

# Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit

von Jobst Augustin<sup>1</sup> und Valerie Andrees<sup>2</sup>

## ABSTRACT

**Klimatische Veränderungen** haben mit hoher Wahrscheinlichkeit einen bedeutenden Einfluss auf die menschliche Gesundheit. Studien zeigen, dass die ersten Auswirkungen bereits ersichtlich sind und zukünftig vermutlich noch an Relevanz gewinnen werden. Multikausale Zusammenhänge erschweren jedoch konkrete Aussagen zu den zukünftigen Auswirkungen auf die Gesundheit. Unabhängig davon kommt der Anpassung an die gesundheitspezifischen Folgen klimatischer Veränderungen eine besondere Bedeutung zu, um Einflüsse auf Morbidität und Mortalität zu reduzieren. Klima- und Gesundheitspolitik können miteinander einhergehen und Win-win-Situationen erzeugen.

**Schlüsselwörter:** Klimawandel, Gesundheit, Anpassung, Deutschland

**Climatic changes** have a significant impact on human health. Studies show that the first effects are already apparent and are likely to become even more relevant in the future. Multi-causal relationships, however, make it difficult to make concrete statements about future effects on health. Nevertheless, adaptation to the health-specific consequences of climatic changes is of particular importance in order to reduce influences on morbidity and mortality. Climate and health policy can go hand in hand and create win-win situations.

**Keywords:** climate change, health, adaption, Germany

## 1 Einführung in die Thematik

Klimatische Veränderungen haben mit hoher Wahrscheinlichkeit Einfluss auf die Gesundheit des Menschen. Je nach Region unterscheiden sich jedoch die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit. Dies ist unter anderem auf die lokalen klimatischen Bedingungen, die Zusammensetzung der Bevölkerung (zum Beispiel in Bezug auf das Alter) und ihrer Fähigkeit, sich anzupassen, oder auch auf die bestehende Gesundheitsinfrastruktur zurückzuführen. Im folgenden Übersichtsbeitrag werden die Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die menschliche Gesundheit thematisiert.

Hinsichtlich der Wirkungspfade klimatischer Veränderungen kann zwischen den direkten und indirekten Ursachen (mit entsprechenden Auswirkungen) unterschieden werden. Zu den direkten Ursachen zählt das Auftreten von Extremereignissen (Stürme) sowie vor allem von thermischen Belastungen (zum Beispiel Hitzewellen). Demgegenüber stehen die indirekten Ursachen, zu denen eine Veränderung des Pollenflugs, der UV-Strahlung oder auch das veränderte Auftreten von Vektoren (das heißt Krankheitsüberträgern, zum Beispiel Zecken) gezählt werden können. Daran anschließend werden Aspekte der Anpassung des Gesundheitssystems thematisiert.

<sup>1</sup>Dr. rer. nat. Jobst Augustin, Institut für Versorgungsforschung in der Dermatologie und bei Pflegeberufen (IVDP), FG Gesundheitsgeographie, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) · Martinistraße 52 · 20246 Hamburg · Telefon: 040 7410 58631 · E-Mail: jo.augustin@uke.de

<sup>2</sup>Valerie Andrees (MSc.), Institut für Versorgungsforschung in der Dermatologie und bei Pflegeberufen (IVDP), FG Gesundheitsgeographie, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) · Martinistraße 52 · 20246 Hamburg · Telefon: 040 7410 59369 · E-Mail: v.andrees@uke.de

## 2 Direkte Auswirkungen

### 2.1 Thermische Belastung

Der Klimawandel wird eine Veränderung der thermischen Bedingungen zur Folge haben, die sich wiederum auf Wohlbefinden und Gesundheit des Menschen auswirken. Wenngleich davon auszugehen ist, dass klimatische Veränderungen vermutlich eher zu einer verstärkten Belastung durch hohe Temperaturen führen, muss der Vollständigkeit halber erwähnt werden, dass auch die Kältebelastung einen markanten Einfluss auf die Gesundheit haben kann (*Analitis et al. 2008*) und in diesem Kontext mitbedacht werden muss. Das ist dann der Fall, wenn über die Gesamtmorbidität beziehungsweise Gesamt mortalität im Zuge klimatischer Veränderungen gesprochen wird und beispielsweise eine globale Temperaturerhöhung zu einem Rückgang kalteassoziierter Erkrankungen (zum Beispiel Influenza) und Todesfälle (bei Wohnungslosen) führt. Der Zusammenhang zwischen den thermischen Bedingungen und ihrer gesundheitlichen Wirkung ist am Beispiel der Mortalität in der Abbildung 1 ersichtlich. Im Rahmen dieses Beitrags liegt der Schwerpunkt jedoch auf die Belastung durch Hitze, da diese derzeit hinsichtlich des Klimawandels im besonderen Fokus steht.

Die Jahre 1994, 2003, 2006, 2013 und 2018 zeigen, dass die Häufigkeit von Hitzewellen in Deutschland zugenommen hat (*Augustin et al. 2017; RKI 2019*) sowie zu einer Erhöhung von Morbidität und Mortalität führt. In diesem Zusammenhang ist vor allem die sommerliche Hitzewelle im Jahr 2003 zu nennen, bei der in zwölf europäischen Ländern etwa 50.000 bis 70.000 Menschen zusätzlich verstorben sind. Dies kann als eine der größten europäischen Naturkatastrophen angesehen werden (*Larsen 2006; Robine et al. 2008*). Auch in Deutschland zeigt sich eine erhöhte Sterblichkeit durch Hitzebelastungen. Das Robert Koch-Institut hat die hitzebedingte Mortalität für den Sommer 2018 untersucht. Dabei wurde beispielsweise deutlich, dass in Berlin etwa 490, in Hessen 740 Menschen aufgrund der Einwirkung der Hitze verstorben sind. Bei der Untersuchung zeigte sich, dass die hitzebedingte Mortalität stark altersabhängig ist und für die 75- bis 84-Jährigen bei 60 je 100.000 Einwohner und bei den über 84-Jährigen bei etwa 300 je 100.000 Einwohner lag (Berlin und Hessen) (*RKI 2019*).

