pathogene wurden Anaplasmen bei 3,6 % und Rickettsien bei 52,5 % der Zecken nachgewiesen (May und Strube 2014).

Die erhobenen Daten dienen als wichtige Parameter zur Einschätzung des potenziellen Gesundheitsrisikos durch von Zecken übertragenen Pathogenen im Stadtgebiet Hamburg, das aufgrund der hohen Prävalenzen nicht unterschätzt werden sollte. Zwar trug nur etwa jede dreißigste Zecke Anaplasmen, aber etwa jede dritte Zecke war mit Borrelien infiziert, mit Rickettsien sogar jede zweite. Ferner dienen sie als Grundlage für notwendige Folgeuntersuchungen in den kommenden Jahren, welche die Frage beantworten sollen, ob und inwieweit sich die Prävalenz von Borrelien, Anaplasmen und Rickettsien in Hamburgs Zecken im Zuge des Klimawandels erhöht. Hingegen gibt es noch keinerlei Daten, ob mit dem Klimawandel auch die Zahl der Zecken in Hamburg zunimmt, wie immer wieder in der Öffentlichkeit berichtet wird. Ob dies nur ein subjektives Empfinden infolge einer erhöhten Sensibilisierung oder tatsächlich

1 „polymerase chain reaction“



■ **Abb. 8.3** Prozentsatz *Borrelia*-infizierter Zecken an den 10 verschiedenen Sammelorten im Stadtgebiet Hamburg (Raakmoor, Volksdorfer Wald, Neugrabener Heide, Schwarzenberg, Bergedorfer Gehölz, Goßlers Park, Altonaer Volkspark, Alster, Stadtpark Winterhude und Öjendorfer Park). Kartengrundlage: Google Maps

ein mit dem Klimawandel assoziiertes Faktum ist, bleibt derzeit unbeantwortet.

## 8.8 Klimawandel, Luftschadstoffe und Auswirkungen auf die Gesundheit

Luftschadstoffe beeinträchtigen die Gesundheit des Menschen. Zum einen können erhöhte Emissionen von Vorläufersubstanzen, insbesondere auch biogene Kohlenwasserstoffverbindungen, und auch eine erhöhte Lufttemperatur zu einer vermehrten Bildung von bodennahem Ozon führen. Zum anderen kann es durch erhöhte Sonneneinstrahlung zu einer verstärkten Feinstaubkonzentration (Feinstaubfraktion PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), z. B. durch Automobilverkehr, aber auch zu einer erhöhten Belastung durch Kohlenmonoxid, Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid u. a. durch Waldbrände kommen (Kislitsin et al. 2005; Faustini et al. 2015).

Der kausale Zusammenhang zwischen erhöhter Luftschadstoff- und Feinstaubbelastung einerseits und erhöhter Krankheitslast andererseits ist vielfach durch Studien belegt (z. B. das WHO-Projekt „Health Risks of Air Pollution in Europe – HRAPIE“, WHO 2013a) oder durch Übersichtsartikel dargelegt worden (WHO-Projekt „Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution – REVIHAAP“, WHO 2013b; Brook et al. 2010; Hoek et al. 2013). Mit den Langzeiteffekten von Luftverschmutzung haben sich u. a. Foraster et al. (2014), Franchini und Man-

nucci (2012) sowie Beelen et al. (2014) befasst und dabei einen signifikanten Zusammenhang mit dem Auftreten von Bluthochdruck und Herz-Kreislauf-Erkrankungen aufgezeigt. Aber nicht nur die Langzeit-, sondern auch die Kurzzeiteffekte sind von Bedeutung. So konnten z. B. Dominici et al. (2006) den stärksten Zusammenhang zwischen hohen Schadstoffkonzentrationen und z. B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen am Tag der Exposition oder zeitlich um 1–2 Tage verzögert belegen. Analitis et al. (2006) fanden im Rahmen der Studie „Air Pollution and Health European Approach (APHEA-2)“, an der 43 Mio. Erwachsene aus 29 europäischen Städten teilnahmen, einen Anstieg der täglichen Sterblichkeitsrate an Herz-Kreislauf-Erkrankungen um 1,5 % pro Anstieg an PM<sub>10</sub> um 20 µg/m<sup>3</sup>. Dieser Effekt nahm signifikant zu, sobald zusätzlich erhöhtes Ozon und Hitzewellen in Kombination auftraten (Analitis et al. 2014).

Luftschadstoffe wirken sich jedoch nicht nur auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen, sondern auch auf respiratorische Erkrankungen wie Asthma (z. B. Lavigne et al. 2012; Villeneuve et al. 2007) und chronisch-obstruktive Atemwegserkrankungen (COPD) aus (z. B. Faustini et al. 2012; Simoni et al. 2015). Die hier am häufigsten betroffenen Risikogruppen sind ältere Menschen, Kleinkinder und chronisch kranke Personen (z. B. Fischer et al. 2003; Heinrich und Slama 2007; Næss et al. 2007; Simoni et al. 2015; Villeneuve et al. 2007). Jedoch zeigen auch Studien wie z. B. die CAFE-Studie (Forsberg et al. 2005) oder die APHEKOM-Studie (Chanel et al. 2015) allgemein eine Verringerung der Lebenserwartung durch erhöhte Luftschadstoffe. Mehrere epidemiolo-

gische Studien haben sich mit der Untersuchung des Einflusses der Temperatur (vor allem von Hitzebelastungen) auf die Sterblichkeit befasst (Basu und Samet 2002; Basu 2009). Jedoch sind Temperatur-Gesundheits-Zusammenhänge noch unzureichend charakterisiert, insbesondere wenn es um Suszeptibilität (Empfindlichkeit gegenüber äußeren Einflüssen) und beeinflussende Faktoren geht.

Die Luftqualität im norddeutschen Raum wird von Verkehrsemissionen, insbesondere durch Kraftfahrzeuge und die Schifffahrt (Matthias et al. 2010; Aulinger et al. 2016; Oeder et al. 2015), durch industrielle Quellen und Kraftwerke, aber auch in erheblichem Maß aus der Landwirtschaft (Backes et al. 2016) bestimmt. Eine Übersicht zu den Schadstoffbelastungen im Nordseeraum vor dem Hintergrund des Klimawandels ist bei Dalsøren und Jonson (2016) zu finden. Kenntnisse zur aktuellen Luftqualität im Hamburger Raum werden im Luftreinhalteplan für Hamburg zusammengefasst (Böhm und Wahler 2012). Der Einfluss von Stadteffekten auf die Luftqualität wird in ► Kap. 3 dieser Veröffentlichung behandelt.

Da die Luftbelastung einer Region neben den Emissionen auch sehr stark von meteorologischen Bedingungen abhängt, ist ein Einfluss des Klimawandels auf die Luftqualität und damit auf die Gesundheit der Bevölkerung zu erwarten. Die Auswirkungen eines sich verändernden Klimas auf die Luftqualität erfolgen durch Veränderungen der Ventilationsgegebenheiten (durch Wind, Mischungsschichthöhe, Konvektion und Frontpassagen), der Auswaschung durch Niederschläge, der chemischen Umwandlungsraten und der natürlichen Emissionen. Insbesondere zeigt sich in Modellstudien, die als wesentliche Grundlage für die Betrachtungen des Zusammenhangs zwischen Luftqualität und Klimawandel herangezogen werden, eine deutliche Abhängigkeit der Ozonkonzentration in Gebieten mit hoher Schadstoffbelastung von der Temperatur. Jacob und Winner (2009) verweisen auf einen über die kommenden Dekaden zu erwartenden Anstieg der Ozonkonzentration im Sommer um 1–10 ppb, der allein auf den Klimawandel zurückzuführen ist. Dabei treten die stärksten Effekte in städtischen Gebieten und während intensiver Belastungsperioden auf. Der mögliche Einfluss des sich wandelnden Klimas auf die Feinstaubkonzentrationen ist komplex; er hängt stark von der Niederschlagshäufigkeit ab, und auch die Mischungsschichthöhe spielt hier eine wichtige Rolle. Beide Größen sind heute in Modellstudien noch mit großen Unsicherheiten behaftet.

Die zukünftige Luftqualität und damit einhergehend die Gesundheit der Bevölkerung im Nordwesten Europas wird sowohl von veränderten Emissionen von Schadstoffen, insbesondere auch denen aus dem Transportsektor, wie auch von Veränderungen meteorologischer Bedingungen durch den Klimawandel abhängen. Die jeweilige Gewichtung der Einflussbereiche ist nicht einfach abzuschätzen. Es existieren einige Modellstudien dazu, die jedoch einen weiten Bereich von Emissionsszenarien und andere methodische Spezifika aufweisen, was eine Vergleichbarkeit entsprechend erschwert (Dalsøren und Jonson 2016). In den nächsten Jahren werden die erhöhten Anteile an Kraftfahrzeugen mit EURO5- und EURO6-Spezifikationen zu niedrigeren Emissionen von Stickoxiden und Partikeln führen. Hafenstädte wie Hamburg und auch viele Küstenregionen werden von Verschärfungen der Bestimmungen für den Schifffahrtssektor

profitieren. Im Jahr 2015 wurde der zulässige Schwefelanteil im Schiffskraftstoff auf Nordsee und Ostsee auf 0,1 % gesenkt. Über Reduktionen des Stickoxidausstoßes von Schiffen wird noch verhandelt; vorgeschlagene Maßnahmen würden im Jahr 2030 für diesen Schadstoff im Nordseeraum die durch den prognostizierten Anstieg der Schiffsbewegungen erwarteten Mehrbelastungen in etwa ausgleichen (Matthias et al. 2016). Obwohl es, wie oben erwähnt, unterschiedliche Pfade des Einflusses von Klimaveränderungen auf die Feinstaubkonzentrationen gibt, zeigen verfügbare Modellstudien, dass der Haupteinflussfaktor die Schadstoffemissionen sein werden (Colette et al. 2013; Andersson und Engardt 2010; Katragkou et al. 2011; Langner et al. 2012a, 2012b; Coleman et al. 2013; Dalsøren und Jonson 2016). Hedegaard et al. (2013) bewerten Emissionsänderungen als wesentlichen Grund für Veränderungen beim Feinstaub, für die Ozonkonzentrationen sei der Einfluss durch den Klimawandel aber ebenso bedeutsam. Nach Colette et al. (2013) sind um 2030 im Bereich der südlichen Nordseeregion leicht erhöhte Ozonkonzentrationen zu erwarten, obwohl mit einem Rückgang der Stickoxidemissionen gerechnet wurde. Der Anstieg ließe sich durch geeignete klimapolitische Maßnahmen merklich abfangen. Ozonbelastungen könnten insbesondere im Zusammenhang mit extremen Sommern Bedeutung erlangen, wie z. B. bereits im Jahr 2003 beobachtet werden konnte (Schär et al. 2004). Orru et al. (2013) haben ozonbezogene Mortalität und Krankenhausaufnahmen für die Normalperiode 1961–1990 mit den Projektionen für 2021–2050 verglichen und festgestellt, dass in Europa ein Anstieg der ozonbezogenen Sterblichkeit von bis zu 13,7 % auftreten könnte, wobei für die meisten nördlichen Länder jedoch ein leichter Rückgang zu erwarten wäre.