Hinsichtlich der Wirkung von Hitzewellen sind nicht zwangsläufig die Maximaltemperaturen entscheidend, sondern die Dauer erhöhter Temperaturen sowie die Abkühlung innerhalb der Nacht. Dieser Umstand ist insofern von Relevanz, weil Städte damit besonders in den Fokus rücken. Städte heizen sich gegenüber dem Umland aufgrund ihrer dichten Bebauung und damit hohen Wärmespeicherkapazität besonders stark auf (Wärmeineleffekt), sodass eine nächtliche Abkühlung ausbleibt.

Eine Prognose zur zukünftigen Auswirkung von Hitzewellen ist nicht trivial, da ihr Einfluss auf Mortalität und Morbidität unter anderem von der Region, Jahreszeit, Bevölkerungszusammensetzung und deren Anpassungskapazität sowie vom (Gesundheits-)Verhalten (ausreichende Flüssigkeitszufuhr etc.) der Menschen abhängig ist. Zudem gibt es bislang keine einheitliche Definition von Hitzewelle, sodass eine Vergleichbarkeit von Studien beziehungsweise Prognosen nicht immer gewährleistet ist. Wesentliche Größe zur Abschätzung einer zukünftigen hitzebedingten Mortalität ist die individuelle thermophysiological Anpassung an die Umgebung, da akklimatisierte Menschen gegenüber thermischen Belastungen weniger empfindlich reagieren. Geschwindigkeit und Ausprägung der Akklimatisation sind vom Individuum abhängig und variieren vor allem mit der individuellen physiologischen Verfassung (*Pandolf 1998*). Dies ist ein Grund dafür, dass jüngeren und körperlich gesunden Menschen eine Akklimatisation leichter fällt als älteren Menschen oder Kindern, die zu den besonders vulnerablen Gruppen zählen.

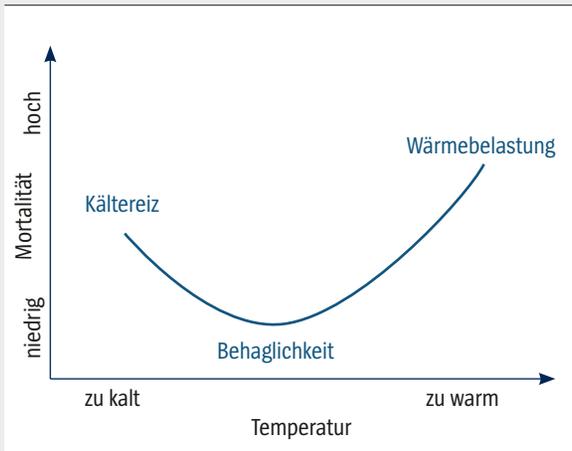
Untersuchungen konnten zudem zeigen, dass eine Bevölkerung in wärmeren Regionen eine höhere Mortalität nach Kältestress aufweist als nach Hitzebelastung, während für Menschen in kühleren Regionen die gegenteilige Beobachtung gemacht wurde (*Curriero et al. 2002; Analitis et al. 2008*). Ein ähnlicher Zusammenhang konnte zur Jahreszeit hergestellt werden, denn die Wirkung von Hitzewellen ist nicht nur von ihrer Intensität und Dauer abhängig, sondern auch vom Zeitpunkt des Auftretens. Je eher diese im Jahr auftreten, desto stärker ist der Einfluss auf die Gesundheit (*Anderson und Bell 2011*). Wenngleich die Akklimatisation von hoher Bedeutung ist, unterliegt sie Grenzen. Studien gehen davon aus, dass sich der menschliche Organismus bei einer globalen Temperaturzunahme von 7 °C nicht mehr anpassen kann (*Sherwood und Huber 2010*).

### 2.2 UV-Strahlung und strahlungsassoziierte Erkrankungen

Ultraviolette Strahlung (UV) unterteilt sich in die Wellenlängenbereiche UVC (100–280 nm), UVB (280–315 nm) sowie UVA (315–400 nm). Aufgrund der Filterwirkung des stratosphärischen Ozons (Ozonschicht) spielt der UVC-Bereich auf der Erdoberfläche keine Rolle, allerdings treten UVB und UVA durch die Atmosphäre hindurch, wobei die UVB-Intensität stark von der Ozonkonzentration abhängig ist. Je nach Wellenlängenbereich hat die UV-Strahlung unterschiedliche biologische Eigenschaften, die auch die Gesundheit des Menschen beeinflussen. Neben einer Hautrötung (Sonnenbrand), Immunsuppressionen, Schädigung der Augenlinse (Katarakt) wird der UV-Strahlung auch eine karzinogene Wirkung zugeschrieben. UV-Strahlung ist damit der Hauptrisikofaktor

ABBILDUNG 1

### Beziehung zwischen thermischen Umweltbedingungen und Mortalität



Die Mortalität ist niedrig, wenn sich die Temperaturen für die Menschen behaglich anfühlen (Details hängen unter anderem von der Gewöhnung an das Klima der Region ab). Sie steigt, wenn es besonders kalt oder warm ist.

Quelle: Augustin 2018; Grafik: G+C Wissenschaft 2020

für die Entstehung von Hautkrebskrankungen, wobei hier insbesondere das UVB zu nennen ist, das für die Mehrheit der biologischen Schäden verantwortlich ist (Greinert et al. 2008). Hautkrebs zählt zu den häufigsten Krebserkrankungen weltweit, charakterisiert durch stark ansteigende Inzidenzen in der hellhäutigen Bevölkerung während der vergangenen Jahrzehnte. Die stark ansteigenden Hautkrebshäufigkeiten sind vor allem auf zwei Ursachen zurückzuführen: Veränderung der UV-Strahlung sowie anderes Verhalten beziehungsweise Exposition gegenüber der Strahlung. Ein ähnlicher Zusammenhang lässt sich zur Katarakt finden. Dabei muss erwähnt werden, dass die Katarakt (wie in Teilen auch der Hautkrebs) eine Erkrankung des hohen Alters ist.

Die Zerstörung der Ozonschicht in den 70er- und 80er-Jahren des vorigen Jahrhunderts aufgrund des Eintrags ozonzerstörender Substanzen (vor allem FCKW) hatte zur Folge, dass die UV-Strahlung regional stark zugenommen hat. Wenngleich die Ozonzerstörung aus physikalischer Sicht getrennt vom Klimawandel zu betrachten ist, gibt es Wechselwirkungen zwischen beiden Prozessen. Diese sind sehr komplex und lassen sich damit beschreiben, dass der Klimawandel Einfluss auf die Ozondynamik und Ozonchemie hat. Die Regeneration der stratosphärischen Ozonschicht wird dadurch möglicherweise verzögert, sodass regional daher weiterhin mit erhöhten UV-Strahlungsbelastungen zu rechnen ist. Neben dem Ozon hat auch die Bewölkung einen wichtigen Einfluss auf

die UV-Strahlung. Prognosen hierzu sind bislang aber mit hoher Unsicherheit verbunden.

Der vermutlich wichtigste Aspekt klimatischer Veränderungen hinsichtlich UV-assoziierten Erkrankungen ist die Veränderung des Expositionsverhaltens (Bharath und Turner 2009). Studien (Knuschke et al. 2007; Hill und Boulter 1996) zeigen einen Zusammenhang zwischen den Wetterbedingungen und der Expositionshäufigkeit und -dauer gegenüber UV-Strahlung. Laut Hill und Boulter (1996) verdoppelt sich die Sonnenbrandwahrscheinlichkeit, wenn die Temperatur zwischen 19 °C und 27 °C liegt. Es ist denkbar, dass der Klimawandel die Anzahl der Tage mit „expositionsfreundlichen“ Bedingungen begünstigt (Augustin et al. 2018).

## 3 Indirekte Auswirkungen

### 3.1 Pollenflug und allergische Erkrankungen

Allergien gehören vor allem in den westlichen Ländern zu den weitverbreiteten Erkrankungen. In Deutschland sind etwa 30 Prozent der Bevölkerung von Allergien betroffen, 14,8 Prozent von Heuschnupfen (Langen et al. 2013). Klimatische Veränderungen haben verschiedene Auswirkungen auf Pflanzen, was sich wiederum in einer Veränderung von Pollenmenge, -zusammensetzung, -allergenität, -flugzeit sowie -transport bemerkbar macht (Ziska und Beggs 2012). Darüber hinaus erweitert sich das Spektrum an Pollenarten durch das Auftreten neuer Pflanzen (Neophyten) mit teils hohem allergenem Potenzial, zu denen beispielsweise das Beifußblättrige Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia*) gehört. Die Blütephase der Pflanzen und damit auch der Pollenflug werden maßgeblich von der Phänologie bestimmt, die wiederum stark von klimaassoziierten Parametern wie der Temperatur abhängig ist. Langjährige Aufzeichnungen zeigen, dass die Blütephasen von Pflanzen mit allergenem Potenzial, wie Birke oder Haselnuss, in Deutschland während der vergangenen Jahrzehnte immer früher einsetzen (Jensen et al. 2011). Ein weiterer bedeutender Faktor ist die temperaturbedingt vermehrte Produktion von Pollen in Kombination mit ansteigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, was zu häufigeren und schwereren allergischen Reaktionen sowie neuen Sensibilisierungen führen kann (Jochner et al. 2013; Ziello et al. 2012; Singer et al. 2005).

### 3.2 Infektionserkrankungen

Global gesehen werden verschiedene Infektionserkrankungen im Kontext klimatischer Veränderungen genannt. Allerdings ist die gesundheitliche Relevanz für Deutschland unterschiedlich einzuschätzen. Besonders im Fokus sind derzeit

die durch Vektoren übertragenen Erkrankungen. So können Zecken verschiedenste Mikroorganismen übertragen, zu denen unter anderem die Bakterien der *Borrelia-burgdorferi*-Gruppe (Stanek 2009) gehören, welche beim Menschen die Lyme-Borreliose auslösen können. Die Durchseuchung der Zeckenpopulationen variiert in Deutschland zwischen 3,1 Prozent (Ostsee) bis 36,3 Prozent in Bayern (Augustin et al. 2018). Die Anzahl der durch Zecken übertragenen Lyme-Borreliose ist in den vergangenen Jahren stark angestiegen. Die Gründe dafür können ein vermehrter Aufenthalt (Wandern etc.) im Freien sein, aber indirekt möglicherweise auch klimatische Einflüsse, die die Habitatbedingungen und damit das Überleben der Zecken begünstigen. Bei der von Zecken übertragenen Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) zeichnet sich kein eindeutiger Trend ab (Augustin et al. 2017). Es kann damit gerechnet werden, dass neue Zeckenarten aus wärmeren Regionen Europas nach Deutschland kommen werden (Augustin et al. 2018).