Für die zukünftige Partikelbelastung ergibt sich kein so klares Bild. Während Colette et al. (2013) und Hedegaard et al. (2013) im Zusammenhang mit dem regionalen Klimawandel für den Nordseeraum eine leichte Verbesserung bei den PM<sub>2.5</sub>-Konzentrationen erwarten, zeigen andere Studien ein komplexeres Bild mit Konzentrationsab- und -zunahmen auf kleineren Raumbereichen (Nyiri et al. 2010; Manders et al. 2012). Mit der klaren Abhängigkeit der Feinstaubkonzentrationen von den Niederschlagsereignissen schlagen bei den Projektionen die Modellunsicherheiten für diese Variable durch, und es sind kaum Eingengungen der Unsicherheitsbereiche für die Entwicklung der Partikelkonzentration in den Modellstudien zu erwarten.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass es einige Einflusspfade gibt, über die der Klimawandel die Luftqualität und somit die Gesundheit der Bevölkerung im norddeutschen Raum verändern kann. Allerdings ist auch auf die Bedeutung von Emissionsveränderungen hinzuweisen, deren Auswirkung auf Schadstoffkonzentrationen diejenigen durch den Klimawandel deutlich überlagern würde.

## 8.9 Klimatische Veränderungen und ihre Bedeutung für die Veterinärmedizin

Die Beobachtung von Wetter- und Klimafaktoren mit dem Ziel der Vorhersage ist ein lange etabliertes Werkzeug für die moderne Landwirtschaft. Es sollen beispielsweise ideale Erntezeit-

punkte bestimmt oder Haltungssysteme für Nutztiere optimiert werden. Bei der Untersuchung der Epidemiologie (d. h. der Verbreitung von Krankheiten innerhalb von Populationen) von Tierkrankheiten müssen immer drei Hauptkomponenten analysiert werden: Wirt, Erreger und Umwelt. Das Zusammenwirken dieser drei Faktoren bestimmt die Epidemiologie der betreffenden Krankheit. Haupteinflussgrößen des Faktors Umwelt sind u. a. Klima- und Wetterfaktoren. Außerdem handelt es sich um Daten, die in Echtzeit mess- und verfügbar sind. Viele der genutzten Werkzeuge und Verfahren für die eingangs genannten Vorhersagesysteme ließen sich ebenfalls für eine durch die Kenntnis der Epidemiologie getriebene Vorhersage von Tierkrankheiten nutzen. Dies findet jedoch in einem noch ungenügenden Umfang statt. Werden großräumige Daten verwendet, so ist eine belastbare Vorhersage des Auftretens von Tierkrankheiten schwerlich möglich, daher ist die Integration von Daten zum Mikroklima in der entsprechenden Region erforderlich (Salman 2013). Vielversprechende Ansätze zur Verbesserung der Integration von Klima- und Wetterdaten in epidemiologische Analysen im Bereich der Veterinärmedizin stellen Metaanalysen (d. h. die systematische Analyse einer Vielzahl von Studien) und Zeitreihenanalysen dar (Salman 2013).

Im Folgenden werden einige ausgewählte Bereiche vorgestellt (Erreger, Vektoren und Wirte), die für die Betrachtung des Einflusses des Klimawandels auf die Tiergesundheit von Bedeutung sind.

Der Erreger der Blauzungkrankheit der Wiederkäuer, das Bluetongue Virus (BTV), wird durch Gnizen der Gattung *Culicoides* übertragen. Tiere, die sich mit einem bestimmten Infektionserreger noch nie auseinandergesetzt haben, werden in Bezug auf diesen Erreger als naiv bezeichnet. Eine BTV-Infektion kann bei naiven trächtigen Tieren zu schweren Missbildungen der Früchte führen. Es sind insgesamt 28 Serotypen mit unterschiedlicher geografischer Verbreitung bekannt. In Südeuropa existiert die Krankheit seit den 1960er-Jahren. In Mitteleuropa gab es 2006 einen Eintrag (Conraths et al. 2009). In den darauffolgenden Jahren kam es in mehreren Wellen zu großen Ausbrüchen mit über einer Million betroffener Tiere in Deutschland, Frankreich, den Niederlanden, Luxemburg, dem Vereinigten Königreich, Tschechien, Ungarn und der Schweiz. Für die erfolgreiche Etablierung von BTV werden besonders milde Winter in den Jahren 1999–2007 verantwortlich gemacht. Erst sie haben es dem Virus durch den Wegfall einer vektorfreien Zeit ermöglicht, Infektketten, bestehend aus virämischen Tieren und den blutsaugenden Insekten, nicht abreißen zu lassen. Verschiedene Modelle projizieren ein moderates Voranschreiten des Klimawandels in Norddeutschland (Suk et al. 2014), daher ist mit dem erneuten Auftreten von BTV zu rechnen. Im September 2015 ist der Serotyp 8 von BTV in Frankreich wiederaufgetreten und breitet sich seitdem aus (European Commission 2016). Eine besondere Erschwernis ist dabei, dass die Wiederkäuerpopulation zwischenzeitlich wieder naiv geworden ist. Die großen Impfkampagnen der Jahre nach 2006 wurden inzwischen eingestellt, sodass kaum noch geschützte Tiere existieren. Eine naive Population erleichtert es BTV, erneut Fuß zu fassen. Gleiches kann auch für andere von Arthropodenvektoren übertragenen Krankheiten wie z. B. das Riftal- oder das West-Nil-Fieber (Heffernan et al. 2012) angenommen werden.

Die asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) ist eine invasive Mückenart, die ursprünglich aus tropischen und subtropischen Gegenden Südasiens stammt. Sie dient als Vektor für verschiedene, auch zoonotische virale (West-Nil-Fieber, Dengue-Fieber, Gelbfieber, Riftal-Fieber) und parasitäre (Dirofilarien) Infektionskrankheiten. Ihre Eier sind besonders trockenheitsresistent und werden bevorzugt in nur vorübergehend wassergefüllten Hohlräumen abgelegt. Insbesondere wenn dies beispielsweise in Altreifen o. Ä. geschieht und diese dann nach Europa transportiert werden, kann die Tigermücke nach Europa gelangen. In der Vergangenheit war eine permanente Ansiedlung aufgrund der zu harschen Wintertemperaturen nicht möglich (Caminade et al. 2014). Der außerordentlich milde Winter 2014/2015 hat der Tigermücke offenbar ein Überleben ermöglicht. Mehrere Nachweise von Eiern, Larven, Puppen und ausgewachsenen Mücken an derselben Stelle im Osten Freiburgs, an der im letzten Jahr bereits eine Population gefunden wurde, belegen eine erneute Reproduktion und sprechen für eine Überwinterung. Verschiedene Studien haben diese Entwicklung vorausgesagt und projizieren auch für weite Teile Nordeuropas Veränderungen des Klimas, die eine permanente Ansiedlung der Tigermücke ermöglichen. Jedoch bleibt auch bei einer Etablierung das Risiko der Übertragung minimal, weil die Mücken nicht per se infiziert sind. Da die genannten Infektionskrankheiten insbesondere in Norddeutschland nicht vorkommen, ist es derzeit unwahrscheinlich, dass sich ein Weibchen bei einer Blutmahlzeit bei einem infizierten Wirt selbst infizieren kann (Friedrich-Loeffler Institut 2015) (s. dazu auch ► Abschn. 8.6).

Influenzaviren, deren (Haupt-)Wirte Vögel sind, werden unter dem Sammelbegriff aviäre Influenzaviren zusammengefasst. Diese Viren können u. a. die Geflügelpest auslösen, eine hoch ansteckende Tierseuche, die zu sehr hohen Verlusten durch die Krankheit selbst sowie durch die Bekämpfungsmaßnahmen führt. Die aviären Influenzaviren haben in der Regel ihren Ursprung im asiatischen Raum und gelangen durch infizierte Wildvögel nach Europa. Insbesondere langstreckenziehendes Wassergeflügel spielt eine wesentliche Rolle bei diesem Transport. Normalerweise machen die Tiere während des Vogelzuges Rast in der Norddeutschen Tiefebene und ziehen dann weiter in ihre Überwinterungsquartiere. Die Zeit des Vogelzuges ist gleichzeitig auch die Risikoperiode für die Übertragung von Influenzaviren von den Wildvögeln in die Hausgeflügelpopulation. Die Orte, welche die Vögel als Überwinterungsquartiere wählen, werden entsprechend zweier Bedingungen ausgewählt: Erstens muss sich das Überwinterungsquartier möglichst nah an den Brutgebieten befinden, und zweitens müssen im Überwinterungsquartier milde Winter herrschen, um einen stetigen Zugang zu nicht gefrorenen Gewässern zu ermöglichen. Mit fortschreitendem Klimawandel ist anzunehmen, dass in Norddeutschland zunehmend beide Bedingungen erfüllt werden, d. h., Gebiete in Norddeutschland werden künftig zum Überwintern genutzt. Die Tiere werden folglich nicht mehr nur zur Rast in Norddeutschland Halt machen, sondern über einen längeren Zeitraum bleiben. Dadurch verlängert sich die o. g. Risikoperiode, und es ist mit einer Zunahme an Geflügelpestausbüchen zu rechnen. Ein verschärfender Faktor der norddeutschen Überwinterungsquartiere ist, dass es trotz der eher milden Winter regelmäßig zu

Kälteeinbrüchen kommt. In der Folge versammeln sich die Vögel um die wenigen verbliebenen offenen Wasserstellen. Die hohe Tierdichte erhöht die Wahrscheinlichkeit der Übertragung von Influzaviren. Die Übertragung findet nicht nur innerhalb einer Art statt, sondern auch zwischen den Arten. Insbesondere die Übertragung zwischen den Arten kann zu Virulenzsteigerungen führen (Reperant et al. 2010; Huaiyu et al. 2015).