Neben dem veränderten Vorkommen von Zecken wird häufig die Ausbreitung tropischer Infektionserkrankungen nach Deutschland thematisiert. Bisher treten diese aber fast ausschließlich dann auf, wenn infizierte Personen aus dem Ausland nach Deutschland einreisen, zum Beispiel als sogenannte Flughafenmalaria (Jansen et al. 2008). Die Ansteckung innerhalb Deutschlands ist bislang unwahrscheinlich, da sie voraussetzt, dass die entsprechenden Vektoren und Krankheitserreger unter diesen Klimaverhältnissen überleben und sich etablieren können (Augustin 2017). Wenngleich zukünftige klimatische Bedingungen die Ausbreitung der Malaria in Deutschland möglicherweise begünstigen, so ist eine Ausbreitung der Malaria zumindest bis 2050 eher unwahrscheinlich (Holy et al. 2011). Grund dafür ist unter anderem, dass die Habitatbedingungen nicht allein von der Temperatur abhängig sind, sondern auch von weiteren Faktoren, wie etwa dem Vorhandensein geeigneter Brutgebiete. Zudem reduziert ein funktionierendes Gesundheitssystem die Wahrscheinlichkeit einer Ausbreitung deutlich, da durch eine adäquate Versorgung der Wirtszklus beim Menschen unterbrochen und somit eine weitere Übertragungswahrscheinlichkeit reduziert wird. Weiterhin sind im Kontext klimatisch bedingter Infektionserkrankungen beispielsweise das Denguefieber, die Leishmaniose oder auch das Hantavirus von Relevanz. Hinsichtlich des Denguefiebers werden bislang einzelne, örtlich begrenzte Ausbrüche in südeuropäischen Regionen verzeichnet. In Süddeutschland wurde in Einzelfällen zumindest der Vektor (Mücke, *Aedes albopictus*) entlang von Verkehrsrouten (Becker et al. 2013) entdeckt, jedoch keine Krankheitsfälle. Ähnlich verhält es sich bei der Leishmaniose, deren Vektor, die Sandfliege, bislang so gut wie gar nicht aufgetreten ist (Augustin et al. 2017). Im Gegensatz zu den beiden zuvor genannten Erkrankungen hat das Hantavirus eine größere Bedeutung. Es wird oftmals durch die Inhalation von Aerosolen der Ex-

kremente von Rötelmäusen übertragen. Die Population der Rötelmäuse ist an gute Buchenmast im Herbst und milde Winter gebunden.

### 3.3 Luftschadstoffe

Luftverschmutzung ist nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) weltweit das größte Umweltrisiko für die Gesundheit. Über drei Millionen Todesfälle pro Jahr können einer verunreinigten Außenluft zugerechnet werden (WHO 2016). Luftschadstoffe wie Feinstaub (PM), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>) stehen aufgrund ihrer gesundheitlichen Wirkung besonders im Fokus. Eine bedeutende Quelle für die Emission von Feinstaub und NO<sub>2</sub> ist der Verkehr. Städte sind aufgrund ihrer hohen Verkehrsdichte besonders belastet. Bedeutend für die Wirkung auf die Gesundheit ist die Größe der Partikel, die auf Grundlage ihres aerodynamischen Durchmessers (in µm) in PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> sowie Ultrafeinstaub (PM<sub>0,1</sub>) differenziert wird. Die Partikelgröße ist relevant, da sie für die Tiefe des Eindringens in die Organe entscheidend ist (siehe Abbildung 2). Neben der Partikelgröße sind die chemische Zusammensetzung, ihre Eigenschaften (zum Beispiel Toxizität) sowie die Emissionsmenge von Relevanz. In diesem Kontext ist zudem wichtig, dass die Luftschadstoffe stets als ein Partikelgemisch aus vielen Quellen auftreten.

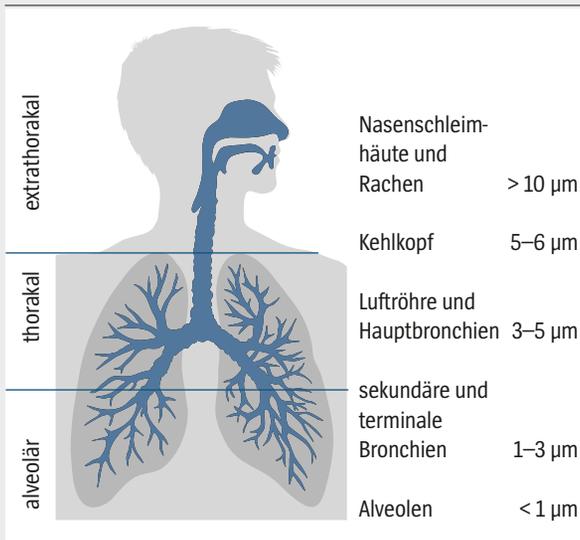
Luftschadstoffe wirken sich vor allem auf die Organe des Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Systems aus. Adam et al. (2015) konnten zeigen, dass eine erhöhte Exposition gegenüber Feinstaub am Wohnort zu nachteiligen Veränderungen bei der Lungenfunktion führen kann. Hinsichtlich der Wirkung von Luftschadstoffen auf das Herz-Kreislauf-System konnten Hoffmann et al. (2006) zeigen, dass eine Langzeitexposition gegenüber Verkehrsemissionen (vor allem Feinstaub, NO<sub>x</sub>) eine erhöhte Prävalenz von Durchblutungsstörungen des Herzmuskels begünstigt. Mustafic et al. (2012) konnten zeigen, dass akut erhöhte Partikelkonzentrationen auch mit einem steigenden Risiko für Herzinfarkte in Verbindung stehen: 0,6 Prozent Risikoanstieg bei PM<sub>10</sub>-Anstieg um 10 µg/m<sup>3</sup>; 2,5 Prozent Risikoanstieg bei PM<sub>2,5</sub>-Anstieg um 10 µg/m<sup>3</sup>. Klimatische Veränderungen können das Auftreten und vor allem die Wirkung von Luftschadstoffen indirekt beeinflussen. So verstärkt sich beispielsweise die Bildung des bodennahen Ozons bei trocken-heißer Witterung mit starker Sonneneinstrahlung.

## 4 Anpassung des Gesundheitswesens

Der Klimawandel stellt Gesundheitssysteme aktuell vor zwei große, herausfordernde Aufgaben: Anpassung (*adaptation*) an und Abschwächung (*mitigation*) des Wandels. Weltweit stellt

ABBILDUNG 2

### Lungengängigkeit von Partikeln im menschlichen Atemtrakt und in der Lunge



Abscheidegrad > 50 % (DWD 2019 nach DIN ISO 7708, VDI 2463 Bl. 1)

Der Luftstrom muss eine gewisse Strecke zurücklegen, bis er in den Lungenverästelungen ankommt. Dabei können Partikel bis zu einer immer kleiner werdenden Größe herausgefiltert werden. Doch Partikel, die kleiner sind als ein Milligramm, können durchaus noch in den Alveolen landen. Der Abscheidegrad (hier: > 50 Prozent) misst die Intensität der Filterung.

man sich die Frage, wie sich Gesundheitssysteme auf die Herausforderungen des Klimawandels vorbereiten können, um widerstandsfähig zu bleiben. Zum einen müssen sich die Versorger auf regional neu auftretende Erkrankungen einstellen sowie auf das vermehrte Auftreten von bereits existierenden Erkrankungen. Und zum anderen muss die Versorgungssicherheit und -infrastruktur auf Extremereignisse (zum Beispiel Hitzewellen) vorbereitet sein. Da die Möglichkeiten der Anpassung an den Klimawandel aus finanziellen, biologischen und physikalischen Gründen begrenzt sind (Lehmkuhl 2019; Haines et al. 2014), ist die Vermeidung und Versorgung gesundheitlicher Folgen des Klimawandels eine zentrale Aufgabe. Die Möglichkeiten der Anpassung können sehr unterschiedlich sein, allerdings gibt es bisher hierzu kaum Forschungsarbeiten.

Aus Australien kommt beispielsweise die Forderung, die verschiedenen Bereiche des Gesundheitssystems besser zu vernetzen und ein schneller reagierendes Surveillance-System für Naturereignisse und Erkrankungen aufzubauen (FitzGerald et al. 2019). In den USA stellen sich große Ge-

sundheitsversorger als Antwort auf Überschwemmungen und Hurrikans der vergangenen Jahre auf zukünftige Naturkatastrophen ein, indem sie Krankenhäuser mithilfe von sturmsicheren Fensterfronten oder verbesserten Notstromgeneratoren gegenüber Hochwasser und Stürmen sichern (Chen und Murthy 2019).

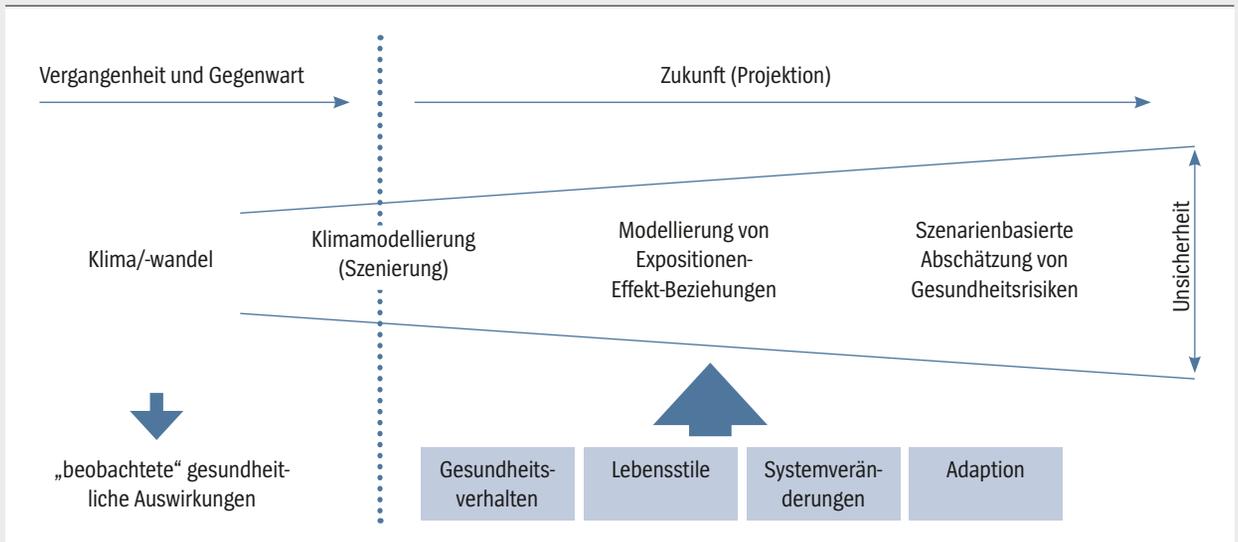
Obwohl Deutschland zu einer Region der Welt gehört, welche von Naturkatastrophen wenig betroffen ist, ist die Häufigkeit von Extremwetterereignissen, insbesondere Hitzewellen, bereits gestiegen und wird vermutlich weiterhin steigen. Die Auswirkungen sind noch nicht vollständig absehbar. Sie können innerhalb des Landes regional sehr unterschiedlich sein, und die Adaption des Gesundheitswesens sollte sich auch an diesen regionalen Gegebenheiten orientieren und gegebenenfalls regional unterschiedliche Maßnahmen initiieren (RKI und UBA 2013).