Die Fähigkeit von Gesellschaften oder deren Institutionen, den Auswirkungen von Störungen wie beispielsweise dem Klimawandel zu begegnen, wird Resilienz genannt. Basierend auf dem EPSON-Projekt konnte für die Staaten/Regionen Europas jeweils ein Resilienzgrad festgelegt werden. In einer weiteren Untersuchung wurde unter Einbeziehung von Prognosen zur Entwicklung der Temperatur und der Niederschläge simuliert, inwieweit die einzelnen Staaten/Regionen in der Lage sind, den künftigen Herausforderungen des Klimawandels zu begegnen. Die Staaten Zentraleuropas zeichnen sich durch eine gute Resilienz aus und sind daher auch in Prognosen künftiger Klimaveränderungen im europäischen Vergleich gut aufgestellt. Dies gilt auch für das öffentliche Veterinärwesen und dabei insbesondere für die Tierseuchenkontrolle. Für die MRH werden für beide Prognosezeiträume (2035 und 2055) jeweils nur moderate Störungen durch den Klimawandel prognostiziert (Suk et al. 2014).

### 8.10 Anpassungsstrategien und -maßnahmen zur Reduzierung gesundheitlicher Folgen des Klimawandels

Um den negativen Einfluss des Klimawandels auf die Gesundheit zu reduzieren, werden verschiedene Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels diskutiert. Jendritzky (2007) unterscheidet dabei zwischen kurzfristigen und langfristigen Anpassungsstrategien und -maßnahmen. Zu den kurzfristigen Anpassungsmaßnahmen gehören beispielsweise Hitzewarnsysteme oder auch der UV-Index. Sie dienen dazu, die Bevölkerung frühzeitig über ein bevorstehendes Ereignis (z. B. Hitzewelle) zu informieren und somit eine ggf. notwendige Verhaltensanpassung hervorzurufen. Zahlreiche europäische Staaten haben mittlerweile Hitzewarnsysteme erfolgreich eingeführt (Bittner et al. 2013b). Zur langfristigen Anpassung gehören beispielsweise Strategien und Maßnahmen in der Stadt- und Regionalplanung, der Landschafts- und Freiraumplanung sowie des Städtebaus und der Architektur. Im Gegensatz zu den kurzfristigen Maßnahmen zielen die langfristigen weniger darauf ab, das Verhalten zu ändern, als vielmehr mittels planerischer bzw. technischer Maßnahmen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit zu dämpfen (Claßen et al. 2014; Schanze und Daschkeit 2013).

Um der Entstehung urbaner Hitzeinseln mit gravierenden gesundheitlichen Auswirkungen für besonders vulnerable Bevölkerungsgruppen entgegenzuwirken, stehen insbesondere „blaue“ und „grüne“ Maßnahmen zur Verfügung (Endlicher et al. 2008). Zu den blauen Maßnahmen zählen kühlende Wasserflächen wie Seen, Flüsse und Bäche sowie feuchte Grünflächen in der Stadt, welche die Luftfeuchtigkeit erhöhen und durch Verdunstung (Evapotranspiration) zur Kühlung beitragen (BMUB 2015, S. 56).

Die Vermeidung weiterer Flächenversiegelung und die Rücknahme versiegelter Flächen können ebenfalls negativen Stadtklimaeffekten, die sich durch die Abgabe gespeicherter Wärmeenergie ergeben, entgegenwirken (vgl. FHH 2010; Stadt Karlsruhe, Umwelt- und Arbeitsschutz 2013). Grüne Maßnahmen beziehen sich überwiegend auf den Erhalt und die Entwicklung von Grünflächen zur Frischluftversorgung und als Kaltluftentstehungsgebiete zur Reduzierung von Hitzestress (Schanze und Daschkeit 2013; Jendritzky 2007). Die Berücksichtigung von Frisch- und Kaltluftkorridoren bei der Planung gemäß dem städtebaulichen Leitbild der „perforierten Stadt“ (Endlicher et al. 2008) soll die Belüftung innerstädtischer Gebiete ermöglichen sowie zur Minderung von Hitzestaus und zur Lufthygiene beitragen (Baumüller 2014; Welge 2013). Messungen und Simulationen konnten eine Abkühlung des direkten Wohnumfeldes durch Grünflächen um 3–12 °C belegen (BMUB 2015). Auch Straßengrün, insbesondere die Bepflanzung mit (Laub-)Bäumen zur natürlichen Verschattung, hat entsprechende positive Effekte (Emmanuel und Loconsole 2015; Hutter et al. 2013). Bioklimatisch positiv wirken sich auch begrünte Dächer und Fassaden aus, da Dachbegrünungen langfristig zur Verbesserung des Mikroklimas und zur Minderung von Temperaturextremen beitragen. Intensiv und extensiv begrünte Dächer binden und filtern Schadstoffe und regulieren auf Gebäudeebene das Hausklima, indem sie von Hitze abschirmen und als Wärmedämmung dienen (FHH 2014).

Ein 2012 vorgelegtes Gutachten „Stadtklimatische Bestandsaufnahme und Bewertung für das Landschaftsprogramm Hamburg – Klimaanalyse und Klimawandelszenario 2050“ weist auf günstige Standortbedingungen Hamburgs in Bezug auf gesundheitliche Beeinträchtigungen durch den Klimawandel hin, da die zahlreichen Grünflächen in der Stadt zur Verminderung von Extremtemperaturen im Sommer beitragen (FHH 2012). Hamburg verabschiedete deshalb 2014 die Hamburger „Gründachstrategie“, um Dachbegrünungen zu fördern. Weitere Anpassungsmaßnahmen auf Gebäudeebene sind beispielsweise die Entwicklung wärme- oder kalteisolierender Baustoffe (Schanze und Daschkeit 2013). Im Folgenden werden ausgewählte Anpassungsmaßnahmen vorgestellt, die direkt oder indirekt auch die Stadt Hamburg betreffen.

2007 veröffentlichte die Europäische Kommission das Grünbuch „Anpassung an den Klimawandel in Europa“, und 2009 folgte das entsprechende Weißbuch in Form eines Aktionsrahmens (Europäische Kommission 2007, 2009). 2008 legte die Bundesregierung die „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) vor (Deutscher Bundestag 2008). In zahlreichen Bundesländern gibt es darüber hinaus Anpassungsstrategien, -konzepte bzw. -aktionspläne, die stellenweise auch unmittelbar den Zusammenhang zwischen Gesundheit und Klimaanpassung thematisieren. So fordert die Studie „Klimaanpassung Bayern 2020“: „In der Stadtplanung sind Strategien und städtebauliche Konzepte zur Reduzierung der Auswirkungen von klimatischen Extremen auf Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen vorzubereiten“ (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2007). Die Freie und Hansestadt Hamburg behandelt die Thematik im „Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel“.

Im Jahr 2011 beschloss der Hamburger Senat die Drucksache „Entwicklung einer Hamburger Strategie zur Anpassung an den

Klimawandel“. Daraufhin wurde der „Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel der Stadt Hamburg“ erarbeitet und 2013 veröffentlicht (FHH 2013). Der Aktionsplan Anpassung greift das Thema Gesundheit mit dem Ziel auf, die gesundheitlichen Gefahren und Beeinträchtigungen für Menschen durch den Klimawandel möglichst zu vermeiden. Aus den Zielen werden Maßnahmen zum Schutz der menschlichen Gesundheit abgeleitet. Dazu zählen u. a. Maßnahmen für Pflegeeinrichtungen (z. B. Trinkpläne), Erstellung von Informationsbroschüren (z. B. zum Verhalten bei Hitze), Überwachung, ggf. Meldepflicht für bestimmte Infektionskrankheiten sowie Untersuchungen zu klimabedingten Vektoren und Reservoiren. Neben solchen spezifischen Strategien einzelner Bundesländer existieren weitere Empfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel wie die des Deutschen Städtetages. Wenngleich diese Empfehlungen keinen regionalen Schwerpunkt haben, sind sie auch für Hamburg und die Metropolregion von Interesse.

Im Positionspapier „Anpassung an den Klimawandel – Empfehlungen und Maßnahmen der Städte“ des Deutschen Städtetages (Deutscher Städtetag 2012) werden Handlungsfelder aufgezeigt, die für die zukünftige Ausrichtung des Anpassungsprozesses in Städten von Bedeutung sind. Daraus werden Maßnahmen abgeleitet, die direkt oder indirekt die gesundheitlichen Auswirkungen klimatischer Veränderungen in Städten reduzieren sollen. Zu den aufgeführten Maßnahmen gehören u. a.:

- Nutzung des vom Deutschen Wetterdienst betriebenen Hitzewarnsystems, das die Städte rechtzeitig über bevorstehende Hitzewellen informiert,
- Monitoring der Ausbreitung bestehender bzw. neu auftretender Krankheitserreger (z. B. Tigermücke) über die Gesundheitsämter,
- Erstellung bzw. Überprüfung von Notfallplänen für sensible Einrichtungen (Pflegeheime, Krankenhäuser),
- häufigere und intensivere Kontrolle sensibler Einrichtungen.

Verschiedene deutsche Städte können als Referenzen für derartige Maßnahmen dienen (Dosch 2015). So beinhaltet z. B. das Klimaschutzkonzept Stuttgart 2012 (KLIMAKS) ein gesundheitsbezogenes Hitzewarnsystem (HITWIS) sowie den Aufbau eines Monitoringsystems klimatisch beeinflusster Krankheiten (Landeshauptstadt Stuttgart 2012). Ähnliche Bestrebungen verfolgt die Region Berlin-Brandenburg mit der Entwicklung eines Frühwarnsystems zur klimaadaptiven Gesundheitsvorsorge (vgl. Scherber et al. 2013b). Das „Handbuch Stadtklima“ für Nordrhein-Westfalen (MUNLV NW 2010) sowie die Anpassungsstrategien der Städte Nürnberg und Karlsruhe (Stadt Nürnberg, Umweltamt 2012; Stadt Karlsruhe Umwelt- und Arbeitsschutz 2013) berücksichtigen die menschliche Gesundheit. Schwerpunkte dieser Maßnahmen sind zumeist die Vermeidung bzw. die Minderung gesundheitlicher Folgen von Extremwetterereignissen, insbesondere ausgeprägter sommerlicher Hitzeperioden.