#### 4.1 Anpassung an direkte Auswirkungen

Direkte Folgen der zunehmenden Hitzeperioden sind die Zunahme von (Notfall-)Einlieferungen und Symptomverschlimmerungen von Patienten mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie der Anstieg hitzebedingter Todesfälle. Insbesondere ältere Personen und Säuglinge sind von dieser Gefahr betroffen (RKI und UBA 2013). Im Zusammenhang mit dem demografischen Wandel ist davon auszugehen, dass deutlich mehr chronisch erkrankte Patienten zu versorgen sind. Für eine erfolgreiche Adaption des Gesundheitswesens ist die weitere Erforschung von meteorologisch-gesundheitlichen Zusammenhängen, vulnerablen Gruppen und risikostarken Gebieten essenziell (RKI und UBA 2013). Zusätzlich gibt das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Handlungsempfehlungen zur Hitzeprävention sowohl in der Verhältnisprävention als auch in der Verhaltensprävention (BMU 2017). Für Einrichtungen des Gesundheitswesens sollten Hitzeaktionspläne erstellt werden, welche eine Regelung zur zentralen Koordination und zur sinnvollen Nutzung des Hitzewarnsystems des Deutschen Wetterdienstes (DWD) beinhalten. Darüber hinaus sind eine strukturierte Risikokommunikation, die Schulung von Mitarbeitern und die Aufklärung der Bevölkerung, insbesondere der vulnerablen Gruppen, entscheidend. Versorger von Risikogruppen haben auch die Aufgabe, eine Aufheizung von Innenräumen während Hitzewellen durch bauliche Maßnahmen wie Isolierung und Klimaanlage zu verhindern. Übergreifend muss das Gesundheitswesen ein funktionierendes Monitoring-System implementieren, welches zeitnah Wetterereignisse und Krankheitsfolgen wie Notfallaufnahmen oder Todesfälle erkennen und evaluieren kann, um schnellstmöglich zu reagieren. Auch die Schulung von medizinischem Personal und die Aufklärung vulnerabler Gruppen über Verhalten in Hitzesituationen ist Aufgabe des Gesundheitswesens.

## ABBILDUNG 3

### Abschätzungsfehler und -unsicherheiten bei der Projektion zukünftiger klimabedingter Gesundheitsrisiken



Wer die Gesundheitsrisiken durch den Klimawandel abschätzen will, muss zunächst auf Grundlage des bisherigen und aktuell beobachteten Klimas eine Projektion für das Klima der Zukunft machen. Danach ist zu modellieren, welche Expositionen welche Effekte haben. Zuletzt müssen daraus die Gesundheitsrisiken abgeschätzt werden. Die Modelle bauen notwendigerweise aufeinander auf. Mit jedem zusätzlichen Modell erhöht sich die Unsicherheit.

Quelle: Verändert nach Eis et al. (2010), Grafik: G+G Wissenschaft 2020

## 4.2 Anpassung an indirekte Auswirkungen

Indirekt erhöhen steigende Temperaturen die Wahrscheinlichkeit der Ausbreitung tropischer Infektionserkrankungen Norden und die Pollenbelastung steigt. Noch können Folgen und mögliche Präventionsmaßnahmen nicht klar beschrieben werden (RKI und UBA 2013), aber auch hier sind bei der Bekämpfung ein Monitoring sowie umfangreiche Schulungen medizinischen Personals in neu entstehenden Risikogebieten essenziell. Eine Anpassung der Impfpfehlungen und eine bessere Präventionsaufklärung der Bevölkerung sind ratsam. Für wenig erforschte Krankheitsbilder hat das Gesundheitswesen die Verantwortung, Forschung voranzubringen.

Weitere indirekte Folgen werden durch stärkere UV-Exposition verursacht. Der hiermit einhergehende Anstieg von Hautkrebs und Augenerkrankungen führt zu einem erhöhten Versorgungs- und Präventionsbedarf. Das RKI und das Umweltbundesamt (UBA) empfehlen vor allem Aufklärungs- und Präventionskampagnen, da die UV-Überexposition am besten auf Individualebene vermieden werden kann. Hier zeige die Allgemeinbevölkerung im Gesundheitsverhalten starke Defizite (RKI und UBA 2013).

## 4.3 Verantwortung des Gesundheitswesens

Neben dem Umgang mit den Folgen des Klimawandels hat das Gesundheitswesen auch die Aufgabe, eine Verstärkung der Effekte zu vermeiden. International haben sich über die vergangenen Jahre Initiativen von Akteuren im Gesundheitswesen gebildet, welche sich gemeinsam dazu bereit erklären, Investitionen in fossile Brennstoffe zu beenden sowie die Gesundheitsversorgung energiesparender und nachhaltiger zu gestalten (Lehmkuhl 2019). Die deutschen Fachverbände waren auf diesem Gebiet bisher noch wenig aktiv, es fehlt an einer öffentlichen Diskussion dieser Thematik (Lehmkuhl 2019). Ziel sollte sein, dass auch in Deutschland die Akteure sich mit einer nachhaltigen Gesundheitsversorgung auseinandersetzen, um klimafreundlicher zu agieren.