## 8.11 Fazit

In diesem Kapitel werden mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit in der MRH thematisiert. Dabei zeigt sich, dass eine steigende thermische Belastung z. B. in Form

von Hitzewellen möglich ist, die vor allem Auswirkungen auf ältere Menschen und Kinder haben kann. Phänologische Veränderungen der Vegetation können eine verlängerte Pollensaison bewirken und so die Beschwerdezeit von Allergikern verlängern. Möglicherweise begünstigt der Klimawandel auch die Verbreitung von Erregern bzw. Überträgern von Infektionskrankheiten.

In allen Unterkapiteln wird aber auch deutlich, dass bislang kaum quantitative Ergebnisse zu den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels vorliegen. Die Ursachen dafür liegen in der Komplexität multikausaler dynamischer Zusammenhänge. Konkrete Aussagen oder Prognosen zu den Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Gesundheit sind daher sehr schwierig zu treffen und mit großen Unsicherheiten behaftet. Anhand der Ergebnisse zweier Studien kann dies beispielhaft verdeutlicht werden: Madrigano et al. (2013) können einen Zusammenhang zwischen der Außentemperatur und der Herzinfarkthäufigkeit belegen. Nach Untersuchungen von Yusuf et al. (2004) sind jedoch für über 90 % aller Herzinfarkte – unabhängig von Alter, Geschlecht und Herkunft der Studienteilnehmer – lediglich neun Risikofaktoren verantwortlich. Diese Faktoren lassen sich unter Konsumverhalten (Rauchen, Alkohol), Ernährung, Bewegung, individueller Gesundheitszustand (Übergewicht) und genetischer Veranlagung zusammenfassen. Damit wird deutlich, dass klimatische Veränderungen zwar einen Einfluss auf die Gesundheit haben können, die maßgeblichen Einflussgrößen vermutlich jedoch im individuellen Verhalten etc. zu suchen sind. Dies ist nur ein Beispiel, macht aber deutlich, dass gesundheitsbeeinflussende klimatische Folgen oftmals „nur“ als beeinflussende „Hintergrundgröße“ oder auslösender Faktor zu betrachten sind und nicht als maßgebliche Einflussgröße auf die Gesundheit. Dennoch können vereinzelte Studien mittlerweile einen Zusammenhang zwischen klimatischen Veränderungen und einem Einfluss auf die Gesundheit belegen (z. B. Åström et al. 2013). Davon betroffen sind insbesondere die verwundbaren (vulnerablen) Bevölkerungsgruppen, zu denen in erster Linie ältere Menschen und Kinder zählen. Älteren Menschen kommt aufgrund des demographischen Wandels bzw. der Überalterung der Gesellschaft zukünftig nochmals eine besondere Rolle zu.

Anhand dieser Unsicherheiten lassen sich Forschungsdefizite ableiten. Um Ausmaß und Prognose des Einflusses des Klimawandels auf die Gesundheit mit größerer Sicherheit bewerten und prognostizieren zu können, bedarf es auf allen Gebieten breit und langfristig angelegter Feldstudien, die möglichst alle Einflussfaktoren einbeziehen. Insbesondere in den Gesundheitswissenschaften sind Studien dieser Art aufgrund des hohen Aufwands selten. Zudem ist eine intensivere Vernetzung (z. B. zum Methodenaustausch) zwischen den bislang eher autark arbeitenden Fachdisziplinen wie etwa der Meteorologie, den Sozialwissenschaften und der Epidemiologie notwendig. Die vorhandenen Wissensdefizite dürfen nicht dazu führen, dass der Entwicklung und Etablierung von Anpassungsmaßnahmen weniger Beachtung geschenkt wird. Bereits jetzt können Maßnahmen wie die Ausweitung der Überwachung gesundheitsrelevanter Umweltfaktoren, die Etablierung von Hitzewarnsystemen sowie die Anlage von Grünflächen und andere Kompensationsvorkehrungen einen wichtigen Beitrag dazu leisten, das Risiko vulnerabler Gruppen zu reduzieren.