## 5 Ausblick

Die Ausführungen haben eine Auswahl möglicher Einflüsse klimatischer Veränderungen auf die Gesundheit gezeigt. Multikausale Zusammenhänge erschweren jedoch konkretere Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf

die Gesundheit, vor allem dann, wenn diese prognostiziert werden sollen. Schematisch zeigt dies die Abbildung 3, in der die Abschätzungsfehler und -unsicherheiten bei der Projektion zukünftiger klimawandelbedingter Gesundheitsrisiken konzeptionell dargestellt sind. Wenngleich noch Unsicherheiten bestehen, sind Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung von Bedeutung. Klima- und gesundheitspolitische Maßnahmen können dabei sogar zu synergetischen Effekten führen. So kann die verstärkte Nutzung des Fahrrads die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren und dabei auch noch das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen senken. Mit dem „Lancet Countdown: Tracking Progress on Health and Climate Change“ wurde ein globales, interdisziplinäres Projekt zur Forschungszusammenarbeit zwischen 27 akademischen Einrichtungen und zwischenstaatlichen Organisationen ins Leben gerufen. Im Rahmen des Vorhabens werden die Fortschritte bei der Umsetzung von Maßnahmen und deren Auswirkungen auf die Gesundheit anhand von 41 Indikatoren aus fünf Bereichen überwacht. Zu den Bereichen gehören Auswirkungen, Risiken und Anfälligkeit des Klimawandels; Anpassung, Planung und Widerstandsfähigkeit für die Gesundheit; Minderungsmaßnahmen und gesundheitliche Vorteile; Finanzen und Wirtschaft sowie öffentliches und politisches Engagement (*Watts et al. 2019*). Initiativen wie der Lancet Countdown sind in Zukunft verstärkt notwendig, um die Folgen klimatischer Veränderungen auf die Gesundheit weiter in den Fokus zu rücken und entsprechende Maßnahmen (Vermeidung und Anpassung) einzuleiten.

## Literatur

- Adam M et al. (2015):** Adult Lung Function and Long-Term Air Pollution Exposure. ESCAPE: A Multicentre Cohort Study and Meta-Analysis. *European Respiratory Journal*, Vol. 45, No. 1, 38–50
- Analitis A et al. (2008):** Effects of Cold Weather on Mortality: Results from 15 European Cities within the PHEWE Project. *American Journal of Epidemiology*, Vol. 168, No. 12, 1397–1408
- 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. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 119, No. 2, 210–218
- Augustin J et al. (2017):** Gesundheit. In: Storch H von, Claussen C (Hrsg.): *Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland*. Heidelberg: Springer Verlag
- Augustin J et al. (2018):** Gesundheit. In: Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland*. Heidelberg: Springer Verlag
- Becker N et al. (2013):** Repeated Introduction of *Aedes Albopictus* into Germany, July to October 2012. *Parasitology Research*, Vol. 112, No. 4, 1787–1790
- Bharath AK, Turner RJ (2009):** Impact of Climate Change on Skin Cancer. *Journal of the Royal Society of Medicine*, Vol. 102, No. 6, 215–218
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2017):** Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit; [bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/hap\\_handlungsempfehlungen\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/hap_handlungsempfehlungen_bf.pdf)
- Chen A, Murthy V (2019):** How Health Systems Are Meeting the Challenge of Climate Change. *Harvard Business Review* 18. September 2019; [hbr.org/2019/09/how-health-systems-are-meeting-the-challenge-of-climate-change](https://hbr.org/2019/09/how-health-systems-are-meeting-the-challenge-of-climate-change)
- Curriero FC et al. (2002):** Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States. *American Journal of Epidemiology*, Vol. 155, No. 1, 80–87
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2019):** Luftqualität. [dwd.de/DE/klimaumwelt/ku\\_beratung/gesundheitsluftquali/luftquali\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku_beratung/gesundheitsluftquali/luftquali_node.html)
- Eis D, Helm D, Laußmann D, Stark K (2010):** Klimawandel in Deutschland. Ein Sachstandsbericht. Berlin: Robert Koch-Institut
- FitzGerald G, Capon A, Aitken P (2019):** Resilient Health Systems: Preparing for Climate Disasters and Other Emergencies. *The Medical Journal of Australia*, Vol. 210, No. 7, 304–305
- Greiner R, Breitbart EW, Volkmer B (2008):** UV-induzierte DNA-Schäden und Hautkrebs. In: Kappas M (Hrsg.): *Klimawandel und Hautkrebs*. Stuttgart: Ibidem-Verlag, 145–173
- Grunert, D (2015):** Infektionskrankheiten – Klimawandel als Katalysator. *Deutsches Ärzteblatt*, Jg. 112, Heft 23, A 1043
- Haines A, Ebi KL, Smith KR, Woodward A (2014):** Health Risks of Climate Change: Act Now or Pay Later. *The Lancet*, Vol. 384, No. 9948, 1073–1075
- Hefele P, Gaus, L (2019):** Klimawandel und öffentliche Gesundheit. Konrad-Adenauer-Stiftung, 4. Juli 2019; [kas.de](https://www.kas.de) → Publikationen → Auslandsinformationen → artikel → 4. Juli 2019
- Hill D, Boulter J (1996):** Sun Protection Behaviour – Determinants and Trends. *Cancer Forum*, Vol. 20, No. 3, 204–211
- Hoffmann B et al. (2006):** Residence close to High Traffic and Prevalence of Coronary Heart Disease. *European Heart Journal*, Vol. 27, No. 22, 2696–2702
- Holy M, Schmidt G, Schröder W (2011):** Potential Malaria Outbreak in Germany due to Climate Warming: Risk Modelling Based on Temperature Measurements and Regional Climate Models. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 18, No. 3, 428–435
- Jansen A, Frank C, Koch J, Stark K (2008):** Surveillance of Vector-borne Diseases in Germany: Trends and Challenges in the View of Disease Emergence and Climate Change. *Parasitology Research*, Vol. 103, No. 1, 11–17
- Jensen K et al. (2011):** Klimabedingte Änderungen in terrestrischen und semi-terrestrischen Ökosystemen. In: Storch H von, Claussen M (Hrsg.): *Klimabericht der Metropolregion Hamburg*. Heidelberg: Springer
- Jochner S et al. (2013):** Nutrient Status: A Missing Factor in Phenological and Pollen Research? *Journal of Experimental Botany*, Vol. 64, No. 7, 2081–2092