## Literatur

- Ahern M, Kovats RS (2006) The health impacts of floods. In: Few R, Matthies F (Hrsg) Flood hazards and health: responding to present and future risks. Earthscan, London, S 28–53
- Ahern M, Kovats RS, Wilkinson P, Few R, Matthies F (2005) Global health impacts of floods: epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev* 27(1):36–46
- Ahlholm JU, Helander ML, Savolainen J (1998) Genetic and environmental factors affecting the allergenicity of birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* [Orl.] Hamet-Ahti) pollen. *Clin Exp Allergy* 28(11):1384–1388
- Analitis A, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, Samoli E, Nikoloulopoulos AK, Petasakis Y, Touloumi G, Schwartz J, Anderson HR, Cambra K, Forastiere F, Zmirou D, Vonk JM, Clancy L, Kriz B, Bobvos J, Pekkanen J (2006) Short-term effects of ambient particles on cardiovascular and respiratory mortality. *Epidemiology* 17(2):230–233
- Analitis A, Katsouyanni K, Biggeri A, Baccini M, Forsberg B, Bisanti L, Kirchmayer U, Ballester F, Cadum F, Goodman PG, Hojs A, Sunyer J, Tiittanen P, Michelozzi P (2008) Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *Am J Epidemiol* 168(12):1397–1408
- Analitis A, Michelozzi P, D'Ippoliti D, De'Donato F, Menne B, Matthies F, Atkinson RW, Iñiguez C, Basagaña X, Schneider A, Lefranc A, Paldy A, Bisanti L, Katsouyanni K (2014) Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants. *Epidemiology* 25(1):15–22
- Anderson GB, Bell ML (2011) Heatwaves in the United States: Mortality risk during heat waves and effect modification by heatwave characteristics in 43 U.S. communities. *Environ Health Perspect* 119(2):210–218
- Andersson C, Engardt M (2010) European ozone in a future climate: Importance of changes in dry deposition and isoprene emissions. *J Geophys Res* 115(D2). <https://doi.org/10.1029/2008JD011690>
- Åström DO, Forsberg B, Ebi KL, Rocklöv J (2013) Attributing mortality from extreme temperatures to climate change in Stockholm, Sweden. *Nat Clim Chang* 3:1050–1054
- Augustin J, Paesel HK, Mücke H-G, Grams H (2011) Anpassung an die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels. Untersuchung eines Hitzewarnsystems am Fallbeispiel Niedersachsens. *Prax Gesundheitsf* 6(3):179–184
- Aulinger A, Matthias M, Zeretzke J, Bieser M, Quante M, Backes A (2016) The impact of shipping emissions on air pollution in the greater North Sea region. Part I: current emissions and concentrations. *Atmos Chem Phys* 16:739–758
- Backes A, Aulinger A, Bieser J, Matthias V, Quante M (2016) Ammonia emissions in Europe, Part I: development of a dynamical ammonia emission inventory. *Atmos Env* 131:55–66
- Bais AF, McKenzie RL, Bernhard G, Aucamp PJ, Ilyas M, Madronich S, Tourpalia K (2015) Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. *Photochem Photobiol Sci* 14(1):19–52
- Basu R (2009) High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environ Health* 8:40
- Basu R, Samet JM (2002) Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev* 24(2):190–202
- Baumüller J (2014) Wie verändert sich das Stadtklima? In: Lozán JL (Hrsg) Warnsignal Klima. Gesundheitsrisiken/Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. Institut f. Hydrobiologie Universität Hamburg, Hamburg (Webseiten der Universität Hamburg)
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2007) Klimaanpassung – Bayern 2020. Der Klimawandel und seine Auswirkungen – Kenntnisstand und Forschungsbedarf als Grundlage für Anpassungsmaßnahmen. Kurzfassung einer Studie der Universität Bayreuth.
- Becker N, Kaiser A (1995) Die Culicidenvorkommen in den Rheinauen des Oberrheingebiets mit besonderer Berücksichtigung von *Uranotaenia* (Culicidae, Diptera) – einer neuen Stechmückengattung für Deutschland. *Mitt Dtsch Ges Allg Angew Entomol* 10(1–6):407–413
- Becker N, Ludwig HW (1981) Untersuchungen zur Faunistik und Ökologie der Stechmücken (*Culicinae*) und ihrer Pathogene im Oberrheingebiet. *Mitt Dtsch Ges Allg Angew Entomol* 2:186–194
- Becker N, Petrić D, Zgomba M, Boase C, Madon M, Dahl C, Kaiser A (2010) Mosquitoes and their control, 2. Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg
- Becker N, Geier M, Balczun C, Bradersen U, Huber K, Kiel E, Krüger A, Lühken R, Orendt C, Plenge-Bönig A, Rose A, Schaub GA, Tannich E (2013) Repeated introduction of *Aedes albopictus* into Germany, July to October 2012. *Parasitol Res* 112(4):1787–1790
- Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, Hoffmann B, Wolf K, Samoli E, Fischer P, Nieuwenhuijsen M, Vineis P, Xun WW, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, Oudin A, Forsberg B, Modig L, Havulinna AS, Lanki T, Turunen A, Oftedal B, Nystad W, Nafstad P, De Faire U, Pedersen NL, Östenson CG, Fratiglioni L, Penell J, Korek M, Pershagen G, Eriksen KT, Overvad K, Ellermann T, Eeftens M, Peeters PH, Meliefste K, Wang M, Bueno-de-Mesquita B, Sugiri D, Krämer U, Heinrich J, de Hoogh K, Key T, Peters A, Hampel R, Concin H, Nagel G, Ineichen A, Schaffner E, Probst-Hensch N, Künzli N, Schindler C, Schikowski T, Adam M, Phuleria H, Vilier A, Clavel-Chapelon F, Declercq C, Gironi S, Krogh V, Tsai MY, Ricceri F, Sacerdote C, Galassi C, Migliore E, Ranzi A, Cesaroni G, Badaloni C, Forastiere F, Tamayo I, Amiano P, Dorronsoro M, Katsoulis M, Trichopoulou A, Brunekreef B, Hoek G (2014) Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet* 383(9919):785–795
- 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
- Bergmann K-H, 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
- Bernhard G, Seckmeyer G (1999) The uncertainty of measurements of spectral solar UV irradiance. *J Geophys Res* 104(D12):14321–14345
- Bharath AK, Turner RJ (2009) Impact of climate change on skin cancer. *J R Soc Med* 102(6):215–218
- Bittner MI (2014) Auswirkungen von Hitzewellen auf die Mortalität in Deutschland. *Gesundheitswesen* 76:508–512
- Bittner MI, Nübling M, Stössel U (2013a) Heat-Related Mortality in Freiburg and Rostock in 2003 and 2005 – Methodology and Results. *Gesundheitswesen* 75(8–9):126–130
- Bittner MI, Matthies EF, Dalbokova D, Menne B (2013b) Are European countries prepared for the next big heat-wave? *Eur J Public Health* 24(4):615–619
- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2015) Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün, Berlin
- Bock A, Sparks TH, Estrella N, Menzel A (2013) Changes in the timing of hay cutting in Germany do not keep pace with climate warming. *Glob Chang Biol* 19(10):3123–3132
- Böhm J, Wahler G (2012) Luftreinhalteplan für Hamburg. 1. Fortschreibung 2012. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Immissionsschutz und Betriebe:196. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Immissionsschutz und Betriebe, Hamburg
- 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
- Breitner S, Wolf K, Devlin RB, Diaz-Sanchez D, Peters A, Schneider A (2014a) Short-term effects of air temperature on mortality and effect modification by air pollution in three cities of Bavaria, Germany: a time-series analysis. *Sci Total Environ* 1(485–486):49–61
- Breitner S, Wolf K, Peters A, Schneider A (2014b) Short-term effects of air temperature on cause-specific cardiovascular mortality in Bavaria, Germany. *Heart* 100(16):1272–1280
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, Holguin F, Hong Y, Luepker RV, Mittleman MA, Peters A, Siscovick D, Smith SC Jr, Whitsett L, Kaufman JD, American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention, Council on the Kidney in Cardiovascular Disease, Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism (2010) Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 121(21):2331–2378
- 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
- Burr ML (1999) Grass pollen: trends and predictions. *Clin Exp Allergy* 29(6):735–738
- Caminade C, Medlock JM, Ducheyne E, McIntyre KM, Leach S, Baylis M, Morse AP (2014) Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*: recent and future trends. *J R Soc Interface* 9(75):2708–2717
- Chanel O, Perez L, Künzli N, Medina S, Apekom group (2015) The hidden economic burden of air pollution-related morbidity: evidence from the Apekom project. *Eur J Health Econ*. <https://doi.org/10.1007/s10198-015-0748-z>
- Chmielewski FM, Müller A, Bruns E (2004) Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crop in Germany, 1961–2000. *Agr For Meteorol* 121(1–2):69–78
- Christova I, van de Pol J, Yazar S, Velo E, Schouls L (2003) Identification of *Borrelia burgdorferi* sensu lato, *Anaplasma* and *Ehrlichia* species, and spotted fever group *Rickettsiae* in ticks from Southeastern Europe. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 22(9):535–542
- Claßen T, Völker S, Baumeister H, Heiler A, Matros J, Pollmann T, Kistemann T, Krämer A, Lohrberg F, Hornberg C (2014) Welchen Beitrag leisten urbane Grünräume (Stadtgrün) und Gewässer (Stadtblau) für eine gesundheitsförderliche Stadtentwicklung? *UMID* 2:30–37
- Coleman L, Martin D, Varghese S, Jennings SG, O'Dowd CD (2013) Assessment of changing meteorology and emissions on air quality using a regional climate model: impact on ozone. *Atmos Env* 69:198–210
- Colette A, Bessagnet B, Vautard R, Szopa S, Rao S, Schucht S, Klimont Z, Menut L, Clain G, Meleux F, Curci G, Rouil L (2013) European atmosphere in 2050, a regional air quality and climate perspective under CMIP5 scenarios. *Atmos Chem Phys* 13(15):7451–7471
- Conraths FJ, Gethmann JM, Staubach C, Mettenleiter TC, Beer M, Hoffmann B (2009) Epidemiology of Bluetongue virus serotype 8, Germany. *Emerg Infect Dis* 15(3):433–435
- Crepinsek Z, Stampar F, Kajfez-Bogataj L, Solar A (2012) The response of *Corylus avellana* L. phenology to rising temperature in north-eastern Slovenia. *Int J Biometeorol* 56(4):681–694
- Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, Zeger SL, Strug L, Patz JA (2002) Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *Am J Epidemiol* 155(1):80–87
- Dalsøren SB, Jonson JE (2016) Socio-economic impacts – air quality, Chapter 16. In: Quante M, Colijn F (Hrsg) *North Sea region climate change assessment*. Springer, Berlin, Heidelberg, S 431–446
- D'Amato G, Holgate ST, Pawankar R, Ledford DK, Cecchi L, Al-Ahmad M, Al-Enezi F, Al-Muhsen S, Ansotegui I, Baena-Cagnani CE, Baker DJ, Bayram H, Bergmann KC, Boulet L-P, Buters JTM, D'Amato M, Dorsano S, Douwes J, Finlay SE, Garrasi D, Gómez M, Haahela T, Halwani R, Hassani Y, Mahboub B, Marks G, Michelozzi P, Montagni M, Nunes C, Oh JJ-W, Popov TA, Portnoy J, Ridolo E, Rosário N, Rottem M, Sánchez-Borges M, Sibanda E, Sienra-Monge JJ, Vitale C, Annesi-Maesano I (2015) Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. A statement of the World Allergy Organization. *World Allergy Organ* 8(1):25
- Dameris M (2005) Klima-Chemie-Wechselwirkungen und der stratosphärische Ozonabbau. *Promet* 31(1):2–11
- Desprez J, Iannone BV III, Yang P, Oswalt CM, Fei S (2014) Northward migration under a changing climate: a case study of blackgum (*Nyssa sylvatica*). *Clim Change* 126(1):151–162
- Deutscher Bundestag (2008) *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel* (Drucksache 16/11595 des Deutschen Bundestages vom 19.12.2008). Deutscher Bundestag, Berlin
- Deutscher Städtetag (2012) *Positionspapier Anpassung an den Klimawandel – Empfehlungen und Maßnahmen der Städte*
- Diffey B (2004) Climate change, ozone depletion and the impact on ultraviolet exposure of human skin. *Phys Med Biol* 49(1):R1–R11
- D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de'Donato F, Menne B, Katsouyanni K, Kirchmayer U, Analitis A, Medina-Ramón M, Paldy A, Atkinson R, Kovats S, Bisanti L, Schneider A, Lefranc A, Iñiguez C, Perucci CA (2010) The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health* 9:37
- Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL, Samet JM (2006) Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA* 295(10):1127–1134
- Dosch F (2015) Wie sich Städte auf den Klimawandel vorbereiten können. Modellvorhaben einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung. In: Knieling J, Müller B (Hrsg) *Klimaanpassung in der Stadt- und Regionalentwicklung, Ansätze, Instrumente, Maßnahmen und Beispiele, Reihe Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten*, Bd. 7. Oekom, München, S 77–102
- 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 Biometeorology* 55(4):555–564
- Emberlin J, Mullins J, Corden J, Jones S, Millington W, Brooke M, Savage M (1999) Regional variations in grass pollen seasons in the UK, long-term trends and forecast models. *Clin Exp Allergy* 29(3):347–356
- Emberlin J, Detandt M, Gehrig R, Jaeger S, Nolard N, Rantio-Lehtimäki A (2002) Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe. *Int J Biometeorol* 46(4):159–170
- Emmanuel R, Loconsole A (2015) Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK. *Landsc Urban Plan* 138:71–86
- Endlicher W, Müller M, Gabriel K (2008) Climate change and the function of urban green for human health. In: Schweppe-Kraft B (Hrsg) *Ecosystem services of natural and semi-natural ecosystems and ecologically sound land use Papers and Presentations of the Workshop „Economic Valuation of Biological Diversity – Ecosystem Services“*, International Academy for Nature Conservation, Vilm, 13–16 May 2007. Bonn, S 119–128
- Engler O, Savini G, Papa A, Figuerola J, Groschup MH, Kampen H, Medlock J, Vaux A, Wilson AJ, Werner D, Jöst H, Goffredo M, Capelli G, Federici V, Tonolla M, Patocchi N, Flacio E, Portmann J, Rossi-Pedruzzi A, Mourelatos S, Ruiz S, Vázquez A, Calzolari M, Bonilauri P, Dottori M, Schaffner F, Mathis A, Johnson N (2013) European surveillance for West Nile virus in mosquito populations. *Int J Environ Res Public Health* 10(10):4869–4895
- Environment Canada (2013) *Daily ozone maps* (Webseiten der kanadischen Regierung)
- Europäische Kommission (2007) *Grünbuch der Kommission an den Rat, das europäische Parlament, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen für Maßnahmen der EU*. Europäische Kommission, Brüssel
- Europäische Kommission (2009) *Weissbuch: Anpassung an den Klimawandel – Ein europäischer Aktionsrahmen*. Europäische Kommission, Brüssel
- European Commission (2016) *Animal Disease Notification System (ADNS)* (Webseiten der Europäischen Kommission)
- Farman JC, Gardiner BG, Shanklin JD (1985) Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal  $\text{ClO}_x/\text{NO}_x$  interaction. *Nature* 315:207–210
- Faustini A, Stafoggia M, Cappai G, Forastiere F (2012) Short-term effects of air pollution in a cohort of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Epidemiology* 23(6):861–869
- Faustini A, Alessandrini ER, Pey J, Perez N, Samoli E, Querol X, Cadum E, Perrino C, Ostro B, Ranzi A, Sunyer J, Stafoggia M, Forastiere F, MED-PARTICLES study group (2015) Short-term effects of particulate matter on mortality during forest fires in Southern Europe: results of the MED-PARTICLES Project. *Occup Environ Med* 72(5):323–329
- FHH (Freie und Hansestadt Hamburg) (2010) *Hamburgs Klima – Kein Problem? Die Bedeutung Grünflächen und Grünstrukturen für das Stadtklima*. Dokumentation der Fachtagung im Wilhelmsburger Bürgerhaus am 11. Mai 2011
- FHH (Freie und Hansestadt Hamburg) (2012) *Stadtklimatische Bestandsaufnahme und Bewertung für das Landschaftsprogramm Hamburg - Klimanalyse und Klimawandelszenario 2050*
- FHH (Freie und Hansestadt Hamburg) (2013) *Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel*. Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft. Drucksache 20/8492
- FHH (Freie und Hansestadt Hamburg) (2014) *Gründachstrategie für Hamburg – Zielsetzung, Inhalt und Umsetzung*. Einzelplan 6 Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft. Drucksache 20/11432



## Literatur

- Fingerle V, Munderloh U, Liegl G, Wilske B (1999) Coexistence of *Ehrlichiae* of the phagocytophilia group with *Borrelia burgdorferi* in *Ixodes ricinus* from Southern Germany. *Med Microbiol Immunol* 188(3):145–149
- Fischer P, Hoek G, Verhoeff A, van Wijnen J (2003) Air pollution and mortality in the Netherlands: are the elderly more at risk? *Eur Respir J Suppl* 40:34s–38s
- Folmer O, Black M, Hoeh W, Lutz R, Vrijenhoek R (1994) DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol Mar Biol Biotechnol* 3(5):294–299
- Foraster M, Künzli N, Aguilera I, Rivera M, Agis D, Vila J, Bouso L, Deltell A, Marrugat J, Ramos R, Sunyer J, Elosua R, Basagaña X (2014) High blood pressure and long-term exposure to indoor noise and air pollution from road traffic. *Environ Health Perspect* 122(11):1193–1200
- Forsberg B, Hansson HC, Johansson C, Areskoug H, Persson K, Järvholm B (2005) Comparative health impact assessment of local and regional particulate air pollutants in Scandinavia. *Ambio* 34(1):11–19
- Franchini M, Mannucci PM (2012) Air pollution and cardiovascular disease. *Thromb Res* 129(3):230–234
- Franke J, Hildebrandt A, Meier F, Straube E, Dorn W (2011) Prevalence of Lyme disease agents and several emerging pathogens in questing ticks from the German Baltic coast. *J Med Entomol* 48(2):441–444
- Frei T, Gassner E (2008) Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969–2006. *Int J Biometeorol* 52(7):667–674
- Friedrich-Loeffler Institut (2015) Pressemitteilung vom 30. Juli 2015
- Garcia-Mozo H, Galan C, Jato V, Belmonte J, de la Guardia CD, Fernandez D, Gutierrez M, Aira M, Roure J, Ruiz L, Trigo M, Dominguez-Vilches E (2006) *Quercus* pollen season dynamics in the Iberian peninsula: response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. *Ann Agric Environ Med* 13(2):209–224
- Gasparri A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, Tobias A, Tong S, Rocklöv J, Forsberg B, Leone M, De Sario M, Bell LM, Guo Y-LL, Wu C, Kan H, Yi S-M, Zanotti Stagliorio Coelho M, Saldiva PHN, Honda Y, Kim H, Armstrong B (2015a) Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet* 386(9991):369–375
- Gasparri A, Guo Y, Hashizume M, Kinney PL, Petkova EP, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz JD, Tobias A, Leone M, Tong S, Honda Y, Kim H, Armstrong BG (2015b) Temporal variation in heat-mortality associations: a multicountry study. *Environ Health Perspect* 123(11):1200–1207
- Ginexi EM, Weihs K, Simmens SJ, Hoyt DR (2000) Natural disaster and depression: a prospective investigation of reactions to the 1993 Midwest floods. *Am J Community Psychol* 28(4):495–518
- Golding N, Nunn MA, Medlock JM, Purse BV, Vaux AG, Schäfer SM (2012) West Nile virus vector *Culex modestus* established in southern England. *Parasit Vectors* 5:32
- Gould EA, Gallian P, De Lamballerie X, Charrel RN (2010) First cases of autochthonous dengue fever and chikungunya fever in France: from bad dream to reality! *Clin Microbiol Infect* 16(12):1702–1704
- Greiner R, Breitbart E-W, Volkmer B (2008) UV-induzierte DNA-Schäden und Hautkrebs. In: Kappas M (Hrsg) Klimawandel und Hautkrebs. Ibidem-Verlag, Stuttgart, S 145–173
- Grünwald U, Dombrowsky WR, Kaltfofen M, Kreibich H, Merz B, Petrow T, Schümborg S, Streitz W, Thieken A (2003) Hochwasservorsorge in Deutschland. *Lerne aus der Katastrophe 2002 im Elbgebiet*. Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e. V. (DKKV), Bonn
- Harksen E, Mönke R, Schumann H (1976) Faunistisch-ökologische Untersuchungen zur Stechmückenfauna Berlins. *Dtsch Entomol Z* 23(4-5):367–406
- Harlan SL, Chowell G, Yang S, Petitti DB, Butler EMJ, Ruddell BL, Ruddell DM (2014) Heat-related deaths in hot cities: estimates of human tolerance to high temperature thresholds. *Int J Environment Res Public Health* 11(3):3304–3326
- Hedegaard GB, Christensen JH, Brandt J (2013) The relative importance of impacts from climate change vs. emissions change on air pollution levels in the 21<sup>st</sup> century. *Atmos Chem Phys* 13(7):3569–3585
- Heffernan C, York L, Salman M (2012) Livestock infectious disease and climate change: a review of selected literature. *CAB Rev* 7(11):1–26
- Heinrich J, Slama R (2007) Fine particles, a major threat to children. *Int J Hyg Environ Health* 210(5):617–622
- Higgins SI, Richardson DM (1999) Predicting plant migration rates in a changing world: the role of long-distance dispersal. *Am Nat* 153(5):464–475
- Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Brunekreef B, Kaufman JD (2013) Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environ Health* 12(1):43
- Höflich C (2014) Klimawandel und Pollen-assoziierte Allergien der Atemwege. *Umweltmedizinischer Informationsd* 1:5–10
- Hofstede J (2014) Management von Küstenrisiken in Schleswig-Holstein. *Geogr Rundsch* 3(2014):14–21
- Hori S (1995) Adaptation to heat. *Jap J Physiol* 45(6):921–946
- Huaiyu T, Zhou S, Dong L, van Boeckel TP, Pei Y, Wu Q, Yuan W, Guo Y, Huang S, Chen W, Lu X, Liu Z, Bai Y, Yue T, Grenfell B, Xu B (2015) Climate change suggests a shift of H5N1 risks in migratory birds. *Ecol Model* 306(24):6–15
- Huber K, Schuldt K, Rudolf M, Marklewitz M, Fonseca DM, Kaufmann C, Tsuda Y, Junglen S, Krüger A, Becker N, Tannich E, Becker SC (2014) Distribution and genetic structure of *Aedes japonicus japonicus* populations (Diptera: Culicidae) in Germany. *Parasitol Res* 113(9):3201–3210
- Hutter HP, Allex B, Arnberger A, Eder R, Gerersdorfer T, Haas W, Koch E, Kundi M, Mauritz E, Moshhammer H, Weisz U (2013) Klima und Gesundheit. Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt
- Ilyas M (2007) Climate augmentation of erythema UV-B radiation dose damage in the tropics and global change. *Curr Sci* 93(11):1604–1608
- Jablonski LM, Wang X, Curtis PS (2002) Plant reproduction under elevated CO2 conditions: a meta-analysis of reports of 79 crop and wild species. *New Phytol* 156(1):9–26
- Jacob DJ, Winner DA (2009) Effect of climate change on air quality. *Atmos Environ* 43(1):51–63
- Jendritzky G (2007) Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. In: Endlicher W, Gerstengarbe F-W (Hrsg) Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke, Ausblicke. Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, S 108–118
- Jensen K, Reisdorff C, Pfeiffer EM, von Oheimb G, Schmidt K, Schmidt S, Schrautzer J, Meyer-Grünefeldt M, Härdtle (2011) Klimabedingte Änderungen in terrestrischen und semi-terrestrischen Ökosystemen. In: von Storch H, Claussen M (Hrsg) Klimabericht der Metropolregion Hamburg. Springer, Heidelberg
- Jochner S, Höfeler 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
- Jöst H, Bialonski A, Storch V, Günther S, Becker N, Schmidt-Chanasit J (2010) Isolation and phylogenetic analysis of Sindbis viruses from mosquitoes in Germany. *J Clin Microbiol* 48(5):1900–1903
- Jöst H, Bialonski A, Maus D, Sambri V, Eiden M, Groschup MH, Günther S, Becker N, Schmidt-Chanasit J (2011a) Isolation of usutu virus in Germany. *Am J Trop Med Hyg* 85:551–553
- Jöst H, Bialonski A, Schmetz C, Günther S, Becker N, Schmidt-Chanasit J (2011b) Isolation and phylogenetic analysis of Batai virus, Germany. *Am J Trop Med Hyg* 84(2):241–243
- Kannabei S, Dümmel T (2014) Vier Jahre „Berliner Aktionsprogramm gegen Ambrosia“: Erfolge und Grenzen, Webseiten von CAB Direct
- Katalinic A (2013) Wie häufig ist Hautkrebs in Deutschland? *Gesellschaftspolitische Kommentare, Sonderausgabe* 1/2013. *Hautkrebs* 54(1):7–8
- Katragkou E, Zanis P, Kioutsoukis I, Tegoulas I, Melas D, Krüger BC, Coppola E (2011) Future climate change impacts on summer surface ozone from regional climate-air quality simulations over Europe. *J Geophys Res Atmos* 116(D22):1–14
- Kislitsin V, Novikov S, Skvortsova N (2005) Moscow smog of summer 2002. Evaluation of adverse health effects. 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, S 255–265
- Knuschke P, Unverricht I, Ott G, Janssen M (2007) Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien – Projekt F 1777. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
- Krüger A, Tannich E (2013) Rediscovery of *Anopheles algeriensis* Theob. (Diptera: Culicidae) in Germany after half a century. *J Eur Mosq Control Assoc* 31:14–16
- Krüger A, Börstler J, Badusche M, Lühken R, Garms R, Tannich E (2014) Mosquitoes (Diptera: Culicidae) of metropolitan Hamburg, Germany. *Parasitol Res* 113(8):2907–2914