**Knuschke P, Unverricht I, Ott G, Janssen M (2007):** Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. Abschlussbericht zum Projekt „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ – Projekt F 1777. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

**Langen U, Schmitz R, Steppuhn H (2013):** Häufigkeit allergischer Erkrankungen in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt, Jg. 56, Heft 5–6, 698–706

**Larsen J (2006):** Setting the Record Straight: More than 52,000 Europeans Died from Heat in Summer 2003. Earth Policy Institute; earth-policy.org → Plan B Updates → July 28, 2006

**Lehmkuhl D (2019):** Das Thema Klimawandel und seine Bedeutung im Gesundheitssektor: Entwicklung, Akteure, Meilensteine. Bundesgesundheitsblatt: Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, Vol. 62, No. 5, 546–555

**Mustafic H et al. (2012):** Main Air Pollutants and Myocardial Infarction: A Systematic Review and Meta-Analysis. JAMA: The Journal of the American Medical Association, Vol. 307, No. 7, 713–721

**Pandolf KB (1998):** Time Course of Heat Acclimatisation and its Decay. International Journal of Sports Medicine, Vol. 19, No. S2, S157–160

**RKI (Robert Koch-Institut) (2019):** Schätzung der Zahl hitzebedingter Sterbefälle und Betrachtung der Exzess-Mortalität; Berlin und Hessen, Sommer 2018. Epidemiologisches Bulletin Nr. 23 vom 6. Juni 2019

**RKI und UBA (Robert Koch-Institut und Umweltbundesamt) (2013):** Klimawandel und Gesundheit – Allgemeiner Rahmen zu Handlungsempfehlungen für Behörden und weitere Akteure in Deutschland; rki.de → Kommission Umweltmedizin und Environmental Public Health → Stellungnahmen und Berichte

**Robine JM et al. (2008):** Death Toll Exceeded 70,000 in Europe during the Summer of 2003. Comptes Rendus Biologies, Vol. 331, No. 2, 171–178

**Sherwood SC, Huber M (2010):** An Adaptability Limit to Climate Change due to Heat Stress. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 107, No. 21, 9552–9555

**Singer BD et al. (2005):** Increasing Amb a 1 Content in Common Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) Pollen as a Function of Rising Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentration. Functional Plant Biology, Vol. 32, No. 7, 667–670

**Stanek G (2009):** Pandora's Box: Pathogens in Ixodes Ricinus Ticks in Central Europe. Wiener Klinische Wochenschrift, Vol. 121, No. 21–22, 673–683

**Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S (2019):** The 2019 Report of The Lancet Countdown on Health and Climate Change: Ensuring that the Health of a Child Born today is not Defined by a Changing Climate. The Lancet, Vol. 394, No. 10211, 1836–1878

**WHO (World Health Organisation) (2016):** Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease; apps.who.int/iris/handle/10665/250141

**Willett W et al. (2019):** Food in the Anthropocene: the EAT - Lancet Commission on Healthy Diets from Sustainable Food Systems. The Lancet, Vol. 393, No. 10170, 447–492

**Ziello C et al. (2012):** Changes to Airborne Pollen Counts Across Europe. PLOS ONE, Vol. 7, No. 4, e34076

**Ziska LH, Beggs PJ (2012):** Anthropogenic Climate Change and Allergen Exposure: the Role of Plant Biology. Journal of Allergy and Clinical Immunology, Vol. 129, No. 1, 27–32

(letzter Zugriff auf alle Internetquellen: 9. Januar 2020)

## DIE AUTOREN



### Dr. rer. nat. Jobst Augustin,

Jahrgang 1974, hat Geografie, Soziologie und Bioklimatologie an den Universitäten Göttingen und Stockholm studiert, wurde an der Universität Göttingen zum Dr. rer. nat. promoviert und 2019 an der Universität Hamburg habilitiert. Er war im Umweltbundesamt (Fachgebiet Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung) sowie im Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung (Zi) in Berlin tätig. Seit 2013 ist Jobst Augustin am Institut für Versorgungsforschung in der Dermatologie und bei Pflegeberufen (IVDP) am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf beschäftigt und leitet dort die Arbeitsgruppe „Gesundheitsgeographie“. Er ist zudem Lehrbeauftragter für den Bereich Gesundheitsgeografie am Institut für Geographie der Universität Hamburg.



### Valerie Andrees (MSc.),

Jahrgang 1991, studierte von 2013 bis 2018 Gesundheitswissenschaften (BSc.) und Health Sciences (MSc.) an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften HAW Hamburg mit Fokus auf den Bereich der Gesundheitsforschung. Seit Oktober 2018 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Versorgungsforschung in der Dermatologie und bei Pflegeberufen des UKE Hamburg. Hier ist sie Teilnehmerin im PhD-Programm. Valerie Andrees ist in die Hamburg City Health Study involviert und Mitglied in unterschiedlichen Arbeitsgruppen und Fachgesellschaften, wie der AG Health Geography in der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie (DGEpi) und dem Hamburg Center for Health Economics (HCHE).