- Lambert MI, Mann T, Dugas JP (2008) Ethnicity and temperature regulation. *Med Sport Sci* 53:104–120
- Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer Hamburg (2012) Gewässer und Hochwasserschutz in Zahlen. Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer Nr. 14/2012
- Landeshauptstadt Stuttgart (2012) Klimaanpassungskonzept Stuttgart – KLIMAKS. Webseiten der Landeshauptstadt. Stuttgart
- Langen U, Schmitz R, Steppuhn H (2013) Häufigkeit allergischer Erkrankungen in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt* 56:698–706
- Langner J, Engardt M, Baklanov A, Christensen JH, Gauss M, Geels C, Hedegaard GB, Nuterman R, Simpson D, Soares J, Sofiev M, Wind P, Zakey A (2012a) A multi-model study of impacts of climate change on surface ozone in Europe. *Atmos Chem Phys* 12(21):10423–10440
- Langner J, Engardt M, Andersson C (2012b) European summer surface ozone 1990–2100. *Atmos Chem Phys* 12(21):10097–10105
- Lavigne E, Villeneuve PJ, Cakmak S (2012) Air pollution and emergency department visits for asthma in Windsor, Canada. *Can J Public Health* 103(1):4–8
- Lundström JO, Schäfer ML, Hesson JC, Blomgren E, Lindström A, Wahlqvist P, Halling A, Hagelin A, Ahlm C, Evander M, Broman T, Forsman M, Persson Vinnersten TZ (2013) The geographic distribution of mosquito species in Sweden. *J Eur Mosq Control Assoc* 31:21–35
- Madrigano J, Mittleman MA, Baccarelli A, Goldberg R, Melly S, von Klot S, Schwartz J (2013) Temperature, myocardial infarction and mortality: effect modification by individual and area-level characteristics. *Epidemiology* 24(3):439–446
- Manders AMM, van Meijgaard E, Mues AC, Kranenburg R, van Ulfth LH, Schaap M (2012) The impact of differences in large-scale circulation output from climate models on the regional modeling of ozone and PM. *Atmos Chem Phys* 12(20):9441–9458
- Matthias V, Bewersdorff I, Aulinger A, Quante M (2010) The contribution of ship emissions to air pollution in the North Sea regions. *Environ Pollut* 158(6):2241–2250
- Matthias V, Aulinger A, Backes A, Bieser J, Geyer B, Quante M, Zeretzke M (2016) The impact of shipping emissions on air pollution in the Greater North Sea region. Part II: Scenarios for 2030. *Atmos Chem Phys* 16(2):759–776
- May K, Strube C (2014) Prevalence of Rickettsiales (*Anaplasma phagocytophilum* and *Rickettsia* spp.) in hard ticks (*Ixodes ricinus*) in the city of Hamburg, Germany. *Parasitol Res* 113(6):2169–2175
- May K, Jordan D, Fingerle V, Strube C (2015) *Borrelia burgdorferi* sensu lato and coinfections with *Anaplasma phagocytophilum* and *Rickettsia* spp. in *Ixodes ricinus* in Hamburg, Germany. *Vet Med Entomol* 29(4):425–429
- Medlock JM, Hansford KM, Schaffner F, Versteirt V, Hendrickx G, Zeller H, Van Bortel W (2012) A review of the invasive mosquitoes in Europe: ecology, public health risks, and control options. *Vector Borne Zoonotic Dis* 12(6):435–447
- Michelozzi P, Accetta G, De Sario M, D'Ippoliti D, Marino C, Baccini M, Biggeri A, Anderson HR, Katsouyanni K, Ballester F, Bisanti L, Cadum E, Forsberg B, Forastiere F, Goodman PG, Hojs A, Kirchmayer U, Medina S, Paldy A, Schindler C, Sunyer J, Perucci CA (2009) High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. *Am J Respir Crit Care Med* 179(5):383–389
- Mohrig W (1964) Faunistisch-ökologische Untersuchungen an Culiciden der Umgebung von Greifswald. *Dtsch Entomol Z* 11(4–5):327–352
- Mohrig W (1969) Die Culiciden Deutschlands. *Parasitol Schr Reihe* 18. Gustav Fischer, Jena, S 1–260
- Molina M, Rowland FS (1974) Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature* 249:810–812
- Moshhammer H, Hutter H-P, Frank A, Gerersdorfer T, Hlava A, Sprinzel G, Leitner B (2007) Einflüsse der Temperatur auf Mortalität und Morbidität in Wien, Endbericht von StartClim2005. A1a. In: *StartClim2005: Klimawandel und Gesundheit*. Medizinische Universität, Wien
- Muggeo VM, Hajat S (2009) Modelling the non-linear multiple-lag effects of ambient temperature on mortality in Santiago and Palermo: a constrained segmented distributed lag approach. *Occup Environ Med* 66(9):584–591
- MUNLV NW (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2010) *Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel* (Webseiten des MUNLV NW)
- Næss Ø, Nafstad P, Aamodt G, Claussen B, Rosland P (2007) Relation between concentration of air pollution and cause-specific mortality: four-year exposures to nitrogen dioxide and particulate pollutants in 470 neighborhoods in Oslo, Norway. *Am J Epidemiol* 165(4):435–443
- Nafstad P, Skrondal A, Bjertness E (2001) Mortality and temperature in Oslo, Norway, 1990–1995. *Eur J Epidemiol* 17(7):621–627
- NASA (2013) FTP-Server der NASA
- 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(2):199–255
- Nyiri A, Gauss M, Tsyro S, Wind P, Haugen JE (2010) Future air quality, including climate change. In: *Norwegian Meteorological Institute (Hrsg) Norwegian Meteorological Institute. Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe in 2008. EMEP Repport 1/2010*. Meteorologisk Institutt, Oslo
- Oeder S, Kanashova S, Sippula O, Sapcaru SC, Streibel T, Arteaga-Salas JM, Passig J, Dilger M, Paur H-R, Schlager C, Mühlhopt S, Diabaté S, Weiss C, Stengel B, Rabe R, Harndorf H, Torvela T, Jokiniemi JK, Hirvonen M-R, Schmidt-Weber C, Traidl-Hoffmann C, Bérubé KA, Włodarczyk AJ, Prytherch Z, Michalke B, Krebs T, Prévôt ASH, Kelbg M, Tiggesbäumker J, Karg E, Jakobi G, Scholtes S, Schnelle-Kreis J, Lintelmann J, Matuschek G, Sklorz M, Klingbeil S, Orasche J, Richtigthammer P, Müller L, Elsasser M, Reda A, Gröger T, Weggler B, Schwemer T, Czech H, Rügner CP, Abbaszade G, Radtschat C, Hiller K, Buters JTM, Dittmar G, Zimmermann R (2015) Particulate matter from both heavy fuel oil and diesel fuel shipping emissions show strong biological effects on human lung cells at realistic and comparable in vitro exposure conditions. *PLOS ONE* 10(6):e0126536
- Orru H, Andersson C, Ebi KL, Langner J, Aström C, Forsberg B (2013) Impact of climate change on ozone-related mortality and morbidity in Europe. *Eur Respir J* 41(2):285–294
- Pachauri RK, Meyer LA, The Core Writing Team (2014) *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (Webseiten des IPCC)
- Pandolf KB (1998) Time course of heat acclimatisation and its decay. *Int J Sports Med* 19(Suppl2):157–160
- Peus F (1935) Fam. Culicidae. In: *Dipterenfauna von Schleswig-Holstein und den benachbarten westlichen Nordseegebieten. Part IV, Diptera, Nematocera. Verh Ver naturw Heimatfor Hamburg* 24., S 115–119
- Pompe S, Hanspach J, Badeck F, Klotz S, Thuiller W, Kuhn I (2008) Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. *Biol Lett* 4:564–567
- Poppendieck HH (2007) Die Gattungen *Ambrosia* und *Iva* (Compositae) in Hamburg, mit einem Hinweis zur Problematik der Ambrosia-Bekämpfung. *Ber Bot Verein Hambg* 23:53–70
- Proft J, Maier WA, Kampen H (1999) Identification of six sibling species of the *Anopheles maculipennis* complex (Diptera: Culicidae) by a polymerase chain reaction assay. *Parasitol Res* 85:837–843
- Rasmussen A (2002) The effects of climate change on the birch pollen season in Denmark. *Aerobiologia (Bologna)* 18(3):253–265
- Rathke M (2014) Exotische Mücken in Deutschland längst heimisch. *Die WELT, Springer Verlag, Webseiten von Die WELT*
- Reperant LA, Fuckar NS, Osterhaus AD, Dobson AP, Kuiken T (2010) Spatial and temporal association of outbreaks of H5N1 influenza virus infection in wild birds with the 0 °C isotherm. *Plos Pathog* 6(4):e10000854
- Reusken C, De Vries A, Den Hartog W, Braks M, Scholte E-J (2010) A study of the circulation of West Nile virus in mosquitoes in a potential high-risk area for arbovirus circulation in the Netherlands, “De Oostvaardersplassen”. *Eur Mosq Bull* 28:69–83
- Rey G, Fouillet A, Bessemoulin P, Frayssinet P, Dufour A, Jouglu E, Hémond D (2009) Heat exposure and socio-economic vulnerability as synergistic factors in heat-wave-related mortality. *Eur J Epidemiology* 24(9):495–502
- Rezza G, Nicoletti L, Angelini R, Romi R, Finarelli AC, Panning M, Cordioli P, Fortuna C, Boros S, Magurano F, Silvi G, Angelini P, Dottori M, Ciufolini MG, Majori GC, Cassone A, CHIKV study group (2007) Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. *Lancet* 370(9602):1840–1846

## Literatur

- Richter R, Berger UE, Dullinger S, Essl F, Leitner M, Smith M, Vogl G (2013) Spread of invasive ragweed: climate change, management and how to reduce allergy costs. *J Appl Ecol* 50(6):1422–1430
- Riecke W, Rosenhagen G (2010) Das Klima in Hamburg. Entwicklung in Hamburg und der Metropolregion. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 234. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main
- 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(20):10021–10031
- Ring J (2004) *Angewandte Allergologie*, 3. Aufl. Urban & Vogel, München
- Rocklöv J, Ebi K, Forsberg B (2011) Mortality related to temperature and persistent extreme temperatures: a study of cause-specific and age-stratified mortality. *Occup Environ Med* 68(7):531–536
- Rogers CA, Wayne PM, Macklin EA, Muilenberg ML, Wagner CJ, Epstein PR, Bazzaz Fakhri (2006) Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production. *Environ Health Perspect* 114(6):865–869
- Rosenhagen G, Schatzmann M (2011) Das Klima der Metropolregion auf Grundlage meteorologischer Messungen und Beobachtungen. In: von Storch H, Clausen M (Hrsg) Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Springer, Heidelberg
- Salman MD (2013) Salmon surveillance tools and strategies for animal disease in a shifting climate context. *Anim Health Res Rev* 14(2):147–150
- Sandmann H (2015) Das solare UV-Messnetz des BFS/UBA. *Strahlenschutz PRAXIS* 4/2015:38–40
- Sandmann H, Stick C (2014) Spectral and spatial UV sky radiance measurements at a seaside resort under clear sky and slightly overcast conditions. *Photochem Photobiol* 90(1):225–232
- Schanze J, Daschkeit A (2013) Risiken und Chancen des Klimawandels. In: Birkmann J, Vollmer M, Schanze J (Hrsg) Raumentwicklung im Klimawandel. Herausforderungen für die räumliche Planung. Forschungsberichte der ARL 2. Verlag der ARL, Hannover, S 69–89
- Schär C, Vidale PL, Lüthli D, Frei C, Häberli C, Liniger MA, Appenzeller C (2004) The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427(6972):332–336
- Scherber K, Langner M, Endlicher W (2013a) Spatial analysis of hospital admissions for respiratory diseases during summer months in Berlin. *Erde* 144(3–4):217–237
- Scherber K, Endlicher W, Langner M (2013b) Klimawandel und Gesundheit in Berlin-Brandenburg. In: Jahn HJ, Krämer A, Wörmann T (Hrsg) Klimawandel und Gesundheit – Internationale, nationale und regionale Herausforderungen und Antworten. Springer, Berlin, Heidelberg, S 25–38
- Schicht S, Junge S, Schnieder T, Strube C (2011) Prevalence of *Anaplasma phagocytophilum* and coinfection with *Borrelia burgdorferi* sensu lato in the hard tick *Ixodes ricinus* in the city of Hanover (Germany). *Vector Borne Zoonotic Dis* 11(12):1595–1597
- Schicht S, Schnieder T, Strube C (2012) *Rickettsia* spp. and coinfections with other pathogenic microorganisms in hard ticks from northern Germany. *J Med Entomol* 49(3):766–771
- van Seventer HA (1970) The disappearance of malaria in the Netherlands. *Tijdschr Ziekenverpl* 23:78–79
- Sherwood SC, Huber M (2010) An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proc Natl Acad Sci USA* 107(21):9552–9555
- Shoam A, Hadziahmetovic M, Dunaief JL, Mydlarski MB, Schipper HM (2008) Oxidative stress in disease of the human cornea. *Free Radic Biol Med* 45(18):1047–1055
- Siebert S, Ewert F (2012) Spatio-temporal patterns of phenological development in Germany in relation to temperature and day length. *Agric For Meteorol* 152:44–57
- Simoni M, Baldacci S, Maio S, Cerrai S, Sarno G, Viegi G (2015) Adverse effects of outdoor pollution in the elderly. *J Thorac Dis* 7(1):34–45
- Singer BD, Ziska LH, Frenz DA, Gebhard DE, Straka JG (2005) Increasing Amb a 1 content in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen as a function of rising atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. *Funct Plant Biol* 32:667–670
- Smith KR, Woodward A, Campbell-Lendrum D, Chadee DD, Honda Y, Liu Q, Olwoch JM, Revich B, Sauerborn R (2014) Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (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, New York
- Solomon GM, Hjelmroos-Koski M, Rotkin-Ellman M, Hammond SK (2006) Airborne mold and endotoxin concentrations in New Orleans, Louisiana, after flooding, October through November 2005. *Environ Health Perspect* 114(9):1381–1386
- Stadt Karlsruhe, Umwelt- und Arbeitsschutz (2013) Anpassung an den Klimawandel. Bestandsaufnahme und Strategie für die Stadt Karlsruhe (Webseiten der Stadt Karlsruhe)
- Stadt Nürnberg, Umweltamt (2012) Handbuch Klimaanpassung. Bausteine für die Nürnberger Anpassungsstrategien (Webseiten der Stadt Nürnberg)
- Stanek G (2009) Pandora's Box: pathogens in *Ixodes ricinus* ticks in Central Europe. *Wien Klin Wochenschr* 121(21–22):673–683
- Stick C, Krüger K, Schade N, Sandmann H, Macke A (2006) Episode of unusual high solar ultraviolet radiation over central Europe due to dynamical reduced total ozone in May 2005. *Atmos Chem Phys* 6(7):1771–1776
- Struppe T (1989) Biologie und Ökologie von *Culex torrentium* Martini unter besonderer Berücksichtigung seiner Beziehungen im menschlichen Siedlungsbereich. *Z F Angew Zool* 76(3):257–286
- Suk JE, Ebi KL, Vose D, Wint W, Alexander N, Mintiens K, Semenza JC (2014) Indicators for tracking European vulnerabilities to the risk of infectious disease transmission due to climate change. *Int J Environ Res Public Health* 11(2):2218–2235
- Takken W, Geene R, Koenraadt S (2002) Malaria mosquitoes in South-Holland, The Netherlands—a future public health risk? *Proc Exper Appl Entomol NEV Amsterdam* 13:143–146
- Tappe J, Strube C (2013) *Anaplasma phagocytophilum* and *Rickettsia* spp. infections in hard ticks (*Ixodes ricinus*) in the city of Hanover (Germany): revisited. *Ticks Tick Borne Dis* 4(5):432–438
- Tappe J, Jordan D, Janecek E, Fingerle V, Strube C (2014) Revisited: *Borrelia burgdorferi* sensu lato infections in hard ticks (*Ixodes ricinus*) in the city of Hanover (Germany). *Parasit Vectors* 7:441
- Villeneuve PJ, Chen L, Rowe BH, Coates F (2007) Outdoor air pollution and emergency department visits for asthma among children and adults: a case-crossover study in northern Alberta, Canada. *Environ Health* 6:40
- Völter-Mahlknecht S, Rose D, Drexler H, Letzel S, Wehrmann W (2004) Klinik und Pathogenese UV-induzierter Hauttumoren. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 39:344–349
- Wan S, Yuan T, Bowdish S, Wallace L, Russell SD, Luo Y (2002) Response of an allergenic species, *Ambrosia psilostachya* (Asteraceae), to experimental warming and clipping: implications for public health. *Am J Bot* 89(11):1843–1846
- Wayne P, Foster S, Connolly J, Bazzaz F, Epstein P (2002) Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres. *Ann Allergy Asthma Immunol* 88(3):279–282
- Weitzel T, Collado A, Jöst A, Pietsch K, Storch V, Becker N (2009) Genetic differentiation of populations within the *Culex pipiens* complex and phylogeny of related species. *J Am Mosq Control Assoc* 25(1):6–17
- Welge A (2013) Empfehlungen und Maßnahmen zu Klimaschutz und Klimaanpassung: Stadtklima im Zeichen des Wandels. *Eur Kommunal* 4:3–7
- Weyer F (1956) Bemerkungen zum Erlöschen der ostfriesischen Malaria und zur Anopheles-Lage in Deutschland. *Z Tropenmed Parasitol* 7(2):219–228
- WHO (2013a) Health Risks of Air Pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. World Health Organization, Geneva
- WHO (2013b) Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution – REVIHAAP project: final technical report. World Health Organization, Geneva
- Wichert PV (2008) Hitzewellen und thermophysiologische Effekte bei geschwächten bzw. vorgeschädigten Personen. In: Lozán JL, Grassl H, Karbe L, Jendritzky G, Karbe L (Hrsg) Warnsignal Klima – Gesundheitsrisiken. Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. Klima Warnsignale Uni Hamburg, Hamburg, S 154–158
- Wichert PV (2014) Hitzewellen und thermophysiologische Effekte bei geschwächten bzw. vorgeschädigten Personen. In: Lozán JL, Graßl H, Karbe

- L, Jendritzky G (Hrsg) Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen, 2. Aufl. Klima Warnsignale Uni Hamburg, Hamburg
- Xun WW, Khan AE, Michael E, Vaineis P (2010) Climate Change epidemiology: methodological challenges. *Int J Public Health* 55(2):85–96
- Yusuf S, Hawken S, Ounpuu S, Dans T, Avezum A, Lanas F, McQueen M, Budjai A, Pais P, Varigos J, Lisheng L (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
- Zacharias S, Koppe C (2015) Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters und die Gesundheit bzw. die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland. Umwelt und Gesundheit 06/2015. Umweltbundesamt, Dessau
- Zahar AR (1990) Vector bionomics in the epidemiology and control of malaria. Part II. The WHO European region and the WHO eastern Mediterranean region. Unpublished document, VBC/90.1. World Health Organization, Geneva
- Zerefos CS, Tourpali K, Eleftheratos K, Kazadzis S, Meleti C, Feister U, Koskela T, Heikkilä A (2011) Evidence of a possible turning point of UV-B increase over Canada, Europe and Japan. *Atmos Chem Phys Discuss* 11(10):28545–28561
- Zielke E (1970) Beobachtungen über die Zusammensetzung der Stechmückenfauna von Hamburg und Umgebung. *Entomol Mitt Zool Mus Hambg* 4:97–124
- Zielke DE, Ibáñez-Justicia A, Kalan K, Merdić E, Kampen H, Werner D (2015) Recently discovered *Aedes japonicusjaponicus* (Diptera: *Culicidae*) populations in The Netherlands and northern Germany resulted from a new introduction event and from a split from an existing population. *Parasit Vector* 8:40
- Ziello C, Sparks TH, Estrella N, Belmonte J, Bergmann KC, Bucher E, Brighetti MA, Damialis A, Detandt M, Gallán C, Gehrig R, Grewling L, Gutiérrez-Bustillo AM, Hallsdóttir M, Kockhans-Bieda M-C, De Linares C, Myszkowska D, Páldy A, Sánchez A, Smith M, Thibaudon M, Travaglini A, Uruska A, Valencia-Barrera RM, Vokou D, Wachter R, de Weger LA, Menzel A (2012) Changes to airborne pollen counts across Europe. *PLOS ONE* 7(4):e34076
- Ziska LH, Beggs PJ (2012) Anthropogenic climate change and allergen exposure: the role of plant biology. *J Allergy Clin Immunol* 129(1):27–32
- 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(2):290–295
- Zohner CM, Renner S (2014) Common garden comparison of the leaf-out phenology of woody species from different native climates, combined with herbarium records, forecasts long-term change. *Ecol Lett* 17(8):1016–1025

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die nicht-kommerzielle 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 auch für die oben aufgeführten nicht-kommerziellen Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

